

**PENGARUH TEMPERATUR PIROLISIS TERHADAP PRODUK  
HASIL PIROLISIS MAKROALGA *GRACILARIA***

**SKRIPSI  
KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :  
**SASMOKO**  
NIM. 0910621004-62

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2014**

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**PENGARUH TEMPERATUR PIROLISIS TERHADAP PRODUK  
HASIL PIROLISIS MAKROALGA *GRACILARIA***

**SKRIPSI  
KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :  
**SASMOKO**  
NIM. 0910621004-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT

Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng

NIP. 19750802 199903 2 002

NIP. 19740121 199903 1 001

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PENGARUH TEMPERATUR PIROLISIS TERHADAP PRODUK HASIL  
PIROLISIS MAKROALGA *GRACILARIA***

**SKRIPSI  
KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

**SASMOKO**

**NIM. 0910621004-62**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada  
tanggal 28 Januari 2014

**MAJELIS PENGUJI**

**Skripsi I**

**Skripsi II**

**Prof.Ir I Nyoman Gede Wardana, M.Eng, Ph.D**  
**NIP. 19590703 198303 1 002**

**Dr. Eng. Moch. Agus Choiron, ST., MT.**  
**NIP. 19720817 200003 1 001**

**Skripsi III**

**Khairul Anam, ST., MSc.**  
**NIK. 861127 06 3 1 0032**

Mengetahui,  
**Ketua Jurusan Teknik Mesin**

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

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



*Teriring doa dan terima kasih yang mendalam kepada:*

*Ayahanda dan Ibunda tercinta*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan nikmat, rahmat dan karunia yang telah diberikan, juga sholawat dan salam penulis tujukan kepada Nabi Besar Muhammad SAW, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini sebagai salah satu persyaratan memperoleh gelar sarjana di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

Skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik berkat bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr.Eng Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin dan dosen pembimbing.
2. Bapak Purnami, ST., MT. selaku Sekertaris Jurusan Teknik Mesin.
3. Bapak Agung Sugeng Widodo, ST., MT., Ph.D. selaku Ketua Kelompok Dosen Konsentrasi Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin.
4. Ibu Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT. selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan dalam menyusun skripsi ini.
5. Bapak Dr. Agustinus Ariseno, ST., MT selaku dosen wali.
6. Seluruh Dosen pengajar dan Staf Recording Jurusan Teknik Mesin.
7. Seluruh rekan-rekan Mesin dan semua pihak yang terkait yang telah membantu penulis selama ini.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis telah berusaha sebaik mungkin, namun sebagai manusia yang tak lepas dari salah dan lupa, penulis tetap mengharap kritik dan saran yang membangun guna penyusunan karya ilmiah yang lebih baik lagi.

Akhirnya penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat khususnya bagi penulis dan bagi para pembaca umumnya sekaligus dapat menjadi bahan acuan untuk penelitian lebih lanjut.

Malang, Januari 2014

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	iv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	v
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	vii
<b>RINGKASAN</b> .....	viii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	2
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	2
1.5 Manfaat Penelitian .....	2
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	3
2.1 Penelitian Sebelumnya .....	3
2.2 Biomassa .....	3
2.3 Makroalga <i>Gracilaria</i> .....	4
2.4 Komponen Utama Makroalga <i>Gracilaria</i> .....	5
2.5 Pirolisis .....	7
2.6 Nilai Kalor .....	14
2.7 Hipotesa .....	14
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	15
3.1 Metode Penelitian .....	15
3.2 Variabel Penelitian .....	15
3.4 Alat dan Bahan Penelitian .....	15
3.4.1 Alat yang Digunakan .....	15
3.4.2 Bahan yang Digunakan .....	23
3.4 Prosedur Penelitian .....	23
3.5 Diagram Alir Penelitian .....	26

<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	27
4.1 Hasil Penelitian .....	27
4.2 Pembahasan .....	28
4.2.1 Hubungan antara Temperatur Pirolisis dan Massa <i>Char</i> .....	28
4.2.2 Hubungan antara Temperatur Pirolisis dan Volume <i>Char</i> .....	29
4.2.3 Hubungan antara Temperatur Pirolisis dan Nilai Kalor <i>Char</i> .....	30
4.2.4 Hubungan antara Temperatur Pirolisis dan Massa <i>Tar</i> .....	34
4.2.5 Hubungan antara Temperatur Pirolisis dan Volume <i>Tar</i> .....	35
4.2.6 Hubungan antara Temperatur Pirolisis dan Nilai Kalor <i>Tar</i> .....	36
4.2.7 Hubungan antara Temperatur Pirolisis dan <i>Gas Flow Rate</i> .....	37
<b>BAB V PENUTUP</b> .....	39
5.1 Kesimpulan .....	39
5.2 Saran .....	39

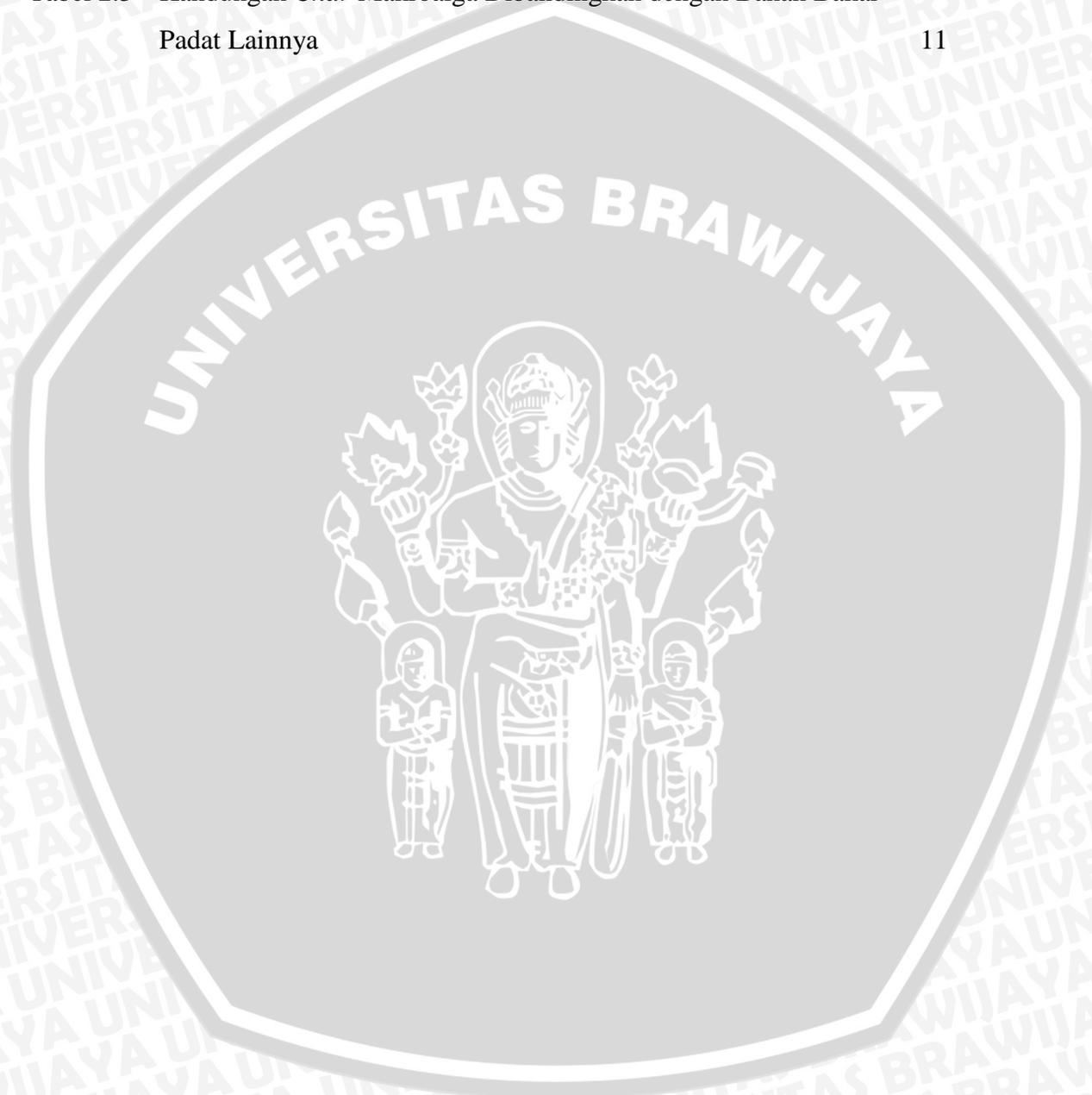
**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**



## DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Macam-macam Pirolisis dan Produk Pirolisis	9
Tabel 2.2	Kandungan <i>Tar</i> Makroalga	10
Tabel 2.3	Kandungan <i>Char</i> Makroalga Dibandingkan dengan Bahan Bakar Padat Lainnya	11



## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Makroalga <i>Gracilaria</i>	4
Gambar 2.2	Komponen Hemiselulosa, Selulosa dan Lignin	5
Gambar 2.3	Dekomposisi Komponen Pirolisis	7
Gambar 2.4	Mekanisme Reaksi Kimia pada Pirolisis	8
Gambar 2.5	Mekanisme Dekomposisi pirolisis	8
Gambar 2.6	Reaksi Kimia pada Pirolisis	9
Gambar 2.7	<i>Tar</i> Hasil Pirolisis	10
Gambar 2.8	<i>Char</i> Hasil Pirolisis	11
Gambar 2.9	Proses Pembentukan <i>Char</i>	12
Gambar 2.10	Proses Pembentukan Gas Pirolisis	13
Gambar 2.11	Produk Gas Hasil Pirolisis	13
Gambar 3.1	Instalasi Pirolisis	16
Gambar 3.2	<i>Bomb Calorimeter</i>	17
Gambar 3.3	<i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i>	17
Gambar 3.4	Timbangan Elektrik	18
Gambar 3.5	<i>Moisture Analyzer</i>	19
Gambar 3.6	<i>Beaker Glass</i>	19
Gambar 3.7	Flowmeter	20
Gambar 3.8	Kamera Digital	20
Gambar 3.9	<i>Stopwatch</i>	21
Gambar 3.10	<i>Notebook</i>	21
Gambar 3.11	Kompur Listrik	22
Gambar 3.12	Oven	22
Gambar 3.13	Makroalga <i>Gracilaria</i>	23
Gambar 3.14	Diagram Alir Penelitian	26
Gambar 4.1	Grafik Hubungan Temperatur Pirolisis dan Massa <i>Char</i>	28
Gambar 4.2	Grafik Hubungan Temperatur Pirolisis dan Volume <i>Char</i>	29
Gambar 4.3	Grafik Hubungan Temperatur Pirolisis dan Nilai Kalor <i>Char</i>	30
Gambar 4.4	Penampang <i>Char</i>	32
Gambar 4.5	Grafik Hubungan antara Temperatur Pirolisis dan Massa <i>Tar</i>	34
Gambar 4.6	Grafik Hubungan antara Temperatur Pirolisis dan Volume <i>Tar</i>	35

Gambar 4.7 Grafik Hubungan antara Temperatur Pirolisis dan Nilai Kalor Tar 36

Gambar 4.8 Grafik Hubungan antara Temperatur Pirolisis dan *Gas Flow Rate* 37



## DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1	Data Hasil Penelitian
Lampiran 2	Data Komposisi Produk Hasil Pirolisis Makroalga <i>Gracilaria</i>
Lampiran 3	Foto penelitian



## RINGKASAN

Sasmoko, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Januari 2014, *Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Produk Hasil Pirolisis Makroalga Gracilaria*. Dosen Pembimbing: Widya Wijayanti dan Nurkholis Hamidi.

Pada saat ini Dunia tergantung pada sumber energi bahan bakar fosil dan banyak negara yang mulai sadar dan khawatir akan krisis energi yang terjadi. Di Indonesia untuk mengurangi ketergantungan masyarakat terhadap bahan bakar fosil, pemerintah menerbitkan Peraturan Presiden Republik Indonesia no.5 Tahun 2006 tentang kebijakan energi nasional untuk mengembangkan energi alternatif. Dan energi alternatif yang mulai dikembangkan adalah energi dari biomassa seperti makroalga *gracilaria*.

Pirolisis merupakan teknologi alternatif yang dapat digunakan, secara singkat pirolisis merupakan pemanasan tanpa oksigen, dalam pirolisis didapat 3 produk berupa *solid (char)*, *liquid (tar)* dan gas, salah satu sifat yang penting dari suatu bahan bakar adalah nilai kalor. Biomassa yang digunakan adalah makroalga *gracilaria* karena biomassa tersebut memiliki tingkat hidup dan reproduksi yang tinggi. Dari uraian diatas maka perlu diadakan suatu tindak lanjut penelitian serta pengembangan suatu bahan bakar biomassa dari makroalga *gracilaria*. Pada penelitian ini menggunakan variasi temperatur pirolisis pada 250°C, 350°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* dan gas akan meningkat sedangkan produk *char* mengalami penurunan. Nilai kalor tertinggi *tar* terjadi pada temperatur 800°C dan nilai kalor teringgi *char* terjadi pada temperatur 450°C. Dan dengan meningkatnya temperatur pirolisis maka *gas flow rate* akan mengalami kenaikan disetiap variasi temperatur.

Kata kunci : Temperatur pirolisis, massa, volume, *gas flow rate* dan nilai kalor.

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Bahan bakar merupakan kebutuhan penting pada saat ini, kebanyakan dari kebutuhan manusia menggunakan bahan bakar fosil sedangkan bahan bakar fosil merupakan energi yang tidak dapat diperbarui. Disisi lain, perkembangan ekonomi dan industri semakin meningkat sehingga kebutuhan bahan bakar juga akan semakin besar. Pada saat ini Dunia tergantung pada sumber energi bahan bakar fosil, banyak negara yang mulai sadar dan khawatir akan krisis energi yang terjadi.

Di Indonesia untuk mengurangi ketergantungan masyarakat terhadap bahan bakar fosil, pemerintah menerbitkan Peraturan Presiden Republik Indonesia nomor 5 Tahun 2006 tentang kebijakan energi nasional untuk mengembangkan energi alternatif. Berkaitan dengan itu penulis tertarik untuk memberikan sebuah solusi tentang energi yang terbarukan. Indonesia memiliki potensi untuk mengembangkan bahan bakar terbarukan karena memiliki kekayaan alam yang melimpah, salah satu yang dimiliki adalah kekayaan beragam jenis tanaman namun potensi keragaman yang tinggi tersebut belum sepenuhnya dimanfaatkan, hal ini dikarenakan sebagian besar dari keanekaragaman hayati belum dikenal baik fungsi maupun kegunaannya.

