

**PENGARUH TEMPERATUR TERHADAP LAJU KINETIK TAR PADA  
PIROLISIS SERBUK KAYU MAHONI**

**SKRIPSI  
KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh

**RAKA MAHENDRA S.  
NIM. 105060200111018-62**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**MALANG**

**2014**

## LEMBAR PERSETUJUAN

### PENGARUH TEMPERATUR TERHADAP LAJU KINETIK TAR PADA PIROLISIS SERBUK KAYU MAHONI

#### SKRIPSI KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh

**RAKA MAHENDRA S.**  
**NIM. 105060200111018-62**

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

**Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT**  
**NIP. 19750802 199903 2 002**

**Francisca Gayuh Utami Dewi, ST., MT.**  
**NIK. 820919 06 1 2 0259**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PENGARUH TEMPERATUR TERHADAP LAJU KINETIK  
TAR PADA PIROLISIS SERBUK KAYU MAHONI**

**SKRIPSI  
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:

**RAKA MAHENDRA SULISTIYO  
NIM. 105060200111018-62**

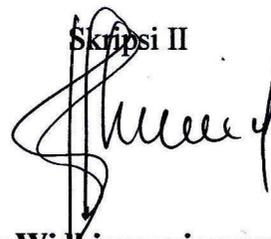
Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada  
Tanggal 18 Nopember2014

**Majelis Penguji**

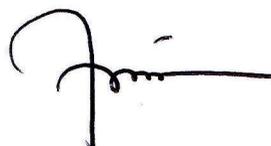
Skripsi I

  
**Ir. Suharto, MT.**  
NIP. 19531030 198212 1 001

Skripsi II

  
**Dr. Eng. Denny Widhiyanuriyawan, ST., MT.**  
NIP. 19750113200012 1 001

Skripsi III

  
**Dr. Eng. Lilis Yuliati, ST., MT.**  
NIP. 19750702 200003 2 001

Mengetahui,  
Ketua Program Studi S1  
Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Brawijaya



  
**Dr. Eng. Wijaya Wijayanti, ST., MT**  
NIP. 19750802 199903 2 002

## 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.

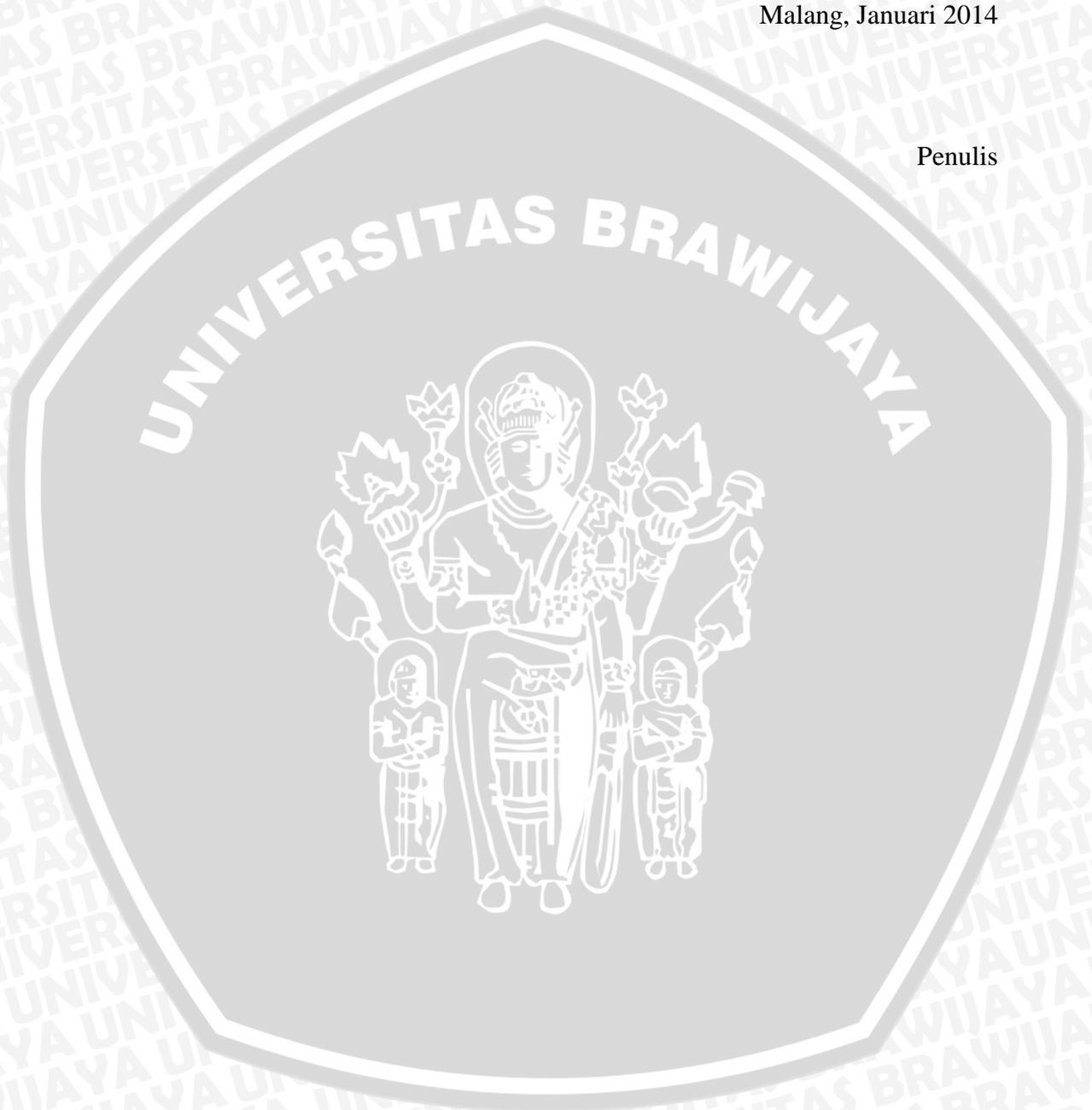
Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah banyak membantu hingga terselesaikannya skripsi ini, terutama kepada :

1. Ibu saya tercinta, Sumarni. Jatuh, bangun, menang, kalah, tetap pengabdianku hanya untuk keluarga.
2. Bapak Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST.,M.Eng. selaku Ketua Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
3. Bapak Purnami, ST., M.T. selaku Sekretaris Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
4. Ibu Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST.,MT. selaku Dosen Pembimbing I dan Ketua Kelompok Dosen Konsentrasi Konversi Energi Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
5. Francisca Gayuh Utami Dewi, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberi masukan untuk penyusunan skripsi ini.
6. Seluruh Dosen Pengajar dan Staf Administrasi Jurusan Mesin dan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
7. Keluarga besar Laboratorium Fenomena Dasar Mesin periode 2013/2014 dan 2014/2015
8. Seluruh asisten dan Laboran Motor Bakar yang telah banyak memberikan bantuan selama proses penelitian.
9. Seluruh teman-teman seperjuangan IMMORTAL ( M'10 ).
10. Arek-Arek pirolisis. Mas Purbo (M'05), mas Sasmoko (M'09), Arbianto (M'10)
11. Arek-Arek pejuang moka.
12. 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



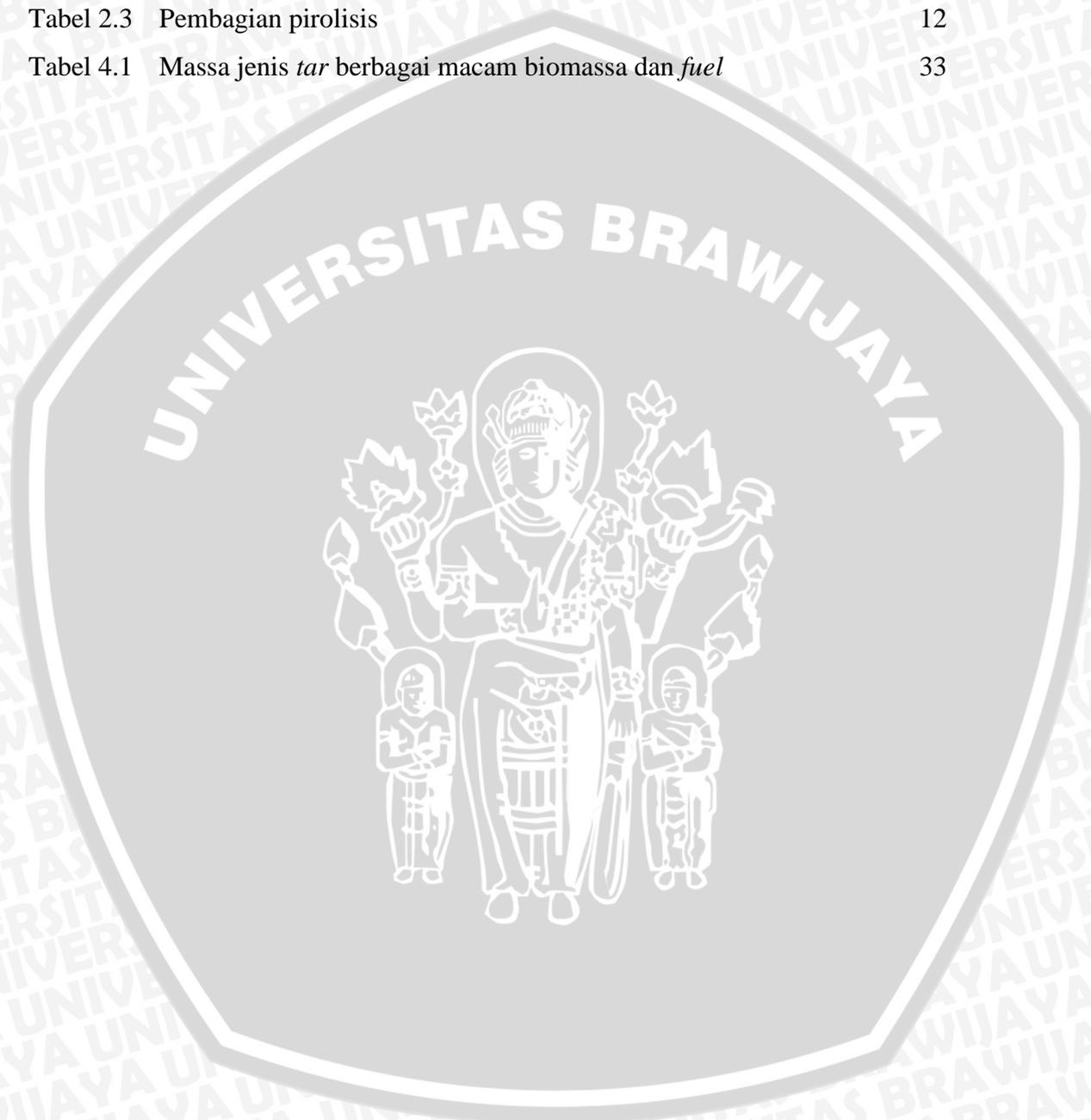
## DAFTAR ISI

	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> .....	viii
<b>RINGKASAN</b> .....	ix
<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 Serbuk Kayu Mahoni .....	6
2.2.1 Selulosa .....	7
2.2.2 Hemiselulosa .....	8
2.2.3 Lignin .....	8
2.3 Gasifikasi .....	9
2.4 Pirolisis .....	10
2.4.1 <i>Slow Pyrolysis</i> .....	12
2.4.2 <i>Fast Pyrolysis</i> .....	12
2.4.3 <i>Flash Pyrolysis</i> .....	13
2.5 Tar .....	13
2.6 Syn-gas .....	14
2.7 Heating rate .....	15
2.8 Kinetic rate .....	15
2.9 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 .....	24
3.5 Prosedur Penelitian .....	24
3.6 Diagram Alir Penelitian .....	27
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	28
4.1 Hasil Penelitian .....	28
4.2 Pembahasan .....	33
4.2.1 Analisa Grafik Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Volume <i>Tar</i> .....	33
4.2.2 Analisa Grafik Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Volume dan Massa <i>Tar</i> .....	34
4.2.3 Analisa Grafik Persamaan Kinetik Rate <i>Tar</i> .....	36
<b>BAB V PENUTUP</b> .....	40
5.1 Kesimpulan .....	40
5.2 Saran .....	40
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Komposisi serbuk kayu dalam % berat total	6
Tabel 2.2	Kandungan berbagai macam material	7
Tabel 2.3	Pembagian pirolisis	12
Tabel 4.1	Massa jenis <i>tar</i> berbagai macam biomassa dan <i>fuel</i>	33



## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Struktur Molekul Selulosa	8
Gambar 2.2	Struktur dari Hemiselulosa	8
Gambar 2.3	Struktur Lignin	9
Gambar 2.4	Skema Gasifikasi	10
Gambar 2.5	Dekomposisi komponen biomassa selama proses pirolisis	11
Gambar 2.6	Pengaruh temperatur selama proses pirolisis	14
Gambar 2.7	<i>Flowrate gas</i> selama proses pirolisis bambu	15
Gambar 2.8	Grafik hubungan massa dengan waktu	16
Gambar 2.9	Grafik hubungan $\ln(dW/dt)$ terhadap $1/T$	17
Gambar 3.1	Instalasi Pirolisis	20
Gambar 3.2	Gelas Ukur	20
Gambar 3.3	Timbangan Elektrik	21
Gambar 3.4	<i>Moisture analyzer</i>	21
Gambar 3.5	<i>Thermocouple</i> tipe k	22
Gambar 3.6	Handycam	22
Gambar 3.7	<i>Stopwatch</i>	23
Gambar 3.8	Kompur Listrik	23
Gambar 3.9	Oven	24
Gambar 3.10	Diagram alir penelitian	24
Gambar 4.1	Grafik perubahan massa dan temperatur terhadap waktu pada temperatur 700 °C	29
Gambar 4.2	Grafik hubungan <i>kinetic rate</i> dengan temperatur	29
Gambar 4.3	Grafik hubungan <i>kinetic rate</i> terhadap temperatur dengan persamaan ganda	30
Gambar 4.4	Grafik temperatur terhadap waktu selama pirolisis berlangsung	32
Gambar 4.5	Grafik pengaruh temperatur pirolisis terhadap volume <i>tar</i>	33
Gambar 4.6	Grafik pengaruh temperatur pirolisis terhadap volume dan massa <i>tar</i>	34
Gambar 4.7	Grafik Persamaan <i>kinetic rate tar</i> dengan persamaan, (a) tunggal (b) ganda	36

Gambar 4.8 Grafik hubungan perbandingan massa aktual dan massa dari hitungan persamaan kinetik terhadap temperatur 700°C dengan persamaan (a) tunggal (b) ganda 37

Gambar 4.9 Grafik hubungan massa dari persamaan k tunggal dan ganda terhadap waktu pada temperatur 600°C dan 700°C 38



## DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1	Data Hasil Penelitian
Lampiran 2	Data Hasil Perhitungan Nilai <i>Rate Constan</i>
Lampiran 3	Data Penelitian Volume total, massa total dan massa jenis



## RINGKASAN

**Raka Mahendra Sulistiyo**, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, November 2014, *Pengaruh Temperatur terhadap Laju Kinerik Tar pada Pirolisis Serbuk Kayu Mahoni*. Dosen Pembimbing: Widya Wijayanti dan Francisca Gayuh Utami Dewi.

Sampah kini ini menjadi masalah serius dan menjadi perhatian berbagai pihak. Banyak solusi yang berkembang dan diaplikasikan untuk memanfaatkan sampah. Masyarakat melakukan daur ulang terhadap sampah tertentu untuk memperoleh keuntungan dengan cara meningkatkan nilai dari sampah tersebut. Salah satunya yaitu pirolisis, dengan menggunakan bahan baku berupa sampah organik yang nantinya dikonversi menjadi bahan yang mengandung nilai kalor seperti *tar*. Selama proses pirolisis untuk memperoleh *tar* penting untuk mengetahui laju kinetik (*kinetic rate*) *tar*. Laju kinetik digunakan untuk memprediksi produk yang dihasilkan selama proses pirolisis berlangsung.

