

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Bahan Baku Pirolisis

#### 2.2.1 Kayu Jati

Kayu jati memiliki nama botani *Tectona grandis* L.f. Di Indonesia kayu jati memiliki berbagai jenis nama daerah yaitu delek, dodolan, jate, jatih, jatos, kiati, dan kulidawa. Kayu ini merupakan salah satu kayu terbaik di dunia. Pohon jati tumbuh baik pada tanah sarang terutama tanah yang mengandung kapur pada ketinggian 0-700 m di atas permukaan laut, di daerah dengan musim kering dan jumlah curah hujan rata-rata 1200-2000 mm per-tahun. Banyak terdapat di seluruh Jawa, Sumatra, Nusa Tenggara Barat, Maluku, dan Lampung. Pohon jati dapat tumbuh mencapai tinggi 45 m dengan panjang batang bebas cabang 15-20 m, diameter batang 50-220 mm, bentuk batang beralur, dan tidak teratur.

Kayu jati memiliki serat yang halus dengan warna kayu mula-mula sawokelabu, kemudian berwarna sawo matang apabila lama terkena cahaya matahari dan udara. Serat kayu memiliki arah yang lurus dan kadang-kadang terpadu, memiliki panjang serat rata-rata 1316  $\mu\text{m}$  dengan diameter 24,8  $\mu\text{m}$ , dan tebal dinding 3,3  $\mu\text{m}$ . Struktur pori sebagian besar soliter dalam susunan tata lingkaran, diameter 20-40  $\mu\text{m}$  dengan frekuensi 3-7 per- $\text{mm}^2$ . Karena sifat-sifatnya, kayu jati merupakan jenis kayu yang paling banyak dipakai untuk berbagai keperluan. Pada industri pengolahan kayu, jati diolah menjadi kayu gergajian, *plywood*, *blackbord*, dan *particleboard*. Ada beberapa sifat kayu yang perlu dipahami untuk pertimbangan dalam penentuan jenis kayu yang akan digunakan. Menurut Fengel and Wengener (1995) sifat-sifat kayu tersebut adalah sifat kimia, sifat fisik, sifat higroskopik, dan sifat mekanik kayu. Sifat-sifat kayu jati secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Sifat-Sifat Kayu Jati

No	Sifat	Satuan	Nilai
1	Berat Jenis	kg/m <sup>3</sup>	0,62-0,75 (rata-rata 0,67)
2	Kadar Selulosa	%	47,5
3	Kadar Lignin	%	29,9
4	Modulus Elastis	kg/mm <sup>3</sup>	127700
5	Kadar Pentosa	%	14,4
6	Kadar Abu	%	1,4
7	Kadar Silika	%	0,4
8	Serabut	%	66,3
9	Kelarutan dalam alkohol benzena	%	4,6
10	Kelarutan dalam air dingin	%	1,2
11	Kelarutan dalam air panas	%	11,1
12	Kelarutan dalam NaOH 1%	%	19,8
13	Kadar air saat titik jenuh serat	%	28
14	Nilai Kalor	kal/g	5081
15	Kerapatan	kal/g	0,44

Serbuk gergaji merupakan limbah dari industri penggergajian berupa butiran kayu, sedetan, dan potongan-potongan kayu yang dihasilkan dari proses menggergaji. Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Kartono (1992) dalam Wijaya (2008), menyatakan bahwa rata-rata limbah yang dihasilkan oleh industri penggergajian adalah 49,15%, dengan perincian serbuk gergaji sebesar 8,46%, sedetan sebesar 24,41%, dan potongan-potongan kayu sebesar 16,28 %.

Kayu jati merupakan kayu serba guna, umumnya digunakan untuk berbagai keperluan seperti *furniture* dan perkakas, selain itu serbuk gergajinya dapat pula digunakan sebagai bahan pembuat briket dan juga sebagai zat penyerap. Serbuk gergaji kayu merupakan limbah industri kayu yang ternyata dapat digunakan sebagai zat penyerap logam berat.

