

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Roadmap Penelitian

**Tabel 2.1** Roadmap Penelitian 2018-2019

Sumber	Proses	Hasil	Penelitian yang akan dilakukan
Bardalai, 2018 <i>“Characteristic of Pyrolysis Oil Derived from Teak Saw Dust and Rice Husk”</i>	Pirolisis dengan fixed bed reactor pada suhu 450°C dengan ukuran sampel 0,5-1 mm	Bio-oil kayu jati memiliki nilai kalor 23,41 MJ/kg, viskositas 6,8 cSt, dan pH 3,4	Pembaharuan yang akan dilakukan adalah pada kondensor. Proses pirolisis akan dilakukan <i>double condenser</i> dengan kondisi operasi optimal, menghitung <i>specific energy consumption</i> , serta menganalisis karakteristik <i>asap cair</i> sesuai dengan jurnal Bridgwater (2012).
Gupta dkk, 2019 <i>“Experimental Process Parameters Optimization and In-depth Product Characterizations for Teak SawDust Pyrolysis”</i>	Pirolisis dengan <i>fixed bed reactor</i> pada rentang suhu 400-700°C, aliran N <sub>2</sub> 150-250 mL/min, dan ukuran sampel 0,18-0,6 mm.	<i>Yield</i> maksimum <i>asap cair</i> dihasilkan pada suhu 600°C (48,8%). <i>Asap cair</i> bisa digunakan sebagai <i>biofuel</i> setelah dilakukan peningkatan senyawa kimia	

Tabel 2.2 Roadmap Penelitian 2020-2021

Sumber	Proses	Hasil	Penelitian yang akan dilakukan
Suryani, 2020 "Karakteristik dan Aktivitas Antibakteri Asap cair dari Biomassa Kayu Putih dan Kayu Jati"	Pirolisis dengan <i>fixed bed reactor</i> pada suhu 250°C selama 8 jam.	<i>Asap cair</i> kayu jati mengandung 25,53% asam asetat dan 11,19% yang dapat menghambat pertumbuhan bakteri	Pembaharuan yang akan dilakukan adalah pada kondensor. Proses pirolisis akan dilakukan dengan <i>fixed bed reactor</i> dengan <i>double condenser</i> dengan menghitung <i>specific energy consumption</i> , stabilitas api, serta karakteristik <i>asap cair</i> yang dapat dimanfaatkan sebagai pestisida organik
Majid, 2021 "Pengaruh Ukuran Serbuk Kayu Jati dan Suhu Pemanasan terhadap Volume dan Nilai Kalor Tar pada Proses Pirolisis"	Pirolisis menggunakan <i>fixed bed reactor</i> selama 3 jam dengan ukuran sampel 1,18 mm dan 2,36 mm dengan variasi suhu pemanasan.	Prose pirolisis yang dilakukan menghasilkan tar terbanyak pada suhu 550°C sebanyak 64 ml untuk ukuran 1,18 mm dan 50 ml pada ukuran serbuk 2,36 mm.	

## 2.2 Kayu Jati

Kayu jati merupakan salah satu jenis kayu yang paling banyak diminati sejak dahulu di dunia permebelan. Kayu jati banyak terdapat di Pulau Jawa, Sumatera, Nusa Tenggara Barat, Maluku dan Lampung. Pohon ini tumbuh baik di tanah sarang terutama tanah yang mengandung kapur pada ketinggian 0-700 m diatas permukaan laut dengan musim kering dan curah hujan rata-rata 1.200-2.000 m per tahun. Pohon jati bisa tumbuh mencapai 45 m dengan cabang sedangkan 15-20 m dengan batang bebas cabang., memiliki diameter 50-220 mm, bentuk batang beralur, dan tidak teratur (Rabiatul, 2017).

Kayu jati memiliki serat halus dengan warna kayu mula-mula sawo kelabu, kemudian berwarna sawo matang apabila terkena cahaya matahari dan udara. Serat kayu memiliki arah rata-rata 1316  $\mu$  dengan diameter 24,8  $\mu$  dan tebal dinding 3,3  $\mu$ . Struktur pori Sebagian besar soliter dalam susunan tata lingkaran, memiliki diameter 20-40  $\mu$  dengan frekuensi 3-7 per  $\text{mm}^2$ . Karena sifat-sifatnya yang baik, kayu jati merupakan jenis kayu yang paling banyak dipakai untuk berbagai keperluan.