Keanekaragaman hayati yang dimiliki Indonesia dapat digunakan untuk mengatasi masalah krisis energi karena Indonesia merupakan negara kepulauan dengan dua per tiga wilayahnya adalah lautan dan memiliki garis pantai terpanjang keempat di Dunia setelah Amerika Serikat, Kanada dan Rusia. Salah satu tumbuhan yang hidup di garis pantai adalah makroalga sehingga pengembangan sumber daya energi dengan bahan makroalga sangat potensial. *Gracilaria* atau makroalga merah merupakan jenis makroalga yang banyak ditemukan di Indonesia dan memiliki kemampuan berkembang biak dengan cepat, hal ini didukung dengan komposisi makroalga *gracilaria* yang sebagian besar adalah karbohidrat (Kim, 2008).

Pirolisis adalah teknologi alternatif untuk mendapatkan sumber energi hidrokarbon. Hasil dari pirolisis berupa *tar*, *char* dan gas. Sumber bahan pada pirolisis berasal dari sumber daya yang terbarukan seperti biomassa atau tumbuhan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana pengaruh temperatur pirolisis terhadap produk hasil pirolisis makroalga *gracilaria* yang menyangkut massa, volume, nilai kalor *tar* dan *char* serta *gas flow rate*.

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Biomassa yang digunakan adalah makroalga *gracilaria*.
2. Kondisi *pyrolyzer* dianggap tidak ada kebocoran.
3. Kadar air makroalga *gracilaria* sama untuk setiap pengujian.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah mengetahui pengaruh temperatur pirolisis terhadap produk hasil pirolisis makroalga *gracilaria* yang menyangkut massa, volume, nilai kalor *tar* dan *char* serta *gas flow rate*.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sebagai dasar teori atau penelitian awal untuk melaksanakan penelitian selanjutnya yang menyangkut baik perpindahan panas maupun perpindahan massanya.
2. Memberikan alternatif pilihan sumber energi yang dapat dimanfaatkan.
3. Menambah informasi tentang produk hasil pirolisis makroalga *gracilaria*.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Trinh *et al* (2012) dalam penelitiannya melakukan pirolisis cepat terhadap lignin, makroalga, kayu dan jerami dengan variasi temperatur 200°C, 400°C, 600°C, 800°C dan 1000°C dan menyimpulkan semakin tinggi temperatur maka penurunan massa *char* juga semakin besar. Pada makroalga terjadi penurunan massa secara terus menerus pada temperatur 200°C sampai 1000°C.

Dan juga sebagaimana diungkapkan penelitian terdahulu Chaiwong *et al* (2012) melakukan penelitian tentang pengaruh suhu terhadap gas, *liquid (bio-oil)*, dan *solid residu (biochar)* dengan pirolisis lambat pada makroalga dan mikroalga dengan variasi temperatur 100°C sampai 900°C. Dapat disimpulkan pada makroalga terjadi penurunan massa *char* pada temperatur 100°C sampai 900°C. Produk pirolisis makroalga *spirogyra* pada temperatur 550°C yaitu gas 29%, *liquid (bio-oil)* 43%, dan *solid residu (biochar)* 28%, temperatur dekomposisi maksimum pada 318°C dan dekomposisi rata-rata 5,49 % min<sup>-1</sup>, sedangkan produk pirolisis pada makroalga *cladophora* pada temperatur 550°C yaitu gas 30%, *liquid (bio-oil)* 39% dan *solid residue (biochar)* 31%, temperatur dekomposisi maksimum 300°C dan dekomposisi rata-rata 3,92 % min<sup>-1</sup>.

#### 2.2 Biomassa

Biomassa adalah bahan organik yang berasal dari makhluk hidup baik berupa produk maupun buangan, biomassa biasanya digunakan sebagai sumber energi atau bahan bakar alternatif. Pada umumnya biomassa yang digunakan untuk bahan bakar alternatif adalah biomassa yang memiliki nilai ekonomi rendah, kelebihan dari biomassa adalah sumber energi dapat diperbarui sehingga keberadaan biomassa dalam menyediakan sumber energi bisa secara berkesinambungan.

Banyak penelitian yang menyatakan bahwa energi terbarukan dari biomassa akan memberikan kontribusi besar karena harga bahan bakar fosil akan semakin meningkat. Berdasarkan siklus karbon, sumber daya biomassa dapat digunakan berulang kali dan sifatnya tidak terbatas sedangkan bahan bakar fosil bersifat sementara, selain itu gas hasil pembakaran dari bahan bakar fosil berupa karbon dioksida dapat berdampak buruk pada Bumi.

*Biomassa* → (digunakan) →  $CO_2$ (atmosfer) → tumbuhan → biomassa

*Fosil* → (digunakan) →  $CO_2$ (atmosfer)

Hal yang penting dalam pengembangan biomassa adalah tetap menjamin lahan pertanian agar dapat memproduksi atau memanen biomassa secara terus-menerus sehingga tujuan dalam pengembangan biomassa sebagai energi terbarukan dapat tercapai. Manfaat lain yang diperoleh dari penggunaan biomassa adalah kenaikan taraf hidup dan peningkatan pendapatan petani.

### 2.3 Makroalga *Gracilaria*

Makroalga *gracilaria* atau yang lebih sering kita kenal dengan rumput laut merah merupakan salah satu biota laut Indonesia yang tergolong tanaman berderajat rendah karena tidak memiliki akar, batang maupun daun sejati tetapi hanya menyerupai batang yang disebut *thallus*. Makroalga *gracilaria* merupakan jenis rumput laut yang dapat dibudidayakan di sungai maupun ditambak meskipun habitat awalnya berasal dari laut, jadi makroalga jenis ini memiliki tingkat toleransi hidup yang tinggi. Selain itu, budidaya makroalga *gracilaria* dapat dilakukan tidak hanya diperairan alami seperti air laut atau air tawar, tetapi juga dalam kondisi buruk misalnya pada air limbah, ini artinya makroalga *gracilaria* dapat menghasilkan bio-energi tanpa harus bersaing dengan sektor produksi pakan dalam hal ruang budidaya.

Makroalga biasanya melekat pada karang, lumpur pasir, batu atau benda-benda keras lainnya. Didalam sel makroalga terdapat zat warna klorofil dan zat warna inilah yang dominan sehingga menyebabkan makroalga diberi nama sesuai dengan warnanya.



Gambar 2.1 Makroalga *gracilaria*

Para petani di daerah Akademi Perikanan Sidoarjo, dengan satu petak tambak yang memiliki luas kurang lebih lima ribu meter persegi dapat memproduksi 4 ton makroalga *gracilaria* basah atau 400 kilogram makroalga *gracilaria* dalam keadaan kering dalam waktu 3-4 hari.

Taksonomi makroalga *gracilaria sp* adalah sebagai berikut (Kuncoro 2004):

Divisi : *Rhodophyta*

Bangsa: *Gigartinales*

Suku : *Glacilariaceae*

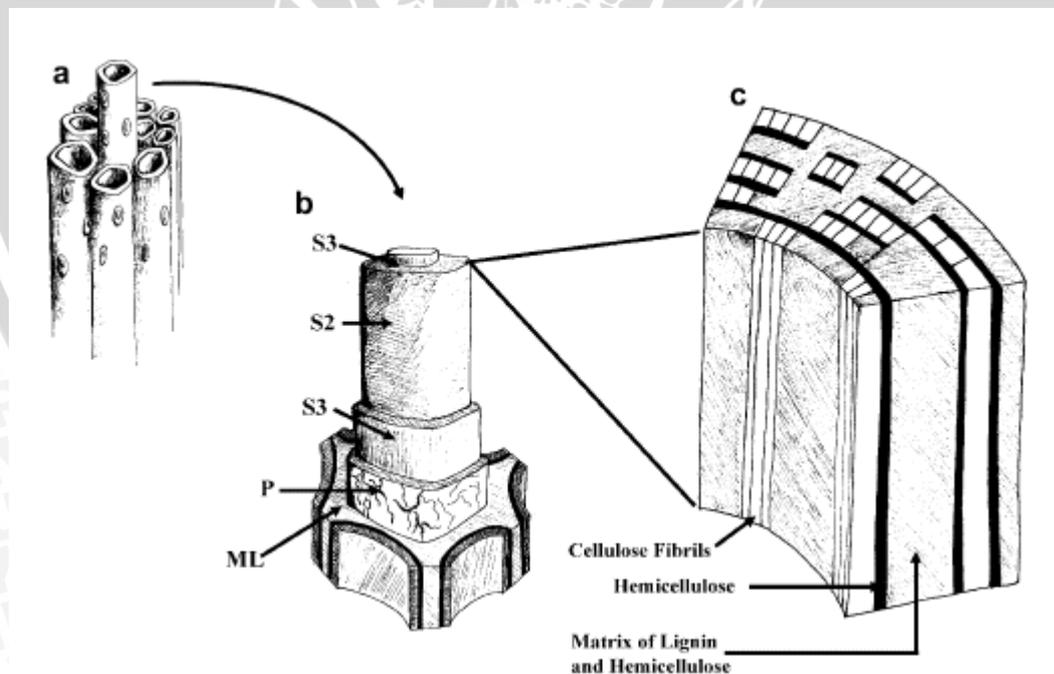
Marga : *Glacilaria*

Jenis : *Glacilaria sp*

Komponen utama makroalga *gracilaria* adalah 32,15% hemiselulosa, 17,04% selulosa dan 3,05% lignin (Kurniadi *et al*, 2012).

#### 2.4 Komponen utama Makroalga *Grcilaria*

Lignoselulosa merupakan komponen utama makroalga *gracilaria* yang menggambarkan jumlah bahan organik yang terkandung. Lignoselulosa terdiri dari selulosa, hemiselulosa dan lignin, semua komponen lignoselulosa terdapat pada sel makroalga *gracilaria*.



Gambar 2.2 Komponen Hemiselulosa, Selulosa dan Lignin (Peres *et al*, 2002).

- **Selulosa**

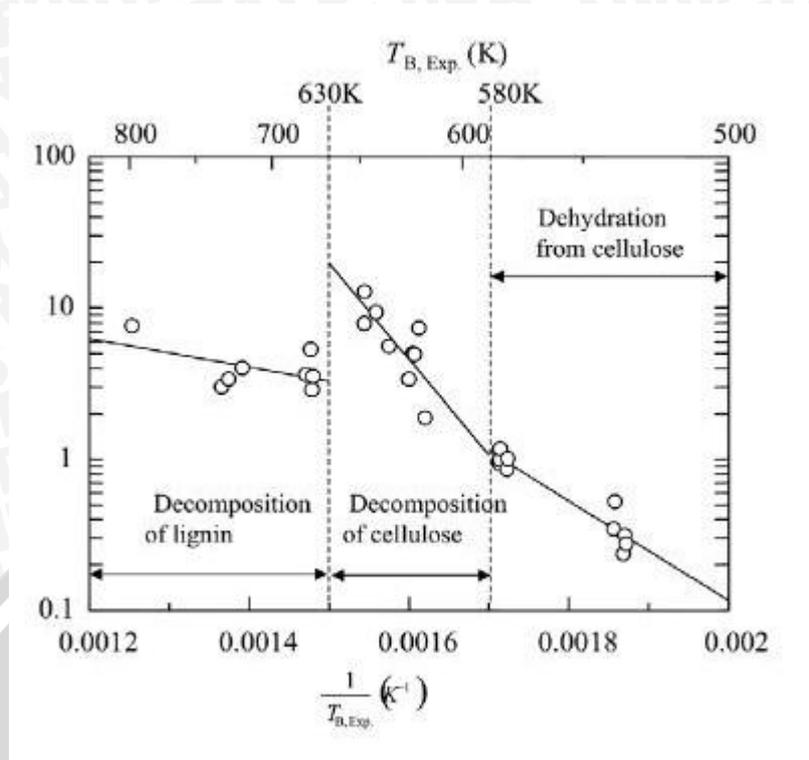
Selulosa merupakan komponen penyusun dinding sel makroalga *gracilaria*, kandungan selulosa pada makroalga *gracilaria* sebesar 17,04 % dari berat kering makroalga *gracilaria* (Kurniadi *et al*, 2012). Rantai panjang selulosa terhubung secara bersama melalui ikatan hidrogen. Selulosa merupakan polimer glukosa dengan ikatan glukosida dalam rantai lurus dan ikatan glukosida pada serat selulosa yang terdekomposisi menjadi monomer glukosa (Suparjo, 2008). Pada proses pirolisis, selulosa akan terdekomposisi pada temperatur 580K-630K.

- **Hemiselulosa**

Hemiselulosa merupakan komponen utama penyusun dinding sel makroalga *gracilaria*, kandungan hemiselulosa pada makroalga *gracilaria* sebesar 32,15 % dari berat kering makroalga *gracilaria* (Kurniadi, 2012). Hemiselulosa merupakan kelompok polisakarida yang relatif lebih mudah terdekomposisi menjadi monomer yang mengandung glukosa, mannanosa, galaktosa, xilosa dan arabinosa (Suparjo, 2008). Pada proses pirolisis, hemiselulosa akan terdekomposisi pada temperatur 500K-580K.

- **Lignin**

Lignin merupakan polimer dengan struktur aromatik yang terbentuk melalui unit-unit penilpropan (Sjorberg, 2003). Lignin sulit terdekomposisi karena strukturnya yang kompleks dan heterogen yang berikatan dengan selulosa dan hemiselulosa dalam jaringan makroalga *gracilaria*. Sekitar 3,05 % makroalga *gracilaria* tersusun atas lignin (Kurniadi, 2012), lignin pada makroalga *gracilaria* berfungsi untuk memberikan bentuk yang kokoh dan melindungi polisakarida dari serangan mikroba (Orth *et al*, 1993). Lignin juga berfungsi untuk melindungi selulosa sehingga memiliki sifat keras dan susah untuk terdekomposisi, pada proses pirolisis lignin akan terdekomposisi pada temperatur 630K-1073K.