Kayu jati sebagian besar tersusun atas tiga unsur yaitu unsur C, H, dan O. Unsur-unsur tersebut berasal dari udara berupa CO<sub>2</sub> dan dari tanah berupa H<sub>2</sub>O. Namun, dalam kayu juga terdapat unsur-unsur lain seperti N, P, K, Ca, Mg, Si, Al, dan Na. Unsur-unsur tersebut tergabung dalam sejumlah senyawa organik, secara umum dapat dibedakan menjadi dua bagian (Fengel dan Wegener, 1995) yaitu:

1. Komponen lapisan luar yang terdiri atas fraksi-fraksi yang dihasilkan oleh kayu selama pertumbuhannya. Komponen ini sering disebut dengan zat ekstraktif. Zat ekstraktif ini adalah senyawa lemak, lilin, resin dan lain-lain.
2. Komponen lapisan dalam terbagi menjadi dua fraksi yaitu fraksi karbohidrat yang terdiri atas selulosa dan hemiselulosa, fraksi non karbohidrat yang terdiri dari lignin

Kandungan kimia kayu jati adalah selulosa 47,5%, lignin 29,9 %, dan zat lain (termasuk zat gula) 12%. Dinding sel tersusun sebagian besar oleh selulosa ( $C_6H_{10}O_5$ ). Lignin adalah suatu campuran zat-zat organik yang terdiri dari zat karbon (C), zat air ( $H_2$ ) dan oksigen ( $O_2$ ). Serbuk gergaji kayu mengandung komponen utama selulosa, hemiselulosa, lignin, dan zat ekstraktif kayu.

Lignin mempunyai ikatan kimia dengan hemiselulosa, bahkan ada indikasi mengenai adanya ikatan-ikatan antara lignin dan selulosa. Ikatan-ikatan tersebut dapat berupa tipe ester atau eter, diusulkan bahwa ikatan-ikatan glikosida merupakan penyatu lignin dan polisakarida. Treatment yang pada dasarnya bias menghilangkan semua lignin adalah dengan menggunakan zat penyoksil, dimana zat tersebut akan mengakibatkan lignin meninggalkan komponen karbohidra yang tidak terpecahkan atau terlarut menjadi preparat yang disebut holoselulosa. Treatment deligrifikasi ini bisa menggunakan agregat penghilang lain yang kurang lebih efektif untuk menghilangkan lignin adalah asam nitrat, asam parasetic, peroksida, dan larutan alkali panas (Fengel dan Wegener, 1995).

Selulosa merupakan homopolisakarida yang tersusun atas unit-unit  $\beta$ -D-glukopiranososa yang terikat satu sama lain dengan ikatan-ikatan glikosida. Molekul-molekul selulosa seluruhnya berbentuk linier dan mempunyai kecenderungan kuat membentuk ikatan-ikatan hidrogen intra dan intermolekul.

Hemiselulosa merupakan heteropolisakarida yang dibentuk melalui jalan biosintesis yang berbeda dari selulosa. Lignin merupakan polimer dari unit-unit fenil propana. Banyak aspek dalam kimia lignin yang masih belum jelas, misalnya ciri-ciri struktur spesifik lignin yang terdapat dalam berbagai daerah morfologi dari xylem kayu.

### **2.2.2 Sekam Padi**

Tanaman padi merupakan tanaman semusim yang termasuk golongan rumput-rumputan (*Graminae*) dengan klasifikasi sebagai berikut:

Genus : *Oryza Linn*  
Famili : *Gramineae (poaceae)*  
Spesies : *Oriza sativa L dan Oryza glaberima steund*

Sedangkan sub spesies *Oryza sativa L* adalah *Indica* (pada bulu) dan *Sinica* (padi cere) dahulu padi Japonica.

Padi merupakan kebutuhan bahan pokok terbesar bagi masyarakat. Dari penggilingan padi biasanya dihasilkan 20% sekam, 65% beras, dan 15% hilang dari bagian yang diambil beras. Sekam padi mempunyai kandungan karbohidrat yang tinggi. Senyawa karbohidrat mengandung selulosa dengan rumus kimia  $C_6H_{10}O_5$ . Komposisi sekam padi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Komposisi Sekam Padi

No	Komponen	% Berat
1.	Air	2,4-11,35
2.	Crude protein	1,7-7,26
3.	Crude karbohidrat	3,042-45,92
4.	Ekstrak nitrogen berat	24,7-38,79
5.	<i>Crude fiber</i>	31,37-49,92
6.	Abu	13,16-29,01
7.	Selulosa	34,34-43,80
8.	Lignin	21,40-46,97

