

**PENGARUH TEMPERATUR PIROLISIS TERHADAP KUALITAS  
DAN *KINETIC RATE* CHAR HASIL PIROLISIS SERBUK KAYU  
MAHONI**

**SKRIPSI  
KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

**HAFIDZ ROSYIDI MUHDHOR**

**NIM. 0910620055-62**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**MALANG**

**2014**

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**PENGARUH TEMPERATUR PIROLISIS TERHADAP KUALITAS  
DAN *KINETIC RATE* CHAR HASIL PIROLISIS SERBUK KAYU  
MAHONI**

**SKRIPSI**

**KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

**HAFIDZ ROSYIDI MUHDHOR**  
**NIM. 0910620055-62**

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

**Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT**

**NIP. 19750802 199903 2 002**

**Khairul Anam, ST., M.SC**

**NIK. 861127 06 3 1 0032**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PENGARUH TEMPERATUR PIROLISIS TERHADAP KUALITAS  
DAN KINETIC RATE CHAR HASIL PIROLISIS SERBUK KAYU  
MAHONI**

**SKRIPSI  
KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
Memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

**HAFIDZ ROSYIDI MUHDHOR  
NIM. 0910620055-62**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada  
tanggal 27 Januari 2014

**DOSEN PENGUJI**

**Penguji I**

**Prof. Ir. Sudjito, Ph.D  
NIP.19470330 198002 1 001**

**Penguji II**

**Agung Sugeng Widodo, ST., MT., Ph.D  
NIP.19710321 199802 1 001**

**Penguji III**

**Ir. Endi Sutikno  
NIP.19590411 198710 1 001**

Mengetahui  
**Ketua Jurusan Teknik Mesin**

**Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng  
NIP.19740121 199903 1 001**

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi di jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya dan sebagai syarat memperoleh gelar sarjana Teknik.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah banyak membantu hingga terselesaikannya skripsi ini, terutama kepada :

1. Bapak Muhammad Muhdhor Zuhdi, Ibu Sumini Muhdhor, dan Ibu Sulastri atas semua yang telah diberikan kepada saya.
2. Bapak Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST.,M.Eng. Selaku dosen wali saya sekaligus sebagai Ketua Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
3. Bapak Purnami, ST., M.T. selaku Sekretaris Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
4. Bapak Agung Sugeng Widodo, ST.,MT., Ph.D. selaku Ketua Kelompok Dosen Konsentrasi Konversi Energi Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
5. Ibu Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST.,MT. dan Bapak Khairul Anam, ST.,M.SC., selaku Dosen Pembimbing I dan II yang telah banyak memberikan bimbingan dalam menyusun skripsi ini.
6. Seluruh Dosen Pengajar dan Staf Administrasi Jurusan Mesin dan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
7. Seluruh Asisten dan Laboran Laboratorium FDM dan Motor Bakar (Hasan, Anas, Kenonk, Andra, Dan Sam Eko) yang telah banyak memberikan bantuan dalam menyusun skripsi ini.
8. Seluruh teman-teman seperjuangan BLACK MAMBA ( M'09 ).
9. Saudara saya Slamet Supriyanto yang telah menemani dalam proses pengambilan data.
10. Semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini, yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak agar

terciptanya karya tulis yang lebih baik . Semoga skripsi ini memberikan manfaat bagi pembaca dan menjadi bahan acuan untuk penelitian selanjutnya.

Malang, Januari 2014

Penulis



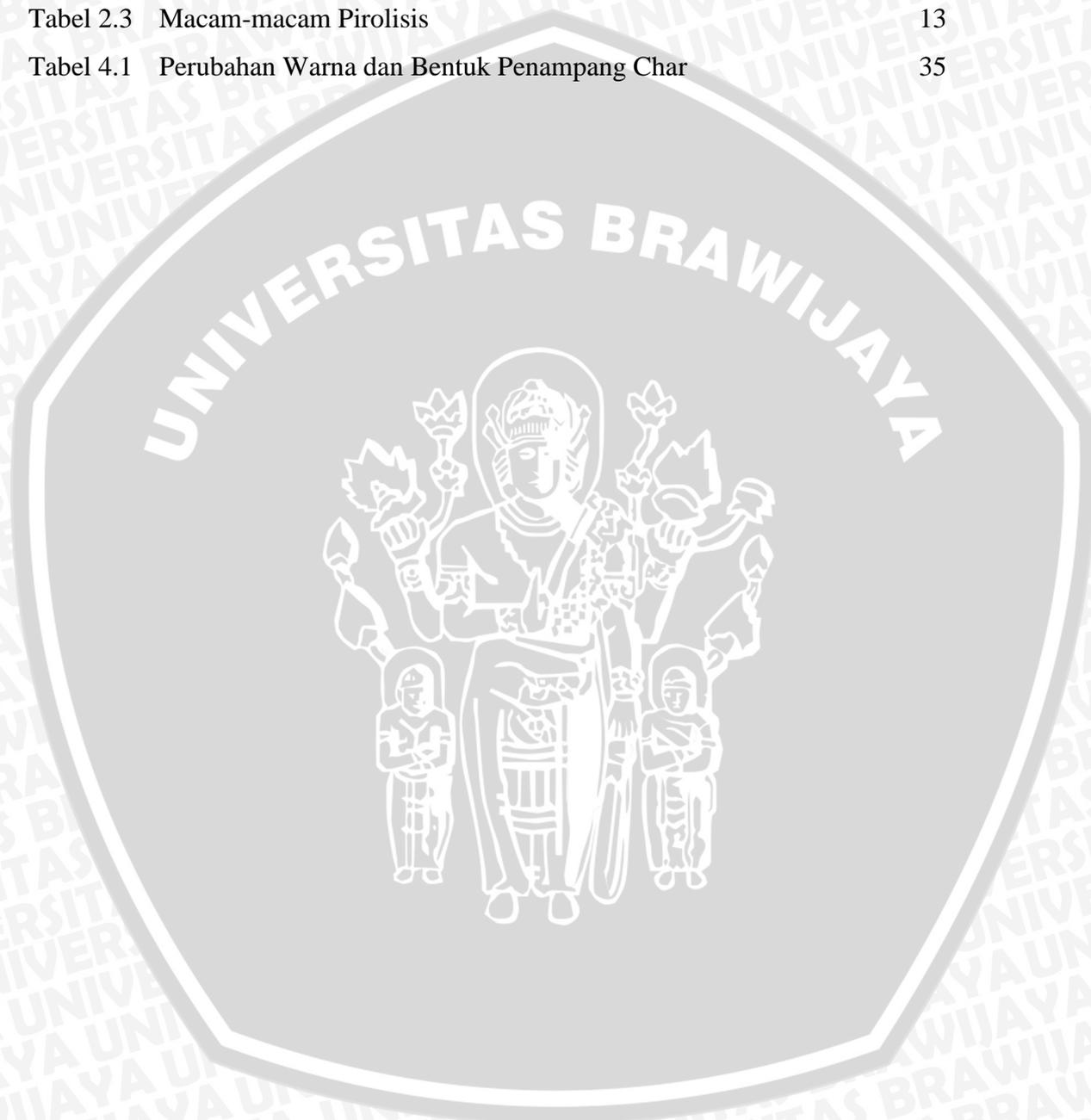
## DAFTAR ISI

	halaman
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	vii
<b>RINGKASAN</b> .....	viii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Penelitian Sebelumnya .....	5
2.2 Biomassa .....	7
2.3 Serbuk kayu .....	9
2.4 Komponen Utama Serbuk Kayu .....	10
2.4.1 Selulosa .....	10
2.4.2 Hemiselulosa .....	11
2.4.3 Lignin .....	11
2.5 Pirolisis .....	12
2.6 <i>Conventional Pyrolysis</i> .....	15
2.7 Char .....	16
2.8 Nilai Kalor .....	16
2.9 <i>Kinetic Rate of Pyrolysis</i> .....	17
2.10 Hipotesa .....	18
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	19
3.1 Metode Penelitian .....	19

3.2 Tempat dan Waktu Pelaksanaan .....	19
3.3 Variabel Penelitian .....	19
3.4 Alat Dan Bahan Penelitian .....	20
3.4.1 Alat Yang Digunakan .....	20
3.4.2 Bahan Yang Digunakan .....	25
3.5 Prosedur Penelitian .....	25
3.6 Diagram Alir Penelitian .....	28
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>29</b>
4.1 Hasil Penelitian .....	29
4.1.1 Data Hasil Penelitian .....	29
4.1.2 Contoh Perhitungan Data .....	29
4.2 Pembahasan .....	30
4.2.1 Analisa Grafik Temperatur Pirolisis Terhadap Massa Char .....	30
4.2.2 Analisa Grafik Temperatur Pirolisis Terhadap Volume Char .....	31
4.2.3 Analisa Grafik Temperatur Pirolisis Terhadap Nilai Kalor Char .....	33
4.2.4 Analisa Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Perubahan Warna dan Bentuk Penampang Char .....	35
4.2.5 Analisa Grafik Persamaan Kinetic Rate Char .....	38
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>41</b>
5.1 Kesimpulan .....	41
5.2 Saran .....	41
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Hasil Penelitian Siew Mei Lim	6
Tabel 2.2	Kandungan Komponen Utama pada Serbuk Kayu	10
Tabel 2.3	Macam-macam Pirolisis	13
Tabel 4.1	Perubahan Warna dan Bentuk Penampang Char	35



## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Contoh Biomassa	7
Gambar 2.2	Pemanfaatan Biomassa Sebagai Sumber Energi	8
Gambar 2.3	Serbuk Kayu Mahoni	10
Gambar 2.4	Dekomposisi Komponen Biomassa	12
Gambar 2.5	Hasil Pirolisis	13
Gambar 2.6	Mekanisme Pirolisis	14
Gambar 2.7	Contoh Skema Alat <i>Conventional Pyrolysis</i>	15
Gambar 2.8	Char Hasil Pirolisis	16
Gambar 3.1	Instalasi Pirolisis	20
Gambar 3.2	<i>Bomb Calorimeter</i>	22
Gambar 3.3	<i>Scanning Electron Microscope</i>	22
Gambar 3.4	<i>Glass Beaker</i>	23
Gambar 3.5	Timbangan Elektrik	24
Gambar 3.12	Diagram Alir Penelitian	28
Gambar 4.1	Grafik Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Massa Char	30
Gambar 4.2	Grafik Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Volume Char	31
Gambar 4.3	Grafik Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Nilai Kalor Char	33
Gambar 4.4	Grafik Hubungan Waktu Terhadap Perubahan Massa Dan Temperatur	38
Gambar 4.5	Grafik Persamaan <i>Kinetic Rate Char</i>	39

## DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1	Data Hasil Penelitian
Lampiran 2	Data Hasil Perhitungan Nilai <i>Rate Constan</i>
Lampiran 3	Data Hasil Pengujian Nilai Kalor, Massa Akhir, dan Volume Akhir



## RINGKASAN

**Hafidz Rosyidi Muhdhor**, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Januari 2014, *Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Kualitas dan Kinetic Rate Char Hasil Pirolisis Serbuk Kayu Mahoni*, Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST.,MT. dan Khairul Anam, ST., M.SC.

Limbah merupakan hasil dari berbagai kegiatan manusia yang umumnya sudah tidak terpakai dan keberadaannya tidak diinginkan atau dibuang. Salah satu limbah hasil kegiatan manusia adalah limbah sisa hasil pemotongan kayu yang berupa serbuk kayu. Serbuk kayu yang banyak dijumpai adalah serbuk kayu mahoni karena kayu mahoni sering digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan rumah, meubel, dan sejenisnya. Berbagai upaya dilakukan untuk menangani permasalahan limbah sisa dari kegiatan pemotongan tersebut, diantaranya dengan mengurangi volume limbah secara langsung menggunakan metode pembakaran tetapi metode ini masih menyisakan zat yang berbahaya bagi lingkungan. Selain itu, kebutuhan akan bahan bakar yang begitu besar dan semakin menipisnya cadangan dari bahan bakar fosil sehingga dibutuhkan metode sederhana yang mampu menangani kedua permasalahan tersebut dan metode yang tepat untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah pirolisis. Pada penelitian ini memakai conventional pyrolysis atau biasa disebut slow pyrolysis dan yang diteliti adalah hasil pirolisis yang berupa padatan atau yang biasa disebut char.

Char dengan kualitas baik adalah char yang mudah dalam proses penyimpanannya dan memiliki nilai kalor yang tinggi. Selain itu diperlukan sebuah metode pendekatan untuk mengetahui proses dekomposisi yang terjadi selama pirolisis. Oleh karena itu dalam penelitian ini menggunakan metode eksperimental diteliti pengaruh temperatur terhadap massa, volume, nilai kalor, visualisasi warna dan bentuk penampang char serta kinetic rate char untuk mengetahui metode pendekatan tentang proses dekomposisi yang terjadi selama pirolisis. Temperatur yang divariasikan adalah 250°C, 350°C, 450°C, 500°C, 600°C, 700°C, dan 800°C. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fenomena Dasar Mesin dan di Laboratorium Motor Bakar Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang. Setelah data diambil kemudian dioalah dengan rumus yang relevan.

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa dengan meningkatnya temperatur pirolisis maka massa dan volume char yang terbentuk akan semakin kecil pada setiap peningkatan variasi temperatur, sedangkan nilai kalornya meningkat. Perubahan warna char juga semakin gelap serta penampangnya semakin terkoyak dengan temperatur yang semakin tinggi. Pada penelitian ini juga dapat diketahui persamaan laju reaksi kinetiknya yaitu  $k_1 = 736494 \exp^{-13580/T}$  pada range temperatur 24°C-250°C,  $k_2 = 0,68 \exp^{-1644/T}$  pada range temperatur 250°C-500°C,  $k_3 = 1,81 \exp^{-2098/T}$  pada range temperatur 500°C-800°C

**Kata Kunci:** Pirolisis, Temperatur, Kualitas, *Kinetic Rate*

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pemanfaatan kayu di hutan sampai saat ini masih dirasakan belum optimal, terbukti masih tingginya limbah kayu sisa dari kegiatan pemotongan. Limbah yang terjadi dari pohon yang ditebang sampai dengan diameter batang minimum 15 cm adalah sebesar 57%. Oleh karena itu langkah-langkah pengelolaan hutan menuju *zero waste* perlu dilakukan.

Berbagai upaya dilakukan untuk menangani permasalahan limbah sisa dari kegiatan pemotongan tersebut, diantaranya dengan mengurangi volume limbah secara langsung menggunakan metode pembakaran. Metode ini hanya dapat mengurangi volume dan massa limbah 75% hingga 80% dari limbah, tetapi masih ada permasalahan dalam penanganan sisa hasil pembakaran limbah ini yaitu produk pembakaran berupa abu dan gas yang dapat mencemari lingkungan. Dengan demikian, metode pembakaran dirasa belum cukup efektif untuk menangani permasalahan limbah sisa pemotongan kayu tersebut.

Salah satu limbah sisa dari kegiatan pemotongan adalah serbuk kayu. Limbah serbuk kayu sendiri tersedia dalam jumlah yang banyak sekitar 38%-43% dari pemotongan kayu. Selama ini limbah kayu hanya dimanfaatkan sebagai media penanaman jamur dan penghara. Padahal pemanfaatan limbah kayu pada pembuatan asap cair dan arang telah mendapat perhatian pada beberapa tahun belakangan ini, yang dapat diproduksi dengan metode pirolisis.

Disisi lain kebutuhan akan bahan bakar yang begitu besar dan semakin menipisnya cadangan dari bahan bakar fosil ini juga memerlukan sebuah inovasi metode alternatif dengan teknologi yang mudah dan sederhana untuk memenuhi kebutuhan akan bahan bakar dan sekaligus dapat menangani masalah penumpukan limbah. Salah satu teknologi yang mudah dan sederhana untuk mengubah limbah menjadi sumber energi alternatif dengan nilai kalor tinggi sekaligus dapat mengurangi massa dan volume sampah adalah pirolisis.