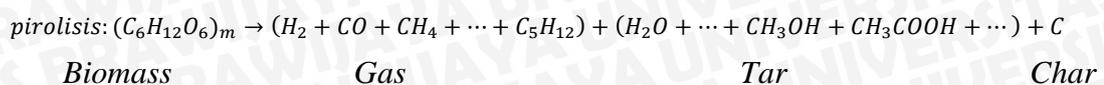


Gambar 2.3 Dekomposisi Komponen Pirolisis (Wijanti *et al*, 2013)

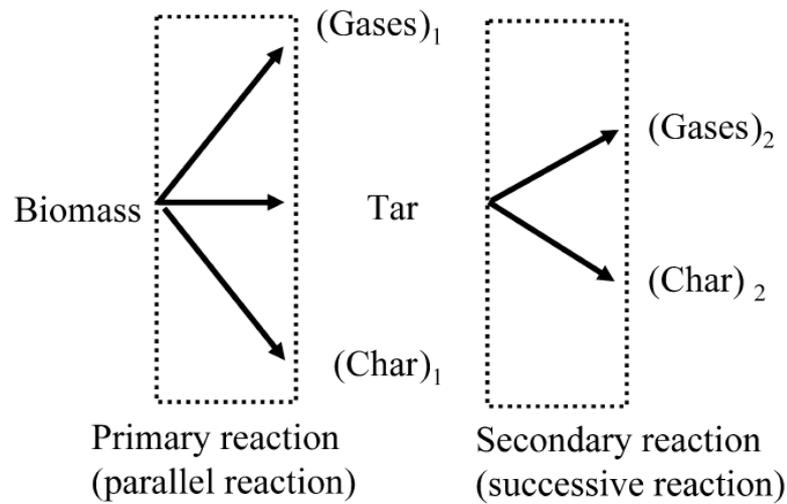
### 2.5 Pirolisis

Dalam bahasa Yunani, pirolisis berasal dari kata *pyro* (*fire/api*) dan *lyo* (*loosening/pelepasan*), jadi pirolisis merupakan proses dekomposisi suatu bahan organik pada temperatur tinggi sehingga terjadi pelepasan komponen atau terurai menjadi ikatan molekul yang lebih kecil. Pirolisis merupakan salah satu cara untuk menguraikan biomassa secara kimia melalui pemanasan tanpa oksigen dengan cara mengalirkan nitrogen agar oksigen dalam *pyrolyzer* dapat terdorong keluar oleh nitrogen sehingga tidak terjadi pembakaran pada saat proses pirolisis berlangsung. Bahan pada proses pirolisis dapat berupa tumbuhan atau jenis biomassa yang lain.

Dengan proses pirolisis maka biomassa akan mengalami pemutusan ikatan membentuk molekul-molekul dengan ukuran dan struktur yang lebih kecil atau sederhana. Secara umum proses pirolisis akan menghasilkan produk berupa *char*, *tar* dan gas. Berikut reaksi pirolisis (Miura, 2002).



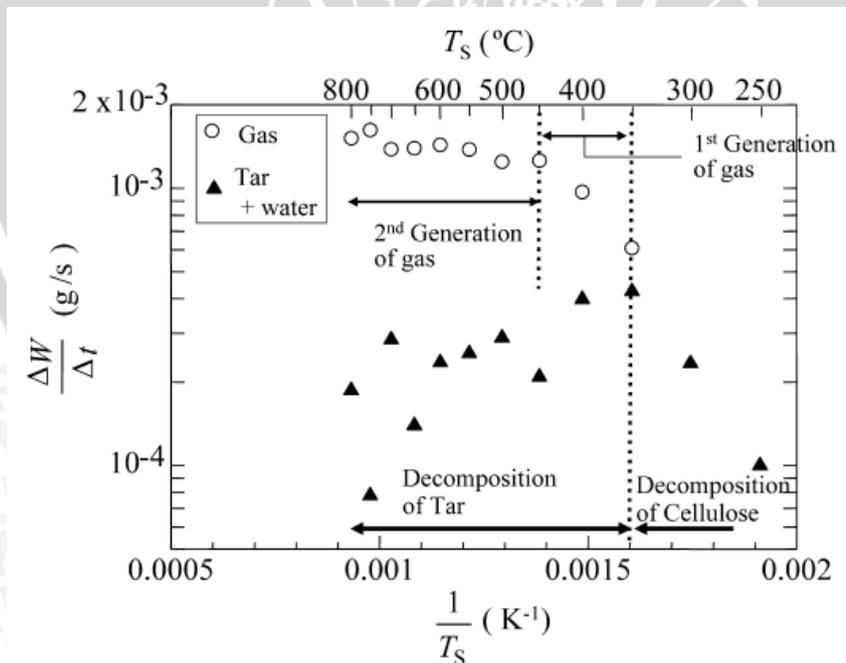
Mekanisme reaksi kimia pada pirolisis (Broido, 1976)



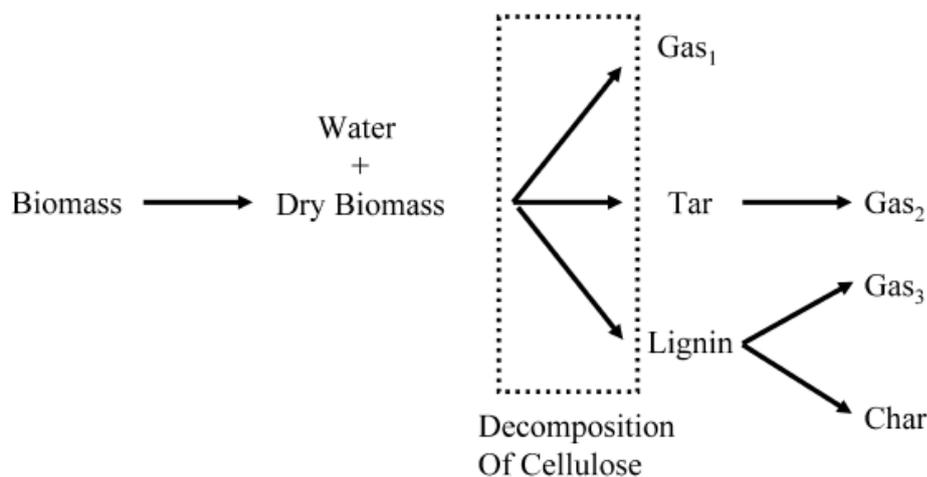
Gambar 2.4 Mekanisme Reaksi Kimia pada Pirolisis (Broido, 1976)

Pada reaksi primer, biomassa akan terdekomposisi menjadi gas<sub>1</sub>, tar<sub>1</sub> dan char<sub>1</sub>. Pada reaksi tambahan ada sebagian tar yang akan terdekomposisi menjadi gas<sub>1</sub> dan char<sub>2</sub>.

Berikut ini merupakan penelitian selanjutnya mengenai mekanisme dekomposisi biomassa.



Gambar 2.5 Mekanisme Dekomposisi Pirolisis (Tanoure *et al*, 2007)



Gambar 2.6 Reaksi Kimia pada Pirolisis (Tanoue *et al*, 2007).

Pada gambar 2.5 dapat dilihat pada temperatur 250°C-350°C terjadi reaksi primer atau dekomposisi dari selulosa sehingga produk yang dihasilkan hanya berupa gas dan *char*. Pada temperatur 350°C-450°C produk yang dihasilkan berupa gas<sub>1</sub>, tar<sub>1</sub> dan *char*<sub>1</sub> dan pada temperatur 450°C-800°C terjadi reaksi tambahan yaitu sebagian dari tar<sub>1</sub> menjadi gas<sub>2</sub>. Sehingga semakin tinggi temperatur maka produk gas yang dihasilkan akan semakin banyak.

Menurut kondisi operasional, pirolisis dibagi menjadi 3 yaitu *fast pyrolysis*, *intermediate pyrolysis*, dan *slow pyrolysis*.

Tabel 2.1 Macam – Macam Pirolisis dan Produk Pirolisis (Chaiwong, 2012)

Process	Liquid (bio-oil)	Solid (biochar)	Gas (syngas)
<b>Fast Pyrolysis</b> Moderate temperature (~500°C), short hot-vapour residence time (<2s)	75% (25% water)	12%	13%
<b>Intermediate Pyrolysis</b> Low-moderate temperature, moderate hot-vapour residence time	50% (50% water)	25%	25%
<b>Slow pyrolysis</b> Low-moderate temperature, long residence time	30% (70% water)	35%	35%

Produk hasil pirolisis secara umum berupa *tar (liquid)*, *char (solid)* dan gas

a. *Tar (Liquid)*



Gambar 2.7 *Tar* Hasil Pirolisis

*Tar* merupakan salah satu zat yang dihasilkan dari proses pirolisis makroalga *gracilaria*. *Tar* ini berwarna gelap hitam, berbentuk cairan yang berisi banyak campuran senyawa. Nama lain dari *tar* adalah *bio-oil*, *pyrolysis oil*, atau *liquid smoke*. *Tar* terbentuk dari depolimerisasi dari selulosa, hemiselulosa dan lignin.

Tabel 2.2 Kandungan *Tar* Makroalga (Trinh *et al*, 2012)

	Bio-oil			
	Wood	Straw <sup>a</sup>	Lignin	Algae
Water content (%wt)	27.3	25.7	27.5	26.6
HHV (MJ/kg) on wet basis	17.4	17.6	21.5	18.9
HHV (MJ/kg) on db	24.0	23.7	29.7	25.7
pH	3.2	3.8	3.9	4.3
Density @40 °C (g/ml)	1.12	1.15	1.09	0.98
Element content (wt% db)				
C	57	56.9	65.6	59.5
H	7.2	5.9	8	7.2
O	35.2	35.2	24.5	28
N	0.5	1.7	1.7	4
S	0.04	0.15	0.18	0.77
Cl	0.01	0.17	0.03	0.64
H/C	0.13	0.10	0.12	0.12
O/C	0.62	0.62	0.37	0.48

Setelah diberi perlakuan, tar hasil pirolisis dapat digunakan sebagai bahan bakar biodiesel (Rahayu *et al*, 2012).

b. *Char (Solid)*



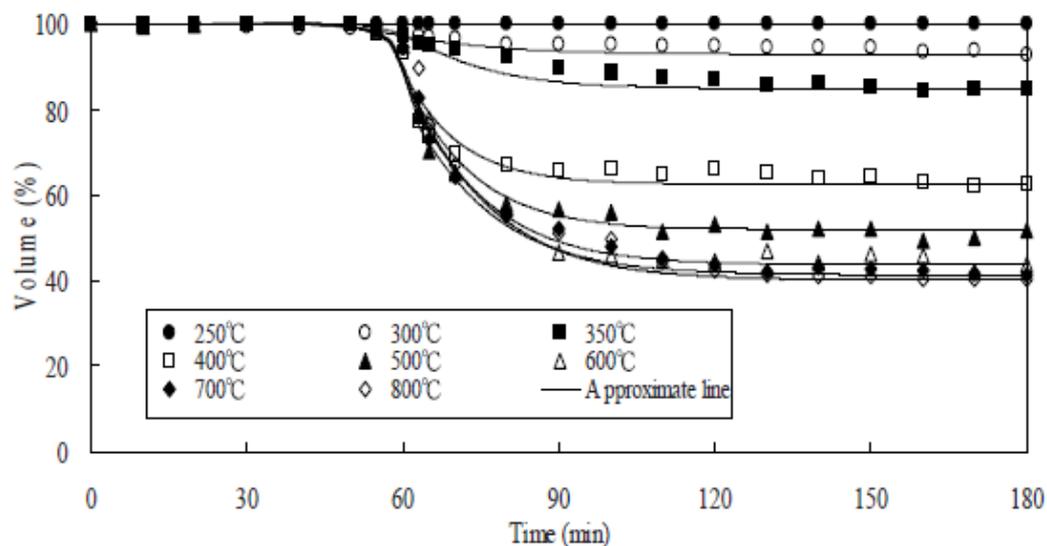
Gambar 2.8 *Char* Hasil Pirolisis

*Char* merupakan salah satu zat yang dihasilkan dari proses pirolisis makroalga *gracilaria*. *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. Selain dapat digunakan sebagai bahan bakar briket, manfaat lain dari *char* yaitu sebagai bahan untuk menyimpan energi pada kapasitor (Latifan *et al*, 2012).

Tabel 2.3 Kandungan *Char* Makroalga dibandingkan dengan Bahan Bakar Padat Lainnya (Chaiwong *et al*, 2012).

Name	Fixed carbon %	Volatiles %	Ash %	HHV (MJ/kg)	C %	H %	O %	N %	S %	Ref.
Peat (S-H3)	26.87	70.13	3.00	22.00	54.81	5.38	35.81	0.89	0.11	[26]
German Braunkohle lignite	46.03	49.47	4.50	25.10	63.89	4.97	24.54	0.57	0.48	[24]
Charcoal	89.10	9.88	1.02	34.39	92.04	2.45	2.96	0.53	1.00	[24]
Oak char	59.30	25.80	14.90	24.80	67.70	2.40	14.40	0.40	0.20	[24]
<i>Cladophora coelothrix</i> char	-	-	32.10	-	34.60	1.50	-	3.30	-	[21]
<i>Cladophora patentiramea</i> char	-	-	47.00	-	20.30	1.20	-	1.70	-	[21]
Spirulina char	44.55	7.63	47.82	15.78	45.26	1.24	0.28	2.57	0.07	*
<i>Cladophora</i> char	26.68	35.50	37.81	16.68	51.14	0.56	0.69	1.98	1.86	*
<i>Spirogyra</i> char	59.66	16.81	23.53	22.96	62.37	0.37	4.07	2.11	0.48	*

Berikut proses pembentukan *char*.