Adapun pemanfaatan sekam padi di bidang industri adalah :

a. Sumber Silika

Sekitar 20% silika dalam sekam padi merupakan suatu sumber silika yang cukup tinggi, silika dari sekam merupakan saingan dari sumber silika lain seperti pasir, bentonit, dan tanah diatomae tetapi biasanya silika dari sekam padi mempunyai keuntungan karena

jumlah elemen lain (pengotor) yang tidak diinginkan adalah sangat sedikit dibandingkan jumlah silikanya. Silika diperoleh dari pembakaran sekam untuk menghasilkan abu atau secara ekstraksi sebagai natrium – silikat dengan larutan alkali.

b. Pemurnian Air

Pemanfaatan sekam padi untuk menjernihkan air yaitu melalui proses filtrasi/penyaringan partikel, koagulasi, dan adsorpsi. Karbon yang terkandung di dalam sekam padi berfungsi sebagai koagulan pembantu dengan menyerap atau menurunkan logam-logam pada air yang tercemar.

c. Bahan Bakar

Pembakaran merupakan satu metode yang umum dan sering digunakan dalam proses akhir pengolahan sekam padi. Sekam padi yang dibakar secara langsung untuk meneruskan aliran uapnya atau digunakan di dalam generator untuk menghasilkan tenaga penguat dengan minyak yang memiliki nilai bahan bakar.

d. Bahan Bangunan

Di bidang bangunan sekam padi digunakan sebagai pengerasan balok, batu bata, ubin, dan batu tulis (Widowati, 2001).

### 2.2.3 Kayu Glugu

Pohon kelapa (*Cocos nucifera* L.) adalah tanaman perkebunan yang banyak tersebar di wilayah tropis. Produk utamanya adalah kopra, yang berasal dari daging buah yang dikeringkan. Secara keseluruhan, luas perkebunan kelapa di Indonesia mencapai sekitar 3,71 juta hektar pada tahun 1995, dan sekitar 50%-nya perlu peremajaan. Pohon kelapa yang telah ditebang akan menjadi limbah yang merugikan bagi perkebunan tersebut karena akan menjadi sarang bagi perkembangbiakan kumbang badak (*Oryctes rhinoceros*) yang termasuk hama utama perkebunan kelapa di sekitarnya. Namun, karena ketersediaan kayu yang semakin terbatas, batang kelapa mulai banyak dimanfaatkan sebagai pengganti kayu sehingga pembuangan limbah dapat dikurangi (Arancon, 1997).

Berikut ini nama ilmiah kelapa yang menggunakan bahasa latin yang ditetapkan berdasarkan sistem tata nama binomial (*Nomenklatur Binomial*). Nama latin kelapa adalah *Cocos nucifera* L dan tingkatan kklasifikasinya adalah sebagai berikut :

Kingdom	: <i>Plantae</i> (Tumbuhan)
Subkingdom	: <i>Tracheobionta</i> (Tumbuhan berpembuluh)
Super Divisi	: <i>Spermatophyta</i> (Menghasilkan biji)
Divisi	: <i>Magnoliophyta</i> (Tumbuhan berbunga)
Class	: <i>Liliopsida</i> (berkeping satu / monokotil)
Subclass	: <i>Arecidae</i>
Ordo	: <i>Arecales</i>
Famili	: <i>Arecaceae</i> (suku pinang-pinangan)
Genus	: <i>Cocos</i>
Spesies	: <i>Cocos nucifera</i> L.

Kayu kelapa mudah digergaji, apalagi ketika masih segar (basah). Selain itu kayu kelapa tidak rentan terhadap serangan serangga penggerek kayu. Tanpa pengawetanpun batang kayu kelapa akan tahan cukup lama bila diproteksi dari cuaca. Serbuk gergajian sebagai hasil limbah pemotongan kayu kelapa, oleh masyarakat digunakan sebagai bahan pembuatan kerajinan dan briket, atau kadang hanya ditimbun dan berpotensi menyebabkan pencemaran disekitar wilayah industri pengolahan.