Pirolisis merupakan salah satu teknologi alternatif yang merupakan metode untuk mendapatkan sumber energi hidrokarbon. Teknologi ini adalah teknologi pembakaran tanpa melibatkan O<sub>2</sub> dalam prosesnya. Sumber bahan bakar dari pirolisis ini berasal dari sumber daya yang terbarukan seperti serbuk kayu, sekam padi, kotoran

hewan ternak, dan sebagainya. Disamping sumber daya yang terbarukan, hasil dari pirolisis ini menghasilkan zat yang ramah lingkungan namun memiliki manfaat yang banyak, seperti asap cair, tar, arang dan minyak atsiri.

Salah satu jenis kayu yang bisa dijadikan bahan untuk pirolisis adalah kayu mahoni. Kayu mahoni ini merupakan salah satu jenis kayu keras dikarenakan struktur permukaan kayu yang keras. Untuk sebab itu kayu mahoni sering digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan rumah, meubel, dan sejenisnya. Karena sering banyak digunakan sebagai bahan baku barang jadi maka akan banyak sisa-sisa serbuk kayu yang terbuang. Sisa-sisa serbuk kayu hasil pemotongan maupun pembuatan barang mebel ini yang nantinya akan digunakan sebagai bahan untuk pirolisis dan akan di dekomposisi.

Serbuk kayu mahoni mengandung zat-zat yang dapat didekomposisi. Zat-zat tersebut antara lain *Cellulose*, *Hemicellulose*, dan *Lignin* (Mohan *et al.* 2006). Dari masing-masing zat ini akan mengalami dekomposisi masing-masing pada saat proses pirolisis. Didalam proses pirolisis terdapat zat-zat produk hasil pirolisis. Salah satu zat tersebut adalah char. Char merupakan suatu zat yang termodifikasi pada umumnya dihasilkan dari biomassa dalam reaksi pirolisis, berbentuk padat dan berwarna hitam.

Char ini memiliki banyak keunggulan, antara lain bermanfaat sebagai sumber energi terutama jika dikembangkan menjadi briket dengan teknologi pengepresan (Haji, 2007). Penggunaan briket sebagai bahan bakar sangat menguntungkan, terutama pada saat ini sedang terjadi krisis bahan bakar. Char juga dapat dimanfaatkan sebagai pembangun kesuburan tanah (Gusmailina dan Pari, 2002).

Pirolisis dari serbuk kayu akan menghasilkan dekomposisi yang sangat komplek dan rumit, sehingga perlu adanya pengujian untuk mengetahui *kinetic rate of pyrolysis* agar dapat diketahui seberapa besar laju reaksi kinetik dari proses pirolisis serbuk kayu mahoni. *Kinetic rate of pyrolysis* ini akan mampu memprediksi fenomena dekomposisi dari komponen-komponen yang terkandung dalam biomassa selama proses pirolisis melalui formula matematika. Dengan kata lain proses pirolisis dapat direpresentasikan dalam sebuah persamaan yang akan memberikan informasi kualitatif selama proses berlangsung.

Kualitas dari char sendiri akan dilihat dari nilai kalor char yang dihasilkan dari proses pirolisis. Char hasil pirolisis ini diharapkan mengalami peningkatan nilai kalor dibandingkan sebelum dilakukan proses pirolisis sehingga akan dihasilkan bahan bakar alternatif yang memiliki nilai kalor tinggi yang berasal dari bahan yang banyak dibuang

oleh masyarakat. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan informasi yang lebih tentang dekomposisi yang berlangsung selama proses pirolisis serta menghasilkan char dengan nilai kalor yang tinggi.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, dapat diperoleh rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh temperatur pirolisis terhadap massa dan volume char hasil pirolisis serbuk kayu mahoni?
2. Bagaimana pengaruh temperatur pirolisis terhadap nilai kalor char hasil pirolisis?
3. Bagaimana perubahan warna char dan bentuk penampang char?
4. Bagaimana persamaan *kinetic rate* dari pirolisis serbuk kayu mahoni?

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Biomassa yang digunakan adalah serbuk kayu mahoni.
2. Kondisi *pyrolyzer* dianggap tidak ada kebocoran.
3. Serbuk kayu mahoni sebelum pirolisis mengandung kadar air 0% -2%.
4. Tidak mempelajari produk gas dan cair.
5. Hanya membahas massa, volume, dan nilai kalor char.
6. Tidak mempelajari komposisi kimia char.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah mengetahui pengaruh temperatur pirolisis terhadap pengurangan massa dan volume serta nilai kalor char hasil pirolisis dan juga mendapatkan informasi lebih tentang proses dekomposisi yang terjadi selama proses pirolisis berlangsung.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Agar mahasiswa dapat mengetahui temperatur optimum pirolisis untuk mendapatkan kualitas char hasil pirolisis serbuk kayu mahoni yang baik.
2. Agar mahasiswa mampu memprediksi besarnya reduksi massa serbuk kayu mahoni setelah di pirolisis.

3. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menambah pengetahuan bagi masyarakat tentang proses pirolisis.
4. Agar masyarakat lebih mengerti cara menangani permasalahan penumpukan sampah.
5. Memberikan pengetahuan bahwa ada metode lain yang bisa digunakan untuk meningkatkan bahan bakar.
6. Sebagai dasar maupun literatur penelitian selanjutnya.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Setiawan (2004), meneliti tentang pengaruh temperatur akhir pirolisis terhadap hasil char, energi aktivasi dan karakteristik pembakarannya pada bahan bambu dan plastik kemasan. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa proses pirolisis belum tentu dapat meningkatkan nilai kalor *char* yang dihasilkan. Pada pirolisis bambu proses pengeringan terjadi sampai temperatur 189,1°C, dilanjutkan devolatilisasi sampai temperatur 347,3°C sedangkan nilai kalornya mengalami peningkatan sebesar 55,3% dan *char* yang dihasilkan sebesar 27,63% serta energi aktivasinya  $E_a = 32.391,34$  J/mol. Plastik kemasan lebih baik tidak dipirolisis pada suhu 400°C karena akan terjadi penurunan nilai kalor.

Haji *et al.* (2010), meneliti tentang kualitas arang hasil pirolisis cangkang kelapa sawit. Dari hasil penelitian ini didapatkan rata-rata rendemen arang hasil pirolisis cangkang kelapa sawit pada suhu 378°C adalah sebesar 38,81% (w/w). Hasil karakterisasi menunjukkan arang ini mengandung 4,02% air, 20,44% zat menguap, 17,46% abu, 62,10% karbon terikat, dan nilai kalor 6.118 kalori/g.

Ali *et al.* (2012), meneliti tentang pengolahan sampah plastik menjadi minyak menggunakan proses pirolisis. Penelitian ini menggunakan variasi suhu 250°C, 300°C, 350°C, 400°C, 420°C dan menggunakan variasi waktu 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60 menit. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa plastik HDPE mempunyai nilai  $k = 0,12468$  sedangkan plastik LDPE mempunyai nilai  $k = 0,02004$ .

Slopiecka *et al.* (2011) meneliti tentang studi kinetik pirolisis kayu poplar (*populus L.*) dengan metode *thermogravimetric analysis* (TGA) dengan model Kissinger, Kissinger-Akahira-Sunose (KAS), dan Flynn-Wall-Ozawa (FWO). Penelitian ini menggunakan range temperatur antara 298°K sampai 973°K dengan heating rate 2, 5, 10, 15 °K.min<sup>-1</sup>. Persamaan reaksi kinetik yang dipakai pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

$$\frac{da}{dx} = k T f(\alpha)$$

$$= \frac{m_i - m_a}{m_i - m_f}$$

$$k = A \cdot e^{-E_a/RT}$$

dimana  $E_a$  adalah energi aktivasi,  $T$  adalah temperatur absolut,  $R$  adalah konstanta gas, dan  $A$  adalah pre-exponential faktor. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini dengan model Kissinger  $E_a = 153,92$  kJ/mol dan  $A = 2,14 \times 10^{12}$  min<sup>-1</sup>, sedangkan dengan model FWO didapatkan  $E_a = 158,58$  kJ/mol,  $A = 7,69 \times 10^{13}$  min<sup>-1</sup> dan dari model KAS didapatkan  $E_a = 157,17$  kJ/mol,  $A = 1,69 \times 10^{13}$  min<sup>-1</sup>.

Wanegaar *et al.* (1990), meneliti tentang *kinetic rate of pyrolysis* dari batang kayu cemara dengan *flash pyrolysis* dengan metode *thermogravimetric analysis* (TGA). Penelitian ini menggunakan range temperatur 300°C sampai 600°C dengan selang 50°C. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa batang kayu cemara mempunyai nilai  $k = 1,4 \times 10^4$  dan  $E_a = 150$  kJ/mol.

Lim *et al.* (2005), meneliti tentang efek pada pirolisis beberapa jenis kayu secara non-isothermal. Penelitian ini memakai metode *thermogravimetry analysis* (TGA) dengan *heating rate* 12°C/min dan hasil yang didapatkan adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1 Hasil Penelitian Siew Mei Lim

Material	Temperature Range (°C)	$\alpha$		Activation Energy E (kJ/mol)	Frequency Factor A (min <sup>-1</sup> )
		$W_i$ (%)	$W_f$ (%)		
Balau B(N)	210-310	90.69	77.44	139.17	4.643E09
	310-370	77.44	29.09	199.40	2.062E13
	370-550	29.09	10.65	100.70	1.900E03
Durian D(N)	230-320	87.30	70.18	171.63	5.029E12
	320-400	70.18	18.54	212.04	1.509E14
	400-550	18.54	7.436	110.85	1.001E04
Kapur K(N)	210-300	92.25	79.78	150.10	8.080E10
	300-390	79.78	34.65	169.65	9.912E10
	390-550	34.65	28.14	85.69	2.149E02
Meranti M(N)	220-310	87.24	74.86	148.03	3.534E10
	310-400	74.86	33.45	171.46	5.885E10
	400-550	33.45	26.22	93.13	7.002E02

## 2.2 Biomassa

Biomassa adalah bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintetik, baik berupa produk maupun buangan. Contoh biomassa antara lain adalah tanaman, pepohonan, rumput, ubi, limbah pertanian, limbah hutan, tinja dan kotoran ternak. Selain digunakan untuk tujuan primer serat, bahan pangan, pakan ternak, miyak nabati, bahan bangunan dan sebagainya, biomassa juga digunakan sebagai sumber energi (bahan bakar). Umum yang digunakan sebagai bahan bakar adalah biomassa yang nilai ekonomisnya rendah atau merupakan limbah setelah diambil produk primernya.

Sumber energi biomassa mempunyai beberapa kelebihan antara lain merupakan sumber energi yang dapat diperbaharui (*renewable*) sehingga dapat menyediakan sumber energi secara berkesinambungan (*sustainable*). Di Indonesia, biomassa merupakan sumber daya alam yang sangat penting dengan berbagai produk primer sebagai serat, kayu, minyak, bahan pangan dan lain-lain yang selain digunakan untuk memenuhi kebutuhan domestik juga diekspor dan menjadi tulang punggung penghasil devisa negara.

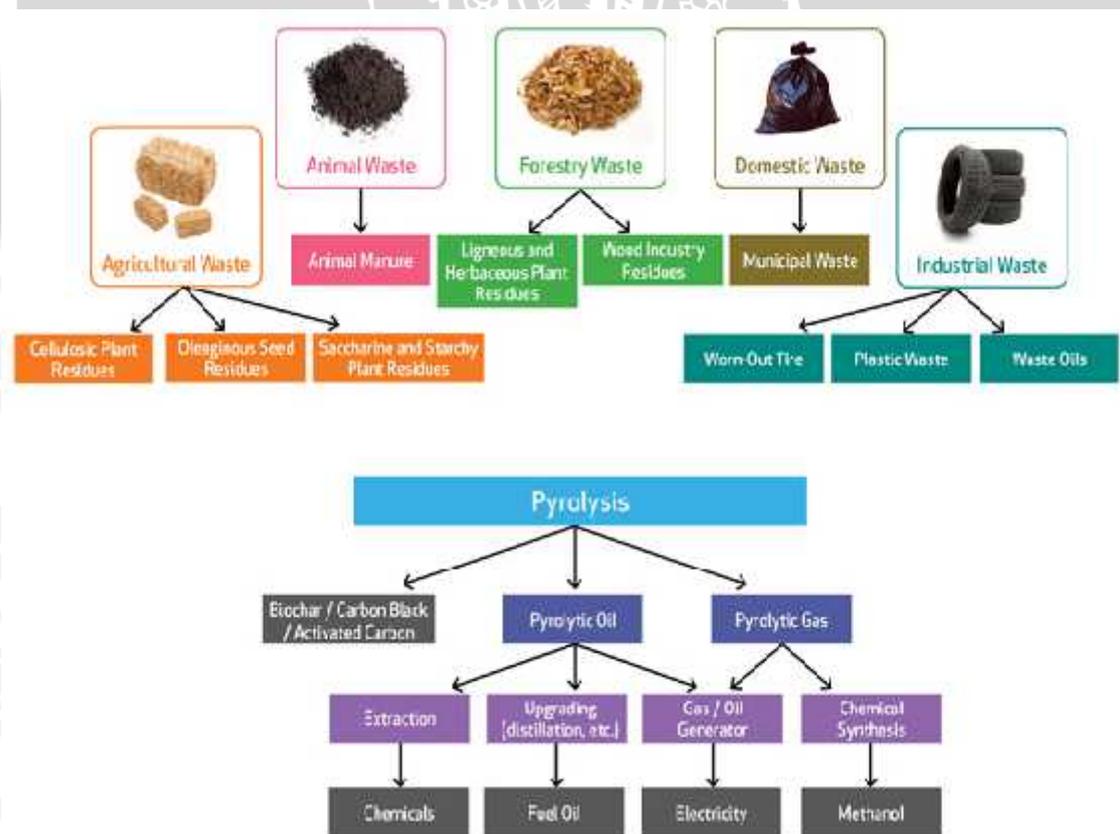
Menurut ZREU 2000 Indonesia menghasilkan 146.700.000 ton biomassa tiap tahunnya. Limbah yang berasal dari hewan maupun tumbuhan semuanya potensial untuk dikembangkan. Tanaman pangan dan perkebunan menghasilkan limbah yang cukup besar, yang dapat dipergunakan untuk keperluan lain seperti bahan bakar nabati. Pemanfaatan limbah sebagai bahan bakar nabati memberi tiga keuntungan langsung. Pertama, peningkatan efisiensi energi secara keseluruhan karena kandungan energi yang terdapat pada limbah cukup besar dan dapat diperbarui. Kedua, penghematan biaya, karena seringkali membuang limbah bisa lebih mahal dari pada memanfaatkannya. Ketiga, mengurangi keperluan akan tempat penimbunan sampah karena penyediaan tempat penimbunan akan menjadi lebih sulit dan mahal, khususnya di daerah perkotaan.



Gambar 2.1 Contoh biomassa  
Sumber : Boedmade, 2011

Agar biomassa bisa digunakan sebagai bahan bakar maka diperlukan teknologi untuk mengkonversinya. Terdapat beberapa teknologi untuk konversi biomassa, dijelaskan pada Gambar 2.2. Teknologi konversi biomassa tentu saja membutuhkan perbedaan pada alat yang digunakan untuk mengkonversi biomassa dan menghasilkan perbedaan bahan bakar yang dihasilkan.