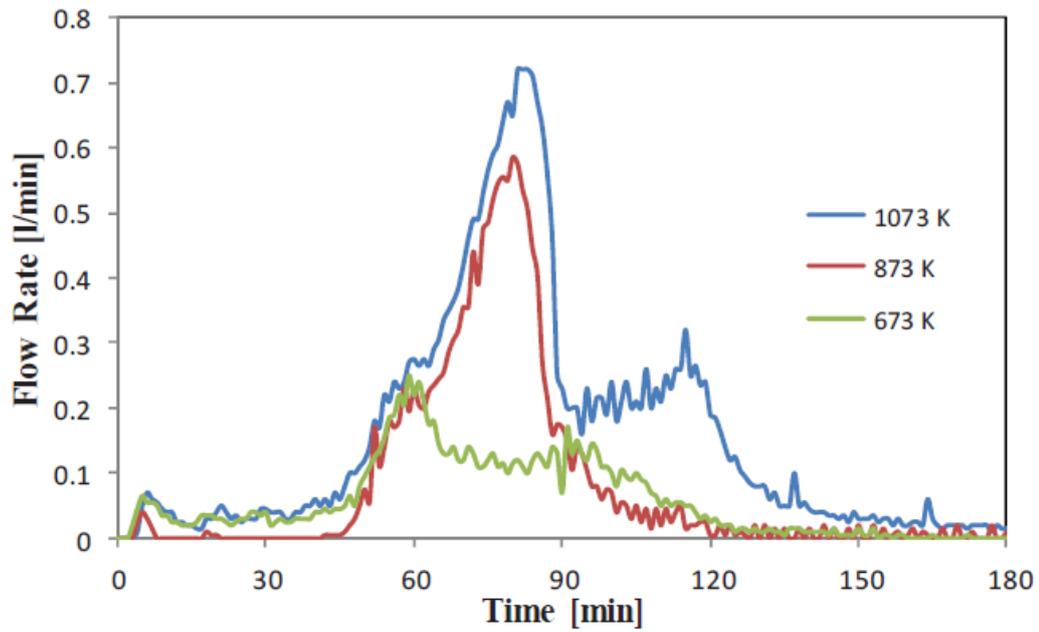
Gambar 2.9 Proses Pembentukan *Char* (Wijayanti, 2013)

Proses pembentukan *char*, semakin tinggi temperatur maka *char* yang terbentuk semakin sedikit hal ini dikarenakan komponen dari biomassa semakin banyak yang terdekomposisi. Proses pembentukan *char* dapat dibagi menjadi 3 yaitu pada 300K-580K yaitu pengeringan selulosa dan dekomposisi hemiselulosa, 580K-630K yaitu dekomposisi selulosa dan 630K-1073K dekomposisi lignin.

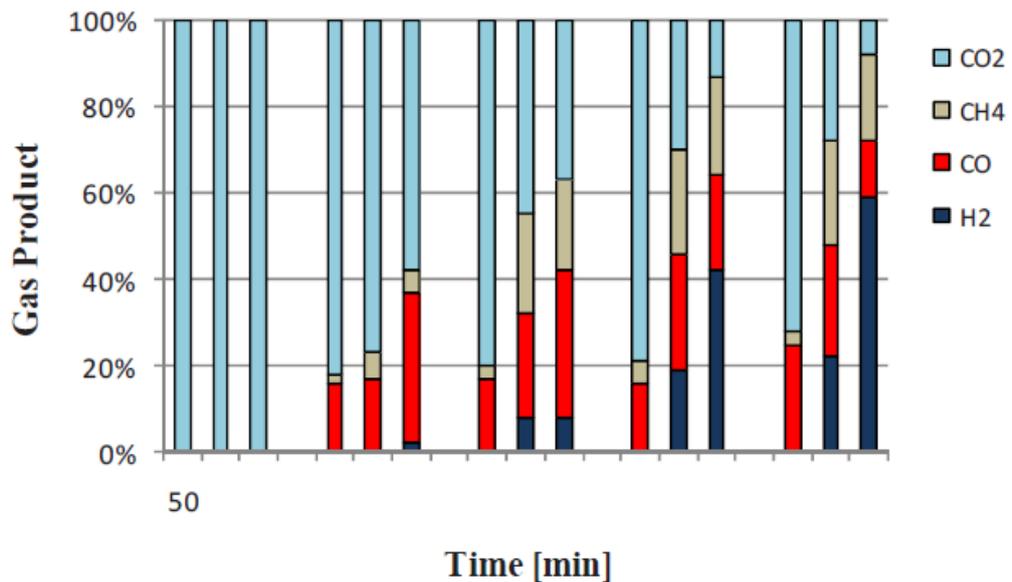
### c. Gas

Gas merupakan salah satu zat yang dihasilkan dari pirolisis makroalga *gracilaria*. Gas yang dikeluarkan pada proses pirolisis sebagian besar berupa gas CO<sub>2</sub> dan sebagian lagi berupa gas-gas yang mudah terbakar seperti CH<sub>4</sub>, CO dan H<sub>2</sub>. (Wijayanti, 2013).

Untuk proses terbentuknya gas dapat dilihat pada gambar 2.10 dan komposisi gas yang dihasilkan dapat dilihat pada gambar 2.11.



Gambar 2.10 Proses Pembentukan Gas Pirolisis (Wijayanti, 2013)



Gambar 2.11 Produk Gas Hasil Pirolisis (Wijayanti, 2013).

Pada gambar 2.10 menunjukkan *gas flow rate* yang dihasilkan pada temperatur 673K, 873K dan 1073K. Pada gambar 2.11 menunjukkan komposisi produk gas dalam setting temperatur yang sama pada waktu 50 menit, 70 menit, 90 menit, 110 menit dan 130 menit. Dalam grafik batang kiri menunjukkan produk gas pada temperatur 673K, batang tengah dan kanan menunjukkan produk gas pada temperatur 873K dan 1073K secara berurutan.

Dan dapat terlihat bahwa semakin tinggi temperatur pirolisis maka *gas flow rate* yang dihasilkan akan semakin besar hal ini dikarenakan komposisi gas yang terbentuk semakin banyak.

## 2.6 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.

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

Keterangan :

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

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

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

$\Delta T$  = selisih temperatur awal ( $T_0$ ) dan temperatur akhir ( $T_1$ )

## 2.7 Hipotesa

Semakin besar temperatur pirolisis maka massa dan volume *tar* akan semakin meningkat begitu juga dengan *gas flow rate*, sedangkan *char* yang terbentuk akan semakin sedikit, dan semakin tinggi temperatur pirolisis maka nilai kalor *tar* dan *char* akan semakin besar hal ini dikarenakan selulosa, hemiselulosa, dan lignin makroalga terdekomposisi secara menyeluruh.

## BAB III

### METODE 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 Variabel Penelitian

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

##### a. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang nilainya ditentukan 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, 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:

1. Massa, volume dan nilai kalor *tar*.
2. Massa, volume dan nilai kalor *char*.
3. *Gas flow rate*.

##### c. Variabel terkontrol

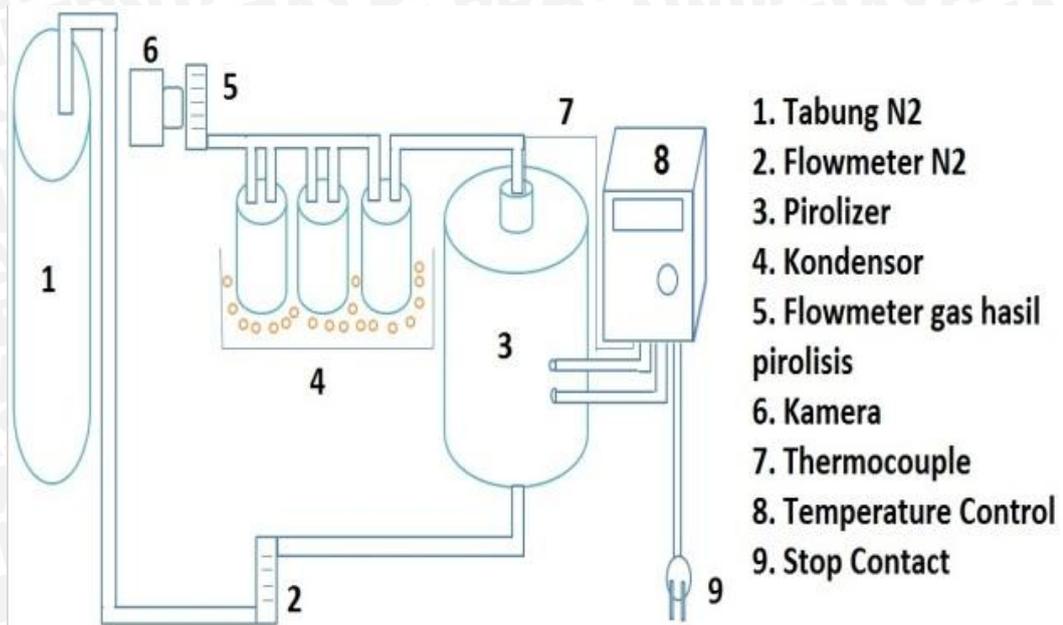
Variabel terkontrol adalah variabel yang ditentukan oleh peneliti dan nilainya dikondisikan konstan. Adapun yang merupakan variabel terkontrol dalam penelitian ini adalah massa makroalga *gracilaria* sebesar 400 gram dan waktu pirolisis selama 3 jam.

#### 3.3 Alat dan Bahan Penelitian

##### 3.3.1 Alat yang Digunakan

##### 1. Instalasi Pirolisis

Instalasi ini berfungsi untuk mempirolisis bahan baku dan dalam hal ini makroalga *gracilaria* sebagai bahan utama. Makroalga *gracilaria* dimasukkan ke dalam *pyrolyzer* dan kemudian akan diatur suhu pemanasannya.



Gambar 3.1 Instalasi Pirolisis

## 2. Bomb Calorimeter

*Bomb Calorimeter* merupakan alat yang digunakan untuk mendapatkan nilai kalor dari suatu bahan bakar. Didalam penelitian ini *bomb calorimeter* digunakan untuk mengukur nilai kalor *tar* dan *char* setelah proses pirolisis dan untuk mengukur nilai kalor makroalga *gracilaria* sebelum dipirolisis.

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. Timbangan Elektrik

Alat ini berfungsi untuk mendapatkan massa dari suatu benda. Di dalam penelitian ini timbangan elektrik digunakan untuk menimbang massa makroalga *gracilaria* sebelum pirolisis, menimbang massa *char* dan *tar* hasil pirolisis.

Spesifikasi :

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



Gambar 3.4 Timbangan Elektrik

Sumber : Laboratorium Motor Bakar Jurusan Mesin FT-UB

#### 5. *Moisture Analyzer*

*Moisture Analyzer* digunakan untuk mengukur kadar air dari sampel spesimen uji. Dalam penelitian ini *moisture analyzer* digunakan untuk mengetahui kadar air makroalga *gracilaria* sebelum dipirolisis.

Spesifikasi :

- Type : MOC-120H
- Measurement Format : evaporation weight loss method
- Sample weight : 0,5-120 g
- Minimum display : moisture content 0,01% ; weight : 0.001 g
- Measurable quantities : moisture content (wet & dry base), weight, solid.
- Heater temperature : 30-200°C
- Display : backlit LCD (137 x 43mm)
- Heat source : 625 Watt
- Power Supply : AC 100-120 / 220-240 V (50/60 Hz)
- Power consumption : max 640 Watt



Gambar 3.5 *Moisture Analyzer*

Sumber : Laboratorium Motor Bakar Jurusan Mesin FT-UB

6. *Beaker Glass*

Digunakan untuk mengukur volume *tar* produk hasil pirolisis.

Spesifikasi :

- Merk : pyrex
- Kapasitas : 50 ml



Gambar 3.6 *beaker glass*

## 7. Flowmeter

Alat ini digunakan untuk mengetahui *gas flow rate* hasil pirolisis.



Gambar 3.7 flowmeter

## 8. Kamera Digital

Kamera ini berfungsi untuk mengambil gambar alat, spesimen uji, dan produk hasil pirolisis. Di samping itu kamera ini juga untuk merekam flowmeter.

Spesifikasi :

- Merk : Sony
- Resolusi : 12,1 Mega Pixel
- *Optical Zoom* : 4x



Gambar 3.8 kamera digital

### 9. Stopwatch

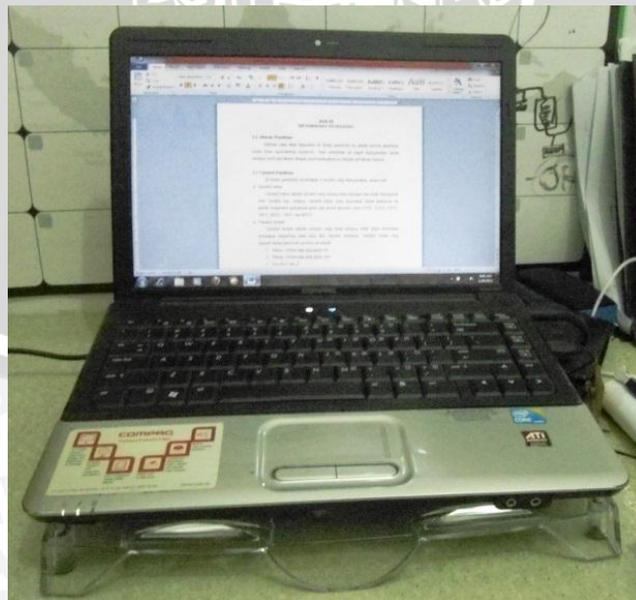
*Stopwatch* ini berfungsi untuk mengukur waktu. Di dalam penelitian ini *Stopwatch* digunakan untuk mengukur waktu pirolisis dan waktu pengovenan.



Gambar 3.9 Stopwatch

### 10. Notebook

Didalam penelitian ini *notebook* digunakan dalam pengolahan data hasil pengujian.



Gambar 3.10 Notebook

### 11. Kompor Listrik

Digunakan sebagai sumber panas untuk memanaskan makroalga *gracilaria* dengan tujuan pengeringan.

Spesifikasi :

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



Gambar 3.11 Kompor Listrik

Sumber : Laboratorium Motor Bakar Jurusan Mesin FT-UB

### 12. Oven

Digunakan sebagai tempat untuk mengeringkan makroalga *gracilaria* pada temperatur 100°C.



Gambar 3.12 Oven

Sumber : Laboratorium Motor Bakar Jurusan Mesin FT-UB

### 3.3.2 Bahan Yang Digunakan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah makroalga *gracilaria* yang didapat di daerah Akademi Perikanan Sidoarjo.



Gambar 3.13 Makroalga *Gracilaria*

### 3.4 Prosedur Penelitian

1. Setelah diambil dari kolam atau tambak, makroalga *gracilaria* dikeringkan dengan cara dijemur selama satu hari.
2. Makroalga *gracilaria* yang telah kering kemudian diambil dan kemudian digiling.
3. Selanjutnya proses pengayakan untuk menyeragamkan ukuran dari makroalga *gracilaria*.
4. Mengambil beberapa makroalga *gracilaria* yang akan dipirolisis untuk dimasukkan ke dalam oven yang bertemperatur 100°C dan diholding selama dua jam.
5. Selanjutnya makroalga *gracilaria* dikeluarkan dari oven untuk diuji kandungan airnya dengan mesin *moisture analyzer*.
6. Setelah dipastikan kadar air makroalga *gracilaria* 0-2% maka makroalga *gracilaria* ditimbang 400 gram.
7. Selanjutnya makroalga *gracilaria* dimasukkan kedalam *pyrolyzer* dan diukur volumenya.
8. Kemudian katup nitrogen dibuka untuk mengalirkan nitrogen kedalam ruang pemanas *pyrolyzer* selama lima menit dengan *flow rate* tiga liter per menit.