Berbeda dengan kayu pada umumnya, batang kelapa memiliki sel pembuluh yang berkelompok (*vascular bundles*) yang menyebar lebih rapat pada bagian tepi dari pada bagian tengah serta pada bagian bawah dan atas batang. Hal itu mengakibatkan kayu gergajian kelapa memiliki kekuatan yang berbeda-beda. Batang kelapa memiliki keawetan yang rendah, mudah diserang organisme perusak kayu seperti jamur dan serangga. Bagian keras batang kelapa yang tidak diawetkan dan dipasang ditempat terbuka langsung berhubungan dengan tanah maksimum dapat bertahan tiga tahun. Sedangkan untuk bagian lunak hanya beberapa bulan saja (Palomar and Sulc, 1983) .

Menurut *Department of Employment, Economic Development and Innovation* (DEEDI) 2004; Arancon, 1997; Gibe, Z.C., 1985, komponen kimia yang terdapat dalam kayu kelapa dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Komposisi Kayu Glugu

No	Komponen Kimia	Komposisi
1.	Abu nonorganik murni (%)	0,75 (0,25 – 2,4)

2. Silika (%)	0,07 (0,01 – 0,2)
3. Lignin (%)	25,1
4. <i>Holocellulose</i> (%)	66,7
5. <i>Pentosans</i> (%)	22,9
6. <i>Starch</i> (%)	4,3 – 4,6 (> 6 months old ; <i>strach reduces with age</i> )
7. pH	6,2

## 2.2 Pirolisis

### 2.2.1 Pengertian Pirolisis

Pirolisis sering disebut juga sebagai termolisis. Secara definisi adalah proses terhadap suatu materi dengan menambahkan aksi temperatur yang tinggi tanpa kehadiran udara (khususnya oksigen). Secara singkat pirolisis dapat diartikan sebagai pembakaran tanpa oksigen. Pirolisis telah dikenal sejak ratusan tahun yang lalu untuk membuat arang dari sisa tumbuhan. Baru pada sekitar abad ke-18 pirolisis dilakukan untuk menganalisis komponen penyusun tanaman. Secara tradisional, pirolisis juga dikenal dengan istilah destilasi kering. Proses pirolisis sangat banyak digunakan di industri kimia, misalnya, untuk menghasilkan arang, karbon aktif, metanol, dan bahan kimia lainnya dari kayu, untuk mengkonversi diklorida etilena menjadi vinil klorida untuk membuat PVC, untuk memproduksi kokas dari batubara, untuk mengkonversi biomassa menjadi *syngas*, untuk mengubah sampah menjadi zat yang aman untuk dibuang, dan untuk mengubah hidrokarbon menengah-berat dari minyak menjadi lebih ringan, seperti bensin (Widjaya,1982).

Istilah lain dari pirolisis adalah *destructive distillation* atau destilasi kering, dimana merupakan proses penguraian yang tidak teratur dari bahan-bahan organik yang disebabkan oleh adanya pemanasan tanpa berhubungan dengan udara luar. Pada umumnya pirolisis dipengaruhi oleh waktu, kadar air bahan, suhu, dan ukuran bahan. Uraian lengkapnya sebagai berikut:

1. Kadar air umpan yang tinggi menyebabkan waktu pirolisis menjadi lama dan hasil cair menjadi rendah konsentrasinya, tetapi keaktifan arang akan meningkat karena uap air dapat berperan sebagai oksidator zat-zat yang melekat pada permukaan arang (Agra dkk, 1973).

2. Ukuran bahan terkait jenis bahan dan alat yang digunakan. Semakin kecil ukuran bahan luas permukaan per satuan massa semakin besar, sehingga dapat mempercepat perambatan panas keseluruhan umpan dan frekuensi tumbukan meningkat misalnya serbuk gergaji cetak dipirolisis dengan diameter 1,5 cm (Budhijanto, 1993). Ukuran bahan juga berpengaruh terhadap kapasitas pengolahan.
3. Suhu proses yang tinggi akan menurunkan hasil arang, sedangkan hasil cair dan gas meningkat. Hal ini disebabkan karena semakin banyaknya zat-zat yang terurai dan teruapkan. Pirolisis serbuk gergaji kayu memerlukan suhu 456<sup>0</sup>C (Budhijanto, 1993).