Secara umum teknologi konversi biomassa menjadi bahan bakar dapat dibedakan menjadi tiga yaitu pembakaran langsung, konversi termokimiawi dan konversi biokimiawi. Pembakaran langsung merupakan teknologi yang paling sederhana karena pada umumnya biomassa telah dapat langsung dibakar. Beberapa biomassa perlu dikeringkan terlebih dahulu dan didensifikasi untuk kepraktisan dalam penggunaan. Konversi termokimiawi merupakan teknologi yang memerlukan perlakuan termal untuk memicu terjadinya reaksi kimia dalam menghasilkan bahan bakar. Sedangkan konversi biokimiawi merupakan teknologi konversi yang menggunakan bantuan mikroba dalam menghasilkan bahan bakar.



Gambar 2.2 Pemanfaatan biomassa sebagai sumber energi  
 Sumber : Merkez ofis, 2011

Salah satu jenis biomassa yang banyak dijumpai dan memakan banyak tempat penimpunan adalah serbuk kayu. Limbah serbuk kayu banyak melimpah dikarenakan kayu yang akan digunakan atau dibentuk harus diharuskan terlebih dahulu sehingga mengharuskan untuk membuang permukaan kayu supaya menjadi lebih halus dan bisa dibentuk. Hasil sisa penghalusan permukaan kayu inilah yang dikatakan sebagai limbah kayu karena setelah melakukan penghalusan, sisa-sisa hasil penghalusan akan dibuang begitu saja.

### 2.3 Serbuk kayu

Serbuk kayu merupakan limbah yang banyak dibuang dari sisa-sisa penebangan kayu maupun sisa-sisa pembuatan bahan jadi yang terbuat dari kayu. Serbuk kayu selama ini hanya dimanfaatkan untuk media tanam untuk jamur dan juga untuk bahan baku pembuatan pakan ternak.

Serbuk kayu ini memiliki potensi untuk diubah menjadi ke dalam bentuk yang lebih berguna apabila diproses dengan benar seperti misalnya bisa dijadikan sebagai bahan bakar. Serbuk kayu juga mudah didapatkan masyarakat luas karena merupakan salah satu limbah yang sering ditemui.

Karakteristik dari hasil pirolisis kayu tergantung dari jenis kayu apakah kayu keras atau kayu lunak yang di pirolisis. Pada jenis kayu keras kondisinya tidak tepat untuk diidentifikasi sebagai jenis pohon dalam kelas *angeospermae*. Pada kondisi kayu lunak dapat diidentifikasi masuk dalam jenis kelas *gymnospermae*. (Mohan et al, 2006).

Di dalam kayu terdapat kandungan yang bisa dimanfaatkan lebih dari sekedar media tanam untuk jamur. Berdasarkan struktur kimianya kayu tersusun atas selulosa, lignin dan hemiselulosa. Struktur-struktur kimia tersebut kemudian terdekomposisi menjadi senyawa-senyawa lainnya. Masing-masing jenis kayu memiliki komposisi penyusun yang berbeda-beda.

Salah satu jenis kayu yang bisa dijadikan bahan untuk pirolisis adalah kayu mahoni. Kayu mahoni ini merupakan salah satu jenis kayu keras dikarenakan struktur permukaan kayu yang keras. Untuk sebab itu kayu mahoni sering digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan rumah, meubel, dan sejenisnya. Karena sering banyak digunakan sebagai bahan baku barang jadi maka akan banyak sisa-sisa kayu yang terbuang. Sisa-sisa kayu hasil penebangan maupun pembuatan barang mebel ini yang nantinya akan digunakan sebagai bahan untuk pirolisis dan akan di dekomposisi.

Serbuk kayu mahoni mengandung 3 unsur utama yang bisa dimanfaatkan untuk dijadikan produk pirolisis. Unsur-unsur tersebut adalah selulosa, hemiselulosa dan lignin. Serbuk kayu mahoni termasuk dalam jenis *Hardwood* dikarenakan struktur dari daun mahoni berbentuk seperti jarum sehingga dapat digolongkan ke dalam jenis *Hardwood*. Untuk kayu jenis *Hardwood* memiliki kandungan zat kimia berupa *lignin*, *cellulose*, dan *hemicellulose*.

Tabel 2.2 Kandungan Komponen Utama pada Serbuk Kayu

No	Jenis Serbuk Kayu	Selulosa (%)	Hemiselulosa (%)	Lignin (%)
1	<i>Softwood</i>	41	24	28
2	<i>Hardwood</i>	39	35	20



Gambar 2.3 Serbuk Kayu Mahoni

## 2.4 Komponen utama serbuk kayu

### 2.4.1 Selulosa

Selulosa merupakan polisakarida berantai panjang yang tersusun dari unit glukosa. Dalam bentuk piranosa yang berhubungan satu dengan yang lainnya melalui ikatan 1,4 glukosidik. Rumus molekul selulosa adalah  $(C_6H_{10}O_5)_n$ . Berat molekul selulosa sekitar 2500.000-1.000.000 atau lebih dan umumnya tiap molekul selulosa sekurang-kurangnya terdiri dari 1.500 satuan glukosa. (Mohan *et al*, 2006).

Selulosa merupakan salah satu substansi *macromolecular* yang termasuk dalam gugus polisakarida. Selulosa akan mengalami dekomposisi pada suhu antara 580 K –

630 K. Selulosa akan mengalami dekomposisi menjadi *anhydrocellulose* dan *levoglucosan*

#### 2.4.2 Hemiselulosa

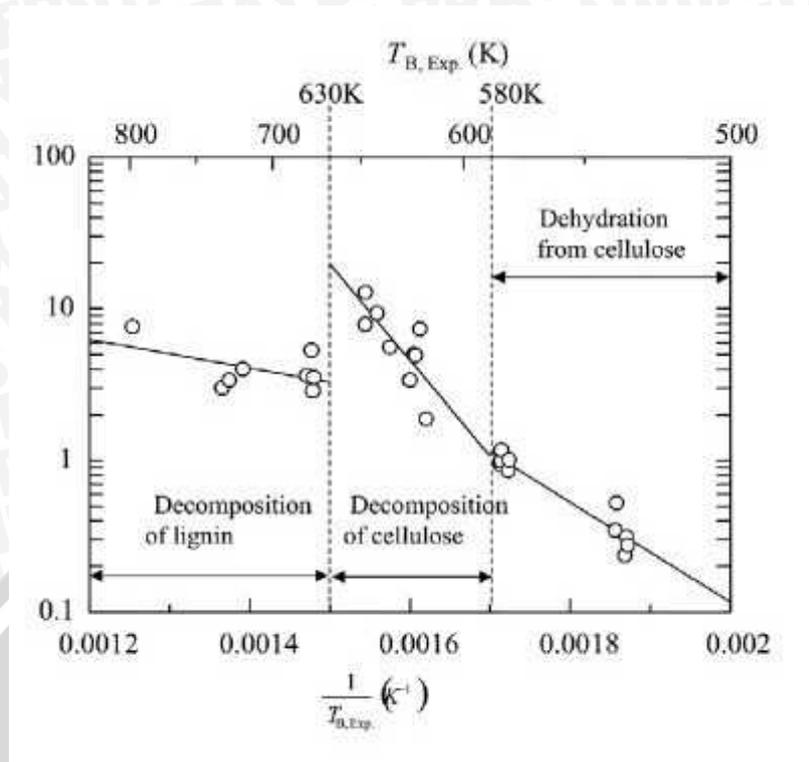
Hemiselulosa merupakan polimer amorf yang berasosiasi dengan selulosa dan lignin. Sifatnya mudah mengalami depolimerisasi, hidrolisis oleh asam, basa, mudah larut air. Memiliki ikatan dengan lignin lebih kuat dari pada ikatan dengan selulosa dan mudah mengikat air. (Mohan *et al*, 2006)

Hemiselulosa yang juga disebut sebagai *polyose*. Kandungan hemiselulosa pada serbuk kayu mahoni umumnya sebesar 25%-35% dari berat serbuk kayu kering, 28% di dalam serbuk kayu yang lunak, 35% di dalam serbuk kayu yang keras (Mohan *et al*. 2006). Hemiselulosa akan terdekomposisi pada suhu 500 K-580 K pada proses *pyrolysis*.

Jumlah monosakarida karbon-5 lebih banyak dibandingkan monosakarida karbon-6 dan rumus molekul rata-ratanya adalah  $(C_5H_8O_4)_n$ . Karena derajat polimerisasi ( $n$ ) hemiselulosa adalah antara 50 sampai 200, yaitu lebih kecil dari selulosa, maka ia lebih mudah terurai dibandingkan selulosa, dan kebanyakan hemiselulosa dapat larut dalam larutan alkali. Hemiselulosa yang umum adalah xilosa, yang terdiri atas xilosa dengan ikatan 1, 4. Hemiselulosa yang lain adalah glukomanan, tetapi semua hemiselulosa beragam jumlahnya bergantung pada jenis pohon dan juga bagian tumbuhan itu sendiri (Jie, 2002).

#### 2.4.1 Lignin

Kandungan ketiga yang umumnya terkandung pada serbuk kayu mahoni adalah *lignin*. *Lignin* merupakan senyawa dimana unit komponennya, fenilpropana dan turunannya, terikat secara 3 dimensi. Strukturnya kompleks dan memiliki rumus molekul  $C_9H_{10}O_2(OCH_3)$ . Struktur 3 dimensi yang kompleks ini menyebabkan ia sulit untuk diuraikan oleh mikroorganisme dan bahan-bahan kimia. Kadar dari *lignin* di dalam serbuk kayu ini sendiri adalah 23%-33% dari berat serbuk kayu halus dan 16%-25% dari berat serbuk kayu keras. *Lignin* adalah komponen biomassa yang paling susah terdekomposisi dan akan terdekomposisi pada suhu tinggi, Lignin ini akan mengalami dekomposisi pada suhu 630 K-1073 K.

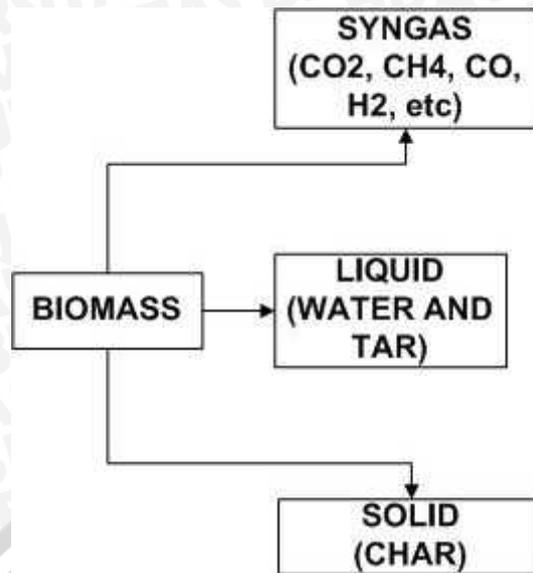


Gambar 2.4 Dekomposisi Komponen Biomassa  
Sumber : Widya Wijayanti *et al*, 2012

## 2.5 Pirolisis

Pirolisis adalah dekomposisi termal dari bahan bakar menjadi cairan (tar), gas, dan arang padat (char) dengan keadaan tanpa atau jumlah oksigen yang ikut dalam proses sangat sedikit. Produk pirolisis dapat digunakan sebagai bahan bakar secara langsung atau juga bisa ditingkatkan kualitasnya sehingga bisa dimanfaatkan lebih baik. Produk-produk ini merupakan hasil dekomposisi dari senyawa-senyawa yang terkandung di dalam bahan bakar. Proses pirolisis ini melakukan dekomposisi pada suhu tinggi. Pada umumnya proses dekomposisi pada pirolisis dimulai pada suhu di atas 200°C dan akan berakhir di suhu 450°C-500°C tergantung dari jenis bahan bakar yang digunakan.

Dekomposisi dari zat/material dalam hal ini akan memakan waktu yang cukup lama tergantung dari besar laju pemanasan yang digunakan. Laju pemanasan ini akan mempengaruhi produk dari proses pirolisis. Senyawa yang terkandung di dalam serbuk kayu membutuhkan waktu untuk membentuk ikatan dan membentuk senyawa baru.



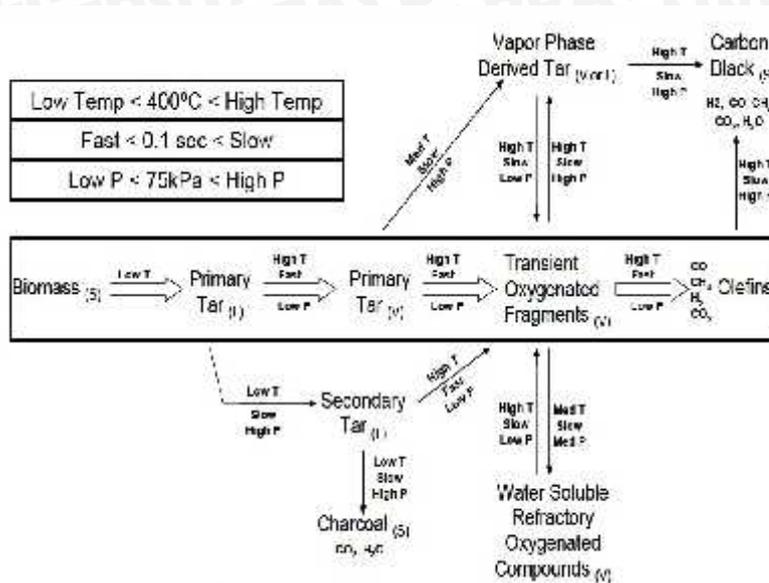
Gambar 2.5 hasil pirolisis

Menurut temperatur operasi yang digunakan dan waktu tinggal (*residence time*), pirolisis terbagi menjadi 3 yaitu *conventional/slow pyrolysis*, *fast pyrolysis*, dan *flash pyrolysis*.

Tabel 2.3 Macam – Macam Pirolisis

pyrolysis process	heating velocity [°C/s]	residence time [s]	main product(s)
slow	$\ll 1$	300 – 1800	char gas, oil, char
fast	500 – 100000	0.5 – 5	oil
flash	$> 10^5$	$< 1$ $< 1$ $< 0.5$	oil gas gas

Sumber : Meijer (2001)



Gambar 2.6 Mekanisme Pirolisis  
Sumber : Samy Sadaka, 2007

#### a. Slow/Conventional Pyrolysis

*Slow pyrolysis* (pirolisis lambat) dari biomasa dilakukan pada laju pemanasan kurang dari  $1^{\circ}\text{C}/\text{s}$ . Mekanisme reaksi yang terjadi dan produk yang dihasilkan sangat berbeda dengan *fast* dan *flash pyrolysis*. Banyak produk berharga yang dihasilkan selama *slow pyrolysis*. Produk utama yang dihasilkan selama *slow pyrolysis* adalah *char* dan *bio-oil*. *Char* dapat digunakan sebagai bahan bakar dalam aplikasi pembakaran. Selain *bio-oil* dan *char*.

Produk-produk Non-combustible, seperti  $\text{CO}_2$ , senyawa organik, dan uap air, dihilangkan pada temperatur antara  $100^{\circ}\text{C}$  dan  $200^{\circ}\text{C}$ . Di atas temperatur  $200^{\circ}\text{C}$ , terjadi pemecahan stuktur komponen bahan organik menjadi gas dengan massa molekul yang rendah (*volatile*) dan *char* karbon. Pada temperatur  $500^{\circ}\text{C}$  semua *volatile* hilang, yang tersisa adalah *char* (Beall & Eickner, 1970).

#### b. Fast Pyrolysis

Laju pemanasan yang digunakan antara  $500$  hingga  $10^{50}\text{C}/\text{s}$ . Ukuran spesimen yang digunakan  $2\text{ mm}$  agar panas lebih cepat merata dan waktu pemanasan yang digunakan relatif cepat yaitu  $0,5-5$  detik.