9. Kemudian katup nitrogen ditutup dan selanjutnya menyetting temperatur pada *temperature control* lalu *heater* pada *pyrolyzer* dihidupkan selama tiga jam.
10. Selama proses pirolisis berlangsung selama tiga jam, mengamati *gas flow rate* dengan cara merekam flowmeter dengan kamera digital.
11. Setelah tiga jam, *pyrolyzer* dimatikan dan ukur volume *char*, selanjutnya *char* dikeluarkan untuk diukur massanya dengan cara ditimbang.
12. Setelah itu *tar* hasil pirolisis yang tertangkap diambil lalu massa dan volumenya diukur.
13. Setelah itu dilakukan pengujian nilai kalor terhadap *tar* dan *char*.
14. Prosedur pengujian nilai kalor

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kalor dari *tar* dan *char* makroalga *gracilaria* dengan menggunakan alat *bomb calorimeter*. Prosedur yang digunakan sebagai berikut:

- a. Siapkan spesimen produk hasil pirolisis makroalga *gracilaria* berupa *char* dan *tar*.
- b. Siapkan 2 liter air dan kemudian dimasukkan ke dalam *oval bucket*.
- c. Spesimen produk hasil pirolisis yang diuji ditimbang seberat 1 gram lalu dimasukkan kedalam *combustion capsule*.
- d. Pasang kawat sepanjang 10 cm sampai mengenai bahan bakar yang diuji tanpa mengenai permukaan besi *combustion capsule* dengan menggunakan bantuan *bomb head support stand*.
- e. *Combustion capsule* tadi bersama dengan kawat dimasukkan kedalam *oxygen bomb*.
- f. *Bomb calorimeter* dihubungkan dengan listrik.
- g. *Oxygen bomb* diisi dengan oksigen yang bertekanan 30-35 atm selama 2 menit.
- h. *Oxygen bomb* dimasukkan kedalam *adiabatic calorimeter* lalu ditutup.
- i. Posisi *switch* diubah ke posisi on.
- j. Temperatur air di *oval bucket* disamakan dengan temperatur *water jacket*. Setelah sama, temperatur yang terjadi dicatat.
- k. Spesimen produk hasil pirolisis yang diuji tersebut dibakar dan beberapa saat kemudian temperatur yang terjadi pada air dicatat (temperatur maksimum yang tercapai).

1. Selisih temperatur di air pada kondisi awal dengan kondisi setelah terjadi pembakaran dihitung dan sisa kawat yang terbakar diukur.

Setelah melakukan prosedur akan diperoleh data-data yang diperlukan untuk menghitung nilai kalor produk hasil pirolisis. Dari data-data tersebut dapat diketahui nilai kalor dari produk hasil pirolisis yang di uji dengan perhitungan sebagai berikut

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

Keterangan :

Acid (sisa abu) = 10 kal/gram

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

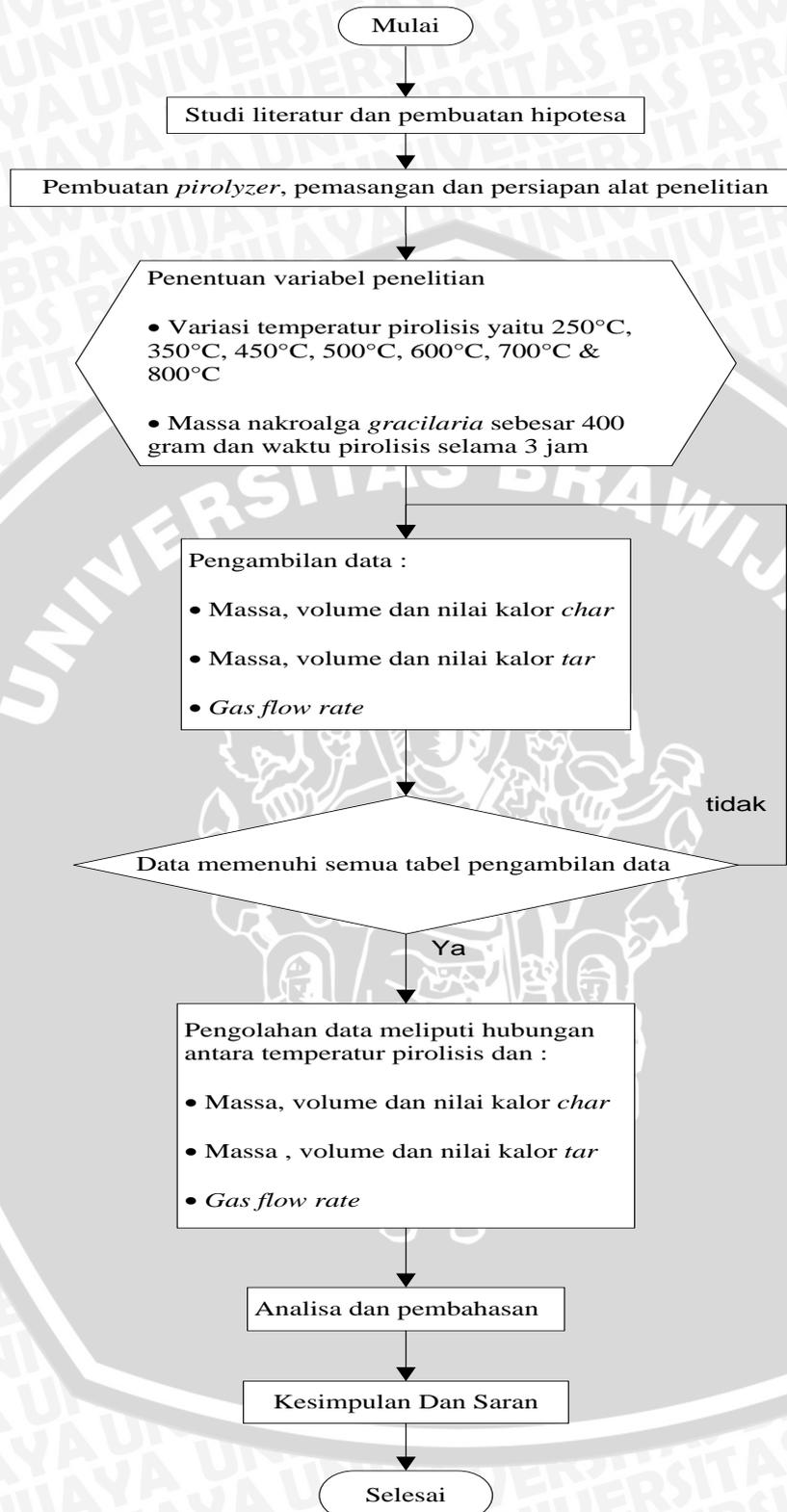
EE = standart benzoid 2401,459 kal/gram°C

$\Delta T$  = selisih temperatur awal ( $T_0$ ) dan temperatur akhir ( $T_1$ )

15. Visualisasi *Scaning Electron Microscope (SEM)*.



### 3.5 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.14 Diagram Alir Penelitian

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

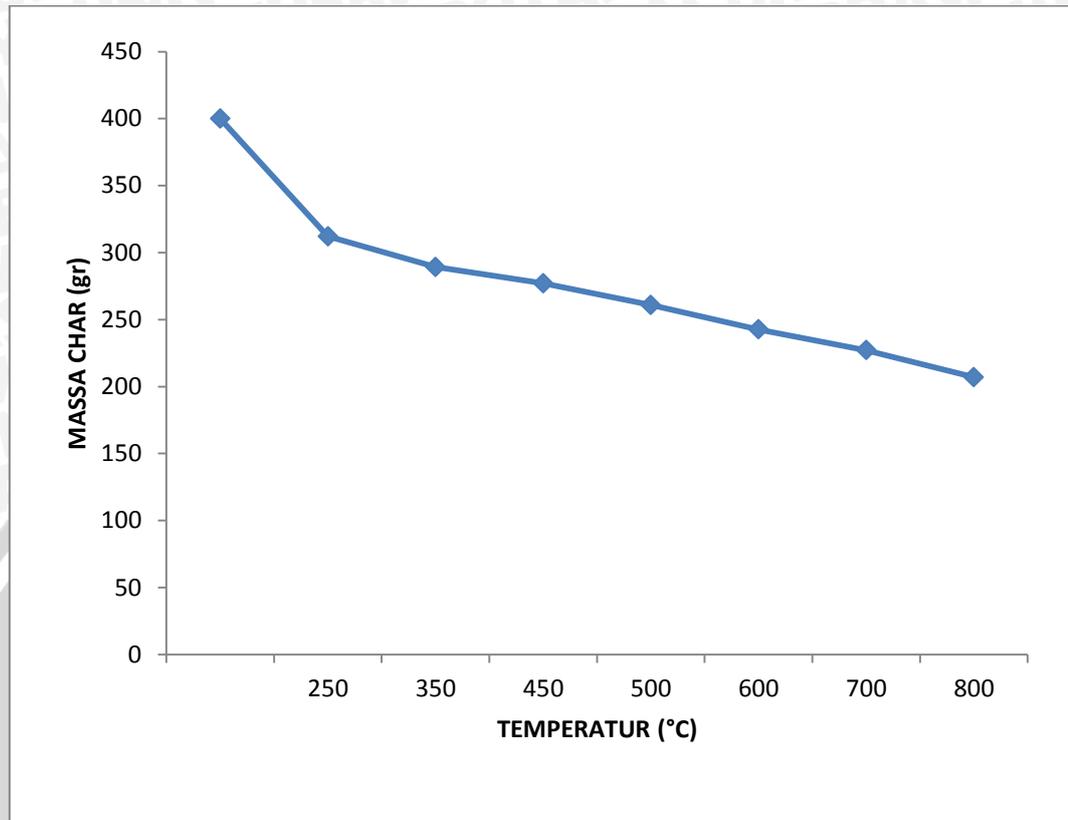
#### 4.1 Hasil Penelitian

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

- Pada gambar 4.1 menunjukkan hubungan antara variasi temperatur pirolisis dan massa *char*.
- Pada gambar 4.2 menunjukkan hubungan antara variasi temperatur pirolisis dan volume *char*.
- Pada gambar 4.3 menunjukkan hubungan antara variasi temperatur pirolisis dan nilai kalor *char*.
- Pada gambar 4.4 menunjukkan hubungan antara variasi temperatur pirolisis dan penampakan *char*.
- Pada gambar 4.5 menunjukkan hubungan antara variasi temperatur pirolisis dan massa *tar*.
- Pada gambar 4.6 menunjukkan hubungan antara variasi temperatur pirolisis dan volume *tar*.
- Pada gambar 4.7 menunjukkan hubungan antara variasi temperatur pirolisis dan nilai kalor *tar*.
- Pada gambar 4.8 menunjukkan hubungan antara variasi temperatur pirolisis dan *gas flow rate*.

## 4.2 Pembahasan

### 4.2.1 Hubungan antara Temperatur Pirolisis dan Massa Char



Gambar 4.1 Grafik Hubungan antara Temperatur Pirolisis dan Massa Char

Grafik hubungan antara temperatur pirolisis dan massa *char*. Adapun variasi temperatur yaitu 25°C (sebelum pirolisis), 250°C, 350°C, 450°C, 500°C, 600°C, 700°C, dan 800°C.

Dari grafik hubungan temperatur pirolisis dan massa *char* dapat dilihat terjadi penurunan massa *char* antara sebelum pirolisis dan sesudah pirolisis. Semakin besar temperatur pirolisis maka massa *char* yang dihasilkan juga semakin kecil hal ini dikarenakan komponen didalam makroalga *gracilaria* semakin banyak yang terdekomposisi.

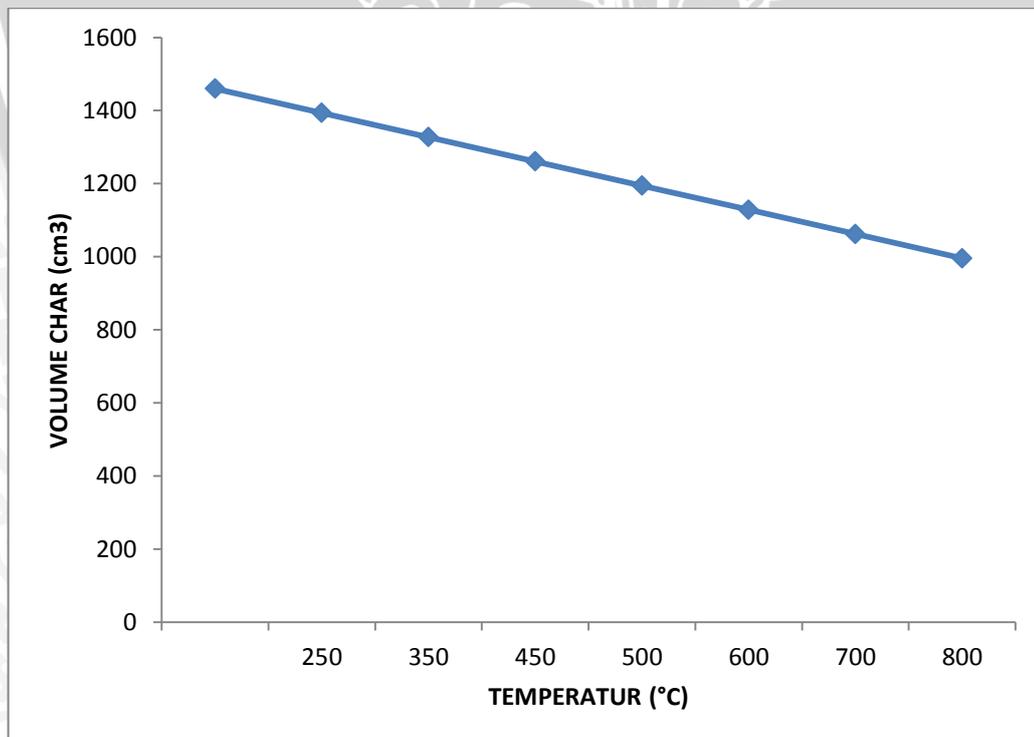
Komponen utama dari makroalga *gracilaria* adalah 32,15% hemiselulosa, 17,04% selulosa, dan 3,05% lignin. Pada proses pirolisis komponen-komponen tersebut akan terdekomposisi. Seperti pada gambar 2.3 hemiselulosa akan terdekomposisi pada temperatur pirolisis 500K-580K atau 227°C-307°C dan selulosa akan terdekomposisi pada temperatur pirolisis 580K-630K atau 307°C-357°C sedangkan lignin akan terdekomposisi pada temperatur pirolisis 630K-1023K atau 357°C-800°C.