Menurut Tahir (1992), pada proses pirolisis dihasilkan tiga macam penggolongan produk yaitu :

1. Gas-gas yang dikeluarkan pada proses karbonisasi ini sebagian besar berupa gas CO<sub>2</sub> dan sebagian lagi berupa gas-gas yang mudah terbakar seperti CO, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub> dan hidrokarbon tingkat rendah lain. Komposisi rata-rata dari total gas yang dihasilkan pada proses karbonisasi kayu disajikan pada Tabel 4 (Panshin,1950):

Tabel 4 Komposisi Rata-Rata dari Total Gas yang Dihasilkan pada Proses Karbonisasi Kayu

No	Komponen gas	Persentase (%)
1	Karbondioksida	50,77
2	Karbonmonoksida	27,88
3	Metana	11,36
4	Etana	3,09
5	Hidrogen	4,21
6	Hidrokarbon tak jenuh	2,72

2. Destilat berupa asap cair dan tar.

Komposisi utama dari produk yang tertampung adalah metanol dan asam asetat. Bagian lainnya merupakan komponen minor yaitu fenol, metil asetat, asamformat, dan asam butirat.

### 3. Residu (karbon).

Tempurung kelapa dan kayu mempunyai komponen-komponen yang hampir sama. Kandungan selulosa, hemiselulosa dan lignin dalam kayu berbeda-beda tergantung dari jenis kayu. Pada umumnya kayu mengandung dua bagian selulosa dan satu bagian hemiselulosa, serta satu bagian lignin.

## 2.2.2 Produk Pirolisis

### 2.2.2.1. *Bio-Char*

*Bio-char* adalah hasil pirolisis yang berbentuk padat. *Bio-char* mempunyai komposisi yang berbeda-beda tergantung bahan baku yang digunakan. Menurut Mullen (2010) komposisi utama dari *bio-char* adalah karbon (85%), oksigen, dan hidrogen. Tidak seperti bahan bakar yang berasal dari fosil, *bio-char* mengandung bahan inorganik berupa abu. LHV dari *bio-char* sekitar 32 MJ/kg. Nilai LHV lebih tinggi daripada *asap cair* maupun biomassa (Basu, 2010).

*Bio-char* digunakan sebagai *metal adsorption*. Empat logam yang dapat diadsorpsi oleh *bio-char* adalah logam  $Cu^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ , dan  $Zn^{2+}$ . *Bio-char* dapat efektif mengadsorpsi Cu diikuti ion Zn, Cd, dan Ni. Selain sebagai *metal adsorption*, *bio-char* dapat digunakan sebagai energi yang dapat diperbaharui. Menurut Onay dan Kockar (2004), Yorgun dkk. (2000), Mullen dkk. (2010), Jensen dkk. (2001), dan Gercel (2002) harga *high heating value* dan komposisi *bio-char* untuk beberapa bahan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Perbandingan Harga *High Heating Value* Beberapa Bahan (%berat)

No.	Bahan	HHV (MJ/kg)	C	H	O	N	S	Abu
1.	<i>Corn Cobs</i>	30,0	77,60	3,05	5,11	0,85	0,02	13,34
2.	<i>Corn Stover</i>	21,0	57,29	2,86	1,47	0,15	0,15	32,78
3.	<i>Straw</i>	16,20	40,90	5,20	35,50	0,70	0,09	3,70
4.	<i>Sunflower-oil cake</i>	15,85	75,40	1,70	19,50	3,40	-	-

5.	<i>Char</i>	22,80	70,10	2,50	8,20	0,80	-	18,5
----	-------------	-------	-------	------	------	------	---	------

### 2.2.2.2 Bio-Oil

*Bio-oil* adalah senyawa anorganik yang merupakan cairan yang diproduksi melalui proses pirolisis (Bouchera dkk., 2000). Cairan yang berasal dari proses pirolisis diberi nama dengan cara yang berbeda-beda. Ada yang menyebut cairan pirolisis, minyak pirolisis (*pyrolysis oil*), *asap cair*, cairan kayu (*wood liquids*), minyak kayu (*wood oil*), *bio-crude-oil*, *bio-fuel-oil*, *liquid smoke*, *wood distillates*, *pyroligneous tar*, *pyroligneous acid*, dan *liquid wood*.