Pirolisis merupakan dekomposisi secara *thermochemical* tanpa menggunakan oksigen dengan penambahan  $N_2$ , selama proses pirolisis dihasilkan tiga produk berupa *solid (char)*, *liquid (tar)* dan gas. Bahan baku yang digunakan yaitu kayu mahoni yang berupa serbuk. Kayu mahoni merupakan biomassa yang memiliki tiga kandungan utama yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin sehingga dapat digunakan sebagai bahan baku pirolisis. Pada penelitian ini menggunakan variasi temperatur pirolisis pada 250°C, 350°C, 400°C, 450°C, 500°C, 600°C, 700°C dan 800°C selama 3 jam.

Dari hasil penelitian didapat dengan meningkatnya temperatur pirolisis maka massa dan volume produk hasil pirolisis berupa *tar* akan meningkat sampai temperatur 500°C, setelah itu mengalami penurunan. Dalam penelitian ini, selama proses berlangsung dapat diketahui laju kinetik dari *tar*, menggunakan dua model. Model pertama menggunakan satu persamaan laju kinetik selama proses berlangsung diperoleh persamaan  $k=(3,397 \times 10^{-5}) \exp^{-5119/T}$ . Model ke dua menggunakan dua persamaan laju kinetik, dengan rentang temperatur 250°C-500°C diperoleh persamaan  $k_1=(5,77 \times 10^{-5}) \exp^{4782,9/T}$  dan 500°C-800°C untuk  $k_2=(2,377 \times 10^{-5}) \exp^{5308,5/T}$ . Dengan membandingkan dua model tersebut, menggunakan satu persamaan laju kinetik dihasilkan massa total yang lebih banyak dibandingkan menggunakan dua persamaan laju kinetik dan lebih mendekati aktual.

Kata kunci : Temperatur pirolisis, massa tar, volume tar, *single kinetic rate*.

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Berbagai upaya dilakukan untuk memecahkan masalah penanggulangan sampah yang semakin menumpuk. Dibutuhkan pemikiran-pemikiran yang jitu, serta ide yang inovatif dan kreatif untuk menyelesaikannya. Sampai saat ini sangatlah banyak industri daur ulang yang hanya sebatas mendaur ulang satu jenis sampah saja yaitu plastik dan juga kertas bekas. Sedangkan sampah organik lain seperti daun dan kayu banyak yang mengatasinya dengan dibakar dengan tujuan mengurangi volume sampah. Selain itu usaha juga dilakukan untuk meningkatkan nilai dari sampah-sampah seperti dimanfaatkan sebagai bahan baku pupuk atau media tanam saja, sedikit yang digunakan untuk menghasilkan energi alternatif.

Salah satu teknologi alternatif untuk memperoleh sumber energi hidrokarbon ialah pirolisis. Pirolisis merupakan dekomposisi panas suatu bahan organik yang berada pada kondisi minimum oksigen ( $O_2$ ). Sumber bahan bakar yang digunakan merupakan daur ulang dari sampah industri mebel yang berupa serbuk kayu. Disamping memanfaatkan sampah dari penggunaannya, hasil pirolisis juga sangat ramah lingkungan dan juga bermanfaat, seperti arang, asap cair, dan juga minyak asitri, sebagian memiliki nilai kalor yang dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif terbarukan. Pirolisis banyak digunakan sebagai solusi, seperti pirolisis bahan organik yang dilakukan oleh mahasiswa, peneliti serta masyarakat umum untuk memenuhi kebutuhan mereka. Biasanya bahan baku pirolisis yang digunakan adalah kayu, kotoran, daun yang merupakan hasil sampingan dari proses produksi. Oleh karena itu perolehan hasil produk dari pirolisis merupakan salah satu hal penting yang nantinya akan bermanfaat bagi masyarakat luas.

Selama proses pirolisis hal yang sangat penting yaitu memperhatikan efisiensi alat yang nantinya akan mempengaruhi hasil produk, dengan meminimalisir kebocoran dan menjaga keakuratan alat ukur. Dengan demikian selama proses akan mendapatkan hasil yang akurat sesuai yang diharapkan. Dalam proses pirolisis, laju kinetik sangat penting untuk mengetahui secara rinci proses yang terjadi di dalam pirolizer atau reaktor. *Kinetic rate* / laju kinetik digunakan untuk mengetahui kecepatan reaksi selama proses berlangsung. Selama proses pirolisis berlangsung terjadi reaksi kimia menjadi hasil reaksi, perubahan zat yang terjadi selama proses pirolisis dalam satuan waktu

merupakan laju kinetik. Di dalam pirolisis, reaksi kimia yang terjadi yaitu diakibatkan dari peningkatan suhu dengan kondisi oksigen yang minimum sehingga tidak terjadi pembakaran selama proses berlangsung. Hasil dari proses pirolisis yaitu tar, char dan gas.

*Tar* merupakan salah satu hasil dari pirolisis. Salah satu kendala produksi *tar* yaitu sulitnya mengatur produksi tar agar lebih efisien serta efektif, sehingga biaya produksi lebih ditekan serta lebih memudahkan produsen untuk memproduksi tar yang diharapkan. Oleh karena itu *kinetic rate* perlu diketahui agar produksi tar akibat pengaruh temperatur dapat diketahui.

Dalam mengoptimalkan proses pirolisis dan hasil yang diinginkan, pengetahuan tentang *kinetic rate* sangatlah penting untuk diketahui dan dipelajari. Masih jarang penelitian dalam pengembangan *kinetic rate*, akibat pengaruh variasi temperatur karena pirolisis merupakan proses thermo-kimia. Sangatlah penting apabila ingin meningkatkan hasil produk pirolisis dengan cara mengetahui pengaruh *kinetic rate* akibat pengaruh variasi temperatur pirolisisnya.

Perlunya mengetahui *kinetic rate* selain hal yang sudah disebutkan diatas yaitu untuk mengetahui efisiensi *pyrolyzer* atau *gasyfier* yang digunakan untuk proses pembuatan char, tar maupun gas untuk keperluan lain. Dengan mengetahui *kinetic rate* suatu proses pirolisis atau gasifikasi maka semakin memudahkan untuk menciptakan alat *pyrolyzer* dan *gasyfier* yang sesuai dengan efisiensi yang tinggi sehingga mampu diproduksi dan dapat dimanfaatkan oleh masyarakat luas.

Lanjutan dari proses pirolisis dimana *combutional gas* hasil dari pirolisis digunakan kembali menjadi pemanas atau sumber panas untuk proses disebut juga gasifikasi. Sehingga proses gasifikasi tidak membutuhkan banyak energi listrik untuk sumber pemanas dan cukup menggunakan pembakaran dari gas hasil proses. Kebutuhan listrik hanya sebagai aktivator atau pemicu awal agar alat dapat berjalan dan mampu menghasilkan gas untuk proses pemanasan selanjutnya. Gasifikasi merupakan inovasi terbaru untuk meminimalisir penggunaan bahan bakar fosil dan mulai menggunakan bahan bakar daur ulang.

Gasifikasi Biomassa digunakan untuk menghasilkan gas sintetis (*syn-gas*) dari bahan bakar padat yang antara lain berasal dari biomassa (limbah yang berasal dari pertanian, perkebunan dan kehutanan). Selama proses berlangsung, bahan baku biomassa akan terurai menjadi gas hidrogen, methana, karbon monoksida, karbon dioksida, nitrogen, polutan dan abu. Selain biomassa, hasil bumi berupa batubara bisa

digunakan untuk objek gasifikasi, dan banyak di aplikasikan oleh masyarakat luas dikarenakan harga batubara yang masih bisa terjangkau.

Gas sintetis yang dihasilkan selanjutnya dapat dimanfaatkan untuk pembakaran/pemanasan (*heating/drying*) maupun dapat juga digunakan sebagai bahan bakar untuk keperluan yang lain. Sistem ini sangat cocok untuk memenuhi kebutuhan pemanasan dan pembangkit listrik bagi industri kecil dan menengah serta untuk aplikasi di daerah terpencil yang belum terjangkau listrik. Bahan bakarnya sangat fleksibel, sebagai contoh sekam padi, serbuk gergajian kayu, tongkol jagung, cangkang sawit dan limbah lainnya yang mudah didapat dilokasi instalasi sistem.

### 1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana pengaruh temperatur pirolisis terhadap laju kinetik *tar* hasil pirolisis kayu mahoni?

### 1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini memiliki beberapa batasan yaitu:

1. Biomasa yang digunakan adalah serbuk kayu mahoni.
2. Pada saat pengujian dianggap tidak ada kebocoran.
3. Kandungan air pada serbuk kayu mahoni pada saat pengujian sama yaitu 2%.
4. Pada proses pemindahan serbuk kayu setelah dikeringkan ke *pyrolyzer* dianggap tidak mempengaruhi kadar air serbuk kayu.
5. Ukuran serbuk kayu mahoni dianggap sama.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh temperatur pirolisis terhadap hasil pirolisis serbuk kayu mahoni yaitu laju kinetik *tar* hasil pirolisis.

### 1.5 Manfaat Penelitian

1. Sebagai acuan dasar atau referensi untuk penelitian-penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan penelitian.
2. Sebagai salah satu usaha untuk menemukan energi alternatif terbarukan yang berguna bagi masyarakat luas.
3. Menambah pengetahuan masyarakat luas tentang pirolisis.

4. Agar masyarakat mengetahui dekomposisi kayu mahoni sebagai hasil pirolisis dan dimanfaatkan dengan sebaik-baiknya.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian sebelumnya

Holstein, *et al* (2005) dalam penelitiannya melakukan pirolisis dengan berbagai macam batubara yang berasal dari berbagai macam lokasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinetik dari metana dan perkembangan *tar* selama proses pirolisis. Dengan menggunakan 35 jenis batubara dan tiga macam *heating rate* yaitu 10°K/min, 30°K/min, 100°K/min. Dari penelitian tersebut menunjukkan peningkatan energi aktivasi berdasarkan peningkatan jumlah karbon dalam batubara.

Horne dan Williams (1996) dalam penelitiannya dengan *flash* pirolisis biomassa yang berupa kayu dengan temperatur 400°C, 450°C, 500°C dan 550°C. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh temperatur terhadap produk hasil pirolisis dengan *fluidized bed*. Dengan hasil pembentukan *tar (bio-liquid)* terjadi pada temperatur 400°C -550°C. Pada temperatur tersebut dihasilkan juga *tar* yang memiliki viskositas rendah.

Manasomboonphan dan Junyapoon (2012) dengan limbah oli bekas yang dipirolisis pada temperatur 200°C, 300°C, 400°C, 500°C serta penambahan N<sub>2</sub> pada saat temperatur 50°C -100°C. Dalam penelitian tersebut menghasilkan pengaruh temperatur terhadap konsentrasi dan molekul hidrokarbon yang terbentuk di minyak yang dihasilkan selama pirolisis.

Muhdhor (2014) dalam penelitiannya minyak yang dihasilkan dari limbah kayu *hardwood mahoni*. Dengan variasi temperatur 250°C, 350°C, 450°C, 500°C, 600°C, 700°C, dan 800°C dengan *char* yang semakin meningkat dan perubahan warna *char* yang semakin gelap setiap peningkatan temperatur. Serta *Kinetic rate* pada rentang temperatur 25°C-250°C didapatkan persamaan *rate constan* satu ( $k_1$ ) adalah  $k_1 = 1,343 \exp^{-661,7/T}$ . Pada rentang yang lebih tinggi yaitu rentang temperatur 250°C-500°C didapatkan persamaan *rate constan* dua ( $k_2$ ) adalah  $k_2 = 0,111 \exp^{-26,48/T}$ . Sedangkan pada range temperatur 500°C-800°C didapatkan persamaan *rate constan* tiga ( $k_3$ ) adalah  $k_3 = 0,242 \exp^{-101,8/T}$ . Namun penelitian tentang *kinetic rate liquid* belum diteliti.

## 2.2 Serbuk Kayu Mahoni

Biomassa adalah material organik yang berasal dari tanaman atau hewan. Biomassa bukanlah dari material fosil, melainkan material non fosil. Biomassa bisa dari apa pun yang dihasilkan oleh tumbuhan, hewan, mikro organisme. Seperti kayu, batang, kotoran hewan, alga dan masih banyak lagi. Dengan dijadikannya biomassa sebagai bahan baku pirolisis diharapkan biomassa memiliki nilai tambah setelah akhir proses sehingga bisa berguna bagi masyarakat.

Pada penelitian ini menggunakan kayu mahoni yang merupakan salah satu jenis biomassa. Kayu mahoni memiliki tiga unsur utama yaitu *selulosa*, *lignin*, *hemiselulosa*. Secara spesifik kayu mahoni komposisi selulosa 39%, hemiselulosa 35%, dan lignin 20% dari kandungan kayu seperti pada tabel 2.2. Syarat biomassa dapat dipirolisis yaitu dikarenakan adanya tiga unsur utama tersebut sehingga dapat menghasilkan produk selama proses pirolisis. Selain itu biomassa dari kayu mahoni memiliki unsur karbon yang banyak sehingga nantinya dapat dijadikan sebagai bahan bakar setelah berlangsungnya proses (lihat tabel 2.1). Kayu mahoni sendiri merupakan *hardwood* dari kelas *gymnospermae* dengan ciri menggugurkan daun dan memiliki daun yang melebar.

Tabel 2.1 Komposisi serbuk kayu dalam % berat total

Komposisi Dasar dari potongan kayu (% berat total pada kayu kering)	
C	48
O	45,6
H	6,2
N	0,2

Sumber: Dufour, *et al* (2007)

Serbuk kayu mahoni merupakan salah satu bentuk dari kayu yang dipotong menjadi bagian kecil-kecil yang disebut serbuk. Dengan dijadikannya serbuk maka distribusi temperatur diharapkan lebih merata serta lebih mudah terdekomposisi dari pada menggunakan kayu utuh. Apabila menggunakan kayu utuh maka diperlukan pemanasan yang lebih agar panas mampu masuk sampai ke dalam kayu sehingga butuh waktu yang lama agar panas pada kayu merata. Banyak jenis kayu terdapat disekitar kita seperti kayu jati, mahoni, kayu dari pohon mangga, dan lain sebagainya.

Kayu mahoni salah satu kayu yang banyak dimanfaatkan oleh masyarakat umum untuk pembuatan perabotan dan sebagainya. Banyaknya industri dengan bahan baku

kayu mahoni maka akan semakin banyak pula limbah yang dihasilkan. Pemanfaatan limbah kayu mahoni pun juga banyak dilakukan oleh masyarakat luas seperti sebagai media untuk jamur oleh petani jamur. Limbah kayu juga dapat dimanfaatkan, diolah ulang sebagai bahan bakar minyak dengan proses pirolisis.