Untuk menghasilkan produk cair yang maksimal, temperatur yang diperlukan kira-kira  $500^{\circ}\text{C}$ , ukuran partikel biomassa ( $<2\text{mm}$ ), kelembaban ( $<10\%$ ) dan uap harus segera dipisahkan dari *char* mencegah reaksi sekunder yang menyebabkan terbentuknya produk gas (Bridgwater, 2004; Kersten et al, 2005). Hasil dari proses pirolisis cepat

adalah 60-75% bio-oil, 15-25% char, dan 10-20% *non-condensable gas*, tergantung pada bahan baku yang digunakan (Mohan *et al*, 2006).

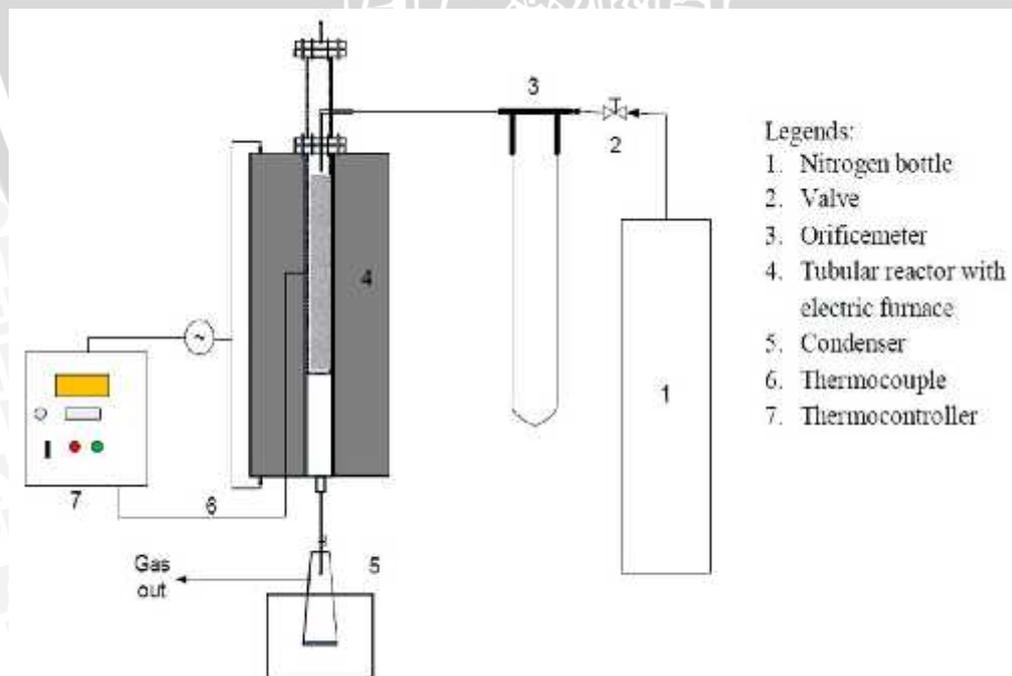
### c. Flash Pyrolysis

Karakteristik dari flash pyrolysis yaitu laju pemanasan yang sangat cepat yaitu lebih besar dari  $10^{50}\text{C/s}$ . Jika dibandingkan dengan *slow pyrolysis*, char dan gas yang dihasilkan lebih sedikit. Pada pirolisis tipe ini dihasilkan tar yang lebih banyak.

## 2.6 Conventional Pyrolysis

*Conventional pyrolysis* atau yang bisa disebut *slow pirolisis* merupakan salah satu jenis pirolisis yang sudah lama digunakan. Laju pemanasan di dalam *Conventional pyrolysis* terbilang kecil jika dibandingkan dengan *fast pyrolysis* untuk sebab itu dikatakan sebagai *slow pyrolysis*. Pada proses *conventional pyrolysis*, laju pemanasan yang digunakan antara 0,1-2 K/s (Desideru *et al*, 2011).

Metode pirolisis jenis ini memiliki keunggulan yaitu temperatur pemanasan pirolisis yang lebih rendah dari *fast pyrolysis* sehingga mempengaruhi biaya yang dikeluarkan juga kalor yang didapat untuk melakukan proses pirolisis membutuhkan bahan baku yang lebih sedikit apabila bahan bakar berasal dari arang ataupun bahan bakar lainnya.



Gambar 2.7 Contoh Skema Alat *Conventional Pyrolysis*  
Sumber : Lutfi Lailunnazar, 2013

## 2.7 Char

Char merupakan salah satu zat yang dihasilkan dari proses pirolisis serbuk kayu. Char ini berwarna gelap hitam, berbentuk padat yang banyak mengandung unsur karbon (C). Nama lain dari char adalah *bio-char*, *solid residue of pyrolysis*. Char terbentuk dari depolimerisasi dari selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Char memiliki banyak keunggulan antara lain untuk menyuburkan tanah serta sebagai bahan bakar padat.

Kualitas char dapat dilihat dari massa, volume, dan nilai kalornya. Metode pirolisis akan membuat serbuk kayu yang memakan banyak tempat pembuangan dan memiliki nilai kalor yang rendah akan menjadi sebuah bahan bakar padat yang memiliki nilai kalor tinggi tetapi mengurangi massa dan volumenya sehingga tidak memakan banyak tempat penyimpanan. Char dengan volume dan massa yang besar tetapi nilai kalornya tinggi adalah char dengan kualitas tinggi.



Gambar 2.8 Char hasil pirolisis

## 2.8 Nilai Kalor

Nilai kalor merupakan besar energi yang dapat dilepaskan oleh suatu bahan bakar. Nilai kalor ini dapat menunjukkan kualitas dari suatu bahan bakar. Semakin besar nilai kalor dari suatu bahan bakar berarti ini menunjukkan semakin besar pula energi panas yang dapat dilepaskan untuk melakukan proses pembakaran maupun pemindahan kalor.

Nilai kalor rendah (LHV, *Lower Heating Value*) adalah jumlah energi yang dilepaskan dalam proses pembakaran suatu bahan bakar dimana kalor latendari uap air tidak diperhitungkan atau setelah terbakar temperatur gas pembakarandibuat 150°C. Pada temperatur ini air berada dalam kondisi fasa uap. Jika jumlah kalor laten uap air diperhitungkan atau setelah terbakar temperatur gas hasil pembakaran dibuat 25°C maka akan diperoleh nilai kalor atas (HHV, *Higher Heating Value*). Pada temperatur ini air

akan berada dalam kondisi fasa cair. Salah satu cara untuk mengukur nilai kalor suatu bahan bakar adalah dengan menggunakan bomb kalorimeter. Caranya adalah dengan membakar bahan bakar yang akan diuji menggunakan arus listrik, kemudian mencatat kenaikan suhu yang terjadi pada kalorimeter kemudian membandingkannya dengan standar asam benzoat untuk mendapatkan nilai kalor bahan bakar tersebut.

$$\text{Nilai Kalor} = \frac{EE \times \Delta T - \text{Acid} - (\text{Fulse})}{\text{massa Char}} \quad (2-1)$$

dimana :

Acid = sisa abu (gram) = 1 gram = 10 kal/gram

Fulse = sisa kawat (cm) = 1 cm = 1 kal/gram

EE = konstanta benzoid (kal/gram°C) = 2401,459 kal/gram°C

### 2.9 Kinetic Rate of Pyrolysis

Pirolisis dari serbuk kayu akan menghasilkan dekomposisi yang sangat komplek dan rumit, sehingga diperlukan sebuah metode pendekatan untuk memprediksi pengurangan massa yang terjadi akibat dekomposisi komponen dari serbuk kayu. Penelitian ini akan menggunakan metode *Kinetic Rate of Pyrolysis*. *Kinetic Rate of Pyrolysis* adalah sebuah metode untuk mengetahui seberapa besar reduksi massa dari serbuk kayu mahoni, persamaan dari metode ini adalah sebagai berikut :

$$\frac{dW}{dt} = kW$$

maka dengan mempertimbangkan proses penurunan massa pada proses pirolisis, didapatkan

$$\frac{dW}{dt} = k \frac{W - W_{\infty}}{W_{\max} - W} \quad (2-2)$$

$$k = A \cdot e^{a/T} \quad (2-3)$$

dimana :

dW = perubahan massa (gram)

dt = perubahan waktu (s)

k = rate constant (gram/s)

- $W$  = massa biomassa pada waktu tertentu (gram)  
 $W$  = massa biomassa pada akhir proses (gram)  
 $W_{\max}$  = massa biomassa pada awal sebelum pirolisis (gram)  
 $a$  = slope  
 $A$  = *pre-exponential factor* (m/s)

### 2.10 Hipotesa

Semakin tinggi temperatur pirolisis pada *conventional pyrolysis* maka semakin banyak kandungan dari serbuk kayu mahoni yang terdekomposisi sehingga volume dan massanya akan semakin kecil sedangkan nilai kalornya akan semakin meningkat. Adanya hubungan yang lebih lanjut antara pengurangan massa dan *kinetic rate* yang merupakan fungsi temperatur akan mempunyai persamaan tertentu.



## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Metode Penelitian

Metode yang akan digunakan di dalam penelitian ini adalah metode penelitian nyata (*true experimental research*). Jenis penelitian ini dapat dipergunakan untuk menguji suatu perlakuan dengan membandingkannya dengan perlakuan lainnya.

#### 3.2 Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Penelitian ini dilakukan pada bulan Oktober-November 2013. Tempat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Laboratorium Fenomena Dasar Mesin, Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang, untuk melakukan pirolisis terhadap serbuk kayu mahoni.
2. Laboratorium Motor Bakar, Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang, untuk mengukur nilai kalor spesimen.

#### 3.3 Variabel Penelitian

Di dalam penelitian ini terdapat 3 variabel yang dipergunakan, antara lain:

##### a. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang nilainya kita tentukan. Adapun variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah temperatur pemanasan pada saat proses pirolisis yaitu 250°C, 350°C, 450°C, 500°C, 600°C, 700°C dan 800°C.

##### b. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besar nilainya tergantung pada nilai dari variabel bebasnya. Variabel terikat yang diamati dalam penelitian pirolisis ini adalah massa char, volume char, *kinetic rate of pyrolysis*, dan nilai kalor char.

##### c. Variabel terkontrol

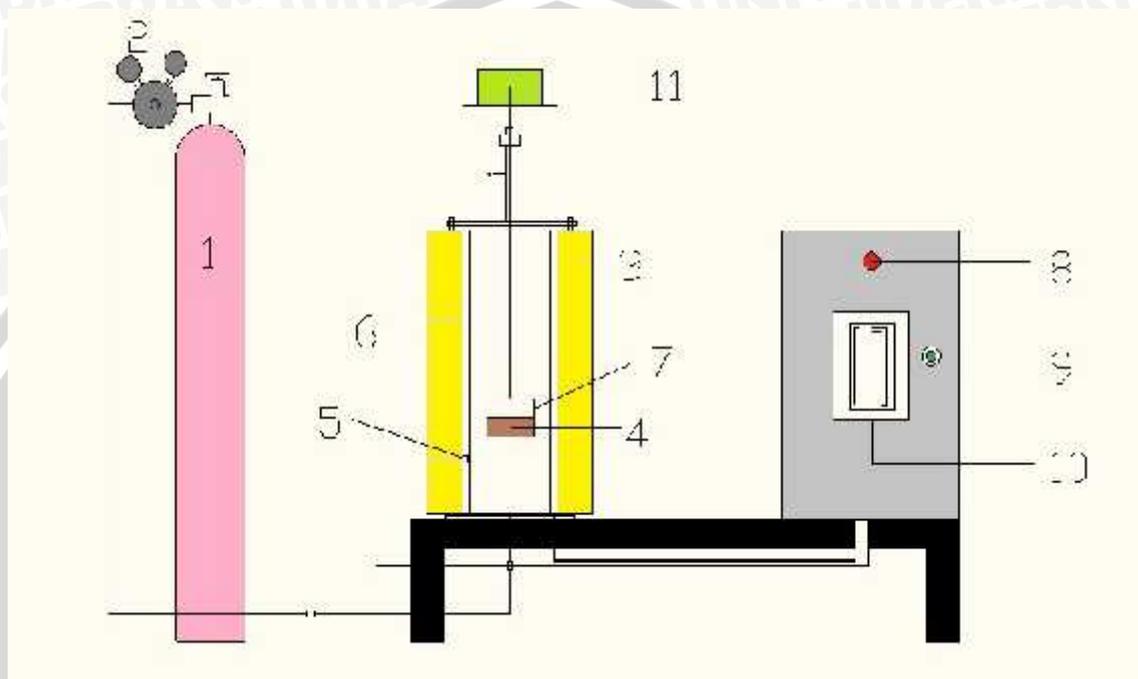
Variabel terkontrol adalah variabel yang ditentukan oleh peneliti dan nilainya dikondisikan konstan. Dalam penelitian ini variabel terkontrolnya adalah laju pemanasan kurang dari 0,50 °C/detik.

### 3.4 Alat Dan Bahan Penelitian

#### 3.4.1 Alat Yang Digunakan

##### 1. Instalasi Pirolisis

Instalasi ini berfungsi untuk mem-pirolisis bahan baku yang dimana dalam hal ini serbuk kayu sebagai bahan utama. Serbuk kayu dimasukkan ke dalam *pyrolyzer* dan kemudian akan diatur suhu pemanasannya.



Gambar 3.1 Instalasi Pirolisis

Keterangan Gambar :

1. Tabung Gas N<sub>2</sub>
2. *Pressure Gauge*
3. Isolator (rock woll)
4. Spesimen
5. *Thermocouple*
6. Pemanas
7. Tempat spesimen (cawan)
8. *Light indicator*
9. Potensiometer
10. *Thermocontroler*
11. Timbangan elektrik

## 2. Bomb Calorimeter

*Bomb Calorimeter* merupakan alat yang digunakan untuk mendapatkan nilai kalor dari suatu bahan bakar.

Spesifikasi :

- Pemanas Air
  - Tegangan : 230 Volt
  - Frekuensi : 50/60 Hz
  - Max. Fuse : 4 Amps
  - Merk : PARR
  - Negara Pembuat : USA
- Cooler
  - Tegangan : 230 Volt
  - Frekuensi : 50/60 Hz
  - Max. Fuse : 2 Amps
  - Merk : PARR
  - Negara Pembuat : USA
- Auto Charger
  - Tegangan : 115 Volt
  - Frekuensi : 50/60 Hz
  - Max. Fuse : 3,3 Amps
  - Merk : PARR
  - Negara Pembuat : USA



Gambar 3.2 *Bomb Calorimeter*

Sumber : Laboratorium motor bakar jurusan Mesin FT-UB

3. *Scanning Electron Microscope (SEM)*

*Scanning Electron Microscope (SEM)* adalah alat yang digunakan untuk melihat bentuk penampang char hasil pirolisis.



Gambar 3.3 *Scanning Electrone Microscope*

Sumber : Laboratorium *Fatigue* jurusan Mesin FT-UB

#### 4. Glass Beaker

*Glass Beaker* merupakan wadah bagi spesimen uji dan akan diletakkan ke dalam ruang pemanas *pyrolyzer*.

Spesifikasi :

- Merk : Pyrex
- Kapasitas : 1000 ml



Gambar 3.4 *Glass Beaker*

#### 5. Timbangan Elektrik

Alat ini berfungsi untuk mendapatkan massa dari suatu benda. Di dalam penelitian ini timbangan elektrik digunakan untuk menimbang massa spesimen untuk pengujian, menimbang massa char hasil pirolisis.