*Bio-oil* mempunyai standar warna dari hijau gelap sampai dengan merah gelap mendekati hitam tergantung dari bahan dan proses yang digunakan untuk mendapatkan produk. Asap cair tersusun dari berbagai komponen kimia dari bahan-bahan kimia yang mudah menguap seperti formaldehid, asam asetat, fenol, dan *anhydrosugar*. Berdasarkan penelitian DynaMotive, *bio-oil* yang dihasilkan mempunyai komposisi dan sifat fisik seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6 dan Tabel 7 (Faraq, 2002).

Kualitas dari asap cair dengan warna coklat gelap jika dibandingkan dengan bahan biomassa mempunyai *heating value* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 6 Komposisi Asap cair

No.	Komposisi (% berat)	<i>Bagasse</i>	Kayu <i>Pine/Spruce</i> 53% + 47% Bark	Kayu <i>Pine/Spruce</i> 100%
1.	Air	20,8	24,3	23,3
2.	Lignin	23,5	24,9	24,7
3.	Cellobiosan	-	1,9	2,3
4.	Glyoxal	2,2	1,9	2,3
5.	Hidroksi asetaldehid	10,2	10,2	9,4
6.	Levoglukosan	3,0	6,3	7,3
7.	Formaldehid	3,4	3,0	3,4
8.	Asam format	5,7	3,7	4,6

9.	Asam asetat	6,6	4,2	4,5
10.	<i>Acetol</i>	5,8	4,8	6,6
11.	Tidak diketahui	18,8	14,8	11,6
12.	Total	100	100	100

Tabel 7 Sifat-Sifat Fisik Asap Cair

No.	Sifat Fisik	<i>Bagasse</i>	Kayu <i>Pine/Spruce</i> 53% + 47% Bark	Kayu <i>Pine/Spruce</i> 100%
1.	pH	2,6	2,4	2,3
2.	Air (% berat)	20,8	23,4	23,3
3.	Lignin (% berat)	-	1,9	2,3
4.	Padatan (% berat)	<0,10	<0,10	<0,10
5.	Abu (% berat)	<0,02	<0,02	<0,02
6.	Densitas (kg/L)	1,20	1,19	1,20
7.	Nilai kalor (MJ/kg)	15,4	16,4	16,6
8.	Viskositas kinematik (cST)			
	pada 20°C	57	78	73
	pada 80°C	4,00	4,4	4,3
No.	Bahan Baku			
1.	Kadar air (% berat)	2,1	3,5	2,4
2.	Kadar abu (% berat)	2,9	3,5	0,24

Tabel 8 Perbandingan Nilai Panas Pembakaran Berbagai Asap Cair

No.	Bahan Baku	Nilai Kalor (MJ/kg)
1.	<i>Corn cobs</i>	26,2
2.	<i>Corn stover</i>	24,3
3.	<i>Repeseed</i>	38,4
4.	Bunga matahari	15,9

DynaMotive dan Orenda Aerospace Corporation adalah perusahaan di New Hampshire, Durham, Amerika Serikat telah melakukan penelitian dengan mengoperasikan 2,5 MW mesin turbin dengan menggunakan bahan bakar *bio-oil*. Berdasarkan hasil uji, emisi CO dan partikulat lebih tinggi daripada solar, tetapi hasil uji emisi NO<sub>x</sub> dan SO<sub>2</sub> lebih rendah daripada solar. Tabel

9 menunjukkan perbandingan sifat-sifat antara *bio-oil* dan solar. Nilai kalor *asap cair* sekitar setengah daripada nilai kalor solar. *Bio-oil* yang dihasilkan mempunyai kadar air 20 (%berat). Sehingga *bio-oil* yang dihasilkan bersifat *hydrophilic* dan *immiscible*. Kandungan alkali dalam *asap cair* dapat menyebabkan korosi.