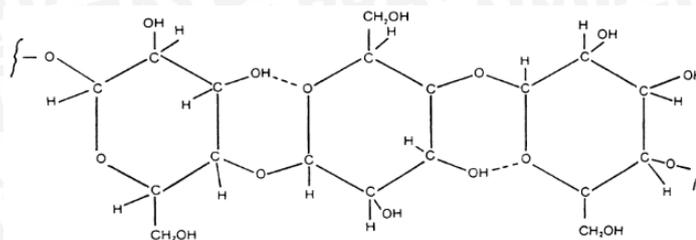
Tabel 2.2 Kandungan berbagai macam material

Feedstock	Lignin (%)	Cellulose (%)	Hemicellulose (%)
Wood	25–30	35–50	20–30
Wheat straw	15–20	33–40	20–25
Switch grass	5–20	30–50	10–40
Sugarcane bagasse	23–32	19–24	32–48
Miscanthus	17	24	44
Corn stover	16–21	28	35
Hazelnut shell	42.9	28.8	30.4
Olive husk	48.4	24	23.6
Corn cob	15	50.5	31
Tea waste	40	30.20	19.9
Walnut shell	52.3	25.6	22.7
Almond shell	20.4	50.7	28.9
Sunflower shell	17	48.4	34.6
Nut Shell	30–40	25–30	25–30
Paper	0–15	85–99	0
Rice straw	18	32.1	24
Stored refuse	20	60	20
Leaves	0	15–20	80–85
Cotton seed hairs	0	80–95	5–20

Sumber : Jahirul, *et al* (2012)

### 2.2.1. Selulosa

Selulosa merupakan komponen organik yang paling umum di bumi yang merupakan komponen struktural dari dinding sel suatu biomassa. Pada kayu jenis *hardwood* memiliki 30% dari berat total kayu tersebut. Selulosa memiliki struktur  $(C_6H_{10}O_5)_n$  yang tergolong rantai panjang polimer dengan derajat polimerisasi yang tinggi dan berat molekul yang besar seperti gambar 2.1. Selulosa memiliki struktur kristal yang banyak terdiri dari ribuan struktur dan molekul glukosa yang banyak. Struktur tersebut yang menyebabkan kayu memiliki kekuatan yang tinggi, hal tersebut yang memungkinkan terbentuk kerangka struktur terestrial pada biomassa (Klass, 1998). Selulosa terdiri dari gabungan d-glukosa yang terdiri dari enam karbon seperti pada gambar 2.1 dibawah ini.

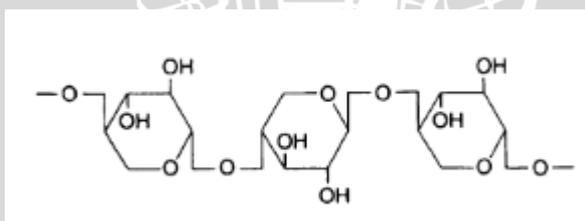


Gambar 2.1 Struktur Molekul Selulosa  
Sumber : Basu, 2010; 37.

### 2.2.2. Hemiselulosa

Hemiselulosa merupakan salah satu pembentuk dari dinding sel suatu tanaman. Apabila dibandingkan dengan selulosa yang merupakan struktur yang kuat dan tahan terhadap hidrolisis, hemiselulosa tidak sama, memiliki struktur yang tidak begitu kuat. Dengan suatu rangkaian karbohidrat dengan cabang struktur berantai dan derajat polimerisasi yang kecil, dengan rumus kimia  $(C_5H_8O_4)_n$  (Klass, 1998). Pada gambar 2.2 menunjukkan molekul hemiselulosa. Hemiselulosa cenderung menghasilkan lebih banyak gas dan lebih sedikit *tar* dari pada selulosa (Milne, *et al* 2002). Hemiselulosa memiliki karakteristik larut dalam larutan alkali lemah dan mudah terhidrolisis oleh asam atau basa encer. Biasanya kandungan hemiselulosa yaitu 20-30% dari berat kayu.

Selama proses hemiselulosa memproduksi lebih banyak gas dan lebih sedikit *tar* serta *char* dibandingkan dengan selulosa (Soltes dan Elder, 1981, 84). Menurut Mohan *et al* (2006) pada *slow pyrolysis* kayu, proses pirolisis hemiselulosa terjadi pada temperatur 180°C.



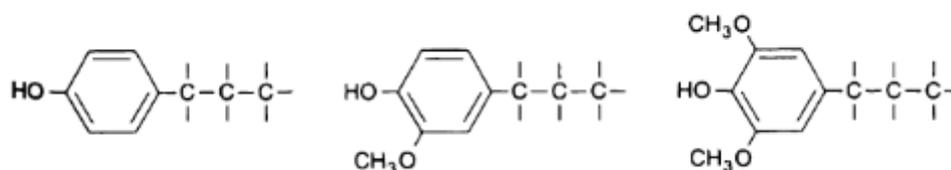
Gambar 2.2 Struktur dari Hemiselulosa  
Sumber : Basu, 2010; 37.

### 2.2.3. Lignin

Lignin merupakan polimer *phenylpropane* bercabang yang sangat kompleks dan merupakan bagian sekunder dari dinding sel tanaman seperti gambar 2.3. Lignin memiliki tiga dimensional polimer dari *4-propenyl phenol*, *4-propenyl-2-methoxy phenol*, dan *4-propenyl-2.5-dimethoxyl phenol* (Diebold dan Bridgwater, 1997). Lignin salah satu pembentuk penting dinding sel dari kayu suatu biomassa. Lignin sangatlah

mudah larut, meski dalam asam sulfur (Klass, 1998). Dalam kayu *hardwood* lignin terdiri dari 18-25% dari berat total.

Dalam proses pirolisis lignin lebih cenderung memproduksi 55% *char* (Soltes dan Elder, 1981), 15% *tar*, 20% komponen *liquid* lainnya, dan 12% gas. Lignin lebih sulit untuk dipisahkan dibandingkan dengan selulosa dan hemiselulosa (Mohan, *et al*, 127, 2006). Dekomposisi lignin pada kayu dimulai saat temperatur mencapai 250°C dan terus berlangsung pada temperatur 450°C sampai 500°C dan mencapai puncak reaksi 350°C sampai 450°C (Kudo dan Yoshida, 1957). Dengan begitu lignin merupakan kandungan dari kayu yang paling sulit untuk dipecah.

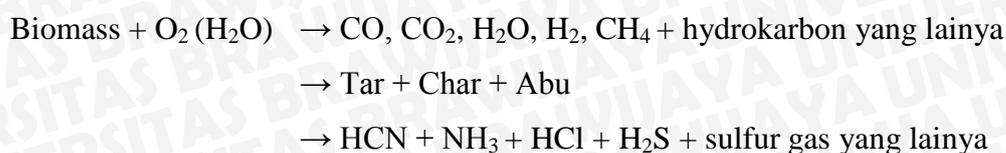


Gambar 2.3 Struktur Lignin  
Sumber : Basu, 2010; 38.

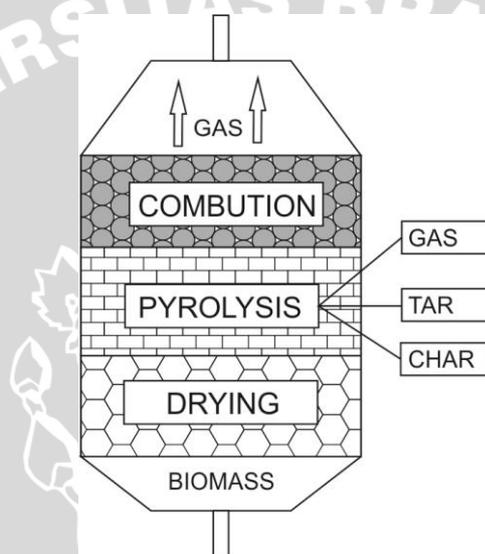
### 2.3 Gasifikasi

Gasifikasi adalah proses konversi biomass secara termokimia pada temperatur diatas 1000°C untuk menghasilkan gas yang mampu mengganti bahan bakar minyak. Selama proses gasifikasi biomassa dipanaskan dengan kondisi udara tertentu yaitu 30% dari kebutuhan udara untuk pembakaran. Biomassa yang digunakan pun bermacam-macam salah satunya yaitu berupa sampah atau limbah serbuk kayu. Pengolahan sampah dengan proses gasifikasi menjadi bahan bakar yang nantinya dapat bermanfaat bagi masyarakat sekitar dengan contoh skema pada gambar 2.4.

Gasifikasi merupakan termokimia proses untuk mengkonversi material yang mengandung karbon menjadi gas menggunakan alat *gasyfier* dengan beberapa tahap seperti pengeringan, pemanasan, pirolisis, oksidasi dan gasifikasi. Gasifikasi salah satu teknologi menggunakan biomassa. Memiliki fleksibilitas yang tinggi dalam penggunaan berbagai macam bahan baku yang berbeda. Pada dasarnya berbagai macam biomassa yang melalui proses gasifikasi dapat dikonversi menjadi *syngas* dengan kandungan utama hidrogen, karbon monoksida, karbon dioksida dan metana (Heidenreich, 2014).



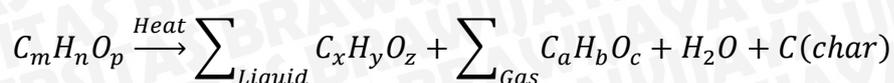
Terdapat empat langkah proses gasifikasi yaitu proses pengeringan pada temperatur kurang dari 150°C, proses pirolisis pada temperatur 150°C–700°C, proses oksidasi pada temperatur 700°C–1500°C dan proses reduksi pada temperatur 800°C - 1100°C. Pada proses pengeringan, uap air pada biomassa akan menguap mengakibatkan kandungan air berkurang. Pada proses pirolisis, komponen *volatile* akan menguap dikarenakan pemanasan yang terjadi. Uap *volatile* yang terbentuk terdiri dari campuran hidrogen, karbon monoksida, karbon dioksida, metana, gas hidrokarbon, *tar*, dan uap air (Baruah, D. & Baruah, D.C. 2014).



Gambar 2.4 Skema Gasifikasi

## 2.4 Pirolisis

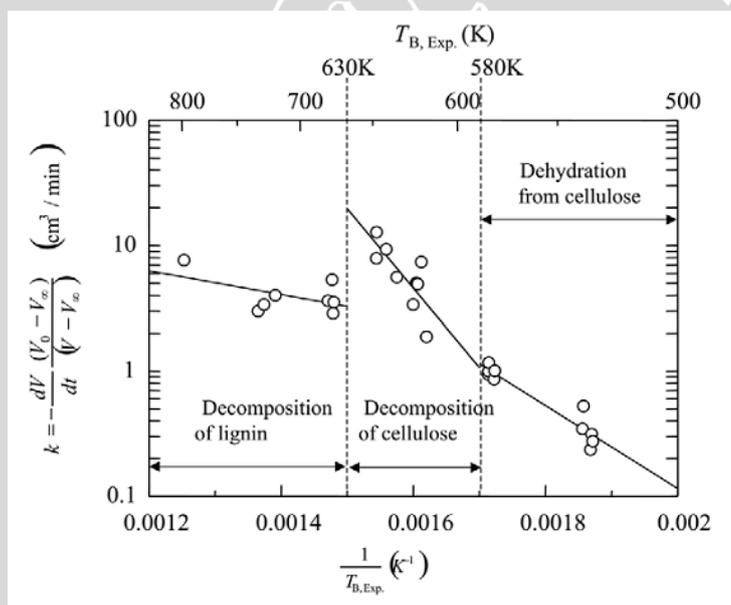
Pirolisis adalah dekomposisi thermal biomassa tanpa oksigen selama proses. Kata pirolisis berasal dari Yunani yaitu “*pyro*” dan “*lysis*” yang berarti memecah menjadi beberapa bagian. Proses pirolisis pada bahan organik sangatlah kompleks dan terjadi secara berkesinambungan ketika material organik dipanaskan. Selama proses, dekomposisi thermal dari biomassa dimulai pada temperatur 350-550°C dan akan terus berlangsung pada temperatur 700-800°C tanpa adanya oksigen. Rantai panjang senyawa karbon, hidrogen dan oksigen dipecah menjadi molekul yang lebih kecil dalam bentuk gas, *tar*, dan *char* selama pirolisis (Jahirul, *et al* 2012).



Efek dari komposisi biomassa sangatlah mempengaruhi hasil dari pirolisis, pada tumbuhan seperti *hardwood* memiliki tiga unsur utama yaitu hemiselulosa, selulosa dan lignin. Menurut Wijayanti (2013) proses pemecahan komponen dapat dilihat pada gambar 2.5:

- Hemiselulosa : 227°C - 307°C
- Selulosa : 307°C - 357°C
- Lignin : 357°C - 800°C

Produk utama pirolisis yaitu pemecahan dari biomassa seperti *volatiles* dan *tar*. Produk sangat dipengaruhi temperatur, waktu pemanasan, dan tekanan selama dalam proses. Dalam pengembangan proses yang spesifik dan memaksimalkan hasil proses pirolisis, pada *secondary reactions* memiliki karakteristik hasil yang lebih baik.



Gambar 2.5 Dekomposisi komponen biomassa selama proses pirolisis.  
Sumber: Wijayanti (2013)

Waktu proses pada uap yang lama, pada temperatur 200°C -600°C dan tekanan tinggi mendukung terjadinya pembentukan *secondary tars* dari produk utama pirolisis. Pada kondisi tersebut molekul biomassa selama proses terjadi setelah dikondensasikan untuk menghasilkan *tar*, tentu saja biomassa sudah menjadi uap. Hal yang harus diperhatikan yaitu lamanya waktu pirolisis pada temperatur tertentu dan temperatur yang rendah pada pembentukan *char*, air, CO dan CO<sub>2</sub> dari *secondary tars* ketika

peningkatan temperatur. *Secondary tar* dipecah menjadi hidrokarbon, H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub> dan karbon.

Selama proses berlangsung temperatur meningkat, N<sub>2</sub> akan semakin berkurang dan akan habis pada temperatur 310°C. Biomassa akan terus berkurang selama proses pemanasan, dan kan sepenuhnya habis apabila terus dipanaskan pada temperatur tertentu. Biomassa yang berkurang akan terbentuk *char* yang berwarna hitam bersama *Volatile*. *Volatile* sendiri menurut Basu (51, 2010) merupakan bahan bakar dalam bentuk uap yang terbagi menjadi dua yaitu yang mampu dikondensasikan dan tidak mampu dikondensasikan yang dihasilkan selama proses pemanasan.

Menurut Jahirul, *et al* (2012) temperatur operasi yang digunakan dan waktu tinggal (*residence time*), pirolisis terbagi menjadi tiga yaitu *conventional/slow pyrolysis*, *fast pyrolysis*, dan *flash pyrolysis*, bisa dilihat pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Pembagian pirolisis

Pyrolysis Process	Solid Residence Time (s)	Heating Rate (K/s)	Particle Size (mm)	Temp. (K)	Product Yield (%)		
					Oil	Char	Gas
Slow	450–550	0.1–1	5–50	550–950	30	35	35
Fast	0.5–10	10–200	<1	850–1250	50	20	30
Flash	<0.5	>1000	<0.2	1050–1300	75	12	13

Sumber : Jahirul (2012)

#### 2.4.1 Slow Pyrolysis

Pada *slow pyrolysis* sudah sangat umum digunakan untuk memproduksi *char* pada temperatur rendah dan *heating rate* yang rendah pula. Pada proses, uap tertinggal pada ruang pemanas sekitar 5-30 menit, dan uap biomassa akan terus berlangsung serta menghasilkan pembentukan *char* dan liquid. Pada *slow pyrolysis* memiliki *heating rate* 0,1-1° K/s dengan produk yang dihasilkan 30% *tar*, 35 % *char* dan 35% gas.

#### 2.4.2 Fast Pyrolysis

Pada proses *fast pyrolysis* dimana biomassa dipanaskan pada temperatur tinggi dengan meminimalkan oksigen. Dilihat pada massanya, *fast pyrolysis* menghasilkan *tar* dalam bentuk *liquid* 60%-70%, *bio-char (solid)* 15%-25% dan gas 10%-20% dari biomassa. Pada *fast pyrolysis* memiliki *heating rate* yang tinggi yaitu 10-200°K/s. Dengan *heating rate* yang tinggi disertai dengan ukuran biomassa yang kecil < 1 mm

akan mempercepat proses dekomposisi biomassa. Keuntungan proses *fast pyrolysis* yaitu lebih rendah biaya serta meminimalisir CO<sub>2</sub>.

### 2.4.3 *Flash Pyrolysis*

*Flash pyrolysis* dengan *heating rate* yang lebih tinggi dibanding *fast pyrolysis* yaitu > 1000 K/s. Pada proses ini juga menghasilkan *char*, *tar* serta gas dari biomassa dengan presentase 75% *tar*, 12% gas dan 13% *char*. Karakteristik proses ini yaitu proses *volatile* (uap biomassa) yang terbentuk sangat cepat, *heating rate* sangat tinggi, reaksi yang tinggi pada temperatur antara 450°C-1000°C dan waktu tinggal gas pada reaktor yang pendek kurang dari satu detik. *Flash pyrolysis* memiliki kekurangan yaitu stabilitas panas yang jelek, *tar* yang mudah rusak, *tar* yang kotor.