Spesifikasi :

- Merk : ACIS BC 500
- Kapasitas Maksimal: 500 gram



Gambar 3.5 Timbangan Elektrik

Sumber : Laboratorium Motor Bakar Jurusan Mesin FT-UB

#### 6. *Moisture Analyzer*

Di dalam penelitian ini *Moisture Analyzer* digunakan untuk mengukur kadar air dari sampel spesimen uji.

Spesifikasi :

- Merk : Sartorius
- Arus : 3,3 A / 1,6 A
- Voltase: 100 - 120 / 220 – 290 VAC
- Model : MA 30
- Frekuensi : 50-60 Hz



Gambar 3.6 Moisture analyzer

Sumber : Laboratorium Pengecoran Logam Jurusan Mesin FT-UB

### 3.4.2 Bahan Yang Digunakan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah serbuk kayu mahoni yang didapat dari tempat pemotongan kayu di daerah Pagak Malang selatan Kabupaten Malang.

### 3.5 Prosedur Penelitian

a. Prosedur penelitian meliputi persiapan yaitu:

1. Menyaring serbuk kayu mahoni

Serbuk kayu mahoni disaring agar bersih dari kotoran-kotoran yang menyertainya.

2. Mengeringkan serbuk kayu mahoni

Serbuk kayu mahoni ini dimasukkan ke dalam oven dengan temperatur oven  $100^{\circ}\text{C}$  -  $110^{\circ}\text{C}$  selama tiga jam. Ini dilakukan untuk mengurangi kadar air yang terkandung di dalam serbuk kayu sampai serbuk kayu mahoni mencapai kadar air 0%-2%.

3. Pengujian Kadar Air

Setelah didapatkan ukuran yang seragam, diambil beberapa gram sampel untuk diuji kadar air dan untuk memastikan serbuk kayu dalam kondisi kadar air 0-2%.

4. Penimbangan

Setelah melakukan pengujian kadar air dan dipastikan kadar air serbuk kayu mahoni 0-2% maka dilakukan penimbangan massa dari serbuk kayu mahoni seberat 70 gram.

5. Menyiapkan instalasi penelitian

Sebelum melakukan percobaan maka instalasi penelitian harus dipasang apakah sesuai dengan skema instalasi yang diharapkan.

6. Pengecekan instalasi

Setelah instalasi alat disiapkan sebaiknya harus dicek lagi alat tersebut supaya tidak terjadi hal-hal yang tidak diinginkan dan memastikan semua alat telah terpasang dengan benar.

7. Prosedur Pirolisis:

a. Setelah semua prosedur persiapan telah dilaksanakan maka spesimen uji dimasukkan ke dalam *glass beaker*.

- b. Memasukkan *Glass beaker* ke dalam ruang pemanas dari *pyrolyzer* dan *pyrolyzer* ditutup.
- c. Membuka katup N<sub>2</sub> untuk mengalirkan N<sub>2</sub> ke dalam ruang pemanas *pyrolyzer* sampai kadar O<sub>2</sub> < 2,1% dari volume ruang pemanas dan buka juga katup buang pada *pyrolyzer* supaya O<sub>2</sub> dapat terdorong keluar akibat dorongan dari N<sub>2</sub> yang memenuhi tabung.
- d. Tutup katup N<sub>2</sub> jika kadar O<sub>2</sub> mencapai <2,1% dari volume ruang pemanas dan sekaligus tutup juga katup buang pada *pyrolyzer*.
- e. Thermocontroller diatur untuk variasi pertama yaitu 250°C dengan laju pemanasan kurang dari 0,50 °C/detik.
- f. Catat perubahan massa char tiap selang waktu 3 menit sekali.
- g. Lakukan proses pirolisis selama 3 jam. Apabila setelah menempuh 3 jam maka *pyrolyzer* dimatikan dan char hasil pirolisis diambil.
- h. Ukur volume char hasil pirolisis.
- i. Ulangi prosedur pirolisis dengan variasi suhu pemanasan pirolisis selanjutnya.

#### 8. Prosedur pengujian nilai kalor

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai kalor dari char hasil pirolisis, prosedur pengambilan nilai kalor char hasil pirolisis adalah sebagai berikut :

- a. Masukkan air 2 liter dimasukkan ke dalam cawan air.
- b. Ambil dan timbang maka char dari hasil pirolisis yang akan diuji nilai kalornya sebesar 0,5 gram dan taruh pada cawan serta pasang fuse(kawat) hingga mengenai char dan tidak mengenai permukaan cawan.
- c. Masukkan char ke dalam cawan spesimen.
- d. Catat suhu awal sebelum char dalam cawan spesimen dibakar yang terlihat pada termometer.
- e. Tekan tombol ignite pada *bomb calorimeter* sehingga char dalam combustion capsule terbakar.
- f. Tunggu sampai suhu stabil kemudian catat suhu akhir pada termometer.
- g. Hitung nilai kalor char dengan rumus :

$$\text{Nilai Kalor} = \frac{EE \times \Delta T - \text{Acid} - (\text{Fuse})}{\text{massa tar}}$$

Keterangan :

Acid = i gram = 10 kal/gram

Fulse (panjang kawat = 1 cm = 1 kal/gram

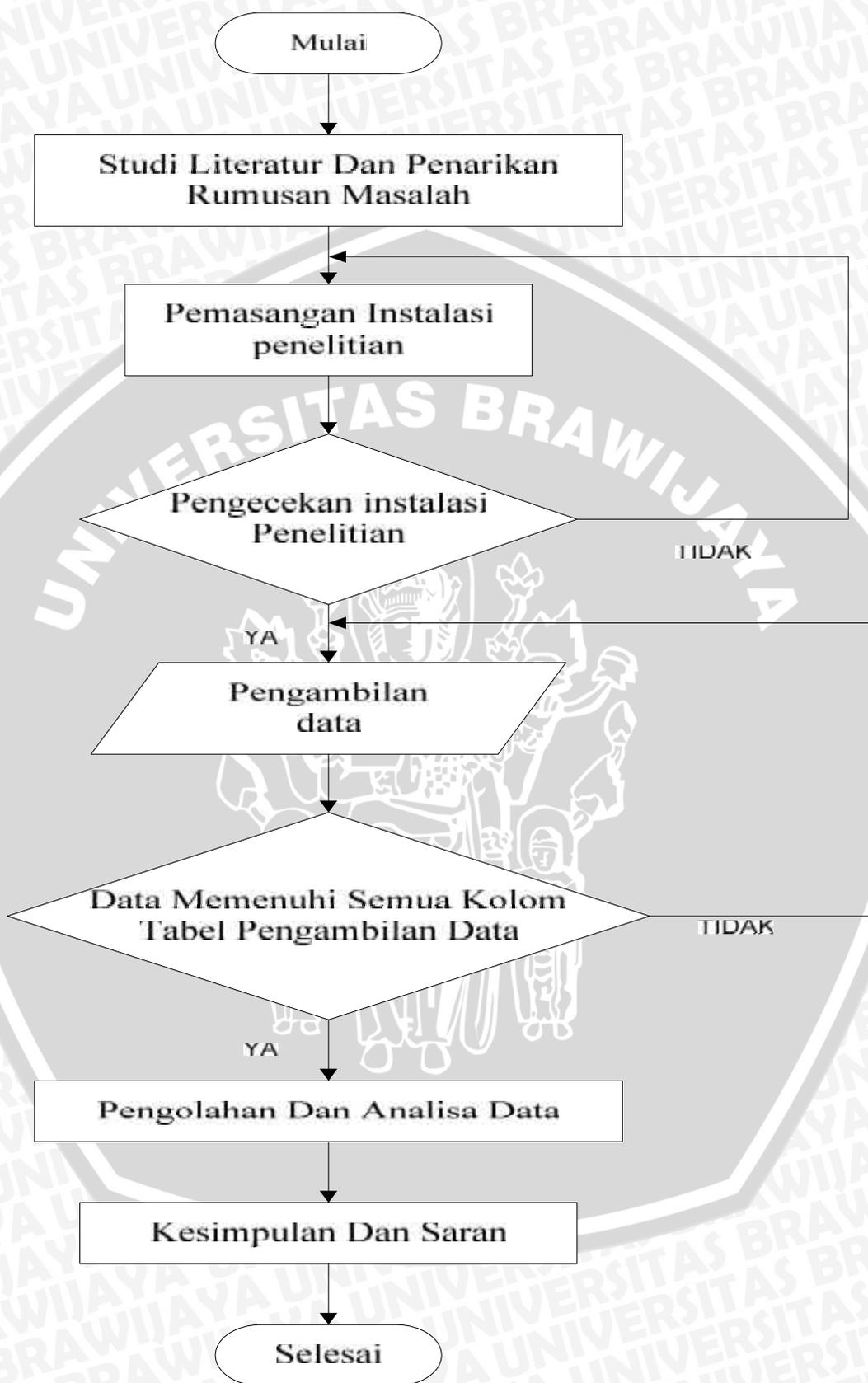
EE = 2401,459 kal/gram °C

9. Data yang sudah diperoleh kemudian diplot ke dalam tabel 3.1 kemudian diolah dan diplot pada gambar 3.12, gambar 3.13, gambar 3.14, dan gambar 3.15.
10. Visualisasi warna char hasil pirolisis
11. Visualisasi Scaning Electron Microscope (SEM).

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



3.6 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.7 Diagram alir penelitian



## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Penelitian

##### 4.1.1 Data Hasil Penelitian

Data tentang hasil penelitian pirolisis ini terlampir pada Lampiran 1.

##### 4.1.2 Contoh Perhitungan Data

###### 1. Nilai Kalor Pada Temperatur 250°C

$$EE = 2401,459 \text{ kal/gram} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{Acid} = 0,003 \text{ gram}$$

$$\text{Fulse} = 1,2 \text{ cm}$$

$$\text{Massa} = 0,5$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai kalor} &= \frac{EE \times \Delta T - \text{Acid} - (\text{Fulse})}{\text{massa Char}} \\ &= \frac{2401,459 \times 1,86 - 0,003 - (1,2)}{0,5} \\ &= 8931,022 \text{ kal/gram} \end{aligned}$$

###### 2. *Rate Constan* pada temperatur 350°C pada menit ke-24

$$W_{\text{awal}} = 58,37 \text{ gram}$$

$$W_{\text{akhir}} = 54,96 \text{ gram}$$

$$dt = 3 \text{ menit} = 180 \text{ sekon}$$

$$W = 54,96 \text{ gram}$$

$$W = 26,2 \text{ gram}$$

$$W_{\text{max}} = 70 \text{ gram}$$

$$\frac{dW}{dt} = k \frac{W - W}{W_{\text{max}} - W}$$

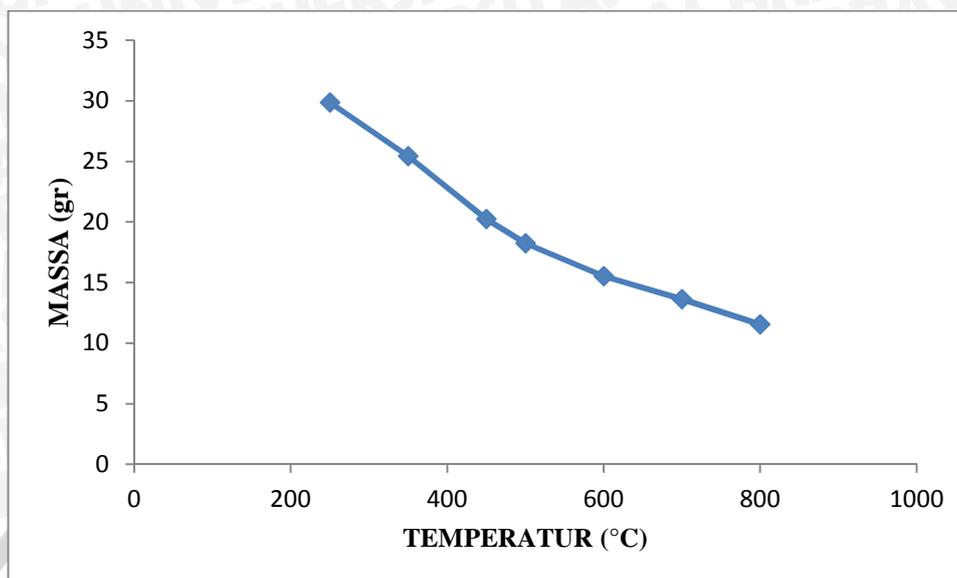
$$\frac{(58,37 - 54,96)}{180} = k \frac{54,96 - 26,2}{70 - 26,2}$$

$$k = 0,028851 \text{ gram/s}$$

Data yang telah diolah yang merupakan hasil perhitungan dari data hasil penelitian terlampir pada Lampiran 2 dan Lampiran 3.

## 4.2 Pembahasan

### 4.2.1 Analisa Grafik Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Massa Char



Gambar 4.1 Grafik Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Massa Char

Hasil dari penelitian ini dapat dilihat pada grafik pengaruh temperatur pirolisis terhadap massa char. Adapun variasi temperatur pada grafik pengaruh temperatur pirolisis terhadap massa char yaitu 250°C, 350°C, 450°C, 500°C, 600°C, 700°C, dan 800°C.

Dari grafik pengaruh temperatur pirolisis terhadap massa char dapat dilihat bahwa semakin besar temperatur pirolisis maka semakin kecil massa char yang dihasilkan, ini dikarenakan semakin semakin besar temperatur pirolisis maka komponen di dalam serbuk kayu mahoni semakin banyak terdekomposisi. Dengan semakin banyaknya komponen yang terdekomposisi maka massa char yang dihasilkan semakin kecil.

Komponen utama dari serbuk kayu mahoni meliputi selulosa, hemiselulosa dan lignin. Dari tabel 2.2 dapat dilihat presentase kandungan dari selulosa, hemiselulosa dan lignin. Untuk serbuk kayu mahoni merupakan jenis kayu keras (*hardwood*).

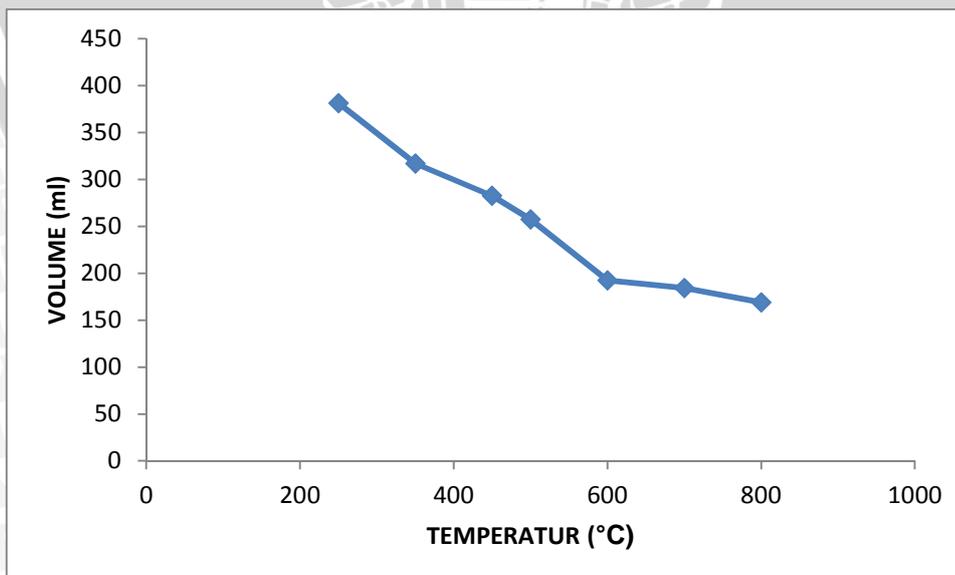
Seperti terlihat pada gambar 2.4 selulosa merupakan salah satu komponen dari serbuk kayu mahoni yang akan terdekomposisi pada temperatur 580 K – 630 K atau 307°C – 357°C, selulosa akan mulai terpecah membentuk gas, *bio-oil*, dan char. Hemiselulosa merupakan komponen yang akan terdekomposisi pada temperatur pirolisis 500 K - 580 K atau 223°C - 303°C. Sedangkan Lignin akan terdekomposisi pada temperatur 630 K – 1023 K atau 357°C - 800°C.