Limbah kayu jati merupakan biomassa yang belum dimanfaatkan secara optimal dan memiliki nilai kalor yang relatif besar. Dengan cara pirolisis, limbah kayu jati yang belum termanfaatkan secara optimal dapat diolah menjadi suatu produk yang bernilai ekonomis baik *asap cair* dan gas (Kusumaningrum dkk, 2015). Kayu jati memiliki komponen kimia yang sama dengan kayu. Unsur-unsur penyusun kayu terdiri dari tiga unsur yaitu unsur karbohidrat yang terdiri dari selulosa dan hemiselulosa, unsur non karbohidrat yang terdiri dari lignin, dan unsur-unsur yang diendapkan dalam kayu selama proses pertumbuhan (Rabiatul, 2017)

**Tabel 2.3** Karakteristik Kayu Jati

<b>Karakteristik</b>	<b>Satuan</b>	<b>Nilai</b>
<b>Karakteristik Fisik</b>		
Berat jenis	kg/m <sup>3</sup>	0,62-0,75 (rata-rata 0,67)
<i>Specific gravity</i>	-	0,66
<b>Komposisi Kimia</b>		
Hemiselulosa	%	17
Selulosa	%	47,5
Lignin	%	29,9
Pentosa	%	14,4
Abu	%	1,4
Silika	%	0,4
Nilai kalor	kal/g	5081
Karbon tetap	%	12,69
Zat terbang	%	80,29
C	%	51,6
H	%	6
O	%	42,2
N	%	0,26
S	%	0,01

*Sumber : Rabiatul 2017; Permana dkk, 2014; Haryanto,2021*

### **2.3 Tempurung Kelapa**

Kelapa merupakan kelompok tumbuhan yang termasuk *famili Arecaceae (lat)*, yang berasal dari Amerika dan tersebar dipantai karena dapat hidup pada tanah yang mengandung garam. Pohon ini dapat tumbuh hingga 300 m dari permukaan air laut, dengan curah hujan antara 1.270-2.550 mm/tahun. Bagian-bagian yang banyak dimanfaatkan dari pohon kelapa adalah buah dan tempurungnya.

Tempurung kelapa terletak pada bagian dalam buah kelapa setelah sabut, memiliki lapisan yang keras dengan ketebalan 3-5mm, dan termasuk golongan kayu keras. Dikutip dari Dewi pada tahun 2013, tempurung kelapa mempunyai karakteristik bersifat keras dan tidak fleksibel karena tidak memiliki serat pada

strukturnya, ketebalan permukaan yang tidak merata, motif permukaan yang khas dan memiliki pori-pori dengan tingkat kerapatan yang tinggi.

Tempurung kelapa merupakan biomassa yang belum dimanfaatkan secara optimal dan memiliki nilai kalor yang relatif besar. Komposisi utama yang terdapat dalam tempurung kelapa adalah hemiselulosa. Selain hemiselulosa, tempurung kelapa juga mengandung selulosa dan lignin. Kandungan ini dapat dimanfaatkan dengan cara membuat *asap cair* dari tempurung kelapa. Distilat asap tempurung kelapa memiliki kemampuan mengawetkan bahan makanan karena adanya asam, fenol, dan karbonil. *Asap cair* tempurung kelapa mengandung lebih dari 400 komponen dan memiliki fungsi sebagai penghambat perkembangan bakteri yang cukup aman sebagai pengawet alami (Rusydi, 2019).