Biomassa yang digunakan dalam pirolisis memiliki tiga unsur utama yaitu *selulosa*, *lignin* dan *hemiselulosa*. Selama proses pirolisis berlangsung biomassa yang dihasilkan dipengaruhi laju reaksi, produk dan perlakuan panas lainnya.

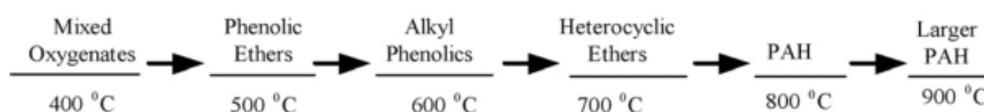
### 2.5 *Tar*

*Tar* merupakan produk dari proses pirolisis yang berupa *liquid*. *Tar* dihasilkan dari pemanasan biomassa yang menjadi uap (*volatile*) kemudian dikondensasikan sehingga terjadi perubahan fase dari uap menjadi cair. Pada dasarnya *tar* mengandung air dan juga mengandung *char* yang ikut terbawa selama proses pirolisis, dan *char* yang terkandung tergantung dari alat masing-masing.

Nama lain dari *tar* adalah *bio-oil*, *pyrolysis oil*, *bio-crude oil*, *wood oil*, *wood liquids* dan *liquid smoke*. *Tar* terbentuk dari depolimerisasi dari selulosa, hemiselulosa dan lignin. Kualitas dari *tar* ini dapat dilihat dari berat minyak yang dihasilkan dan nilai kalor yang dimiliki oleh *tar*. Semakin berat massa *tar* maka semakin baik kualitas dari *tar*. Selain itu semakin tinggi nilai kalor yang dimiliki *tar* maka semakin baik pula kualitas dari ini. Air di dalam *tar* ini merupakan akibat dari uap air yang ikut terkondensasi sehingga ikut terjebak dengan *tar*. *Tar* memiliki fungsi untuk pembakaran, bahan bakar mesin diesel dan *combustion turbines*. Pada publikasi yang lain menjelaskan tentang hubungan *tar* serta temperatur selama proses pirolisis.

Pada dasarnya *tar* merupakan biomassa yang mengandung beberapa unsur seperti pada keterangan diatas, yang merupakan campuran kompleks hidrokarbon akibat kondensasi. Semakin tinggi berat molekul hidrokarbon yang terkandung dalam *tar* maka

akan membutuhkan banyak kalor agar bisa terbakar atau memiliki sifat tahan panas dan harus diproses ulang agar bisa digunakan kembali. Berbeda apabila memiliki hidrokarbon yang ringan akan dengan mudah dimanfaatkan sebagai bahan bakar, karena membutuhkan panas kecil agar bisa terbakar. *Tar* terbentuk selama proses gasifikasi pada proses yang kompleks. Dan *tar* yang dihasilkan tergantung pada kondisi reaksi yang terjadi salah satunya adalah peningkatan temperatur yang berhubungan dengan distribusi temperatur selama proses seperti pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Pengaruh temperatur selama proses pirolisis  
Sumber: Li, *et al* (2007)

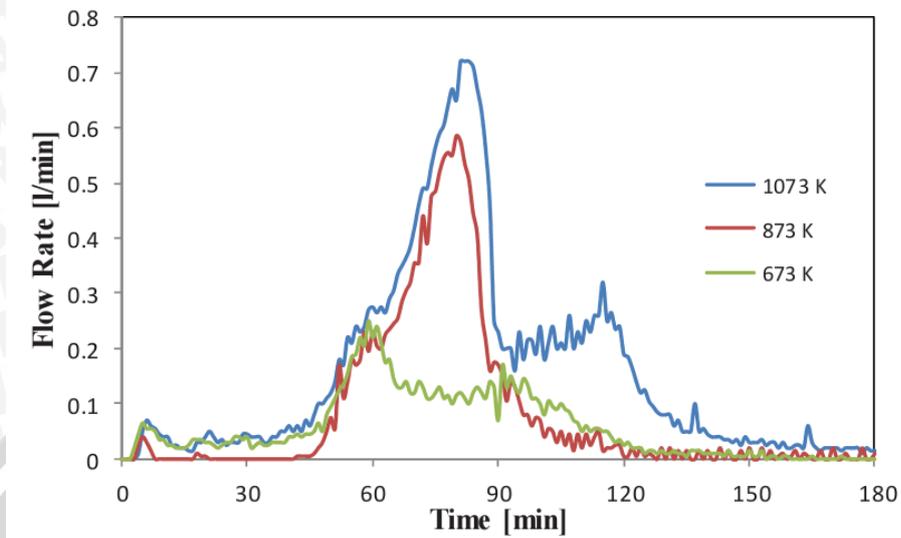
## 2.6 Syn-Gas

Hasil produk dari pirolisis selain *char* dan *tar* yang berupa gas dinamakan *syn-gas*. Selama proses pirolisis berlangsung serbuk kayu yang menjadi bahan baku akan terurai menjadi *char* dan uap di dalam reaktor. Setelah uap mengalami kondensasi dan berubah fase menjadi liquid (*tar*) yang tertinggal dikondensor, maka yang tersisa adalah gas murni. Gas yang tidak mampu terkondensasi inilah yang nantinya akan menjadi syngas yang akan dimanfaatkan lagi.

*Syn-gas* sebagian besar terdiri dari hidrogen ( $H_2$ ) dan karbon monoksida ( $CO$ ), selain itu mengandung karbon dioksida ( $CO_2$ ), air, nitrogen ( $N_2$ ), dan hidrokarbon seperti  $CH_4$ ,  $C_2H_4$ ,  $C_2H_6$ , *tar* dan abu. Kandungan syngas juga dipengaruhi oleh bahan baku dan kondisi saat proses pirolisis berlangsung. Gas-gas tersebut dapat dihasilkan dari temperatur pirolisis yang tinggi seperti gambar 2.7. Adanya  $CO$  dan  $CO_2$  menunjukkan masih adanya oksigen didalam proses pirolisis berlangsung, dikarenakan karbon yang terpecah dan oksigen saling berikatan. Jumlah selulosa didalam bahan baku mempengaruhi jumlah karbon dioksida yang dihasilkan.

*Syn-gas* dari proses pirolisis dengan bahan baku biomassa bisa menjadi salah satu sumber energi alternatif untuk berbagai kebutuhan seperti bahan bakar mesin kendaraan ataupun sebagai bahan bakar pada proses produksi di industri. Gas merupakan energi yang fleksibel, banyak aplikasi untuk memanfaatkan bahan bakar gas, di masyarakat

umum gas sangat biasa dimanfaatkan untuk berbagai keperluan rumah tangga yaitu memasak. Selain itu untuk bahan bakar pembangkit listrik untuk keperluan nasional.



Gambar 2.7 Flowrate gas selama proses pirolisis bambu  
Sumber : Wijayanti, (2012)

### 2.7 Heating rate

*Heating rate* merupakan besarnya peningkatan temperatur dalam satuan waktu. *Heating rate* salah satu faktor yang mempengaruhi proses pirolisis, sehingga pirolisis dapat dikategorikan menjadi *slow*, *fast*, *flash pyrolysis*. Pirolisis dapat dikategorikan sebagai *slow pyrolysis* apabila memiliki *heating rate* 0,1-1 K/s, *fast pyrolysis* dengan *heating rate* 10-200 K/s, dan 1000 K/s untuk *flash pyrolysis*. Dalam berbagai penelitian menunjukkan bahwa produksi *char* lebih cenderung pada *slow pyrolysis*, sedangkan *volatile* (uap biomassa) meningkat produksinya pada *fast pyrolysis* menurut Lewellen *et al* (1997). Dengan begitu *heating rate* sangatlah mempengaruhi berlangsungnya proses pirolisis.

### 2.8 Kinetic Rate

*Kinetic rate* atau laju reaksi merupakan banyaknya zat yang tereaksi selama proses pirolisis dalam satuan waktu. Selama proses pirolisis terjadi proses dekomposisi material yang berupa serbuk kayu. Dengan pengaruh temperatur tertentu dan juga dianggap tidak adanya oksigen yang nantinya digantikan dengan nitrogen agar tidak terjadinya proses pembakaran pada temperatur tinggi. Dengan hal tersebut maka hasil produk sangatlah bergantung dari *kinetic rate* selama proses dekomposisi terjadi. Pada proses kimia laju dalam reaksi dapat dituliskan sebagai berikut (Levenspiel, 15):



Maka laju dari reaksi tersebut didapat berdasarkan konsentrasi (C) dari reaksi tersebut:

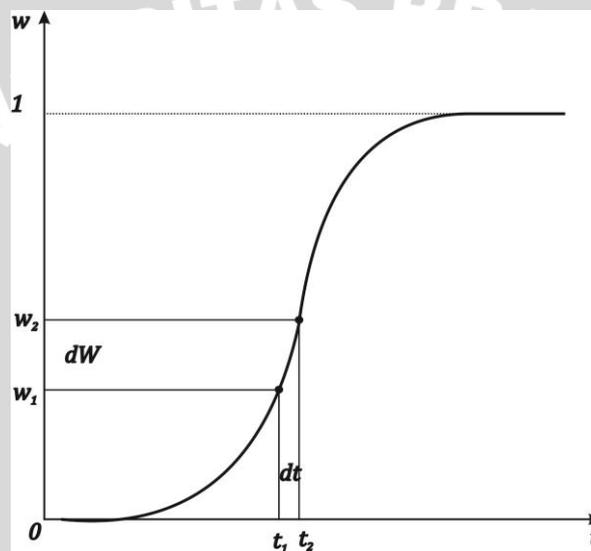
$$r_{AB} = kC_A^a C_B^b \quad (2-1)$$

$$r_{AB} = k[A][B] \quad (2-2)$$

Untuk mencari kinetik dengan variabel waktu dan perubahan massa menggunakan:

$$\frac{w_2 - w_1}{dt} = k f(X) \quad (2-3)$$

Dengan fraksi massa X yang didapat dari gambar 2.9 berikut:



Gambar 2.8 Grafik hubungan Massa dengan Waktu

$$X = \frac{(W - W_0)}{(W_\infty - W_0)} \quad (2-4)$$

sehingga didapatkan:

$$\frac{w_2 - w_1}{dt} = k \frac{(W - W_0)}{(W_\infty - W_0)} \quad (2-5)$$

Dari mekanisme pirolisis sederhana dapat ditentukan laju pirolisisnya dari Arrhenius equation untuk memasukan variabel temperatur sebagai berikut:

$$k = k_0 e^{\frac{-E}{RT}} \quad (2-6)$$

Dimana:

- k = kecepatan reaksi (gr/s)
- $k_0$  = pre-exponential factor
- E = energi aktivasi

$R$	= gas dalam keadaan konstan (8,314 J/Kmol)
$X$	= fraksi massa
$w_2 - w_1$	= perubahan massa tar
$dt$	= perubahan waktu
$W$	= massa tar pada waktu tertentu (gr)
$W_\infty$	= massa tar pada akhir proses (gr)
$W_0$	= massa tar pada awal sebelum pirolisis (gr)

Pada Arrhenius *equation* merupakan salah satu bentuk persamaan exponential. Untuk menambahkan variabel temperatur maka bentuk persamaan exponential harus diubah menjadi bentuk persamaan linier sebagai berikut.

$$y = ae^{nx} \rightarrow y = ax + c \quad (2-7)$$

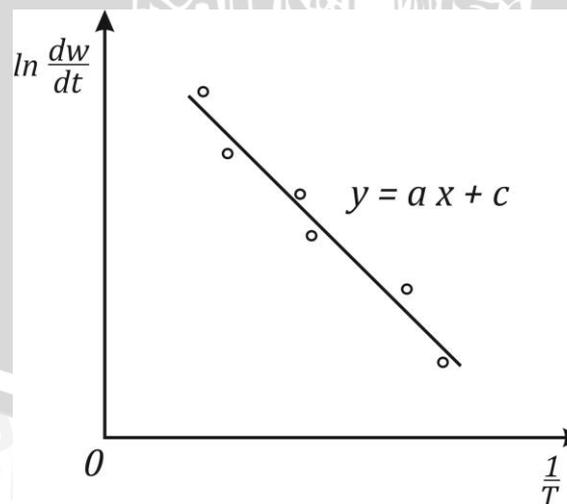
dapat diubah menjadi persamaan garis lurus maka:

$$\ln y = n x + \ln a$$

$$\ln \frac{dx}{dt} = \frac{-E}{R} \frac{1}{T} + \ln k_0 \quad (2-8)$$

$$Y = a x + c$$

Sehingga didapatkan garis linier seperti pada gambar 2.9. Dengan substitusi dari dua titik dari garis lurus tersebut.



Gambar 2.9 Grafik hubungan  $\ln(dw/dt)$  terhadap  $1/T$

Untuk mengetahui apakah persamaan itu berlaku maka menggunakan turunan rumus berikut ini:

$$\frac{dW}{dt} = -k [W] \quad (2-9)$$

$$\int_0^W W dW = \int_0^t -k dt \quad (2-10)$$

$$\ln W = -kt \quad (2-11)$$

$$W = e^{-kt} \quad (2-12)$$

## 2.9 Hipotesa

Dengan didaptkannya *tar* hasil pirolisis yang dipengaruhi oleh variasi temperatur, maka besarnya laju kinetik produksi *tar* serta energi aktivasi pirolisis dapat diketahui dengan menggunakan Arrhenius *equation*.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## 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 Juni - September 2014. Tempat yang digunakan dalam penelitian ini di Laboratorium Motor Bakar, Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang, untuk proses pengambilan data.

### 3.3 Variabel Penelitian

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

#### a. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang nilainya kita tentukan dan tidak dipengaruhi oleh variabel lain. Adapun variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah temperatur pemanasan pada saat proses pirolisis yaitu 250°C, 350°C, 400°C, 450°C, 500°C, 600°C, 700°C dan 800°C.

#### b. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besar nilainya tidak dapat ditentukan melainkan tergantung pada nilai dari variabel bebasnya. Variabel terikat yang diamati dalam penelitian pirolisis ini adalah volume *tar* selama pirolisis, massa *tar*, persamaan laju kinetik *tar* setelah pirolisis.

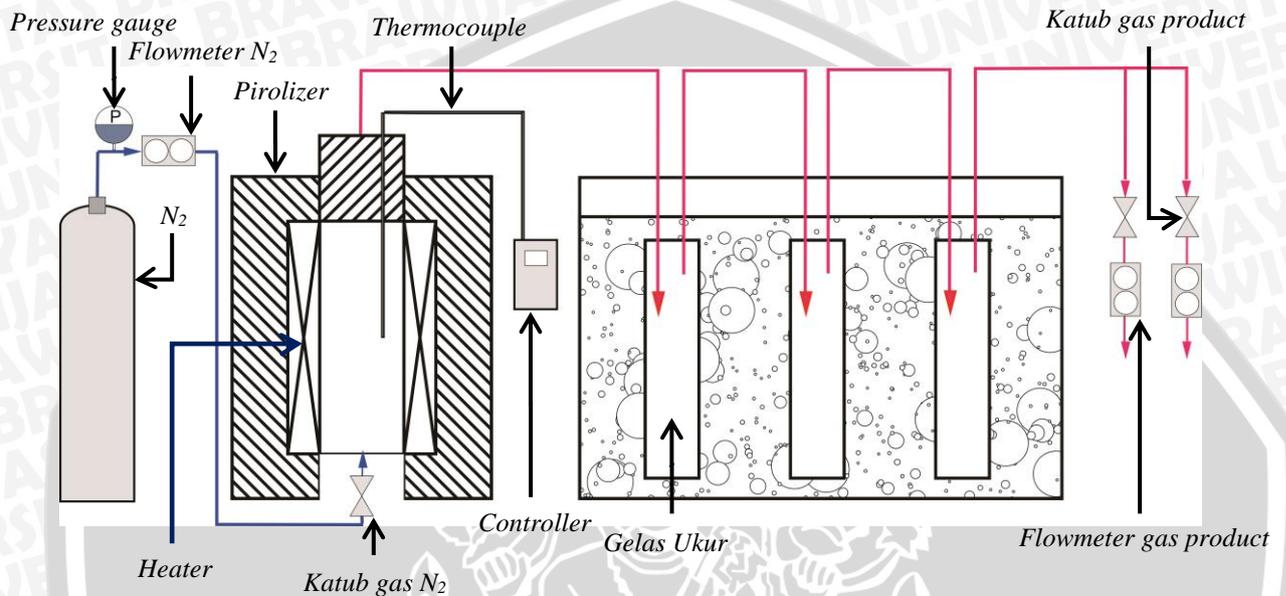
#### c. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang ditentukan oleh peneliti dan nilainya dikondisikan konstan. Dalam penelitian ini variabel terkontrolnya adalah kayu mahoni 150 gram dengan waktu pirolisis 3 jam.