Pada temperatur 250°C hanya terjadi evaporasi air dan sebagian hemiselulosa yang terdekomposisi. Karena hanya air dan sebagian hemiselulosa yang terdekomposisi menyebabkan menjadi paling besar dibandingkan dengan temperatur 350°C, 450°C, 500°C, 600°C, 700°C, dan 800°C.

Pada temperatur 350°C terjadi evaporasi air, hemiselulosa akan terdekomposisi seluruhnya, dan sebagian besar selulosa terdekomposisi. Dengan terjadinya evaporasi air, terdekomposisinya seluruh hemiselulosa, dan sebagian besar selulosa terdekomposisi ini menyebabkan massa char yang dihasilkan pada temperatur 350°C dari proses pirolisis lebih kecil daripada massa char yang dihasilkan pada temperatur 250°C.

Pada temperatur 450°C sampai temperatur 800°C terjadi evaporasi air, seluruh hemiselulosa, dan seluruh selulosa terdekomposisi serta lignin yang mulai terdekomposisi. Hal ini membuat massa char semakin kecil dengan semakin bertambahnya variasi temperatur. Terjadinya perbedaan massa char ini disebabkan oleh kadar lignin yang terdekomposisi dimana semakin banyak kadar lignin yang terdekomposisi maka massa char akan semakin kecil. Pada variasi temperatur 800°C massa char paling kecil, hal ini disebabkan karena kadar lignin yang terdekomposisi pada temperatur 800°C adalah yang paling besar dan pada temperatur 800°C ini lignin sudah mengalami dekomposisi secara menyeluruh.

#### 4.2.2 Analisa Grafik Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Volume Char



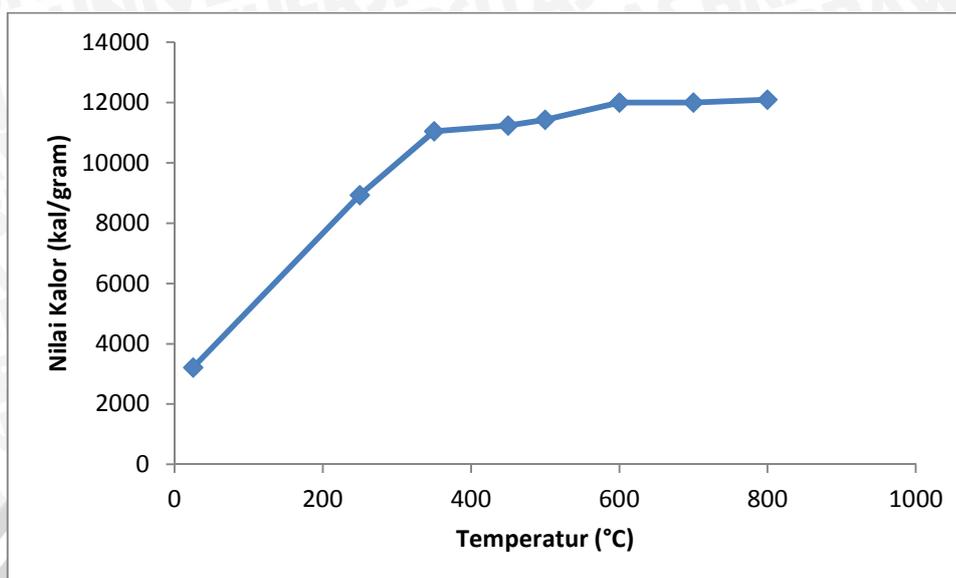
Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Temperatur Pirolisis terhadap Volume Char

Hasil dari penelitian ini dapat dilihat pada grafik pengaruh temperatur pirolisis terhadap volume char. Adapun variasi temperatur pada grafik pengaruh temperatur pirolisis terhadap volume char yaitu 250°C, 350°C, 450°C, 500°C, 600°C, 700°C, dan 800°C.

Dari grafik pengaruh temperatur pirolisis terhadap volume char dapat dilihat bahwa semakin besar temperatur pirolisis maka semakin kecil volume char yang dihasilkan, ini dikarenakan semakin besar temperatur pirolisis maka komponen di dalam serbuk kayu mahoni semakin banyak terdekomposisi. Dengan semakin banyaknya komponen yang terdekomposisi maka volume char yang dihasilkan semakin kecil.

Dengan komponen serbuk kayu mahoni yang terdekomposisi sama seperti yang dijelaskan pada grafik 4.1 dan asumsi bahwa kerapatan massanya konstan maka terlihat bahwa semakin tinggi temperatur pirolisis maka volume char akan semakin kecil. Pada grafik pengaruh temperatur pirolisis terhadap volume char terlihat bahwa volume paling kecil adalah pada temperatur 800°C dan yang paling besar adalah pada temperatur 250°C. Hal ini terjadi karena adanya dekomposisi komponen serbuk kayu mahoni pada temperatur 800°C paling banyak sedangkan pada temperatur 250°C dekomposisi komponen serbuk kayu paling sedikit, hal ini yang menyebabkan ukuran butirannya semakin kecil sehingga volume semakin kecil. Dengan semakin besarnya temperatur menyebabkan semakin kecil volumenya tetapi nilai kalornya semakin besar seperti dijelaskan pada grafik 4.3 sehingga dengan semakin kecil volumenya dan memiliki nilai kalor yang besar ini akan memudahkan char untuk disimpan dan menjadi bahan bakar padat yang mudah disimpan tetapi memiliki nilai kalor yang tinggi.

### 4.2.3 Analisa Grafik Pengaruh Temperatur Terhadap Nilai Kalor Char



Gambar 4.3 Grafik Pengaruh Temperatur Terhadap Nilai Kalor Char

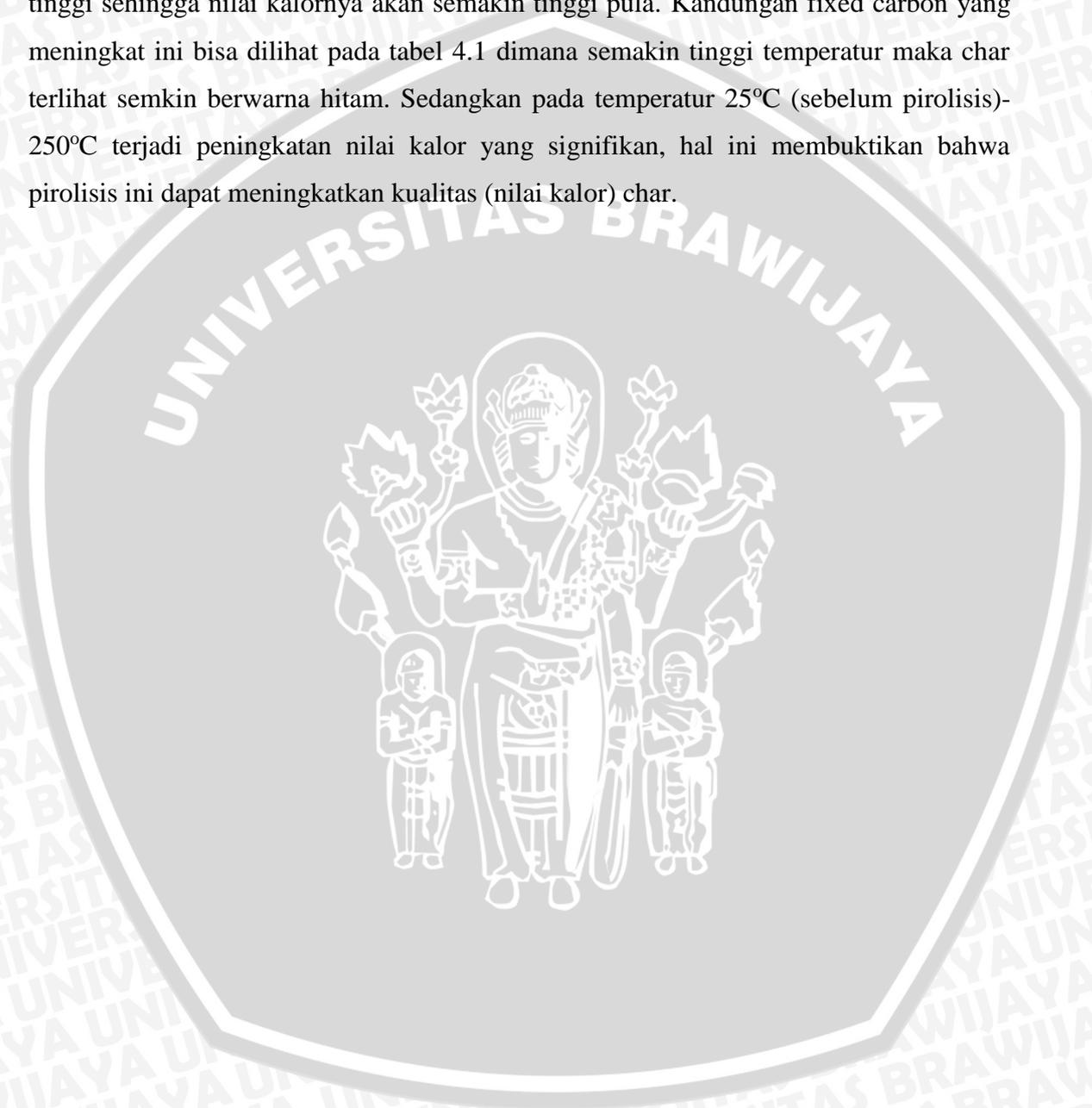
Hasil dari penelitian ini dapat dilihat pada grafik pengaruh temperatur pirolisis terhadap nilai kalor char. Grafik tersebut menunjukkan pengaruh temperatur pirolisis terhadap nilai kalor char hasil pirolisis serbuk kayu mahoni. Adapun variasi temperatur pada grafik pengaruh temperatur pirolisis terhadap nilai kalor char yaitu 25°C (sebelum pirolisis), 250°C, 350°C, 450°C, 500°C, 600°C, 700°C, dan 800°C.

Dari grafik pengaruh temperatur pirolisis terhadap nilai kalor char dapat dilihat bahwa semakin besar temperatur pirolisis maka semakin besar nilai kalor char yang dihasilkan, ini dikarenakan semakin semakin besar temperatur pirolisis maka komponen di dalam serbuk kayu mahoni semakin banyak terdekomposisi. Dengan semakin banyaknya komponen yang terdekomposisi maka *fixed carbon* yang terbentuk sehingga nilai kalor char yang dihasilkan semakin besar.

*Fixed carbon* merupakan bahan bakar padat yang tertinggal dalam tungku setelah bahan yang mudah menguap didistilasi. Kandungan utamanya adalah karbon tetapi juga mengandung hidrogen, oksigen, sulfur dan nitrogen yang tidak terbawa gas. *Fixed carbon* memberikan perkiraan kasar terhadap nilai kalor bahan bakar padat.

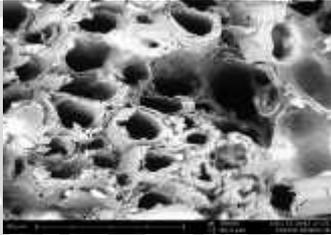
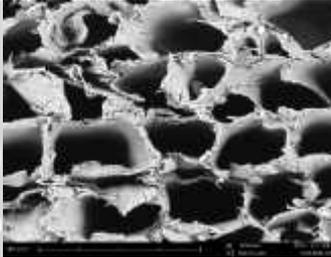
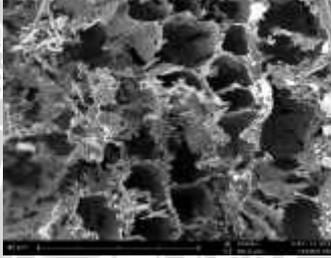
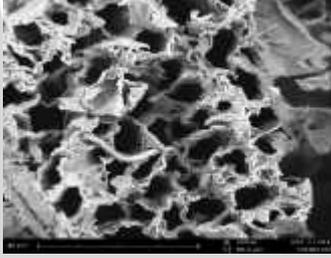
Pada grafik di atas dapat dilihat nilai kalor dari char hasil pirolisis serbuk kayu mahoni dengan temperatur 25°C (sebelum pirolisis), 250°C, 350°C, 450°C, 500°C, 600°C, 700°C, dan 800°C. Secara umum char hasil pirolisis serbuk kayu mahoni yang dengan temperatur 250°C-800°C selama 3 jam memiliki nilai kalor yang lebih tinggi 276

% - 378 % dibandingkan serbuk kayu mahoni yang tidak dipirolisis. Hal tersebut terjadi karena saat pirolisis terjadi dekomposisi komponen serbuk kayu mahoni menjadi char, tar dan gas. Char yang merupakan hasil padatan pirolisis mengandung *fixed carbon* yang nantinya akan menaikkan nilai kalornya. Semakin tinggi temperatur pirolisisnya maka semakin sedikit char yang terbentuk, namun kandungan *fixed carbon*-nya semakin tinggi sehingga nilai kalornya akan semakin tinggi pula. Kandungan *fixed carbon* yang meningkat ini bisa dilihat pada tabel 4.1 dimana semakin tinggi temperatur maka char terlihat semakin berwarna hitam. Sedangkan pada temperatur 25°C (sebelum pirolisis)-250°C terjadi peningkatan nilai kalor yang signifikan, hal ini membuktikan bahwa pirolisis ini dapat meningkatkan kualitas (nilai kalor) char.



#### 4.2.4 Analisa Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Perubahan Warna dan Bentuk Penampang Char

Tabel 4.1 Perubahan warna dan bentuk penampang char.

CHAR HASIL PIROLISIS	WARNA	BENTUK PENAMPANG
SEBELUM PIROLISIS		
250		
500		
800		

EVAPORASI  
AIR

DEKOMPOSISI  
KOMPONEN

Hasil dari penelitian ini dapat dilihat pada tabel 4.1 perubahan warna dan bentuk penampang char hasil pirolisis serbuk kayu mahoni. Adapun variasi temperatur pada penelitian ini adalah 250°C, 350°C, 450°C, 500°C, 600°C, 700°C, dan 800°C akan tetapi data analisa warna dan bentuk penampang char diambil sampel sebelum pirolisis, 250°C, 500°C, dan 800°C.

Dari tabel 4.1 dapat terlihat bahwa terjadi perubahan warna dan ukuran butiran pada char hasil pirolisis serbuk kayu mahoni. Dari visualisasi char terlihat bahwa serbuk kayu mahoni sebelum pirolisis berwarna coklat dan ukuran butirannya masih terlihat besar, sedangkan char hasil pirolisis pada temperatur 250°C terlihat berwarna hitam kecoklatan dan ukuran butirannya mengalami penyusutan dibandingkan sebelum dipirolisis. Pada temperatur pirolisis 500°C char yang dihasilkan berwarna hitam dan ukuran butirannya lebih kecil dibandingkan char yang dihasilkan pada temperatur 250°C, sedangkan char yang dihasilkan pada temperatur 800°C terlihat berwarna char hitam pekat dan ukuran butirannya paling kecil dibandingkan variasi temperatur yang lainnya.