Saat temperatur pirolisis 250°C pada makroalga *gracilaria* hanya terjadi evaporasi air dan hanya sebagian dari hemiselulosa yang terdekomposisi hal ini menyebabkan massa *char* yang dihasilkan pada temperatur pirolisis 250°C paling besar dibandingkan massa *char* pada temperatur pirolisis 350°, 450°C, 500°C, 600°C, 700°C dan 800°C.

Saat temperatur pirolisis 350°C pada makroalga *gracilaria* terjadi evaporasi air, hemiselulosa terdekomposisi secara menyeluruh dan sebagian besar dari selulosa terdekomposisi, hal ini menyebabkan massa *char* yang dihasilkan pada temperatur pirolisis 350°C lebih kecil dari pada massa *char* yang dihasilkan pada temperatur pirolisis 250°C.

Pada temperatur pirolisis 450°C sampai 800°C terjadi evaporasi air, seluruh komponen utama makroalga *gracilaria* yaitu hemiselulosa, selulosa dan lignin mulai terdekomposisi, hal ini menyebabkan massa *char* semakin kecil dengan semakin bertambahnya variasi temperatur pirolisis. Terjadi perbedaan massa *char* ini disebabkan oleh kadar lignin yang terdekomposisi semakin banyak sehingga massa *char* semakin kecil. Pada temperatur pirolisis 800°C didapatkan massa *char* yang paling kecil hal ini disebabkan lignin sudah terdekomposisi secara menyeluruh.

#### 4.2.2 Hubungan antara Temperatur Pirolisis dan Volume *Char*



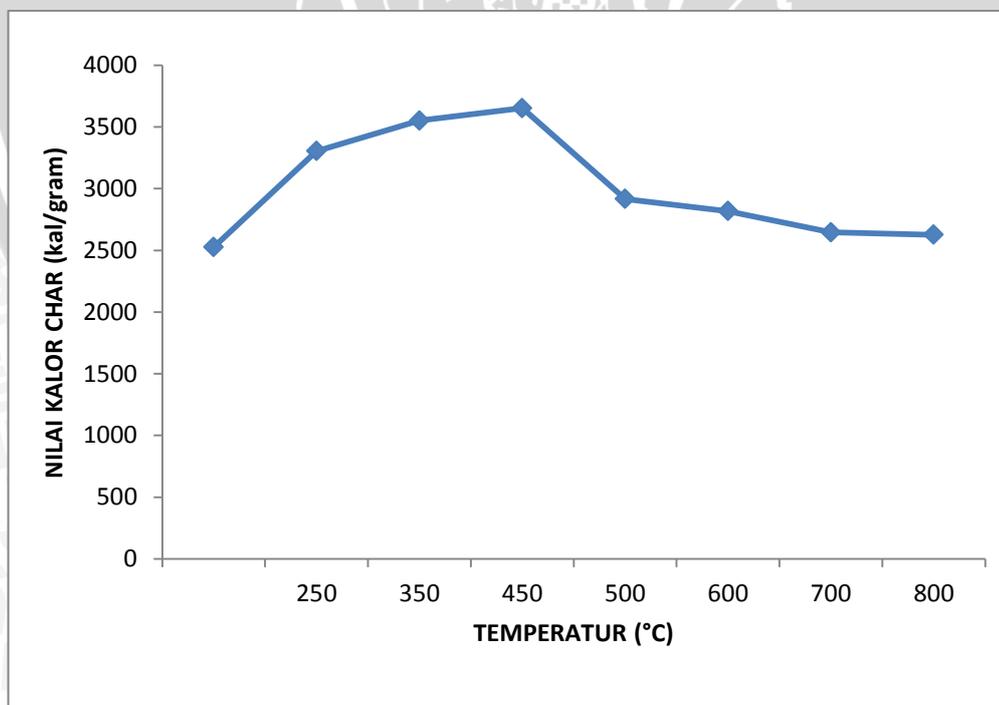
Gambar 4.2 Grafik Hubungan antara Temperatur Pirolisis dan Volume *Char*

Grafik hubungan antara temperatur pirolisis dan volume *char*. Adapun variasi temperatur yaitu 25°C (sebelum pirolisis), 250°C, 350°C, 450°C, 500°C, 600°C, 700°C, dan 800°C.

Dari grafik temperatur pirolisis dan volume *char*, dengan asumsi kerapatan massanya konstan maka dapat dilihat terjadi penurunan volume antara sebelum pirolisis dan sesudah pirolisis. Semakin besar temperatur pirolisis maka volume *char* yang dihasilkan semakin kecil, hal ini dikarenakan komponen didalam makroalga *gracilaria* semakin banyak yang terdekomposisi.

Dengan komponen makroalga *gracilaria* yang terdekomposisi sama seperti pada pembahasan gambar 4.1, maka terlihat bahwa volume *char* paling kecil adalah pada temperatur pirolisis 800°C dan yang paling besar adalah pada temperatur pirolisis 25°C (sebelum pirolisis) hal ini disebabkan karena pada temperatur pirolisis 800°C komponen makroalga *gracilaria* telah terdekomposisi secara menyeluruh sedangkan pada temperatur 25°C belum terjadi dekomposisi, semakin banyak komponen yang terdekomposisi hal ini menyebabkan ukuran butirannya semakin kecil sehingga volumenya semakin kecil.

#### 4.2.3 Hubungan antara Temperatur Pirolisis dan Nilai Kalor *Char*



Gambar 4.3 Grafik Hubungan antara Temperatur Pirolisis dan Nilai Kalor *Char*

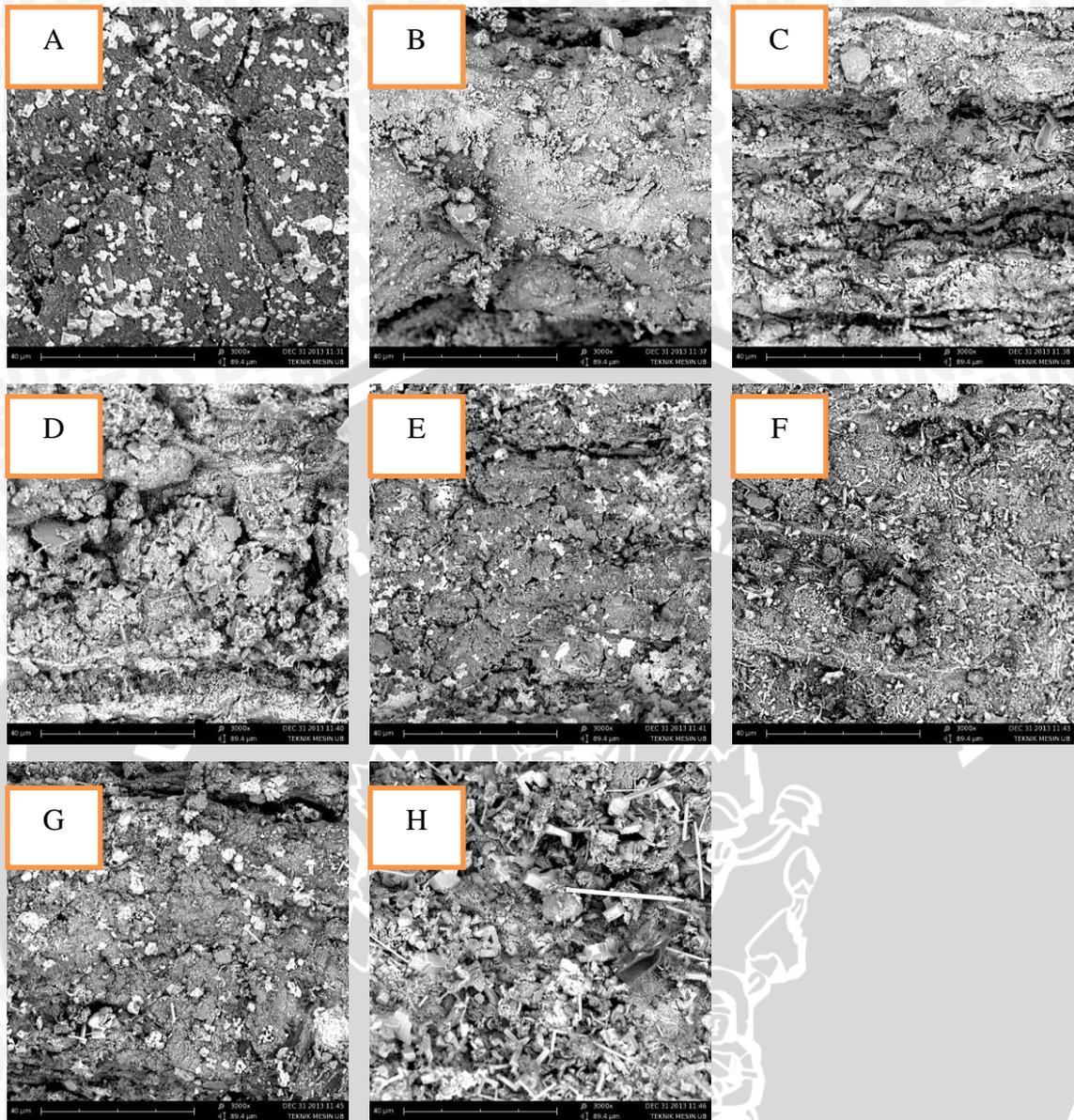
Grafik hubungan antara temperatur pirolisis dan nilai kalor *char*, adapun variasi temperatur pirolisis yaitu 25°C (sebelum pirolisis), 250°C, 350°C, 450°C, 500°C, 600°C, 700°C dan 800°C.

Pada grafik dapat dilihat terjadi kenaikan nilai kalor dari temperatur pirolisis 25°C (sebelum pirolisis) sampai 450°C dan terjadi penurunan nilai kalor dari temperatur pirolisis 450°C sampai 800°C.

Pada temperatur pirolisis 25°C (sebelum pirolisis) sampai 450°C terjadi kenaikan nilai kalor, hal ini dikarenakan pada *char* terdapat kandungan *fixed carbon* yang semakin banyak (visualisasi *fixed carbon* dapat dilihat pada gambar 4.4), pada temperatur 25°C masih sedikit terbentuk *fixed carbon* dan ketika temperatur 250°C sampai 450°C kandungan *fixed carbon* semakin besar sehingga nilai kalornya semakin tinggi.

Pada temperatur pirolisis 450°C sampai 800°C terjadi penurunan nilai kalor, hal ini disebabkan ukuran dari *carbon* semakin kecil dan jarak antar *carbon* semakin renggang sehingga nilai kalornya semakin turun.





Keterangan : *Scanning Electron Microscopy (SEM)* pembesaran 3000x (40 $\mu$ m-89,4 $\mu$ m)

Gambar 4. 4 Penampang *Char*

- a) Sebelum pirolisis
- b) Temperatur 250°C
- c) Temperatur 350°C
- d) Temperatur 450°C
- e) Temperatur 500°C
- f) Temperatur 600°C
- g) Temperatur 700°C
- h) Temperatur 800°C

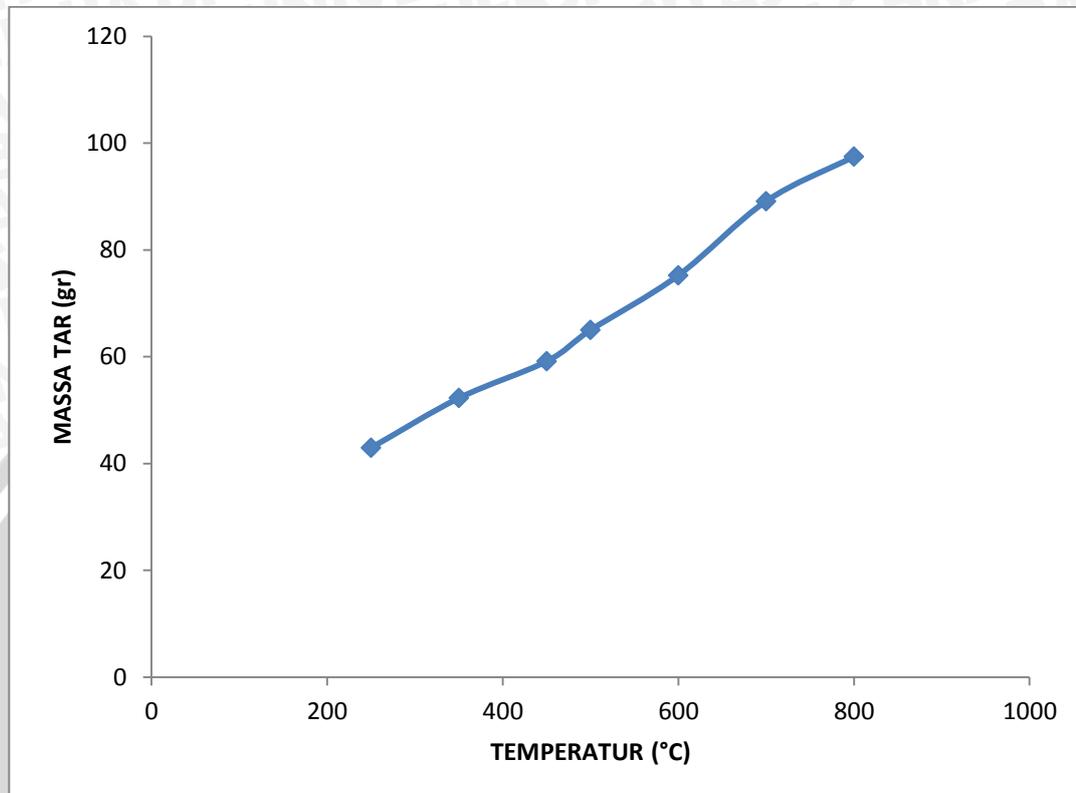
Hubungan antara temperatur pirolisis dan penampang *char* hasil pirolisis makroalga *gracilaria*. Pada gambar 4.4 (a) dapat terlihat bahwa terjadi perubahan penampang *char*. Pada saat sebelum pirolisis permukaan *char* terlihat rapat, hal ini disebabkan kandungan makroalga *gracilaria* masih belum terdekomposisi. Sehingga masih banyak terkandung *volatile matter* dan *fixed carbon* yang terbentuk masih sedikit hal ini menyebabkan nilai kalor sebelum pirolisis lebih kecil dari pada setelah pirolisis.