**Tabel 2.4** Komposisi Tempurung Kelapa

<b>Komposisi</b>	<b>Satuan</b>	<b>Nilai</b>
Selulosa	%	25,2-26,5
Hemiselulosa	%	27,2-28
Lignin	%	46-46,8
Abu	%	0,1-0,6
Air	%	8
Ekstraktif	%	1-4,2
C	%	52-52,1
H	%	5,5
O	%	42,2-42,3
N	%	0,3-0,4
S	%	-

*Sumber: Rusydi, 2019; Anuchi dkk, 2022*

## **2.4 Kayu Akasia**

Kayu akasia (*acacia*) merupakan salah satu jenis kayu yang banyak ditanam dan dimanfaatkan untuk dijadikan sebagai bahan baku produksi pengolahan kayu hulu dan kemudian menjadi berbagai jenis kayu olahan di Indonesia. Produksi kayu akasia (*acacia*) di Indonesia sebesar 32.114.477,35 m<sup>3</sup> per tahun 2020 (Statistik

Produksi Kehutanan, 2020). Dalam proses pemanenan kayu selalu terdapat limbah berupa kayu, tunggul dan ranting (Yulia dkk, 2015) yang termasuk biomassa. Akasia merupakan jenis legume yang tumbuh cepat, dapat tumbuh pada lahan tidak subur serta tidak begitu terpengaruh oleh jenis tanahnya (Elfarisna,2015). Kayu akasia (*Acacia*) memiliki beberapa karakteristik diantaranya :

- a. Warna kayu akasia berwarna coklat pucat sampai coklat tua.
- b. Corak kayu akasia polos atau berjalur-jalur berwarna gelap dan terang.
- c. Tekstur kayu akasia halus sampai agak kasar.
- d. Bentuk kayunya agak keras sampai keras.

Karakteristik kayu akasia menurut (Erlinawati dkk, 2021) dari uji proksimat dapat dilihat pada tabel 2.5.

**Tabel 2.5** Karakteristik Kayu Akasia

Parameter	Satuan	Nilai
Karbon Aktif Murni ( <i>Fixed Carbon</i> )	%	14,92-19,49
Kadar Air ( <i>Moisture</i> )	%	11,44-13,11
Kadar Zat Terbang ( <i>Volatile Matters</i> )	%	80,13-94,27
Kadar Abu ( <i>Ash Analysis</i> )	%	0,31-0,97
Nilai Kalor Pembakaran	Kcal/kg	4040-4231
Selulosa	%	45 ± 2
Hemiselulosa	%	30 ± 5
Lignin	%	20 ± 4
Zat Ekstraktif	%	5 ± 3

Sumber: Erlinawati, 2021; Magno, 2013

## 2.5 Pirolisis

Pirolisis adalah proses dekomposisi suatu bahan pada suhu tinggi tanpa adanya udara atau dengan udara terbatas. Produk utama dari pirolisis adalah arang, minyak, dan gas. Umumnya proses pirolisis berlangsung pada suhu di atas 300°C dalam waktu 4-7 jam. Proses pemanasan ini mengakibatkan terjadinya penguraian senyawa organik yang menyusun struktur bahan membentuk alkohol, tar, dan hidrokarbon. Namun, keadaan ini sangat bergantung pada bahan baku dan cara pembuatannya.

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. dkk. 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 pirolisis utama (Stefanidis dkk, 2014). Lignin adalah komponen yang paling stabil yang terurai pada suhu yang lebih tinggi dari 300-550°C (Rusyidi, 2019). 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. dkk, 2015).

Parameter pirolisis memberikan pengaruh pada jumlah dan sifat produk yang diperoleh dilaporkan oleh Chen. W. dkk, 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. dkk (2015) 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. Beberapa faktor yang mempengaruhi proses pirolisis adalah, temperatur dan waktu reaksi (Ridhuan dkk, 2019).

#### 1. Temperatur

Semakin tinggi temperatur maka akan semakin banyak gas yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan bahan baku padatan akan menguap dan berubah menjadi gas sehingga berat dari bahan baku akan berkurang. Namun, semakin tinggi temperatur akan mengurangi jumlah produk yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan temperature tinggi akan memperpendek rantai hidrokarbon. Rantai hidrokarbon yang pendek akan mengurangi gas yang tidak dapat dikondensasi.

#### 2. Waktu reaksi

Dalam kondisi vakum, semakin lama waktu reaksi maka rantai hidrokarbon akan semakin pendek karena waktu reaksi yang lama akan menyebabkan produk pirolisis menjadi gas. Produk padatan akan semakin berkurang sepanjang dengan lamanya waktu reaksi.