### 3.4 Alat Dan Bahan Penelitian

#### 3.4.1 Alat Yang Digunakan

1. Instalasi Pirolisis
2. Instalasi alat pada gambar 3.1 ini berfungsi untuk memproses 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

3. Gelas ukur

Gelas ukur merupakan wadah bagi spesimen uji dan akan diletakkan ke dalam ruang pendinginan. Gelas ukur yang digunakan memiliki volume 100 ml dengan geometri memanjang seperti gambar 3.2.



Gambar 3.2 Gelas ukur

#### 4. Timbangan Elektrik

Alat ini berfungsi untuk mendapatkan massa dari suatu benda. Di dalam penelitian ini timbangan elektrik digunakan untuk menimbang massa spesimen untuk pengujian seperti gambar 3.3, menimbang massa *tar* hasil pirolisis.

Spesifikasi :

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



Gambar 3.3 Timbangan Elektrik

#### 5. *Moisture Analyzer*

Di dalam penelitian ini *moisture analyzer* pada gambar 3.4, 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 3.4 *Moisture analyzer*

## 6. Thermocouple

Digunakan untuk mengukur besarnya temperatur pada *pyrolyzer*. Menggunakan tipe K agar dapat diubah ke dalam data digital. *Thermocouple* tipe K ini mampu membaca temperatur sampai 1000°C, dengan geometri panjang sensor 10 cm dan diameter sensor 4 mm seperti pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 *Thermocouple* tipe k

## 7. Handycam

Handycam seperti pada gambar 3.6 berfungsi untuk mendokumentasikan *tar* yang terbentuk selama proses pirolisis berlangsung. Dengan spesifikasi JVC EVERIO GZ-MG330, 800K pixel, 35X optical zoom, 800X digital zoom.



Gambar 3.6 Handycam

### 8. Stopwatch

*Stopwatch* ini berfungsi untuk mengukur waktu dengan seperti pada gambar 3.7. Di dalam penelitian ini *stopwatch* digunakan untuk mengukur waktu pirolisis dalam mengambil data, serta waktu pengovenan.



Gambar 3.7 Stopwatch

### 9. Kompor Listrik

Kompor listrik pada gambar 3.8 digunakan sebagai sumber panas untuk memanaskan serbuk kayu mahoni dengan tujuan pengeringan.

Spesifikasi :

- Merk : Maspion
- Sistem Pemanasan : Elemen Kawat Koil
- Daya maksimal : 600 W



Gambar 3.8 Kompor Listrik

### 10. Oven

Digunakan sebagai tempat untuk mengeringkan serbuk kayu mahoni. Dengan geometri 40 cm x 40 cm x 45 cm dan dengan volume 72 dm<sup>3</sup> seperti pada gambar 3.9.



Gambar 3.9 Oven

#### 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

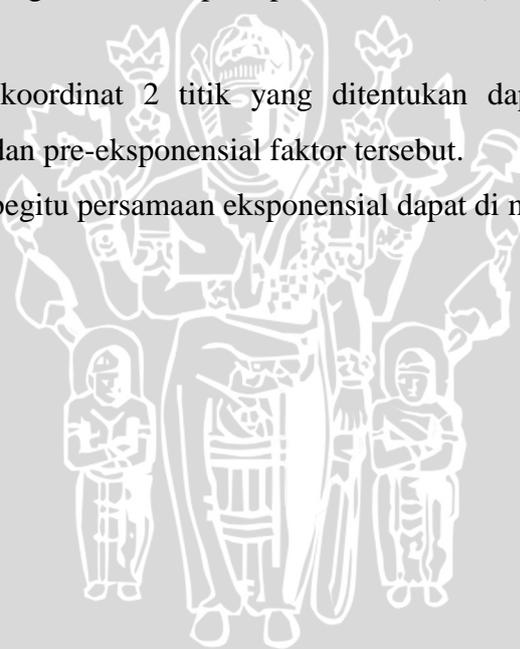
Serbuk kayu mahoni disaring agar bersih dari kotoran-kotoran yang menyertainya.

2. Prosedur mengeringkan serbuk kayu mahoni

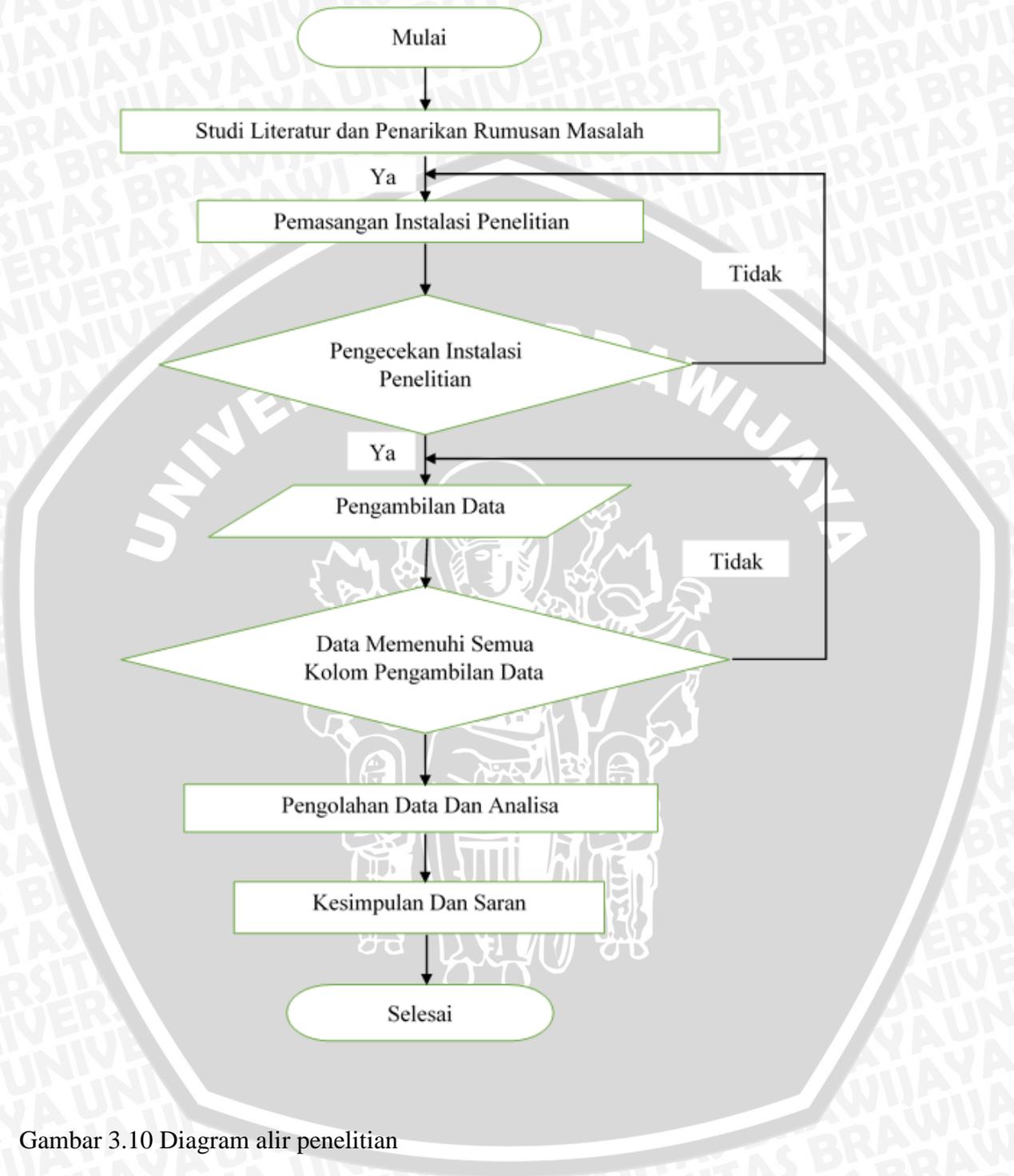
- a. Menyiapkan heater dan oven untuk proses pengeringan.
- b. Mengatur temperatur pada oven dengan temperatur 110°C.
- c. Menimbang serbuk kayu yang sudah disiapkan seberat 1 kg.
- d. Memasukan serbuk kayu ke dalam oven ketika temperatur pada oven mencapai 110°C.
- e. Melakukan proses pengeringan selama 3 jam.

- f. Setelah proses pengeringan selesai maka diambil sampel untuk diuji kadar air.
  - g. Apabila kadar air tidak mencapai 2% maka akan dikeringkan lagi sampai kadar air mencapai 2%.
  - h. Apabila kadar air mencapai 2% maka timbang serbuk kayu seberat 150 gram untuk dilakukan proses pirolisis.
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 2%.
4. Penimbangan
- Setelah melakukan pengujian kadar air dan dipastikan kadar air serbuk kayu mahoni 2% maka dilakukan penimbangan massa dari serbuk kayu mahoni seberat 150 gram.
5. Menyiapkan instalasi penelitian
- Sebelum melakukan percobaan maka instalasi penelitian harus dipasang apakah sesuai dengan skema instalasi yang diharapkan serta di *setting* temperatur sesuai yang ditentukan, serta menyiapkan handycam untuk mengetahui tar yang terbentuk selama proses.
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 *pyrolyzer*.
  - b. Mengukur massa serbuk kayu 150 gram setelah dikeringkan sebelum pirolisis.
  - c. Membuka katup N<sub>2</sub> untuk mengalirkan N<sub>2</sub> ke dalam ruang pemanas *pyrolyzer* dengan *flowrate* 3 liter/menit selama 5 menit 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. *Thermocontroller* diatur untuk variasi pertama yaitu 250°C dengan laju pemanasan kurang dari 0,50 °C/detik.

- e. Lakukan proses pirolisis selama 3 jam. Apabila setelah menempuh 3 jam maka *pyrolyzer* dimatikan.
  - f. Ukur massa *tar* dengan menimbang menggunakan timbangan elektrik dan flow rate *syn-gas* hasil pirolisis yang terbentuk.
  - g. Ulangi prosedur pirolisis dengan variasi suhu pemanasan pirolisis selanjutnya yaitu 350°C, 400°C, 450°C, 400°C, 500°C, 600°C, 700°C dan 800°C.
8. Menghitung *kinetic rate tar*
- a. mengukur pertambahan massa selama proses pirolisis berlangsung.
  - b. Lakukan pengujian densitas untuk mengetahui massa jenis *tar*.
  - c. Hitung  $k$  dengan rumus (2-5) pada bab dua.
  - d. Setelah itu mencari energi aktivasi dan pre-exponensial faktor dengan persamaan garis lurus seperti pada rumus (2-7) sampai (2-8) pada bab dua.
  - e. Dengan koordinat 2 titik yang ditentukan dapat diketahui energi aktivasi dan pre-eksponensial faktor tersebut.
  - f. Dengan begitu persamaan eksponensial dapat di munculkan.



### 3.6 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.10 Diagram alir penelitian

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Penelitian

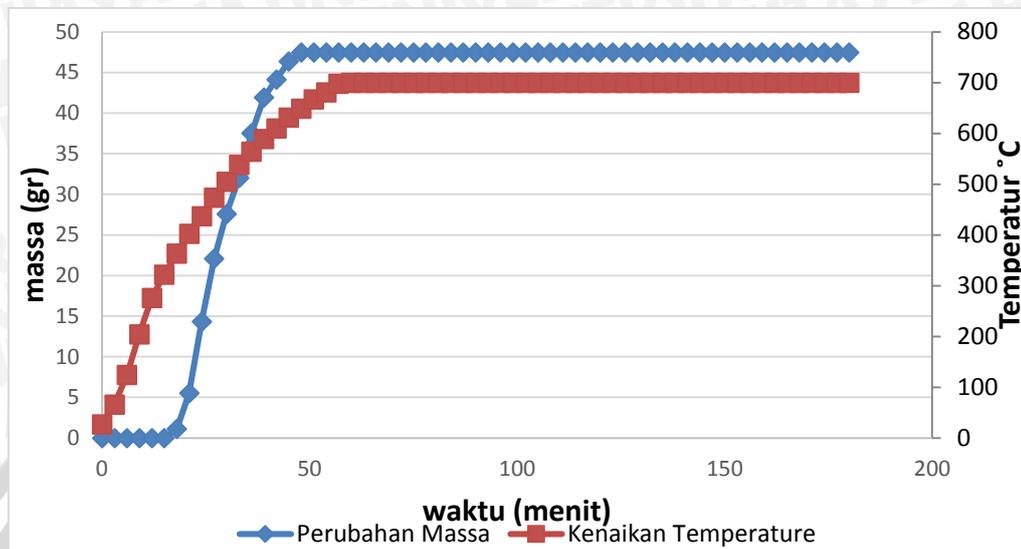
Hasil penelitian yang telah dilakukan menghasilkan beberapa data yang menunjukkan hubungan berbagai variasi temperatur pirolisis terhadap beberapa variabel terikatnya, yaitu :

- Pada gambar 4.1 merupakan grafik perubahan massa dan temperatur pada temperatur 700 °C untuk membantu dalam menjelaskan contoh perhitungan.
- Pada gambar 4.2 merupakan grafik hubungan *kinetic rate* dengan temperatur untuk memudahkan proses perhitungan.
- Gambar 4.3 grafik hubungan *kinetic rate* terhadap temperatur dengan persamaan ganda untuk membantu proses analisa dalam mendapatkan persamaan *kinetic rate*.
- Gambar 4.4 grafik temperatur terhadap waktu selama pirolisis berlangsung.
- Pada gambar 4.5 menunjukkan perubahan volume *tar* dengan variasi temperatur pirolisis untuk mengetahui seberapa besar volume akhir selama proses berlangsung.
- Pada gambar 4.6 menunjukkan grafik pengaruh temperatur pirolisis terhadap volume dan massa *tar* untuk membandingkan massa dan volume dengan mengetahui massa jenis *tar*.
- Pada gambar 4.7 menunjukkan persamaan dari *kinetic rate* dengan variasi temperatur pirolisis.
- Pada gambar 4.8 menunjukkan grafik hubungan perbandingan massa aktual dengan massa dari hitungan persamaan kinetik *tar* terhadap temperatur 700 °C. Dalam grafik tersebut untuk mengetahui model mana yang mendekati aktual.
- Gambar 4.9 menunjukkan grafik hubungan massa dari persamaan k tunggal dan ganda terhadap waktu pada temperatur 600°C dan 700°C. Dengan membandingkan kedua model tersebut untuk mengetahui model mana yang lebih baik.