Sebelum pirolisis sampai temperatur 250°C terjadi evaporasi air dan mulai terjadi dekomposisi komponen serbuk kayu sehingga terjadi perubahan warna dari coklat menjadi hitam kecoklatan. Perubahan warna dari sebelum pirolisis sampai temperatur 250°C juga dipengaruhi pembentukan *fixed carbon* tapi kadarnya masih rendah. Pada temperatur 250°C-500°C terjadi dekomposisi komponen sehingga terjadi perubahan warna dari hitam kecoklatan menjadi hitam. Perubahan warna Pada temperatur 250°C-500°C juga dipengaruhi pembentukan *fixed carbon* dengan kadar lebih tinggi daripada selang sebelum pirolisis sampai temperatur 250°C sehingga warnanya lebih hitam. Pada temperatur 500°C-800°C juga terjadi dekomposisi komponen sehingga terjadi perubahan warna dari hitam menjadi hitam pekat. Perubahan warna Pada temperatur 500°C-800°C juga dipengaruhi pembentukan *fixed carbon* dengan kadar lebih tinggi daripada selang temperatur 250°C-500°C sehingga warnanya lebih hitam pekat.

Dari tabel 4.1 juga dapat terlihat bahwa terjadi perubahan bentuk penampang char seiring meningkatnya temperatur. Dari visualisasi char terlihat bahwa serbuk kayu mahoni sebelum pirolisis terlihat berlubang kecil dan berserat, sedangkan pada temperatur 250°C terlihat lubangnya semakin besar dan berkurang seratnya. Visualisasi char pada temperatur 500°C terlihat berlubang kecil dan terkoyak, sedangkan pada temperatur 800°C terlihat berlubang kecil seperti temperatur 250°C tetapi cenderung terkoyak.

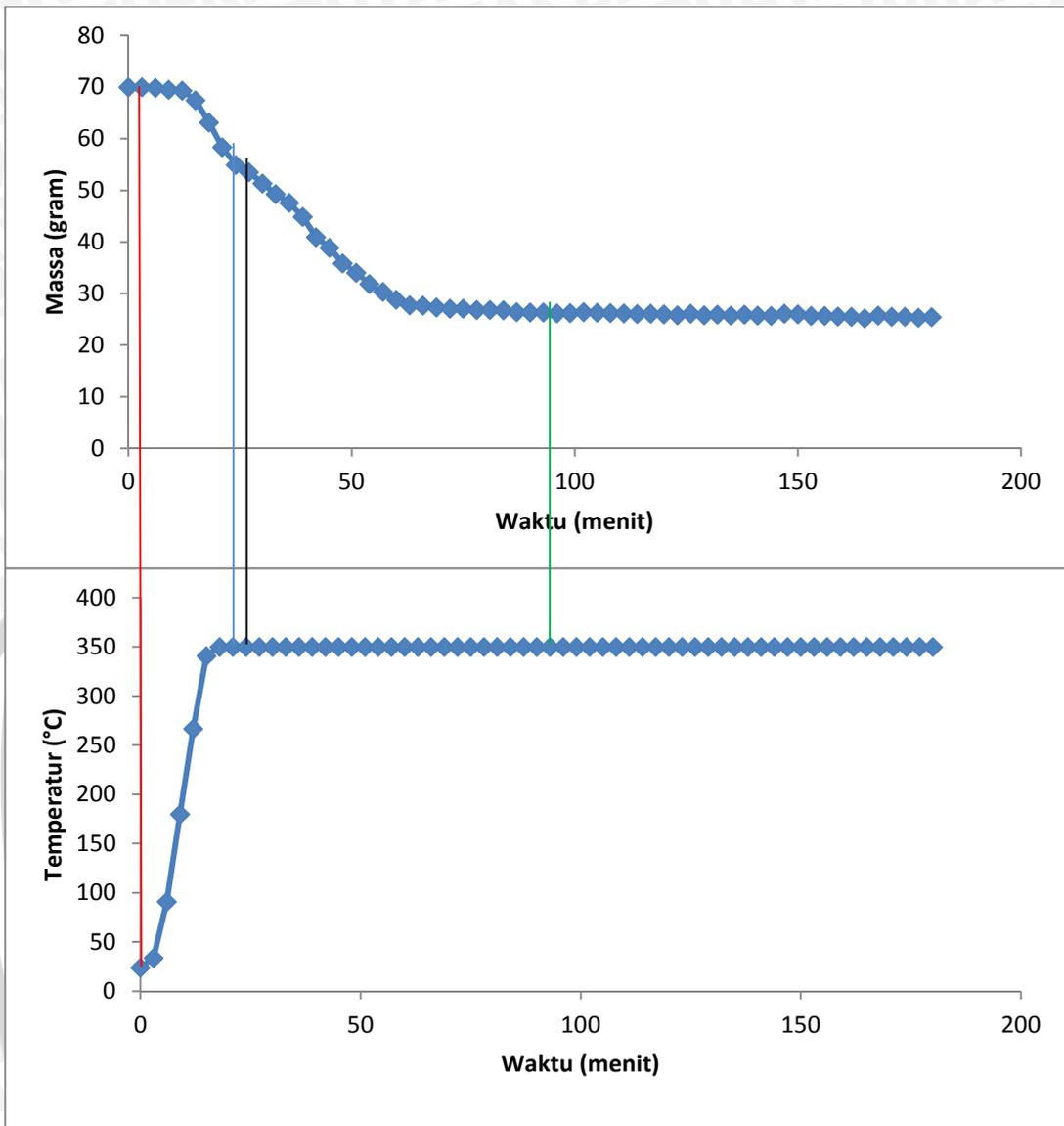
Perbedaan penampang dari sebelum pirolisis yang berlubang kecil dan berserat menjadi berlubang besar dan berkurang seratnya pada temperatur 250°C terjadi karena adanya proses pelepasan komponen serbuk kayu. Pada temperatur 250°C juga terjadi

perubahan penampang dari berlubang kecil dan tidak rata menjadi berlubang kecil dan terkoyak pada temperatur 500°C, hal ini terjadi karena terjadi pelepasan komponen yang semakin banyak pada temperatur 500°C. Sedangkan pada temperatur 500°C juga terjadi perubahan penampang dari berlubang kecil dan terkoyak menjadi berlubang kecil dan terkoyak pada temperatur 800°C, hal ini terjadi karena terjadi pelepasan komponen yang semakin banyak pada temperatur 800°C dan sudah mencapai lapisan kulit yang dalam sehingga lubangnya kecil seperti temperatur 250°C tetapi cenderung terkoyak.

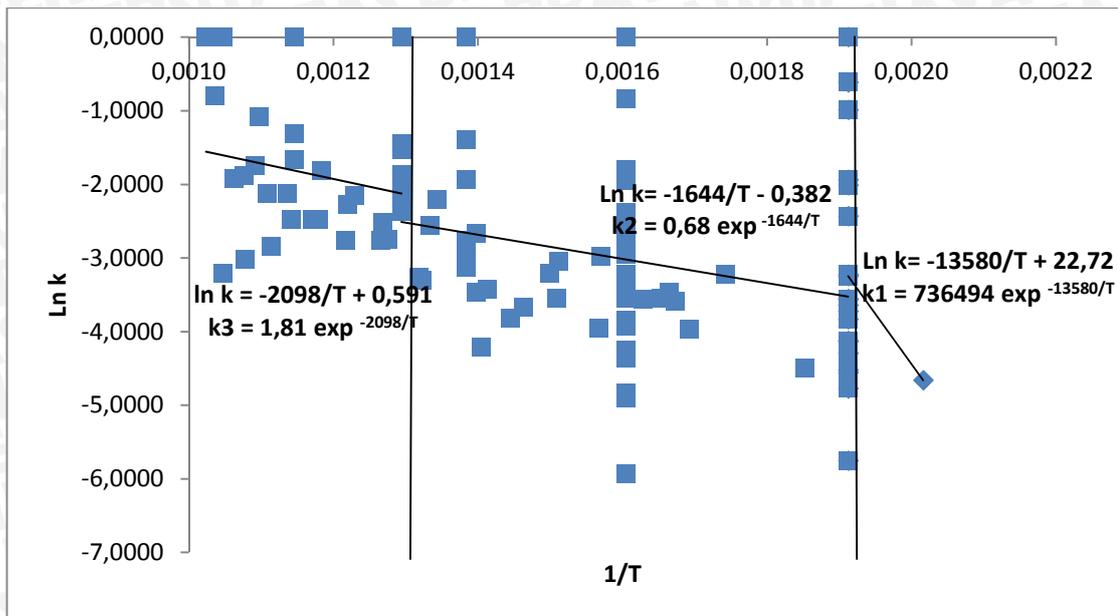
Dari penelitian warna dan bentuk penampang char ini bisa disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur pirolisis maka warna char akan semakin gelap karena kandungan *fixed carbon* semakin besar dan adanya dekomposisi komponennya. Sedangkan semakin tinggi temperatur pirolisis maka penampangnya semakin banyak lubang dan cenderung terkoyak, akan tetapi jika lapisan luar sudah terkelupas maka akan cenderung kembali seperti sebelum pirolisis.



4.2.5 Analisa Grafik Persamaan *Kinetic Rate Char*



Gambar 4.4 Grafik Hubungan Waktu Terhadap Perubahan Massa dan Temperatur



Gambar 4.5 Grafik Persamaan *Kinetic Rate Char*

Hasil dari penelitian ini dapat dilihat pada grafik hubungan waktu terhadap perubahan massa dan temperatur. Gambar 4.4 tersebut menunjukkan perubahan massa dan temperatur pada selang waktu tiap 3 menit. Dari gambar 4.4 diambil contoh pada menit ke-24 pada temperatur 350°C dimana didapatkan massa awal atau massa pada menit ke-21 ( $W_{\text{awal}} = 58,37$  gram) yang ditunjukkan garis berwarna biru, massa akhir atau massa pada menit ke-24 ( $W_{\text{akhir}} = 54,96$  gram) yang ditunjukkan garis berwarna hitam, massa pada waktu tertentu yaitu pada menit ke-24 ( $W = 54,94$  gram), massa akhir yang dianggap massa akhir proses pirolisis ( $W = 26,2$  gram) yang ditunjukkan garis warna hijau, dan massa awal pirolisis ( $W_{\text{max}} = 70$  gram) yang ditunjukkan garis warna merah. Kemudian data-data tersebut digunakan untuk mencari nilai *rate constant* ( $k$ ) dan dimasukkan pada persamaan :

$$\frac{dW}{dt} = k \frac{W - W}{W_{\text{max}} - W}$$

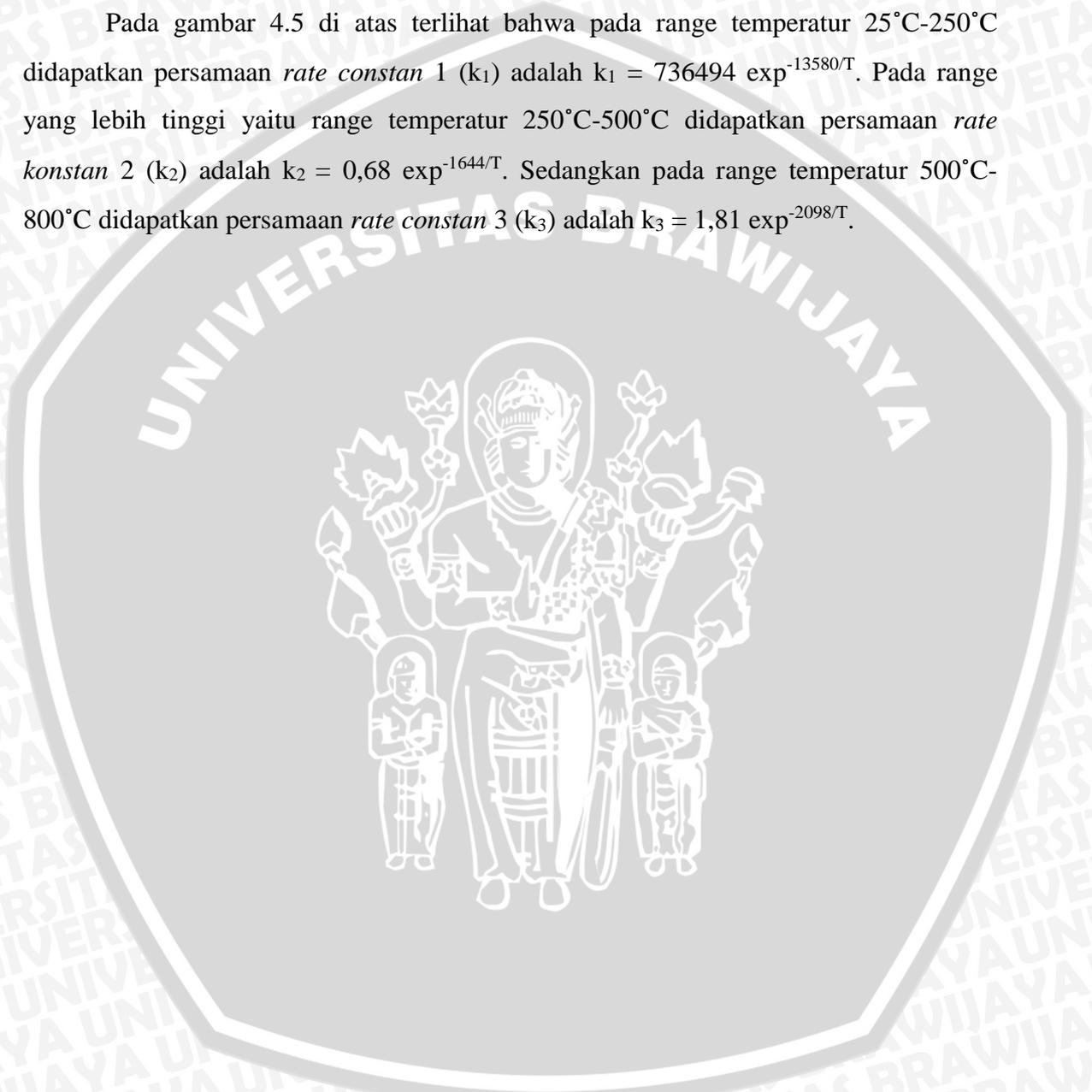
Selanjutnya dicari nilai *rate constant* ( $k$ ) pada titik-titik yang lain dengan cara yang sama.

Hasil dari penelitian ini juga dapat dilihat pada grafik persamaan *kinetic rate char*. Gambar 4.5 menunjukkan persamaan dari *kinetic rate char* hasil pirolisis serbuk kayu mahoni. Adapun variasi temperatur pada grafik pengaruh *rate constant char* yaitu 250°C, 350°C, 450°C, 500°C, 600°C, 700°C, dan 800°C tetapi dibuat range temperatur 25°C-250°C, 250°C-500°C, dan 500°C-800°C. Range ini berfungsi untuk memudahkan

metode pendekatan terjadinya dekomposisi yang terjadi selama proses pirolisis. Nilai *rate constant* ( $k$ ) yang sudah didapatkan dari perhitungan pada gambar 4.4 dimasukkan pada gambar 4.5 untuk didapatkan persamaan *rate constant* ( $k$ ) sesuai dengan persamaan :

$$k = A \cdot e^{a/T}$$

Pada gambar 4.5 di atas terlihat bahwa pada range temperatur 25°C-250°C didapatkan persamaan *rate constant* 1 ( $k_1$ ) adalah  $k_1 = 736494 \exp^{-13580/T}$ . Pada range yang lebih tinggi yaitu range temperatur 250°C-500°C didapatkan persamaan *rate konstan* 2 ( $k_2$ ) adalah  $k_2 = 0,68 \exp^{-1644/T}$ . Sedangkan pada range temperatur 500°C-800°C didapatkan persamaan *rate konstan* 3 ( $k_3$ ) adalah  $k_3 = 1,81 \exp^{-2098/T}$ .