Pada temperatur 250°C, 350°C dan 450°C terjadi perubahan penampang *char*, yang semula rapat menjadi terkoyak hal ini disebabkan pada makroalga *gracilaria* terjadi dehidrasi air, dekomposisi hemiselulosa, selulosa dan lignin. Dengan adanya proses tersebut zat-zat yang ada didalam kandungan makroalga *gracilaria* seperti *volatile matter* akan keluar dari *char* dan juga hal ini menyebabkan *fixed carbon* yang terbentuk semakin banyak, terlihat dari warna hitam yang ada pada gambar 4.4 (b), (c) dan (d) semakin banyak sehingga nilai kalornya akan semakin naik.

Pada temperatur 500°C, 600°C dan 700°C terlihat penampang *char* yang semula terkoyak menjadi lebih rapat dan kandungan *fixed carbon* semakin berkurang, hal ini disebabkan karena kandungan makroalga *gracilaria* semakin banyak yang terdekomposisi sehingga jarak antar karbon akan semakin jauh selain itu ada zat hasil dekomposisi *char* yang masuk pada ruang celah antar karbon sehingga nilai kalor *char* semakin kecil.

Pada temperatur 800°C, *fixed carbon* yang terbentuk semakin sedikit, ditandai dengan jarak antar karbon semakin renggang dan ukuran karbon yang semakin kecil. Hal ini terlihat dari warna hitam yang tampak pada gambar semakin sedikit, selain itu, penampang dasar *char* terlihat rapat tetapi ada zat hasil dekomposisi yang masuk pada ruang celah antar karbon semakin banyak, hal ini terlihat dari permukaan *char* yang semakin kasar sehingga nilai kalor *char* akan semakin turun.

#### 4.2.4 Hubungan antara Temperatur Pirolisis dan Massa *Tar*



Gambar 4.5 Grafik Hubungan antara Temperatur Pirolisis dan Massa *Tar*

Grafik hubungan antara temperatur pirolisis dan massa *tar*. Adapun variasi temperatur yaitu 25°C (sebelum pirolisis), 250°C, 350°C, 450°C, 500°C, 600°C, 700°C, dan 800°C.

Dari grafik hubungan temperatur pirolisis dan massa *tar* dapat dilihat semakin besar temperatur pirolisis maka *tar* yang dihasilkan juga semakin banyak hal ini dikarenakan *char* hasil pirolisis makroalga *gracilaria* semakin banyak terdekomposisi.

Komponen utama dari makroalga *gracilaria* adalah 32,15% hemiselulosa, 17,04% selulosa, dan 3,05% lignin. Pada proses pirolisis komponen-komponen tersebut akan terdekomposisi. Seperti pada gambar 2.3 hemiselulosa akan terdekomposisi pada temperatur pirolisis 500K-580K atau 227°C-307°C dan selulosa akan terdekomposisi pada temperatur pirolisis 580K-630K atau 307°C-357°C sedangkan lignin akan terdekomposisi pada temperatur pirolisis 630K-1023K atau 357°C-800°C.

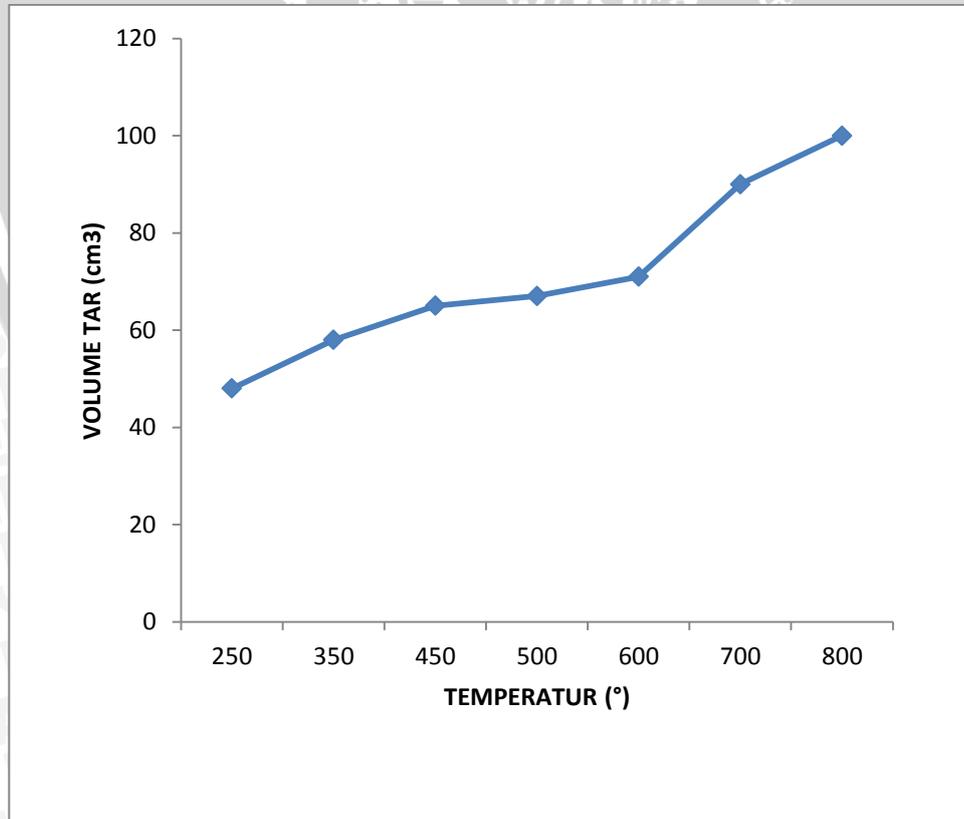
Saat temperatur pirolisis 250°C *char* terjadi evaporasi air dan hanya sebagian dari hemiselulosa yang terdekomposisi hal ini menyebabkan massa *tar* yang dihasilkan

pada temperatur pirolisis 250°C paling sedikit dibandingkan massa *tar* pada temperatur pirolisis 350°, 450°C, 500°C, 600°C, 700°C dan 800°C.

Saat temperatur pirolisis 350°C pada *char* terjadi evaporasi air, hemiselulosa terdekomposisi secara menyeluruh dan sebagian besar dari selulosa terdekomposisi, adanya tambahan dekomposisi selulosa menyebabkan massa *tar* yang dihasilkan pada temperatur pirolisis 350°C lebih banyak dari pada massa *tar* yang dihasilkan pada temperatur pirolisis 250°C.

Pada temperatur pirolisis 450°C sampai 800°C *char* terjadi evaporasi air, seluruh komponen utama makroalga *gracilaria* yaitu hemiselulosa, selulosa dan lignin mulai terdekomposisi, hal ini menyebabkan massa *tar* semakin bertambah dengan semakin bertambahnya variasi temperatur pirolisis. Semakin besar massa *tar* ini disebabkan adanya tambahan dekomposisi lignin atau kadar lignin yang terdekomposisi semakin banyak sehingga massa *tar* semakin besar. Pada temperatur pirolisis 800°C didapatkan massa *tar* yang paling besar hal ini disebabkan lignin sudah terdekomposisi secara menyeluruh.

#### 4.2.5 Hubungan antara Temperatur Pirolisis dan Volume *Tar*

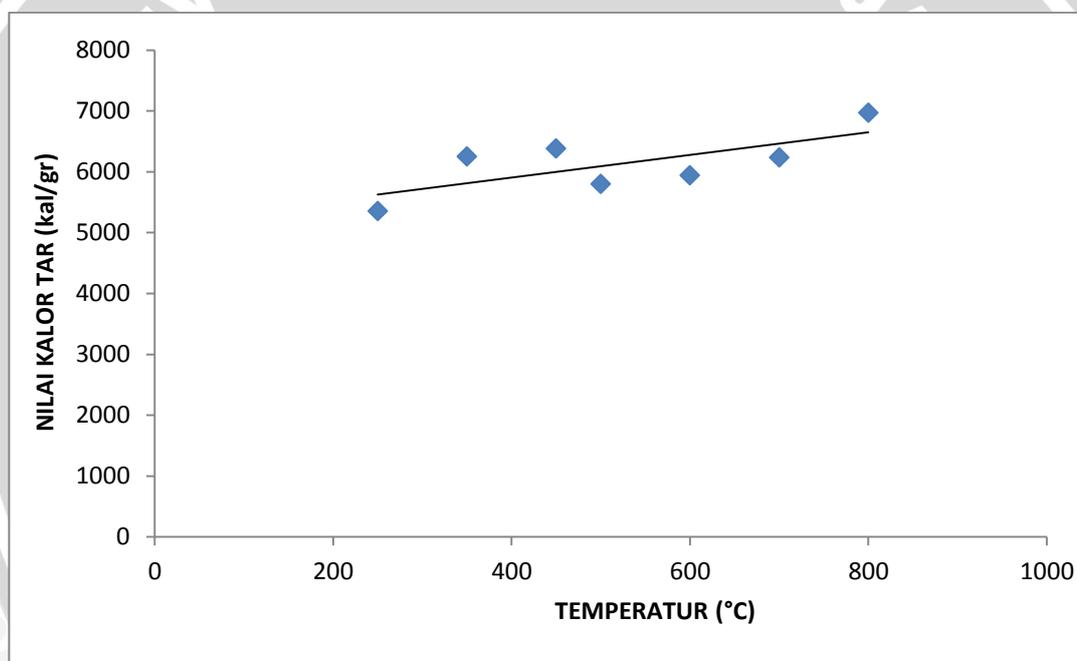


Gambar 4.6 Grafik Hubungan antara Temperatur Pirolisis dan Volume *Tar*

Grafik hubungan antara temperatur pirolisis dan volume tar, adapun variasi temperatur yaitu 250°C, 350°C, 450°C, 500°C, 600°C, 700°C, dan 800°C.

Dari grafik hubungan temperatur pirolisis dan volume tar dapat dilihat terjadi kenaikan massa *tar*. Dengan komponen makroalga *gracilaria* yang sama seperti pada pembahasan gambar 4.4, maka terlihat volume *tar* paling besar adalah pada saat temperatur pirolisis 800°C dan yang paling kecil adalah pada saat temperatur pirolisis 250°C, hal ini karena pada temperatur 800°C komponen *char* berupa semiselulosa, selulosa dan lignin telah terdekomposisi secara menyeluruh sedangkan pada temperatur 250°C *char* hanya mengalami evaporasi air dan dekomposisi sebagian dari hemiselulosa.

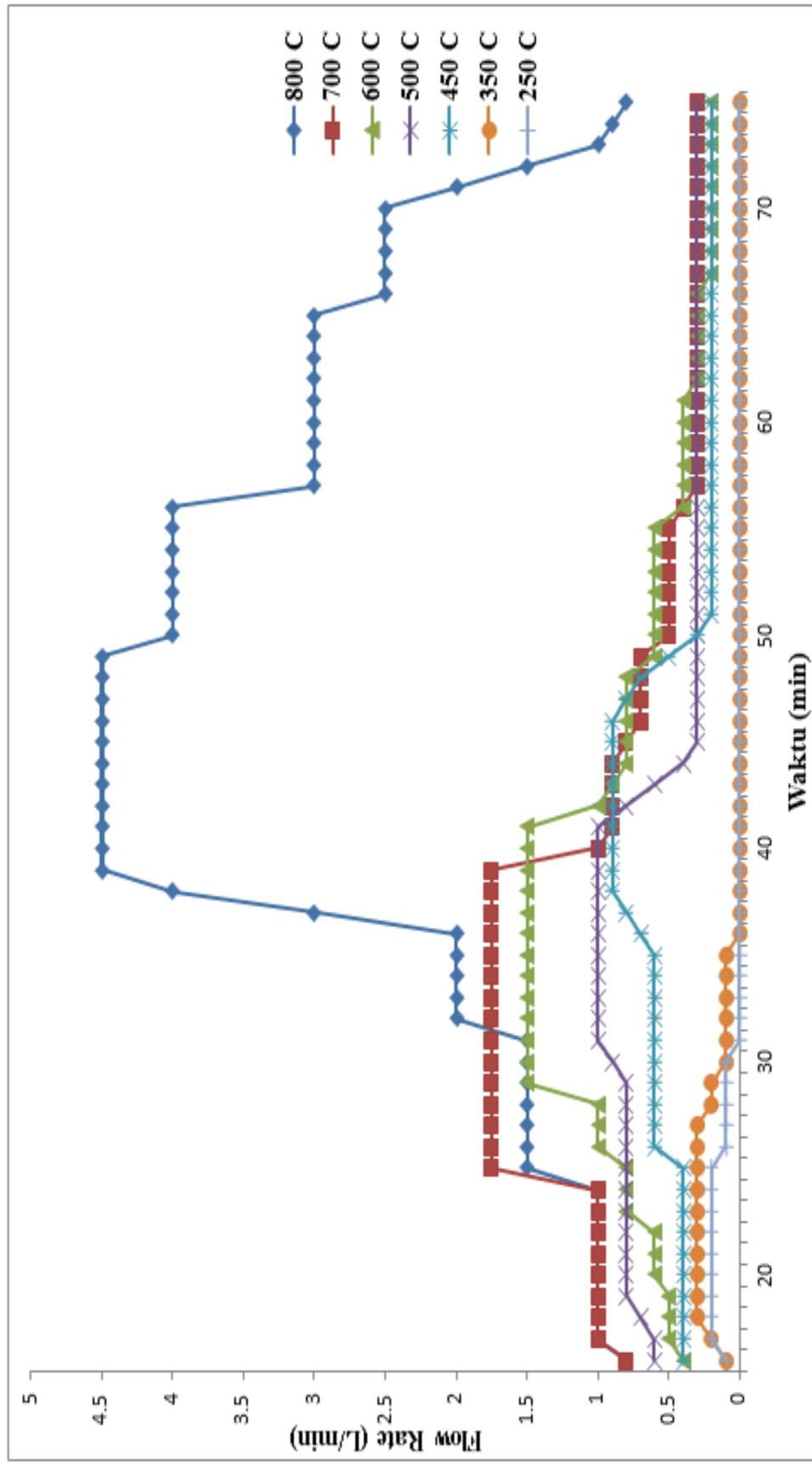
#### 4.2.6 Hubungan antara Temperatur Pirolisis dan Nilai Kalor Tar



Gambar 4.7 Grafik Hubungan antara Temperatur Pirolisis dan Nilai Kalor Tar

Gambar 4 menunjukkan grafik hubungan antara temperatur pirolisis dan nilai kalor tar, dari grafik dapat dilihat semakin tinggi temperatur pirolisis maka kecenderungan nilai kalor akan semakin tinggi hal ini disebabkan semakin tinggi temperatur maka komponen-komponen makroalga berupa hemiselulosa, selulosa dan lignin semakin terdekomposisi secara menyeluruh dan ketika komponen-komponen makroalga semakin terdekomposisi maka tar akan semakin banyak mengikat karbon, hal ini menyebabkan kecenderungan nilai kalor tar semakin tinggi.