## Contoh Perhitungan

### 1. Menghitung Persamaan *Kinetic Rate* Tunggal

Menghitung *rate constan* pada temperatur 700°C pada menit ke 27



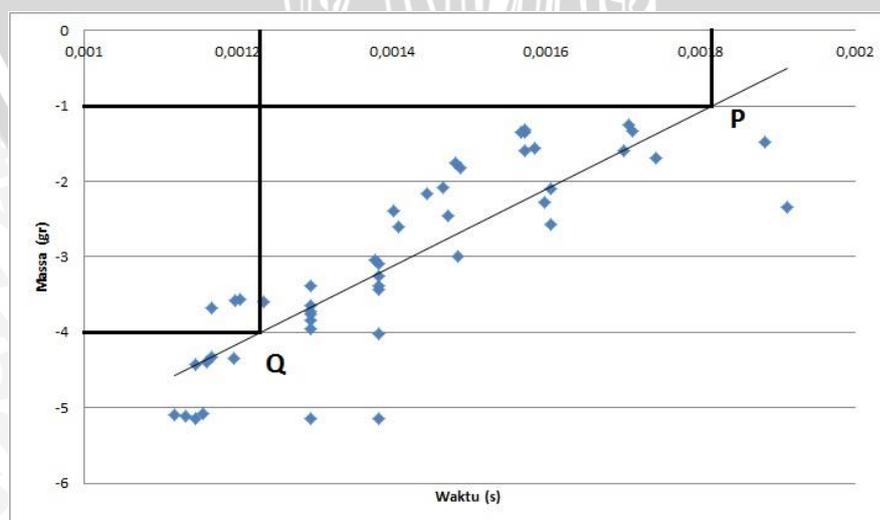
Gambar 4.1 Grafik perubahan massa dan temperatur terhadap waktu pada temperatur 700 °C

$$\frac{(27,09-22,07)}{180} = k \frac{27,09-47,45}{0-47,45}$$

$$k = 0,006276455 \text{ gram/s}$$

Dengan grafik dibawah ini dapat mencari energi aktivasi dan pre-exponensial factor. Grafik didapatkan dengan mencari  $\ln k$  dan  $1/T$  dalam bentuk Kelvin.

Dengan grafik dibawah ini:



Gambar 4.2 grafik hubungan *kinetic rate* dengan temperatur.

- Menghitung *rate constant*

Dari grafik tersebut telah ditentukan 2 titik yaitu P (0,001814,-1) dan Q (0,001228,-4).

Dengan persamaan  $y = ax + c$  maka

$$Q \rightarrow -4 = 0,001228n + c$$

$$P \rightarrow -1 = 0,001814n + c$$

$$\hline -3 = 0,00586 n$$

$$n = 5119$$

dari persamaan P maka dapat diketahui c

$$c = -1 - (0,001814 \times 5119)$$

$$= -10,29$$

maka didapatkan persamaan liniernya

$$y = 5119 x - 10,29$$

Dengan diketahuinya c maka dapat dicari a (pre-exponensial faktor)

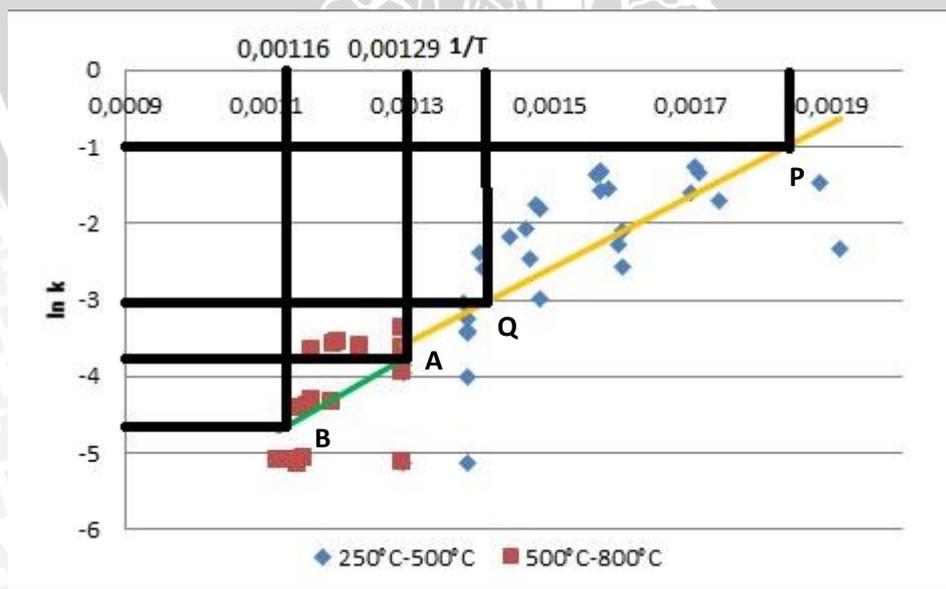
$$C = \ln a = -10,29$$

$$a = 3,39 \times 10^{-5}$$

dan dapat diketahui persamaan eksponensial dari k yaitu

$$y = (3,39 \times 10^{-5}) \exp^{5119/T}$$

## 2. Menghitung Persamaan *Kinetic Rate* Ganda



Gambar 4.3 grafik hubungan *kinetic rate* terhadap temperatur dengan persamaan ganda

- Dari grafik diatas terdapat 2 garis linier dari variasi temperatur, maka unutkan menentukan persamaan linier maka dari masing-masing garis diambil dua titik koordinat. Persamaan garis lurus dari variasi 500°C - 800°C menunjukkan garis hijau pada grafik dengan koordinat A(0,00129;-3,8), B(0,00116;-4,5)

$$A \rightarrow -3,8 = 0,00129a + c$$

$$B \rightarrow -4,5 = 0,00116a + c$$

$$\hline 0,7 = 0,00013a$$

$$a = 5384,6$$

dari persamaan (B) maka dapat dicari nilai c

$$B \rightarrow -4,5 = 0,00116a + c$$

$$c = -4,5 - (0,00116 \times 5384,6)$$

$$c = -5,19$$

maka diperoleh persamaan dari variasi temperatur 500°C - 800°C

$$y = 5384,6x - 5,19$$

$$\ln k = 5384,6(1/T) - 5,19$$

- Dari grafik hubungan temperatur dengan kinetik rate menggunakan variasi 250°C - 500°C. Ditentukan titik koordinat P(-1,0,00183) Q(-3, 0,00141) dengan persamaan garis lurus ( $y=ax+c$ )

$$P \rightarrow -1 = 0,00183a + c$$

$$Q \rightarrow -3 = 0,00141a + c$$

$$\hline 0,7 = 0,00042a$$

$$a = 4761,9$$

dari persamaan (Q) maka dapat dicari nilai c

$$Q \rightarrow -3 = 0,00141a + c$$

$$c = -3 - (0,00141 \times 4761,9)$$

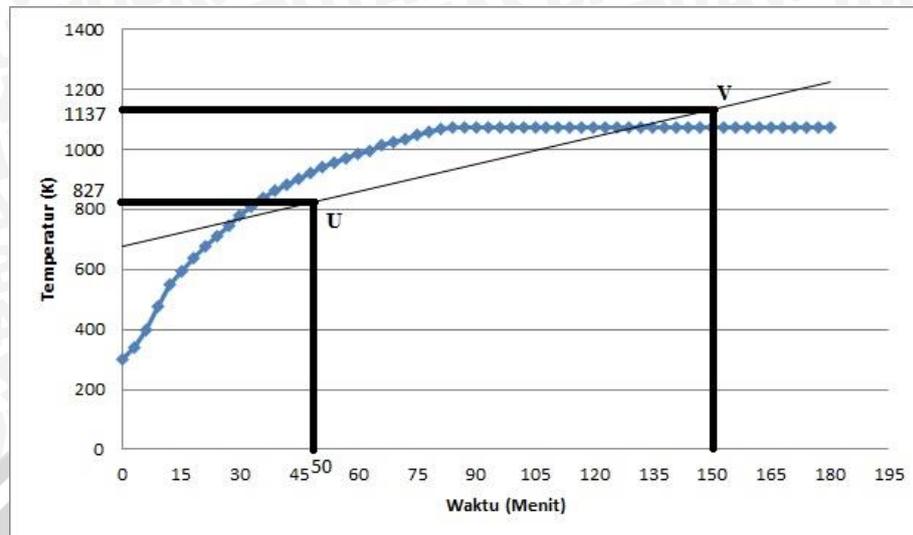
$$c = -9,741$$

maka diperoleh persamaan dari variasi temperatur 250°C - 500°C

$$y = 4761,9x - 9,714$$

$$\ln k = 4761,9(1/T) - 9,714$$

3. Dari grafik hubungan temperatur terhadap waktu pada variasi temperatur 800°C



Gambar 4.4 grafik temperatur terhadap waktu selama pirolisis berlangsung

Dari grafik diatas dapat diambil 2 titik untuk menentukan persamaannya liniernya ( $y=ax+c$ ), titik U(50,827) V(150,1132)]

$$U \rightarrow 827 = 50a + c$$

$$V \rightarrow 1132 = 150a + c$$

$$-305 = -100a$$

$$a = 3,05$$

dari persamaan (U) maka dapat dicari nilai c

$$U \rightarrow 827 = 50a + c$$

$$c = 827 - (50 \times 3,05)$$

$$c = 67,45$$

maka diperoleh persamaan dari variasi temperatur 500°C - 800°C

$$y = 3,05x - 67,45$$

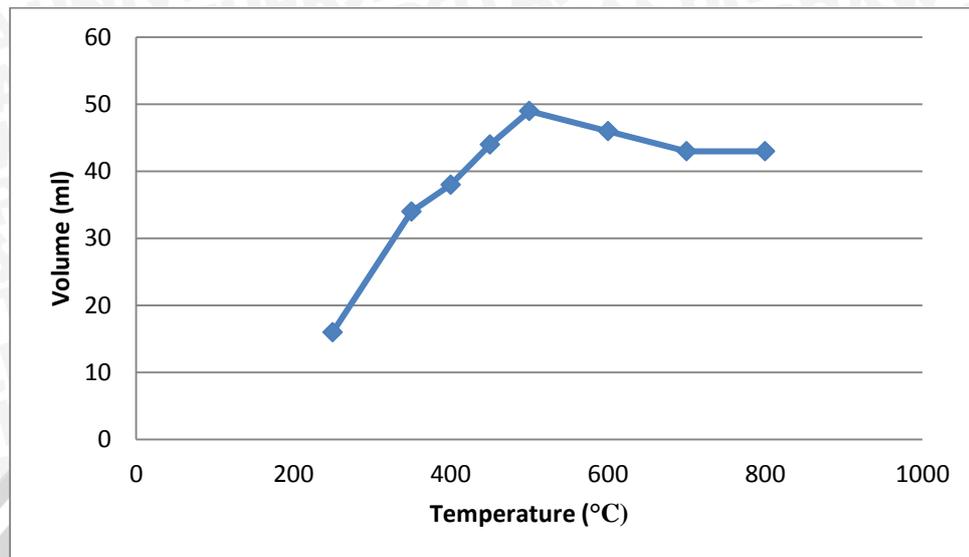
$$T = 3,05(t) - 67,45$$

Dari berbagai persamaan linier diatas maka didapatkan persamaan

$$3 \ln K = \frac{15264 + T^2}{T} + 3,05t + 42,256$$

## 4.2 Pembahasan

### 4.2.1 Analisa grafik pengaruh temperatur pirolisis terhadap volume tar



Gambar 4.5 Grafik pengaruh temperatur pirolisis terhadap volume tar

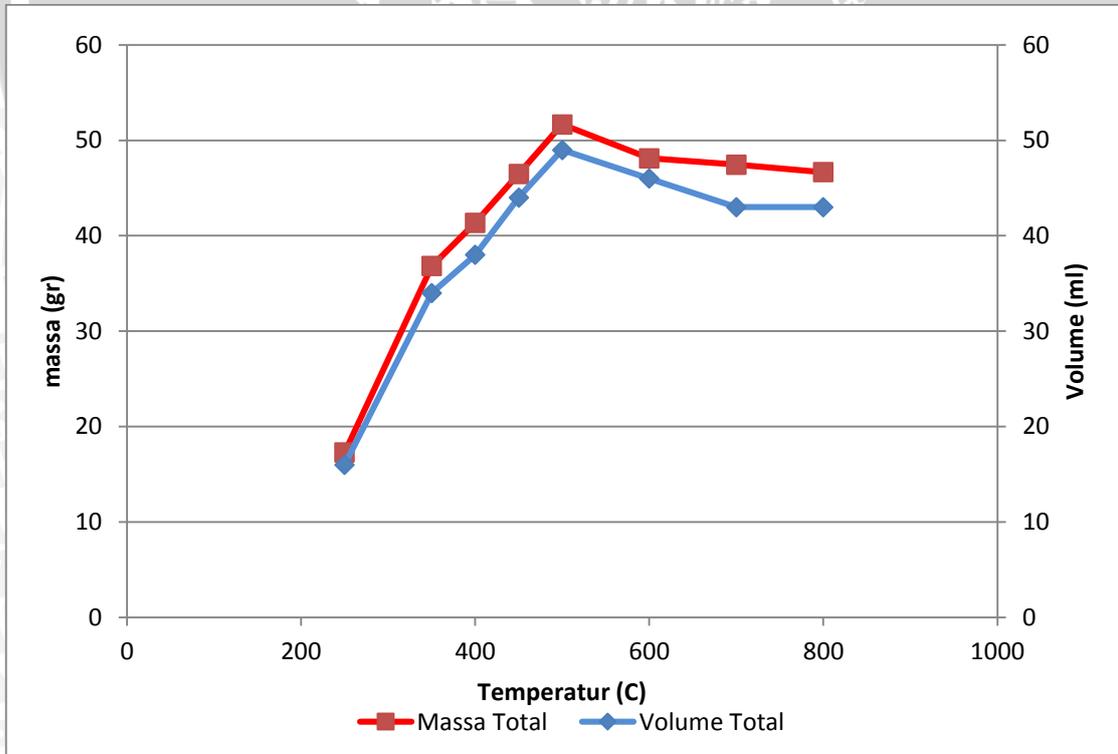
Dari gambar 4.5 menunjukkan pengaruh variasi temperatur terhadap volume tar yang dihasilkan selama proses pirolisis berlangsung. Variasi yang digunakan ialah temperatur 250°C, 350°C, 400°C, 450°C, 500°C, 600°C, 700°C, 800°C. Dapat dilihat bahwa dengan semakin meningkatnya temperatur maka volume tar yang dihasilkan akan semakin meningkat pula sampai batas maksimal di suhu 500°C setelah itu volume tar akan turun sampai temperatur maksimum yaitu 800°C.

Peningkatan volume disebabkan karena suhu 250°C serbuk kayu belum terpirolisis sempurna, dikarenakan walau suhu 250°C merupakan suhu awal pirolisis tetapi serbuk kayu masih banyak yang belum terpirolisis oleh karena temperatur kritis inilah distribusi temperatur pada serbuk kayu menjadi tidak merata. Diatas suhu 250°C volume tar meningkat dikarenakan selama proses pirolisis serbuk kayu semakin sempurna dan distribusi temperatur semakin merata dengan meningkatnya temperatur pirolisis.

Pada waktu temperatur mengalami peningkatan hingga diatas 500°C, volume tar hasil pirolisis mengalami penurunan. Hal tersebut berbeda dengan temperatur dibawah 500°C walaupun distribusi temperatur semakin merata. Penurunan volume tar dikarenakan terjadinya reaksi sekunder dimana lignin akan terpecah dan menghasilkan gas yang lebih banyak dari tar.