Tabel 9 Perbedaan Sifat-Sifat *Bio-Oil* dengan Solar

No.	Sifat-Sifat	<i>Bio-Oil</i>	Solar
1.	Nilai kalor (MJ/kg)	15-20	42
2.	Viskositas kinematik	78	2-4
3.	pH	2,3-3,3	5
4.	Air	20-25 (% berat)	0,05 (% volum)
5.	Padatan	< 0,1 (% berat)	
6.	Abu	< 0,02	0,01
7.	Alkali (Na+K) ppm	5-100	<1

Tabel 10 menunjukkan perbedaan sifat-sifat *bio-oil*, *light heavy fuel oil*, dan *heavy fuel oil*. *Asap cair* mempunyai nilai kalor viskositas, kadar abu, kadar belerang, kadar nitrogen, dan emisi NO<sub>x</sub> lebih rendah daripada *light fuel oil* dan *heavy fuel oil*. Selain itu, *bio-oil* juga mempunyai keuntungan karena menghasilkan emisi SO<sub>x</sub> dan NO<sub>x</sub> hanya setengah daripada bahan bakar fosil (Faraq, 2000).

Tabel 10 Sifat-Sifat *Bio-Oil*, *Light Fuel Oil*, dan *Heavy Fuel Oil*

No.	Sifat-Sifat	<i>Bio-Oil</i>	<i>Light Fuel Oil</i>	<i>Heavy Fuel Oil</i>
1.	Nilai Kalor (MJ/kg)	16,5	42,3	40,9
2.	Viskositas (cSt) pada 50°C	7	4	50
	pada 80°C	4	2	41
3.	Abu (% berat)	<0,02	<0,01	0,03
4.	Belerang (% berat)	<i>Trace</i>	0,15-0,5	0,5-3
5.	Nitrogen (% berat)	<i>Trace</i>	0	0,3
6.	<i>Pour point</i> (°C)	-33	-15	-18
7.	<i>Turbine</i> NO <sub>x</sub> (g/MJ)	<0,07	1,4	-
8.	<i>Turbine</i> SO <sub>x</sub> (g/MJ)	0	0,28	

## 2.6. Penelitian Terdahulu

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Sensoz dkk (2000) tentang pengaruh ukuran partikel terhadap asap cair hasil pirolisis didapatkan bahwa semakin besar ukuran partikel yang digunakan maka asap cair yang dihasilkan akan semakin banyak. Zanzi dkk (2002) melakukan penelitian tentang rapid pirolisis berbagai macam kayu pada suhu tinggi yang menghasilkan bahwa semakin besar diameter partikel yang digunakan maka char akan semakin sedikit, sedangkan semakin besar suhu yang digunakan maka char yang dihasilkan akan semakin banyak. Penelitian tentang pirolisis yang dilakukan oleh Wijaya dkk (2008) dengan menggunakan bahan baku serbuk gergaji kayu pinus dengan variasi suhu pembakaran yang digunakan yaitu 110, 200, 300, 400, dan 500°C selama 5 jam didapatkan yang dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11 Karakteristik Asap Cair Kayu Pinus pada Berbagai Suhu Pirolisis

Suhu Pirolisis (°C)	Perolehan		
	Yield (% b/b)	pH	Warna
110	10,92	3,45	Merah Cokelat
200	14,46	3,3	Merah Cokelat
300	11,99	3,07	Merah Kehitaman
400	11,32	3,21	Merah Kehitaman
500	0,92	3,26	Hitam

Tabel 12 Komposisi Asap Cair Hasil Pirolisis Kayu Pinus Hasil Deteksi GC-MS

No	Komponen	% Relatif
1	Asap Cair 110°C	
	2 propanon	35,06
	Asam asetat	31,65
	2 Heptanal, 1 pentena, 2 metil butana 1-ol	6,77
	4 Asam pentanoat, 3 asam oktanoat	1,08
2	Asap Cair 200°C	
	2 propanon (CAS) aseton	19,48