Pirolisis disebut juga dengan proses karbonisasi yaitu proses untuk memperoleh arang atau karbon. Dalam proses pirolisis dihasilkan gas-gas seperti CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, dan hidrokarbon ringan. Proses pirolisis secara umum mekanismenya mengikuti tiga tahapan reaksi yakni reaksi hidrolisis, primer dan sekunder (Rusydi, 2019). Golongan karboksil, karbonil, dan hidroksil yang berbeda juga terbentuk pada tahap pertama proses pirolisis. Proses devolatilisasi melibatkan dehidrasi, dekarboksilasi, dan dehidrogenasi biomassa.

Pirolisis bersifat *irreversible* dan berlangsung pada rentang temperatur 300-800°C sedangkan gasifikasi berlangsung antara 800-1.000°C (Rabiatul, 2017). Pirolisis dengan temperatur rendah, laju pemanasan yang tinggi, dan durasi penahanan gas yang singkat mampu menghasilkan produk cairan yang tinggi,

namun bila ingin menghasilkan syngas maka dilanjutkan pirolisis dengan temperatur yang tinggi, laju pemanasan yang rendah, dan durasi penahanan gas yang lama (Yansen, 2020).

## 2.6 Asap cair

*Asap cair* merupakan campuran cairan hidrokarbon yang terdiri dari campuran kompleks senyawa beroksigen yang memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan. *Asap cair* memiliki karakteristik berwarna coklat tua dengan tingkat kekentalan tergantung dengan komposisi bahan baku yang digunakan. Penyaringan uap panas memberi kesan merah-coklat yang tembus pandang karena tidak adanya arang sedangkan adanya kandungan nitrogen yang tinggi bisa memberikan warna hijau gelap pada cairan (Rusydi, 2019). Ada banyak karakteristik *asap cair* seperti yang dijelaskan pada tabel dibawah ini

**Tabel 2.6** Karakteristik Asap Cair

Sifat Fisik	Satuan	Nilai
<i>Ash</i>	%	>0,15
<i>Density</i> (15°C)	kg/dm <sup>3</sup>	1,1 -1,3
<i>Flash Point</i>	°C	>45
HHV	MJ/kg	<15
pH	-	2-3
<i>Pour Point</i>	°C	< -9
Sulfur	%	<0,05
<i>Viscosity</i> (40°C)	CSt	>125
<i>Water</i>	%	>30

Sumber: ASTM D-7544

Selama proses pirolisis, terbentuk senyawa-senyawa yaitu fenol, karbonil (terutama keton dan aldehyd), asam furan, alkohol dan ester, lakton, hidrokarbon alifatik dan polisiklis aromatik. Asap memiliki kemampuan untuk menjadi pestisida organik karena adanya senyawa asam, fenol, dan karbonil. Adanya kandungan senyawa-senyawa kimia didalam *asap cair* kayu yang terkandung dapat mematkan

organisme pengganggu. Komponen dalam kayu seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin memiliki jumlah yang bervariasi tergantung umur tanaman dan kondisi pertumbuhan kayu seperti iklim dan tanah. Adapun komposisi kimia *asap cair* pada umumnya dapat dilihat pada tabel 2.7 dibawah ini :

**Tabel 2.7** Komposisi Asap Cair

<b>Kandungan</b>	<b>Satuan</b>	<b>Nilai</b>
Air	%	11-92
Fenol	%	0,2-2,9
Asam	%	2,8-9,5
Karbonil	%	2,6-4
Tar	%	1-7

*Sumber: Maulina, 2018.*

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 menjadi 3 *grade* yaitu *Grade 1* memiliki warna yang bening, rasa sedikit asam, aroma netral, digunakan untuk pengawet makanan siap saji; *Grade 2* memiliki warna kecoklatan, rasa asam, aroma asap lemag, digunakan untuk pengawet makanan mentah; *Grade 3* memiliki warna coklat gelap, rasa asam kuat, digunakan untuk pestisida organik.