Dekomposisi partikel penyusun serbuk kayu yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin terjadi selama proses sehingga menghasilkan char, tar dan gas. Pada suhu 250°C hemiselulosa terpecah sehingga menghasilkan tar. Pada temperatur 350°C terjadi dekomposisi yang lebih sempurna yaitu hemiselulosa dan selulosa yang mengakibatkan tar lebih banyak dari pada temperatur 250°C. Dengan meningkatnya temperatur maka dekomposisi selulosa dan hemiselulosa akan semakin baik. Selulosa dan hemiselulosa terdekomposisi pada rentang temperatur 200°C-280°C untuk selulosa dan hemiselulosa pada temperatur 250°C-350°C. Untuk temperatur 500°C terjadi dekomposisi selulosa, hemiselulosa dan lignin. Mengakibatkan pada temperatur ini menghasilkan volume yang paling banyak. Diatas suhu 500°C dekomposisi yang terjadi lebih cenderung membentuk gas dari lignin, sehingga tar yang terbentuk berkurang. Dengan bertambahnya temperatur mulai dari 500°C, produk tar hasil pirolisis berkurang dikarenakan gas yang terbentuk juga terus meningkat akibat dari reaksi sekunder yaitu dekomposisi bertingkat dengan bahan baku tar yang masih di dalam ruang pemanas terdekomposisi dikarenakan temperatur yang memenuhi menghasilkan *combustible gas*.

#### 4.2.2. Analisa grafik pengaruh temperatur pirolisis terhadap volume dan massa tar



Gambar 4.6 Grafik pengaruh temperatur pirolisis terhadap volume dan massa tar

Gambar 4.6 merupakan pengaruh temperatur pirolisis terhadap volume dan massa *tar* dengan variasi temperatur 250°C, 350°C, 400°C, 450°C, 500°C, 600°C, 700°C, 800°C. Dengan waktu penelitian 3 jam dengan biomassa kayu mahoni 150 gram. Dari gambar 4.6 menunjukkan peningkatan volume diikuti oleh peningkatan massa *tar* sampai titik ultimate 500°C setelah itu massa dan volume kembali turun dikarenakan terjadi *secondary reaction* yang banyak menghasikan gas. Pada temperatur 250°C memiliki densitas 1,08 g/ml. Dimana dari penelitian yang sudah dilakukan bahwa *tar* hasil pirolisis *hardwood* memiliki densitas 1,17 g/ml (Dermibas, 2007). Dari data diatas memiliki densitas berbeda-beda dari temperatur 250°C memiliki densitas 1,08 g/ml, temperatur 350°C memiliki densitas 1,083 g/ml, temperature 400°C memiliki densitas 1,088 g/ml, temperatur 450°C memiliki densitas 1,056 g/ml, temperatur 500°C memiliki densitas 1,055 g/ml, temperatur 600°C memiliki densitas 1,046 g/ml, temperatur 700°C memiliki densitas 1,1 g/ml, temperatur 800°C memiliki densitas 1,085 g/ml.

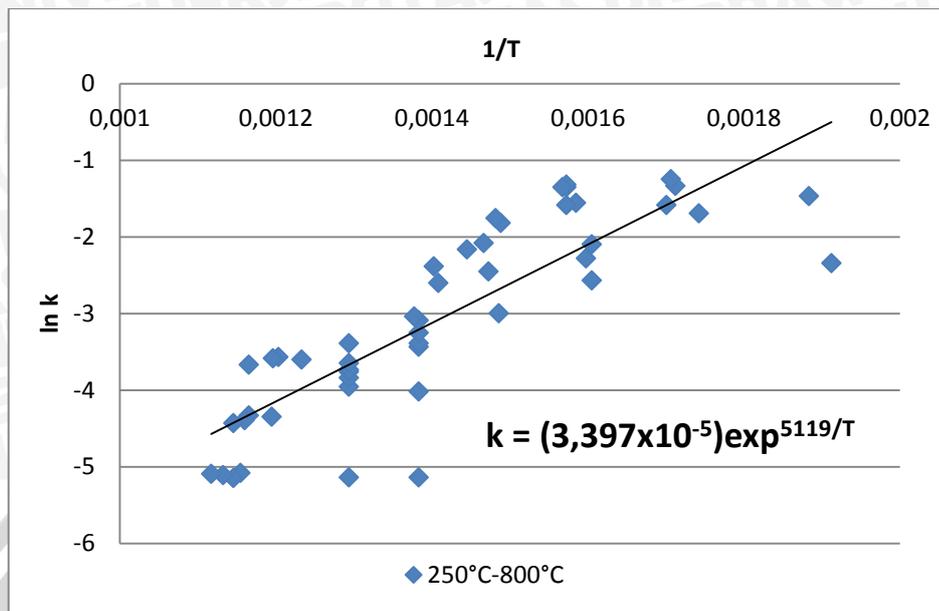
Dari data diatas densitas *tar* hampir hampir mendekati massa jenis air yaitu 1000 kg/m<sup>3</sup> atau 1 g/ml. Jika dibandingkan dengan hasil bahan bakar atau minyak pirolisis lain dapat dilihat dari tabel dibawah ini:

Tabel 4.1 Massa jenis *tar* berbagai macam biomassa dan *fuel*

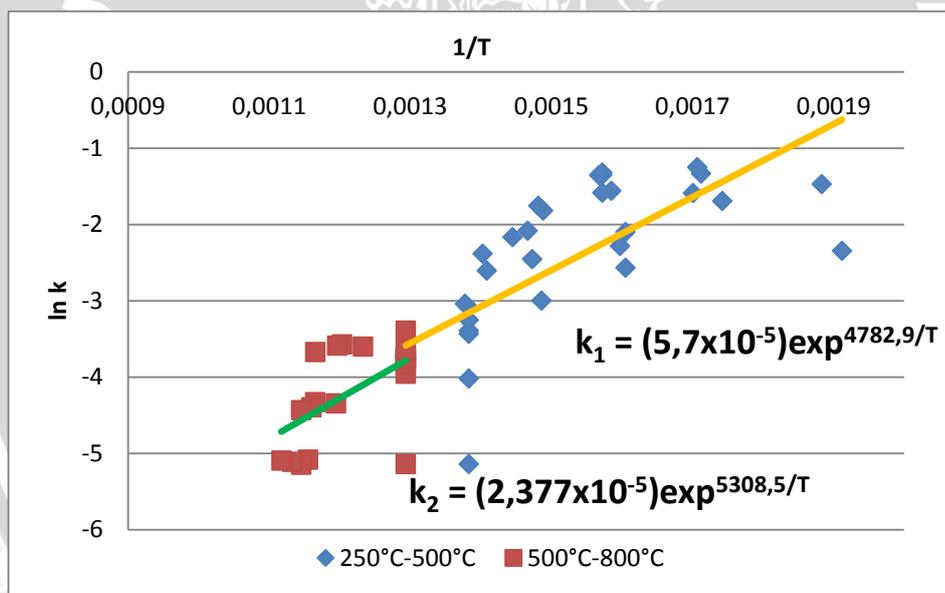
	Massa Jenis Kg/m <sup>3</sup>	Sumber
<i>Scrap tyre oil</i>	965	Islam (2004)
<i>Waste paper oil</i>	1205	Islam (2004)
<i>Oily condensate from waste plastic</i>	905	Islam (2004)
<i>Fast Diesel</i>	780	Islam (2004)
<i>Diesel</i>	827,1*	Islam (2004)
<i>Heavy fuel oil</i>	980*	Islam (2004)
<i>Pine</i>	1210	Dermibas (2007)
<i>Oak</i>	1230	Dermibas (2007)
<i>Hardwood</i>	1170	Dermibas (2007)
Sekam padi	970-1040	Hidayat (2009)
*20°C		

Sumber: Sukseswati (2010)

### 4.2.3 Analisa grafik persamaan *kinetic rate tar*



(a)



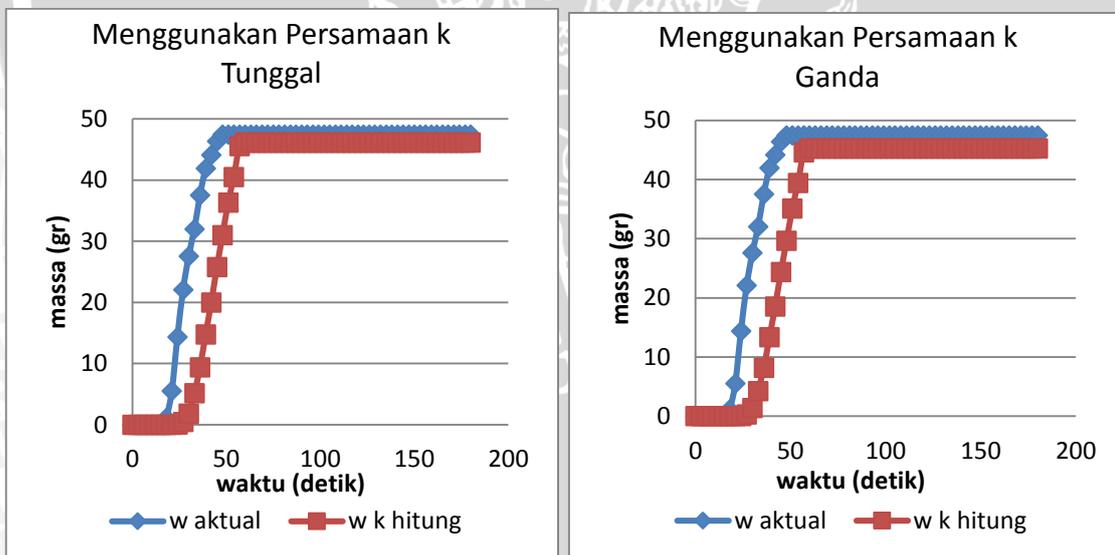
(b)

Gambar 4.7 Grafik Persamaan *kinetic rate tar* dengan persamaan, (a) tunggal (b) ganda.

Dari gambar 4.7 menjelaskan grafik perbandingan dalam penggunaan dua model berbeda dalam penentuan laju kinetik yang dipengaruhi oleh temperatur. Dalam penggunaan metode gambar 4.7 (a) merupakan grafik dengan persamaan *kinetic rate* tunggal yang memiliki satu laju kinetik dimana berdasarkan distribusi titik berdasarkan rentang temperatur yaitu 250°C-800°C dengan  $k = (3,397 \times 10^{-5}) \exp^{5119/T}$ . Sedangkan untuk gambar 4.7 (b) merupakan grafik dengan persamaan *kinetic rate* ganda yang

memiliki dua laju kinetik yang berdasarkan rentang temperatur yaitu 250°C-500°C dengan  $k_1=(5,77 \times 10^{-5}) \exp^{4782,9/T}$ , 500°C-800°C dengan *rate constant*  $k_2=(2,377 \times 10^{-5}) \exp^{5308,5/T}$ .

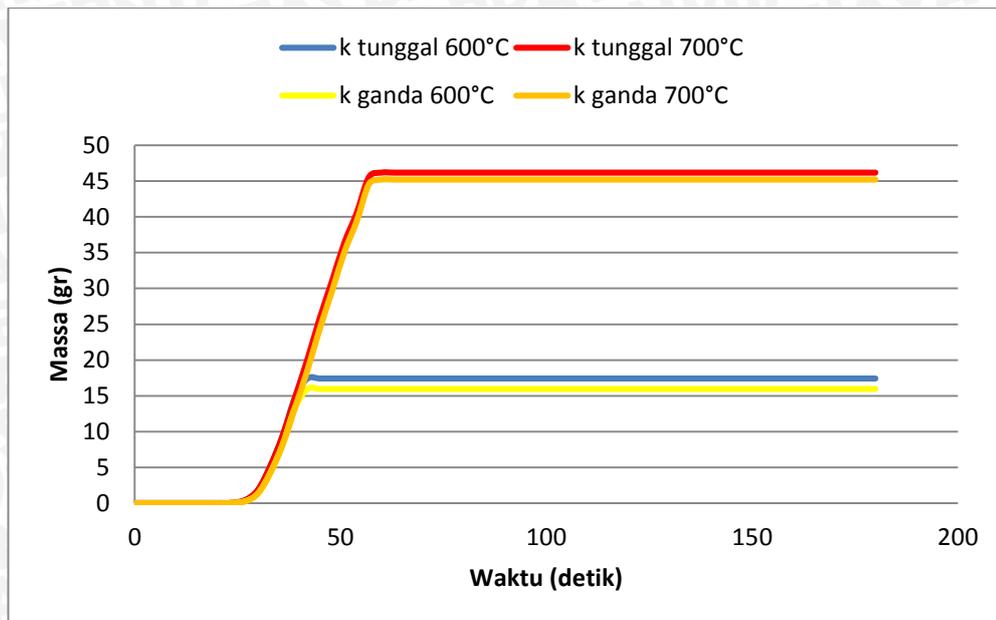
Persamaan dari grafik 4.7 diperoleh dari fungsi awal  $\frac{dX}{dt} = k \frac{(W-W_0)}{(W_\infty-W_0)}$  yang dapat dicari dari pertambahan massa untuk mendapatkan k. Kemudian dari k tersebut dijadikan grafik *rate constant* dan kemudian diubah dalam bentuk persamaan linier dari persamaan eksponensial  $y = ae^{nx} \rightarrow y = ax+c$ . Dengan begitu didapatkan energi aktivasi dan nilai pre-exponensial faktor. Pada grafik diatas, *kinetic rate* dari berbagai data didapatkan dari perhitungan dari rentang temperatur 250°C-800°C yaitu dengan k tunggal  $k=(3,397 \times 10^{-5}) \exp^{5119/T}$ . Dengan demikian dapat diketahui energi aktivasi dari *tar* yaitu pada  $k_1 -615,7/(RT)$  dan pre-exponensial faktor yaitu  $3,397 \times 10^{-5}$ . Dan pada persamaan laju reaksi ganda pada *range* temperatur 250°C-500°C dengan  $k_1=(5,77 \times 10^{-5}) \exp^{4782,9/T}$ . Dengan demikian dapat diketahui energi aktivasi dari *tar* yaitu pada  $k_1 -575,2/(RT)$  dan pre-exponensial faktor yaitu  $5,77 \times 10^{-5}$ . Sedangkan  $k_2$  pada 500°C-800°C  $k_2=(2,377 \times 10^{-5}) \exp^{5308,5/T}$ , memiliki energi aktivasi  $-647,1/(RT)$  dengan preexponensial faktor  $2,377 \times 10^{-5}$ .



(a)

(b)

Gambar 4.8 Grafik hubungan perbandingan massa aktual dan massa dari hitungan persamaan kinetik terhadap temperatur 700°C dengan persamaan (a) tunggal (b) ganda



Gambar 4.9 Grafik hubungan massa dari persamaan k tunggal dan ganda terhadap waktu pada temperatur 600°C dan 700°C.

Grafik perbandingan massa aktual dan massa dari persamaan kinetik ditunjukkan pada gambar 4.8. Grafik tersebut merupakan grafik hubungan perbandingan massa terhadap temperatur, grafik tersebut lebih terfokus pada kecenderungan pertambahan massa yang terjadi dari massa aktual dan massa dari hitungan persamaan kinetik yang ditunjukkan berdasarkan waktu tertentu pada suhu 700°C. Sedangkan pada gambar 4.9 grafik hubungan massa dari persamaan k tunggal dan ganda terhadap waktu pada temperatur 600°C dan 700°C.

Dengan dua model tersebut memiliki beberapa karakteristik dimana dengan menggunakan satu laju kinetik dapat dilihat pada gambar 4.8 gambar bagian kiri, sedangkan untuk dua laju kinetik pada gambar 4.8, gambar bagian kanan yang kedua gambar tersebut menunjukkan perbandingan massa aktual dengan massa yang dicari dari persamaan *kinetic rate* (persamaan gambar 4.7). Hasil dari menggunakan dua persamaan kinetik (gambar 4.8 a) memiliki kecenderungan grafik dalam pertambahan massa hitung lebih mendekati massa aktual begitu pula dengan menggunakan satu persamaan kinetik saja (gambar 4.8 b). Sedangkan massa total *tar* yang dihasilkan lebih mendekati menggunakan satu persamaan kinetik saja dibandingkan menggunakan dua persamaan kinetik, dapat dilihat pada gambar 4.9. Pada gambar 4.9 menggunakan satu persamaan kinetik massa total lebih banyak dibandingkan menggunakan dua persamaan kinetik.