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Semakin meningkatnya temperatur pirolisis maka massa dan volume char yang terbentuk semakin kecil.
2. Semakin meningkatnya temperatur pirolisis maka nilai kalor char akan semakin meningkat.
3. Semakin meningkatnya temperatur pirolisis maka warna char akan semakin gelap dan bentuk penampangnya akan terlihat semakin terkoyak.
4. Pada range temperatur 25°C-250°C didapatkan persamaan *rate constan* 1 ( $k_1$ ) adalah  $k_1 = 736494 \exp^{-13580/T}$ . Pada range yang lebih tinggi yaitu range temperatur 250°C-500°C didapatkan persamaan *rate konstan* 2 ( $k_2$ ) adalah  $k_2 = 0,68 \exp^{-1644/T}$ . Sedangkan pada range temperatur 500°C-800°C didapatkan persamaan *rate constan* 3 ( $k_3$ ) adalah  $k_3 = 1,81 \exp^{-2098/T}$ .

#### 5.2 Saran

1. Untuk melakukan penelitian berikutnya sebaiknya diteliti lebih mendalam mengenai komposisi char hasil pirolisis.
2. Perlu penelitian lebih lanjut mengenai karakteristik (kualitas) dari char agar bisa dimanfaatkan untuk ke depannya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ali, Munawar., & Ramadhan, Aprian ; 2012 : *Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Minyak Melalui Proses Pirolisis* : Universitas Pembangunan Nasional “Veteran”, Jawa Timur.
- Beall, F.C. & Eickner, H.W. 1970. *Thermal degradation of wood components*. a review of literature, Forest Service Research, Paper FPL 130, 0363-6259.
- Boedmade ; 2011 : *Biomassa Sekam Padi* : Jakarta.
- Bridgwater, A. V. 2004. *Biomass Fast Pyrolysis*. Thermal Science **8**(2): 49.
- Haji, Abdul Gani., Pari, Gustan., Maulina, Amiruddin & Habibati ; 2010 : *Kajian Mutu Arang Hasil Pirolisis Cangkang Kelapa Sawit* : Institut Teknologi Sepuluh November.
- Lim, Siew Mei & Chew, Michael Yit Lin ; 2005 : *Compensation Effects in the Non-isothermal Pyrolysis of Wood* : National University of Singapore.
- Mohan *et al.*; 2010 : *Pyrolysis of wood/Biomass for Bio-oil : A Critical Review* : Department of Chemistry, Mississippi State University, USA.
- Samy Sadaka. 2007. *Pyrolysis*. Department of Agricultural and Biosystems Engineering Iowa State University. Nevada.
- Slopiecka, Katarzyna., Bartoci, Pietro., & Fantozzi, Francesco ; 2011 : *Thermogravimetric Analysis and Kinetic Study of Poplar Wood Pyrolysis* : University of Perugia.
- Setiawan, Yudi ; 2004 : *Karakteristik Char Bambu dan Plastik Kemasan Hasil Pirolisis* : Universitas Bangka Belitung.
- Wanegaar, B.M., Prins, W., & van Swaij, W.P.M ; 1990 : *Flash Pyrolysis Kinetics of Pine Bar* : University of Twente, Netherlands.
- Wijayanti, Widya., & Sasongko, Mega Nur. ; 2012 : *Reduksi Volume Dan Pengurangan Kotoran Sapi Dengan Metode Pirolisis* : Universitas Brawijaya.
- Wijayanti, Widya., & Tanoue, Ken-Ichiro. ; 2012 : *Char Formation and Gas Product of Woody Biomass Pyrolysis* : Yamaguchi University.



## Lampiran 1

### Data Hasil Penelitian

Waktu (menit)	Massa (250°C)	Massa (350°)	Massa (450°C)	Massa (500°C)	Massa (600°C)	Massa (700°)	Massa (800°)
0	70	70	70	70	70	70	70
3	70	70	70	70	69,92	70	69,96
6	69,97	69,91	69,97	69,65	69,37	69,73	69,91
9	69,87	69,51	69,96	69,34	69,1	69,34	69,87
12	69,23	69,35	68,68	68,87	68,61	68,82	69,53
15	67,47	67,45	67,08	68,18	67,13	66,98	67,61
18	64,97	63,17	61,25	65,1	62,85	62,46	62,71
21	61,36	58,37	58,64	58,07	56,55	56,9	58,55
24	60,93	54,96	55,86	54,86	52,68	52,97	56,51
27	59,19	53,52	51,14	47,85	45,43	48,85	51,8
30	58,16	51,35	46,38	39,79	40,51	42,97	43,92
33	56,9	49,31	42,32	34,7	34,15	35,75	38,76
36	55,17	47,59	38,51	30,82	28,45	31,13	33,31
39	52,85	44,92	36,22	26,75	24,45	27,51	27,65
42	49,71	40,98	31,4	23,51	21,53	25,37	23,58
45	48,13	38,91	27,15	22,21	18,4	19,44	19,71
48	46,31	35,85	26,42	21,3	19,63	18,7	17,43
51	44,71	34,06	22,84	20,38	19,07	14,48	15,94
54	42,84	31,91	22,64	20,07	18,31	14	15,57
57	38,87	30,37	22,98	19,28	17,61	14,19	13,87
60	37,18	28,83	19,85	19,92	17,82	12,33	12,67
63	34,64	27,77	19,14	19,79	18,37	11,97	13,34
66	34,09	27,72	20,36	19,72	17,97	11,71	12,61
69	33,48	27,33	19,93	20,21	17,31	11,29	14,49
72	33,25	27,13	19,42	19,47	18,13	11,96	13,16
75	34,49	27,12	20,26	18,52	19,05	10,81	15,89
78	34,34	26,88	19,63	20,35	19,41	12,89	13,7
81	34,61	26,86	20,02	19,93	19,25	12,66	13,26

84	33,71	26,81	20,92	19	18,91	13,26	11,66
87	33,16	26,42	21,64	18,31	19,35	12,68	11,32
90	32,91	26,38	22,13	19,12	18,8	14,12	13,13
93	32,57	26,37	21,96	18,91	18,76	13,27	13,62
96	33,52	26,2	21,7	18,67	18,41	14,33	13,32
99	33,81	26,24	21,54	19,07	18,86	14,97	14,44
102	33,06	26,44	21,64	20,04	18,71	15,85	14,33
105	32,15	26,29	21,74	18,79	18,02	15,09	15,04
108	31,94	26,23	22,38	18,85	18,22	14,51	14,98
111	32,73	26,18	20,99	18,73	17,45	15,64	15,13
114	33,3	26,05	19,83	18,96	17,06	15,34	15,63
117	32,65	26,12	19,45	18,51	17,28	16,95	15,58
120	32,34	26,01	19,33	18,27	17,95	17,68	14,67
123	32,67	25,83	18,74	18,28	16,42	17,57	14,76
126	33,4	26,11	21,08	18,74	17,18	18,14	15,19
129	33,12	25,82	19,91	17,86	17,07	17,15	14,78
132	33,97	25,97	19,51	18,29	17,13	17,64	14,59
135	33,16	25,77	20,07	18,3	17	17,94	14,65
138	33,45	25,98	19,45	18,57	17,36	16,44	15,42
141	33,09	25,77	19,39	18,81	16,53	15,24	15,79
144	32,97	25,71	19,27	19	15,97	16,06	15,47
147	33,33	26,12	20,26	18,51	15,95	16,28	14,38
150	33,12	26,02	19,6	18,29	16,28	16,26	14,9
153	32,37	25,72	19,86	18,59	17,12	15,19	14,11
156	32,12	25,72	18,68	18,23	16,25	14,56	14,46
159	31,48	25,57	19,6	19,18	15,81	14,95	15,04
162	30,82	25,55	21,51	18,49	15,48	14,92	14,16
165	31,06	25,25	20,56	18,47	16,56	13,74	12,54
168	30,85	25,74	21,34	17,85	15,63	14,1	12,89
171	30,99	25,54	20,92	17,87	15,05	13,96	12,42
174	30,72	25,5	20,29	18,23	15,67	13,59	11,78
177	30,53	25,34	19,9	18,77	15,06	14,22	12,1

180	30,87	25,44	20,26	18,24	15,54	13,76	11,55
-----	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------



## Lampiran 2

### Data Hasil Perhitungan Nilai *Rate Constan*

#### a. Range Temperatur 24°C-250°C

T (°K)	1/T (1/°K)	k (gram/s)	ln k
523	0,0019	0,0105	-4,5563
523	0,0019	0,0161	-4,1295
523	0,0019	0,0262	-3,6412
523	0,0019	0,0032	-5,7535
523	0,0019	0,0137	-4,2907
523	0,0019	0,0084	-4,7745
523	0,0019	0,0109	-4,5211
523	0,0019	0,0161	-4,1281
523	0,0019	0,0242	-3,7228
523	0,0019	0,0389	-3,2455
523	0,0019	0,0217	-3,8314
523	0,0019	0,0285	-3,5595
523	0,0019	0,0285	-3,5577
523	0,0019	0,0398	-3,2236
523	0,0019	0,1442	-1,9364
523	0,0019	0,0878	-2,4327
523	0,0019	0,3731	-0,9860
523	0,0019	0,1337	-2,0123
523	0,0019	0,5415	-0,6134
523	0,0019	0,0000	0,0000
496	0,0020	0,0095	-4,6593

#### b. Range Temperatur 250°C-500°C

T (°K)	1/T (1/°K)	k (gram/s)	ln k
523	0,0019	0,0105	-4,5563
523	0,0019	0,0161	-4,1295
523	0,0019	0,0262	-3,6412
523	0,0019	0,0032	-5,7535

523	0,0019	0,0137	-4,2907
523	0,0019	0,0084	-4,7745
523	0,0019	0,0109	-4,5211
523	0,0019	0,0161	-4,1281
523	0,0019	0,0242	-3,7228
523	0,0019	0,0389	-3,2455
523	0,0019	0,0217	-3,8314
523	0,0019	0,0285	-3,5595
523	0,0019	0,0285	-3,5577
523	0,0019	0,0398	-3,2236
523	0,0019	0,1442	-1,9364
523	0,0019	0,0878	-2,4327
523	0,0019	0,3731	-0,9860
523	0,0019	0,1337	-2,0123
523	0,0019	0,5415	-0,6134
523	0,0019	0,0000	0,0000
540	0,0019	0,0112	-4,4911
614	0,0016	0,0282	-3,5695
623	0,0016	0,0363	-3,3157
623	0,0016	0,0289	-3,5456
623	0,0016	0,0128	-4,3563
623	0,0016	0,0210	-3,8635
623	0,0016	0,0215	-3,8406
623	0,0016	0,0196	-3,9339
623	0,0016	0,0347	-3,3608
623	0,0016	0,0649	-2,7354
623	0,0016	0,0396	-3,2282
623	0,0016	0,0772	-2,5619
623	0,0016	0,0554	-2,8929
623	0,0016	0,0916	-2,3901
623	0,0016	0,0899	-2,4095
623	0,0016	0,1425	-1,9485

623	0,0016	0,1643	-1,8061
623	0,0016	0,0080	-4,8278
623	0,0016	0,0840	-2,4771
623	0,0016	0,0523	-2,9502
623	0,0016	0,0026	-5,9351
623	0,0016	0,0859	-2,4548
623	0,0016	0,0074	-4,9098
623	0,0016	0,0199	-3,9148
623	0,0016	0,4314	-0,8408
623	0,0016	0,0541	-2,9174
623	0,0016	0,0143	-4,2465
623	0,0016	0,0000	0,0000
574	0,0017	0,0397	-3,2257
638	0,0016	0,0191	-3,9593
692	0,0014	0,0220	-3,8159
723	0,0014	0,0436	-3,1333
723	0,0014	0,0528	-2,9421
723	0,0014	0,0543	-2,9136
723	0,0014	0,0632	-2,7620
723	0,0014	0,0444	-3,1152
723	0,0014	0,1448	-1,9326
723	0,0014	0,2479	-1,3946
723	0,0014	0,0508	-2,9796
723	0,0014	0,0000	0,0000
591	0,0017	0,0189	-3,9664
637	0,0016	0,0511	-2,9746
684	0,0015	0,0254	-3,6721
716	0,0014	0,0691	-2,6717
745	0,0013	0,1107	-2,2006
773	0,0013	0,0930	-2,3750
773	0,0013	0,0947	-2,3566
773	0,0013	0,1535	-1,8739

773	0,0013	0,2158	-1,5333
773	0,0013	0,1250	-2,0793
773	0,0013	0,1269	-2,0640
773	0,0013	0,2357	-1,4453
773	0,0013	0,1106	-2,2021
773	0,0013	0,0000	0,0000
598	0,0017	0,0276	-3,5898
662	0,0015	0,0473	-3,0504
708	0,0014	0,0324	-3,4307
750	0,0013	0,0769	-2,5654
605	0,0017	0,0290	-3,5398
667	0,0015	0,0403	-3,2109
716	0,0014	0,0314	-3,4618
756	0,0013	0,0368	-3,3028
601	0,0017	0,0312	-3,4677
663	0,0015	0,0289	-3,5446
712	0,0014	0,0148	-4,2117
759	0,0013	0,0383	-3,2613

**c. Range Temperatur 500°C-800°C**

T (°K)	1/T (1/°K)	k (gram/s)	ln k
773	0,0013	0,0930	-2,3750
773	0,0013	0,0947	-2,3566
773	0,0013	0,1535	-1,8739
773	0,0013	0,2158	-1,5333
773	0,0013	0,1250	-2,0793
773	0,0013	0,1269	-2,0640
773	0,0013	0,2357	-1,4453
773	0,0013	0,1106	-2,2021
773	0,0013	0,0000	0,0000
784	0,0013	0,0638	-2,7522
814	0,0012	0,1158	-2,1562

845	0,0012	0,1626	-1,8165
873	0,0011	0,1895	-1,6632
873	0,0011	0,2674	-1,3189
873	0,0011	0,0000	0,0000
790	0,0013	0,0631	-2,7623
820	0,0012	0,1033	-2,2704
848	0,0012	0,0839	-2,4780
876	0,0011	0,0834	-2,4846
898	0,0011	0,0586	-2,8378
911	0,0011	0,3391	-1,0814
928	0,0011	0,0490	-3,0163
955	0,0010	0,0000	0,0000
789	0,0013	0,0803	-2,5218
822	0,0012	0,0630	-2,7647
854	0,0012	0,0841	-2,4757
880	0,0011	0,1203	-2,1174
902	0,0011	0,1188	-2,1302
916	0,0011	0,1751	-1,7425
929	0,0011	0,1526	-1,8802
942	0,0011	0,1451	-1,9301
955	0,0010	0,0406	-3,2031
965	0,0010	0,4512	-0,7958
977	0,0010	0,0000	0,0000

### Lampiran 3

#### Data Hasil Pengujian Nilai Kalor, Massa Akhir, dan Volume Akhir

##### a. Data Pengujian Nilai Kalor

No	Suhu Awal	Suhu Akhir	Sisa Abu	Sisa Kawat
1	25,5	26,17	0,1	1,3
2	25,28	27,14	0,03	1,2
3	25,13	27,43	0,01	1,2
4	25,16	27,5	0,03	1
5	27,51	29,89	0,05	0,8
6	26,69	29,19	0,01	1,2
7	26,19	28,69	0,02	0,6
8	26,33	28,85	0,02	0,6

##### b. Data Pengujian Pirolisis

No	Temperatur (°C)	Nilai Kalor (kal/gram)	Massa Akhir (gram)	Volume Akhir (ml)
1	25	3215,335	70,000	402,470
2	250	8931,021	29,87	381,29
3	350	11044,309	25,44	317,17
4	450	11236,822	20,26	282,82
5	500	11429,335	18,24	257,63
6	600	12004,893	15,54	192,36
7	700	12006,091	13,62	184,35
8	800	12102,149	11,55	168,89