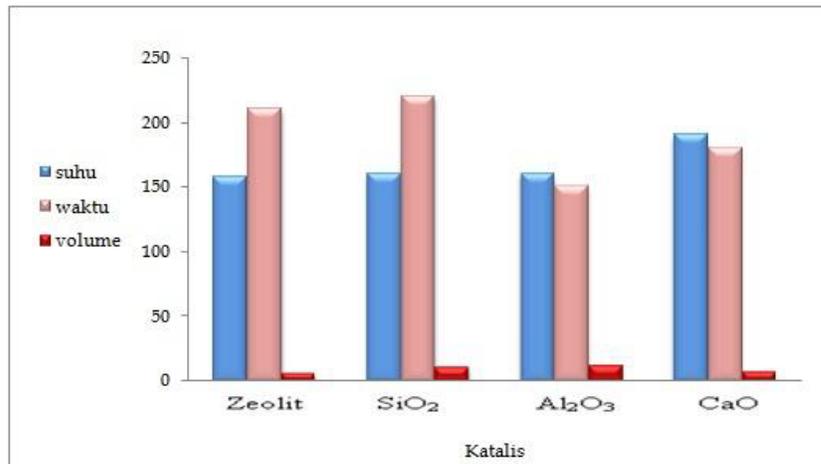
3	Asam isosianat, propil trikloroasetat,	3,18
	2 Asetal tetrazole dan siklobutilamin	17,01
	Asap Cair 300°C	
	2 Propanon , n butana, 1 propena 2 ol	9,02
	Asam isosianat, propil trikloroasetat, 1 Kloroetil asetat	2,88
	Asam asetat	14,09
4	1,3 Benzenadiamin	36,81
	Asap Cair 400°C	
	n-Butana, 1-propena-2 –ol	7,26
	1,3 Benzenadiamin. 4 metil	34,14
5	Asam asetat	19,60
	2 Propanon 1 hidroksi , asetaldehida	15,02
	Asap cair 500°C	
	2 Propanon aseton, 1 propena -2-ol	25,64
	Asam asetat, 1,3 benzenadiamin	29,91
	Furan	4,94
	2 (1H)-Piridin, ekso-2 bromonorboman	3,64

Dari hasil *GC-MS* dapat diketahui kandungan asam asetat dan senyawa lain dalam asap cair kayu pinus masih besar. Berdasarkan Tabel 12 hasil pirolisis yang mempunyai kandungan asam asetat yang terbanyak berada pada suhu pirolisis 110°C. Hal ini disebabkan pada asap cair tersebut mengalami proses dekomposisi hemiselulosa dan selulosa, sehingga diperkirakan banyak asam yang terbentuk. Komposisi produk pirolisis pada suhu rendah dari kayu pinus adalah arang 37,8%, metanol 0,9%, aseton 0,2%, metil asetat 0,01%, asam asetat 3,5%, natrium asetat 8,0%, tar 11,8% dan air 22,3%.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan Febri dkk (2003) tentang pengaruh katalis dalam pengolahan limbah plastic *low density polyethylene (LDPE)* dengan metode pirolisis dengan menggunakan katalis zeolit, silika oksida ( $\text{SiO}_2$ ), aluminium oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), dan kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ) menghasilkan hasil yang tertera pada Gambar 3 dan Tabel 13.

Tabel 13 Hasil Pirolisis Variasi Jenis Katalis

Parameter	Katalis yang digunakan			
	Zeolit	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO
Suhu tetesan pertama (°C)	120	120	120	140
Suhu tetesan terakhir (°C)	158	160	160	190
Total waktu reaksi (menit)	210	220	150	180
Volume produk cair yang diperoleh (mL)	5,6	10	11	6



Gambar 1 Pengaruh Katalis Terhadap Suhu Reaksi, Waktu Reaksi, dan Volume Produk yang Dihasilkan

Berdasarkan data pada Tabel 13 dan Gambar 1, terlihat bahwa katalis zeolit, SiO<sub>2</sub>, dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, suhu reaksinya relatif hampir sama, sedangkan dengan katalis CaO suhu reaksinya lebih tinggi dibanding ketiga katalis tersebut yaitu 190°C. Dilihat dari waktu reaksi prosesnya dengan menggunakan katalis Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dibutuhkan waktu reaksi lebih cepat yaitu 150 menit, sedangkan pada katalis zeolit, SiO<sub>2</sub>, dan CaO waktu reaksinya berturut-turut yaitu 210, 220, dan 180 menit. Berdasarkan volume produk yang dihasilkan, maka katalis Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> menghasilkan produk terbanyak yaitu 11 mL. Jadi dapat disimpulkan bahwa katalis Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> relatif lebih efektif untuk mendegradasi limbah plastik LDPE, dengan jumlah minyak yang dihasilkan sebanyak 11 mL dari 20 g sampel, dengan lama waktu reaksi 150 menit dan suhu degradasinya yang digunakan antara 120 – 160°C.