4.2.7 Hubungan antara Temperatur Pirolisis dan Gas Flow Rate

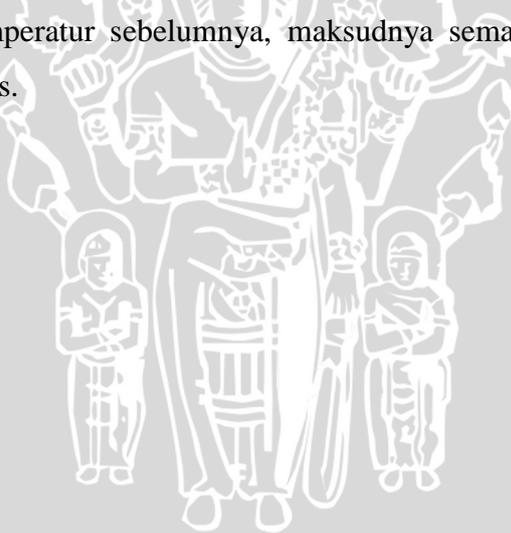


Gambar 4.8 Grafik hubungan antara temperatur pirolisis dan gas flow rate

Grafik hubungan antara temperatur pirolisis dan *gas flow rate*. Pada temperatur pirolisis 250°C sampai 350°C terdapat produk gas dengan *flow rate* yang kecil hal ini disebabkan komponen makroalga *gracilaria* hanya terjadi evaporasi air, dekomposisi hemiselulosa secara menyeluruh dan sebagian besar selulosa sudah terdekomposisi.

Pada temperatur pirolisis 450°C sampai 700°C terjadi kenaikan *gas flow rate* dibandingkan dengan temperatur pirolisis 250°C sampai 350°C, hal ini disebabkan pada temperatur 450°C terjadi evaporasi air, dekomposisi hemiselulosa secara menyeluruh dan dekomposisi sebagian dari lignin. Kadar lignin yang terdekomposisi semakin banyak sehingga *gas flow rate* juga semakin banyak, selain itu pada temperatur 450°C sampai 700°C terjadi *secondary reaction* atau reaksi tambahan yaitu sebagian dari *tar* terdekomposisi menjadi gas sehingga gas yang dihasilkan semakin banyak.

Pada temperatur 800°C terjadi kenaikan *flow rate* yang semakin signifikan dibanding temperatur sebelumnya, hal ini dikarenakan hemiselulosa, selulosa dan lignin sudah terdekomposisi secara menyeluruh dan selain itu terjadi *secondary reaction* yang lebih besar dari pada temperatur sebelumnya, maksudnya semakin banyak *tar* yang terdekomposisi menjadi gas.



## 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. Untuk nilai kalor *char* tertinggi didapat pada temperatur pirolisis 450°C.
2. Semakin meningkatnya temperatur pirolisis maka massa dan volume *tar* yang terbentuk semakin banyak dan kecenderungan nilai kalor *tar* juga akan semakin meningkat.
3. Semakin meningkatnya temperatur pirolisis maka *gas flow rate* yang dihasilkan akan semakin besar.
4. Produk pirolisis makroalga *gracilaria* pada temperatur 500°C yaitu 18,0325% gas, 16,75% *tar* dan 65,2175% *char*.

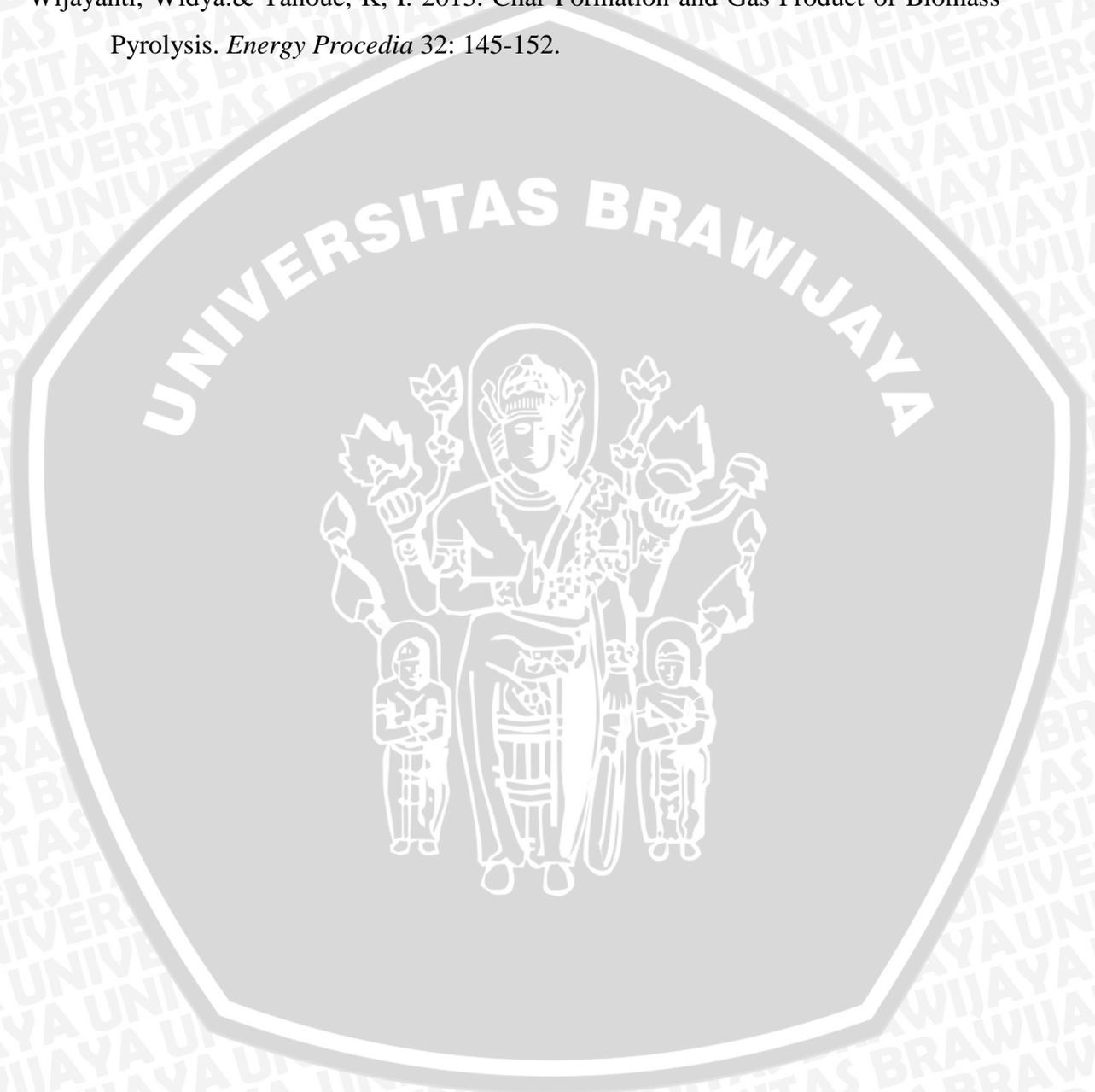
#### 5.2 Saran

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai komposisi gas hasil pirolisis makroalga *gracilaria*, sehingga dapat diketahui massa molekul relatif dan massa jenisnya.
2. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai karakteristik dari *tar* dan *char* hasil pirolisis makroalga *gracilaria* sehingga dapat dimanfaatkan untuk kedepannya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Broido, A. 1976. Kinetics. Kinetic of Solid – Phase Cellulose Pyrolysis. *Thermal User and Properties of Carbohydrates and Lignin*. Pp: 19-35
- Chaiwong, K., Kiatsirioat, T., Vorayos, N.& Thararax, C. 2012. Biochar Production from Freshwater Algae by Slow Pyrolysis. *Jurnal of Science and Technology*. 6(02): 186-195.
- Kim, G, S., Myung, K, S., Kim, Y, J., Oh, K, K., Ryu, H, J.& Kim, K, H. 2007. Methode of Producing using Sea Algae. *Word Interval Property Organization*.
- Kuncoro, Budi, E. 2004. *Akuarium Laut*. Yogyakarta. Konisius.
- Kurniadi, R., Hazan, Z.& Mulyan, Y. 2012. Efektifitas Jamur *Marasium sp* untuk Mendeteksi Limbah Pengolahan Agar (*gracilaria sp*) Sebagai Bahan Baku Bioetanol. *Jurnal Perikanan Kelautan*. 3(4).
- Latifan, Rio. & Susanti, Diah. 2012. Aplikasi Karbon Aktif dari Tempurung Kluwak (*Pangium Edule*) dengan Variasi Temperatur Karbonisasi dan Aktifasi Kimia sebagai Electric Double Capacitor (EDLC). *Jurnal Teknik Material dan Metalurgi*. 1(1): 1-6.
- Miura, M. 2002. *Biomass Handbook*. Japan Institute of Energy. PP: 106-115.
- Orth, A, B., Rosye, D, J.& Tien, M.1993. Ubiquity of Lignin – degrading Peroxidases among Various Wood – Degrading Fungi. *Applied and Environmental Microbiology*. S: 4017-4023.
- Perez, J., Darado, M., Rubia, L, D, T.& Matinez, J. 2002. Bio Degration and Bio Logical Treatments of Cellulose, Hemicellulose and Lignin. *Int Microbiol*. 5:53-63.
- Rahayu, P, W., Ghifari, A, S., Kristianto, A., Aprianti, D, D.& Rahmawati, D, E. 2012. *Produksi Minyak Bio dari Reaksi Fast Pyrolysis Biomassa Sekam Padi (Oryza Sativa L) Menggunakan reaktor Bubling Fluidzed Bed Sebagai Bahan Bakar Alternatif Green Diesel*. Tulisan untuk Negeri. Jakarta. Universitas Indonesia.
- Sjoberg, G. 2003. *Lignin Degradation: Long-Term Effect of Nitrogen Addition on Decomposition of Foresh Oil Organic Matter*. Disertasi. Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences.
- Suparjo. 2008. *Degradasi Komponen Lignoselulosa oleh Kapang Pelapuk Putih*.

- Tanoea, K, I., Hinauchi, T., Oo, T., Nishimura, Tatsua., Taniguchi, M.& Sasauchi, K, I . 2007. Moodeling of Heterogeneous Chemichal Reactions Coused in Pyrolysis of Biomass Particles. *Advanced Power Technol.* 18(6): 825-840.
- Trin, N, T., Jensen, P, A., Sorensen, H, R., Johansen, K, D. & Hvilted, S. 2012. Flash Pryrolysis Properties of Algae and Lignin Residue. *DONG energy.* 1-7
- Wijayanti, Widya.& Tanoue, K, I. 2013. Char Formation and Gas Product of Biomass Pyrolysis. *Energy Procedia* 32: 145-152.



## LAMPIRAN

## 1. Data Hasil Penelitian

No	Temperatur (°C)	massa awal makroalga (gram)	volume awal makroalga (ml)	Nilai kalor awal makroalga (kal/gram)	massa c <sub>har</sub> (gram)	volume c <sub>har</sub> (ml)	nilai kalor c <sub>har</sub> (kal/gram)	massa tar (gram)	Volume tar (ml)	nilai kalor tar (kal/gram)
1	250	400	1460.0551	2526.5826	312.17	1393.689	3304.0791	42.94	48	5351.839
2	350	400	1460.0551	2526.5826	289.18	1327.322	3551.2405	52.24	58	6248.1653
3	450	400	1460.0551	2526.5826	277.09	1260.9559	3651.6651	59.13	65	6377.521
4	500	400	1460.0551	2526.5826	260.87	1194.5898	2915.9808	64.98	67	5800.0738
5	600	400	1460.0551	2526.5826	242.64	1128.2237	2817.4563	75.23	71	5937.9263
6	700	400	1460.0551	2526.5826	227.09	1061.8576	2645.4633	89.12	90	6234.06
7	800	400	1460.0551	2526.5826	206.99	995.4915	2626.1457	97.47	100	6969.2043

## 2. Data komposisi produk hasil pirolisis makroalga *gracilaria*

Temperatur / produk	<i>tar</i>	<i>Char</i>	<i>gas</i>
250 °C	12.00 %	78.0425 %	9.9575 %
350 °C	14.50 %	72.2950 %	13.500 %
450 °C	16.25 %	69.2725 %	14.4775 %
500 °C	16.75 %	65.2175 %	18.0325 %
600 °C	17.75 %	60.6600 %	21.5900 %
700 °C	22.50 %	56.7725 %	20.7275 %
800 °C	25.00 %	51.7475 %	23.2525 %



### 3. Foto Penelitian



Proses Pengambilan data pirolisis



Proses mengamati *gas flow rate*



Proses pengeringan spesimen



Proses pengukuran volume *char*



Proses pengambilan *tar*



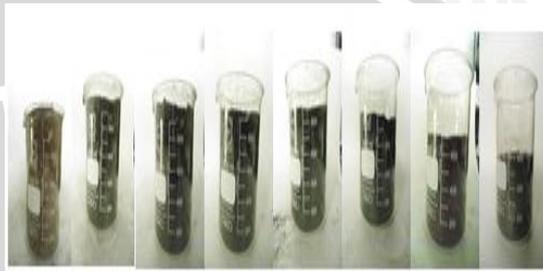
Proses pengukuran massa *char*



Proses Pengukuran massa *tar*



Proses pengukuran volume *tar*



Produk *char*



Produk *tar*