## 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 tar akan meningkat sampai titik puncak pada suhu 500 °C dan kemudian turun hingga suhu 800 °C.
2. Massa jenis dari *tar* setiap variasi temperatur hampir sama sehingga pertambahan massa tidak jauh berbeda dari pertambahan volume.
3. Menggunakan satu persamaan *kinetic rate* yaitu  $k=(3,397 \times 10^{-5}) \exp^{5119/T}$  selama proses memiliki massa total lebih besar dibandingkan menggunakan dua persamaan kinetik dengan  $k_1=(5,77 \times 10^{-5}) \exp^{4782,9/T}$  dan  $k_2=(2,377 \times 10^{-5}) \exp^{5308,5/T}$ .

#### 5.2 Saran

1. Untuk melakukan penelitian berikutnya sebaiknya diteliti lebih mendalam mengenai komposisi gas hasil pirolisis.
2. Perlu adanya penelitian lebih lanjut tentang komponen biomassa yang terdekomposisi pada *secondary reaction*.
3. Perlu penelitian lebih lanjut mengenai pemurnian tar agar mampu dimanfaatkan oleh masyarakat luas.

## DAFTAR PUSTAKA

- Baruah, D. & Baruah, D.C. 2014. *Modeling of Biomass Gasification: A Review*. Tezpur University, India.
- Dermibas, A. 2007. *The influence of temperature on the yields of compounds existing in bio-oils obtained from biomass samples via pyrolysis*. Trabzon.
- Diebold, J.P. & Bridgwater, A.V. 1997. *Overview of fast pyrolysis of biomass for the production of liquid fuels*. In: Bridgwater, A.V., Boocock, D.G.B. (Eds.), *Developments in Thermochemical Biomass Conversion*. Blackie Academic & Professional, pp. 5–27
- Dufour, A., Girods, P., Masson, P., Normand, S., Rogeau, Y. & Zoulalian, A. 2007. *Comparison of Two Methods of Measuring Wood Pyrolysis Tar*. Research and Development Division, France.
- Chew, M.Y.L., Hoang, N.Q.A. & Shi, Long. 2011. *Pyrolysis of Tropical Hardwood under Long-Term and Low-Temperature Conditions*: Departement of Building, National University of Singapore, Singapore.
- Heidenreich, S. & Foscolo, P.U. 2014. *New Concepts in Biomass Gasification*. Progress in energy and combustion science.
- Hidayat, E. 2009. *Studi Fisik, Kimia dan Uji Unjuk Kerja Kompiler dengan Bahan Bakar Minyak Pirolisis Sekam Padi*.
- Holstein, A., Bassilakis, R., Wójtowicz, M.A. & Serio, M.A. 2005. *Kinetic of methane and tar evolution during coal pyrolysis*. East Hartford, USA.
- Horne, P. & Williams, P.T. 1995. *Influence of Temperature On The Products From The Flash Pyrolysis of biomass* Department of Fuel and Energy, The University of Leeds, Leeds, United Kingdom.
- Islam, M.N. 2004. *The Fuel Properties of Pyrolysis Liquid Derived from Urban Solid Wastes in Bangladesh*.
- Jahirul, M.I., Rasul, M.G., Chowdhury, A.A. & Ashwath, N. 2004. *Biofuels Production Through Biomass Pyrolysis – A technological Review*: Queensland University of Technology, Brisbane, Australia.
- Klass, D.L. 1998. *Biomass for Renewable Energy, Fuels, and Chemicals*. Academic Press, London, United Kingdom.

- Kudo, K. & Yoshida, E. 1957. *The Decomposition process of wood constituents in the course of carbonization I : the decomposition of carbohydrate and lignin in Mizunara*. Journal of the Japan Wood Research Society 3 (4), 125-127.
- Li, Chunshan & Suzuki, Kenji. 2007. *Tar property, analysis, reforming mechanism and model for biomass gasification*. Nagoya University, Nagoya, Japan.
- Levenspiel, Octave. 1999. *Chemical Reaction Engineering : Third Edition*. Oregon State University.
- Lewellen, W.S., Segur, H., Varma, A.K. 1997. *Modeling two-phase flow in a swirl combustor*. ARAP report No 310.
- Manasomboonphan, Wisu & Junyapoon, Suwannee. 2012. *Production of Liquid Fuels from Waste Lube Oils Used by Pyrolysis process*: Department of Chemistry, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok.
- Milne, T.A., Evans, R.J., & Abatzoglou, N., 1998. *Biomass Gasiier Tars: Their Nature, Formation, and Conversion*, London, United Kingdom.
- Mohan, D., Pittman, C.U. & Steele, P.H., 2006. *Pyrolysis of Wood/Biomass for Bio-oil: A Critical Review*. Jurnal Energi dan Bahan Bakar (20): 848-889.
- Muhdhor, Hafidz Rosyidi. 2014. *Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Kualitas Dan Kinetik Rate Char Hasil Pirolisis Serbuk Kayu Mahoni*. Universitas Brawijaya.
- Sinha, S., Jhalani, A. Ravi, R. & Ray, A. 1997. *Modelling of Pyrolysis in Wood:A Review*;Departement of Mechanical Engineering, Indian Institute of Technology, Hasz khas, New Delhi.
- Soltes, E.J., & Elder, T.J., 1981. *Pyrolysis*. In: Goldstein, I.S. (Ed.), *Organic Chemicals from Biomass*. CRC Press.
- Sukseswati, Dini Dwi. 2010. *Karakter Fisik Sifat Minyak dan Kimia Minyak Hasil Pirolisis Lambat Campuran Sampah Kertas dan Daun*. Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Wijayanti, Widya. & Tanoue, Ken-ichiro. 2013. *Char Formation and Gas Products of Woddy Biomass Pyrolysis*. Yamaguchi University.

## Lampiran 1

## Data Hasil Penelitian

Waktu (menit)	Volume 250°C	Volume 350°C	Volume 400°C	Volume 450°C	Volume 500°C	Volume 600°C	Volume 700°C	Volume 800°C
0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	2	0	0	0	0	0
18	0	4	10	0	4	0	1	0
21	0	10	18	5	14	8	5	5
24	0	16	23	9	20	15	13	15
27	0	20	28	14	24	19	20	21
30	0	21	32	17	28	29	25	28
33	0	23	36	20	30	34	29	34
36	0	25	38	23	34	38	34	38
39	0	28	38	25	37	42	38	40
42	0	31	38	28	40	43	40	42
45	1	33	38	32	44	45	42	43
48	2	34	38	36	48	45	43	43
51	3	34	38	40	49	46	43	43
54	3	34	38	43	49	46	43	43
57	3	34	38	44	49	46	43	43
60	4	34	38	44	49	46	43	43
63	4	34	38	44	49	46	43	43
66	5	34	38	44	49	46	43	43
69	5	34	38	44	49	46	43	43
72	6	34	38	44	49	46	43	43
75	7	34	38	44	49	46	43	43
78	8	34	38	44	49	46	43	43
81	10	34	38	44	49	46	43	43

84	11	34	38	44	49	46	43	43
87	12	34	38	44	49	46	43	43
90	12	34	38	44	49	46	43	43
93	13	34	38	44	49	46	43	43
96	13	34	38	44	49	46	43	43
99	14	34	38	44	49	46	43	43
102	14	34	38	44	49	46	43	43
105	15	34	38	44	49	46	43	43
108	15	34	38	44	49	46	43	43
111	15	34	38	44	49	46	43	43
114	15	34	38	44	49	46	43	43
117	15	34	38	44	49	46	43	43
120	16	34	38	44	49	46	43	43
123	16	34	38	44	49	46	43	43
126	16	34	38	44	49	46	43	43
129	16	34	38	44	49	46	43	43
132	16	34	38	44	49	46	43	43
135	16	34	38	44	49	46	43	43
138	16	34	38	44	49	46	43	43
141	16	34	38	44	49	46	43	43
144	16	34	38	44	49	46	43	43
147	16	34	38	44	49	46	43	43
150	16	34	38	44	49	46	43	43
153	16	34	38	44	49	46	43	43
156	16	34	38	44	49	46	43	43
159	16	34	38	44	49	46	43	43
162	16	34	38	44	49	46	43	43
165	16	34	38	44	49	46	43	43
168	16	34	38	44	49	46	43	43
171	16	34	38	44	49	46	43	43
174	16	34	38	44	49	46	43	43
177	16	34	38	44	49	46	43	43

180	16	34	38	44	49	46	43	43
-----	----	----	----	----	----	----	----	----

Waktu (menit)	Massa 250°C	Massa 350°C	Massa 400°C	Massa 450°C	Massa 500°C	Massa 600°C	Massa 700°C	Massa 800°C
0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	2,18	0	0	0	0	0
18	0	0	10,89	0	4,22	0	1,10	0
21	0	4,33	19,60	5,28	14,76	8,37	5,52	5,43
24	0	10,83	25,04	9,51	21,09	15,69	14,35	16,28
27	0	17,33	30,48	14,79	25,31	19,88	22,07	22,79
30	0	21,66	34,84	17,96	29,53	30,34	27,59	30,39
33	0	22,75	39,19	21,13	31,63	35,57	32,00	36,90
36	0	24,91	41,37	24,30	35,85	39,76	37,52	41,24
39	0	27,08	41,37	26,41	39,02	43,94	41,93	43,41
42	0	30,33	41,37	29,58	42,18	44,99	44,14	45,58
45	1,08	33,58	41,37	33,81	46,40	47,08	46,35	46,67
48	2,16	35,75	41,37	38,04	50,62	47,08	47,45	46,67
51	3,24	36,83	41,37	42,26	51,67	48,13	47,45	46,67
54	3,24	36,83	41,37	45,43	51,67	48,13	47,45	46,67
57	3,24	36,83	41,37	46,49	51,67	48,13	47,45	46,67
60	4,32	36,83	41,37	46,49	51,67	48,13	47,45	46,67
63	4,32	36,83	41,37	46,49	51,67	48,13	47,45	46,67
66	5,4	36,83	41,37	46,49	51,67	48,13	47,45	46,67
69	5,4	36,83	41,37	46,49	51,67	48,13	47,45	46,67
72	6,48	36,83	41,37	46,49	51,67	48,13	47,45	46,67
75	7,56	36,83	41,37	46,49	51,67	48,13	47,45	46,67

78	8,64	36,83	41,37	46,49	51,67	48,13	47,45	46,67
81	10,8	36,83	41,37	46,49	51,67	48,13	47,45	46,67
84	11,88	36,83	41,37	46,49	51,67	48,13	47,45	46,67
87	12,96	36,83	41,37	46,49	51,67	48,13	47,45	46,67
90	12,96	36,83	41,37	46,49	51,67	48,13	47,45	46,67
93	14,04	36,83	41,37	46,49	51,67	48,13	47,45	46,67
96	14,04	36,83	41,37	46,49	51,67	48,13	47,45	46,67
99	15,12	36,83	41,37	46,49	51,67	48,13	47,45	46,67
102	15,12	36,83	41,37	46,49	51,67	48,13	47,45	46,67
105	16,2	36,83	41,37	46,49	51,67	48,13	47,45	46,67
108	16,2	36,83	41,37	46,49	51,67	48,13	47,45	46,67
111	16,2	36,83	41,37	46,49	51,67	48,13	47,45	46,67
114	16,2	36,83	41,37	46,49	51,67	48,13	47,45	46,67
117	16,2	36,83	41,37	46,49	51,67	48,13	47,45	46,67
120	17,28	36,83	41,37	46,49	51,67	48,13	47,45	46,67
123	17,28	36,83	41,37	46,49	51,67	48,13	47,45	46,67
126	17,28	36,83	41,37	46,49	51,67	48,13	47,45	46,67
129	17,28	36,83	41,37	46,49	51,67	48,13	47,45	46,67
132	17,28	36,83	41,37	46,49	51,67	48,13	47,45	46,67
135	17,28	36,83	41,37	46,49	51,67	48,13	47,45	46,67
138	17,28	36,83	41,37	46,49	51,67	48,13	47,45	46,67
141	17,28	36,83	41,37	46,49	51,67	48,13	47,45	46,67
144	17,28	36,83	41,37	46,49	51,67	48,13	47,45	46,67
147	17,28	36,83	41,37	46,49	51,67	48,13	47,45	46,67
150	17,28	36,83	41,37	46,49	51,67	48,13	47,45	46,67
153	17,28	36,83	41,37	46,49	51,67	48,13	47,45	46,67
156	17,28	36,83	41,37	46,49	51,67	48,13	47,45	46,67
159	17,28	36,83	41,37	46,49	51,67	48,13	47,45	46,67
162	17,28	36,83	41,37	46,49	51,67	48,13	47,45	46,67
165	17,28	36,83	41,37	46,49	51,67	48,13	47,45	46,67

168	17,28	36,83	41,37	46,49	51,67	48,13	47,45	46,67
171	17,28	36,83	41,37	46,49	51,67	48,13	47,45	46,67
174	17,28	36,83	41,37	46,49	51,67	48,13	47,45	46,67
177	17,28	36,83	41,37	46,49	51,67	48,13	47,45	46,67
180	17,28	36,83	41,37	46,49	51,67	48,13	47,45	46,67

## Lampiran 2

### Data Hasil Perhitungan Nilai *Rate Constan* 250-500°C

T	1/T	k	ln k
523	0,001912	0,096	-2,34341
531	0,001883	0,229833	-1,4704
574	0,001742	0,183867	-1,69354
584	0,001712	0,263611	-1,33328
586	0,001706	0,287056	-1,24808
588	0,001701	0,204611	-1,58664
623	0,001605	0,076729	-2,56747
623	0,001605	0,122767	-2,09747
626	0,001597	0,102148	-2,28133
631	0,001585	0,210889	-1,55642
636	0,001572	0,20504	-1,58455
636	0,001572	0,259278	-1,34986
636	0,001572	0,267389	-1,31905
638	0,001567	0,258278	-1,35372
672	0,001488	0,162222	-1,81879
673	0,001486	0,049964	-2,99646
675	0,001481	0,172852	-1,75532
679	0,001473	0,086117	-2,45205
682	0,001466	0,124781	-2,08119
692	0,001445	0,11479	-2,16465
710	0,001408	0,074079	-2,60262
713	0,001403	0,092264	-2,3831
723	0,001383	0,00587	-5,13791

723	0,001383	0,018019	-4,01631
723	0,001383	0,032285	-3,43316
723	0,001383	0,033688	-3,3906
723	0,001383	0,038742	-3,25084
723	0,001383	0,045578	-3,08832
726	0,001377	0,047843	-3,03984

**Nilai Rate Constan 500-800°C**

773	0,001294	0,005858	-5,1399
773	0,001294	0,019137	-3,95613
773	0,001294	0,021529	-3,83835
773	0,001294	0,023275	-3,76039
773	0,001294	0,023921	-3,73299
773	0,001294	0,026096	-3,64597
773	0,001294	0,033771	-3,38815
811	0,001233	0,027292	-3,60115
831	0,001203	0,028146	-3,57034
836	0,001196	0,027749	-3,58457
837	0,001195	0,012964	-4,34559
858	0,001166	0,013181	-4,32901
858	0,001166	0,025466	-3,67043
862	0,00116	0,012347	-4,39438
866	0,001155	0,006218	-5,08025
873	0,001145	0,005813	-5,14769
873	0,001145	0,011884	-4,43257
883	0,001133	0,00603	-5,11106
895	0,001117	0,00613	-5,09448



**Lampiran 3****Data Hasil Penelitian volume akhir dan massa jenis**

Suhu	Volume total (ml)	Massa Total (gram)	Massa Jenis (gr/ml)
250	16	17,28	1,0800
350	34	36,83	1,0832
400	38	41,37	1,0886
450	44	46,49	1,0565
500	49	51,67	1,0544
600	46	48,13	1,0463
700	43	47,45	1,1034
800	43	46,67	1,0853