## **2.7 Pirolisator *Single Unit Condenser***

Adanya kemajuan teknologi mempermudah banyak pekerjaan industri maupun rumah tangga, serta pengolahan limbah, salah satu contohnya adalah teknologi

pembuatan asap cair. Inovasi teknologi proses produksi asap cair dengan metode pirolisis dilakukan dengan pirolisator yang dimodifikasi dengan memaksimalkan asap yang akan dikondensasi menjadi kondensat yang dihasilkan pada proses pirolisis.

Konsep *single unit condenser* adalah melakukan kondensasi terhadap distribusi laju produk kondensat pada kondensor yang dipasang dari alat pirolisis (Rusyidi, 2019). Suatu metode kondensasi dengan laju kondensasi pada bagian kondensor adalah melakukan kondensasi terhadap kecepatan aliran gas yang melintas pipa, yakni dengan menambahkan satu unit alat kondensor yang didalamnya terdapat pipa yang berbentuk spiral yang bertujuan untuk melakukan perubahan dari fase gas menjadi fase cair. Alat pirolisis dengan sistem *single unit condenser* dipasang untuk melakukan kondensasi sehingga produk asap cair yang dihasilkan lebih meningkat, khususnya kondensor dibuat menyatu dengan pipa alir gas dengan kemiringan pipa pada sudut tertentu dan terdiri dari satu aliran yang terhubung dengan kondensor.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Kemas Ridhuan dan kawan kawan (2019), dengan judul Proses Pembakaran Pirolisis dengan Jenis Biomassa dan Karakteristik Asap Cair yang Dihasilkan. Penelitian ini menggunakan 3 jenis biomassa dan massa yang berbeda-beda yaitu kulit kelapa muda dengan massa 3 kg, bambu dengan massa 3 kg, dan kulit durian dengan massa 1,2 kg. Alat pirolisis yang digunakan adalah pirolisator dengan sistem *single unit condenser*. Jumlah asap cair yang dihasilkan adalah 100 ml untuk kulit kelapa muda, 120 ml untuk bambu, dan 74 ml untuk kulit durian. Apabila dihitung % yield asap cair maka persentase asap cair dari kulit kelapa muda 3,34%, bambu 4% dan kulit durian 6,16%. Maka dari itu, hasil %asap cair dari biomassa yang dihasilkan dari sistem pirolisator dengan sistem *single unit condenser* memiliki rentang persentase 3-6%.

## **2.8 Specific Energy Consumption (SEC)**

Energi spesifik adalah perbandingan jumlah energi yang digunakan untuk menghasilkan suatu produk (Pranolo dkk, 2018). *Specific energy consumption* (SEC) digunakan sebagai indikator performa energi untuk mengevaluasi atau mengukur performa efisiensi energi (Lawrence dkk, 2019). Proses yang hemat

energi adalah proses dengan energi spesifik yang rendah, sebaliknya proses yang boros adalah proses dengan energi spesifik yang tinggi (Pranolo dkk, 2018). Secara umum *specific energy consumption* (SEC) dapat dihitung sebagai perbandingan energi yang digunakan untuk menghasilkan suatu produk:

$$\text{SEC} = \frac{\text{Energi yang digunakan}}{\text{produk yang dihasilkan}} \dots \dots \dots (1)$$

*Sumber: Lawrence dkk, 2019*

Satuan yang digunakan dapat tergantung dengan jenis SEC yang digunakan, contohnya GJ/t untuk energi panas dan GWh/kt untuk energi listrik (Lawrence dkk, 2019). Energi yang digunakan merupakan jumlah dari proses utama dan lainnya yang menghasilkan energi untuk menghasilkan suatu produk. Performa energi dapat dipengaruhi oleh banyak variabel (kondisi cuaca, parameter produksi, jam operasi, dan parameter operasi) dan faktor statis yang saling berhubungan untuk mengubah kondisi bisnis seperti pasar, penjualan, dan keuntungan (Lawrence dkk, 2019). Hasil dari performa energi dapat dituliskan dalam SEC (kWh/unit), dan ketika beberapa bentuk energi digunakan, konversi ke satuan umum pengukuran harus ditampilkan sejalan dengan proses konversi energi termasuk total energi yang digunakan.