

***BIOMASS TO LIQUID:***  
**PROSES KONVERSI TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT**  
**MENJADI *BIO-OIL* DENGAN METODE PIROLISIS**

**SKRIPSI**

**AGRIAN PEBY**  
**0606076085**



**UNIVERSITAS INDONESIA**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA**  
**DEPOK**  
**JULI 2010**

**Halaman Judul**  
***BIOMASS TO LIQUID:***  
**PROSES KONVERSI TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT**  
**MENJADI *BIO-OIL* DENGAN METODE PIROLISIS**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh**  
**Gelar Sarjana Teknik Kimia**

**AGRIAN PEBY**

**0606076085**



**UNIVERSITAS INDONESIA**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA**  
**DEPOK**  
**JULI 2010**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

**Nama** : Agrian Peby

**NPM** : 0606076085

**Tanda Tangan** :



**Tanggal** : 05 Juli 2010

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Agrian Peby  
NPM : 0606076085  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul Skripsi : *Biomass to Liquid*: Proses Konversi Tandan Kosong Kelapa Sawit menjadi *Bio Oil* dengan Metode Pirolisis.

**Telah berhasil dipertahankan dihadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.**

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Prof. Dr. Ir. Widodo W. Purwanto, DEA

Penguji I : Ir. Praswasti PDK Wulan, M.T.

Penguji II : Dr. rer. nat. Ir. Yuswan Muharam, M.T.

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 05 Juli 2010

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada ALLAH SWT, Tuhan Semesta Alam, karena berkat rahmat dan hidayahNya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Skripsi dengan judul “***Biomass to Liquid: Proses Konversi Tandan Kosong Kelapa Sawit menjadi Bio Oil dengan Metode Pirolisis***” ini disusun selain untuk memenuhi mata kuliah skripsi sebagai salah satu syarat kelulusan Sarjana Teknik Kimia, serta menemukan suatu *novelty* dalam bidang energi, khususnya dalam konversi energi berkelanjutan. Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Prof. Dr. Ir. Widodo W. Purwanto, DEA selaku pembimbing yang telah banyak membantu dalam memberikan ilmu, arahan serta hal-hal lain baik dalam penelitian maupun pembautan skripsi. Selain itu juga, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT, Zat Yang Maha Kuasa yang memiliki segalanya.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Widodo Wahyu Purwanto, DEA selaku ketua Departemen Teknik Kimia FTUI.
3. Ir. Yuliusman M.Eng selaku kordinator mata kuliah skripsi Teknik Kimia FTUI
4. Ir. Praswasti PDK Wulan selaku PA yang selalu memberikan bimbingan dan nasihat.
5. Alm. Papa, Jon Pebrizal, S.Pd. Skripsi ini saya apresiasikan untuk beliau sebagai motivasi perjuangan hidup saya untuk bisa menjadi seperti papa.
6. Mama (Gusniati) yang selalu memberikan dorongan semangat, cinta, dan doanya untuk kami anak-anaknya.
7. Deri Latrada, Iffah Karima Putri, dan M. Khalil Jauhara. Merekalah bagian dari semangat dan senyum hidup saya untuk menjadi manusia yang lebih baik.
8. Mak Ben (Baen Hasmi), yang dengan senang hati beberapa kali mengirimkan tandan kosong kelapa sawit dari Pekanbaru, Riau.

9. Saudari Neng Dhinda Prinita Sari yang selalu bawel mengingatkan saya tentang skripsi. Dhinda yang selalu menjaga semangat saya setiap hari untuk datang lebih pagi ke kampus.
10. Saudari Tacil (Nita Handayani) yang selalu sibuk dengan kompornya.
11. Saudari Fira (Hanani Fisafarani) yang jadi tukang “pellet”.
12. Saudara Hadi yang ikut lembur walaupun tidak ada *running*. Hari selalu ceria karena mereka.
13. Teman-teman Teknik Kimia angkatan 2006.
14. Mang Ijal yang selalu siap sedia di bengkel tercinta.
15. Kang Jajat yang banyak membantu dalam konstruksi alat
16. Semua pihak-pihak yang tidak disebutkan, yang sangat membantu selama penelitian.

Penulis sadar jika terdapat banyak kekurangan dalam makalah ini. Penulis berharap agar makalah ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca.

Depok, 24 Juni 2010



Agrian Peby

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Agrian Peby  
NPM : 0606076085  
Program Studi : Teknik Kimia  
Departemen : Teknik Kimia  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

demikian demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**“*Biomass to Liquid: Proses Konversi Tandan Kosong Kelapa Sawit menjadi Bio Oil dengan Metode Pirolisis*”**

berserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak bebas Royalti Noneklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 05 Juli 2010

Yang menyatakan,



(Agrian Peby)

## ABSTRAK

Nama : Agrian Peby  
NPM : 0606076085  
Judul Penelitian : ***Biomass to Liquid: Proses Konversi Tandan Kosong Kelapa Sawit Menjadi Bio-oil dengan Metode Pirolisis.***

Semakin menipisnya persediaan sumber energi fosil mengakibatkan dibutuhkan energi alternatif yang *renewable*, dan salah satu sumbernya adalah dari biomassa. Dari bermacam biomassa, kelapa sawit merupakan sumber biomassa yang ketersediaannya sangat banyak di Indonesia. Tujuan dari penelitian ini adalah memproduksi *bio-oil* dari tandan kosong kelapa sawit dengan metode pirolisis. Penelitian ini menggunakan kondisi operasi temperatur 400-600°C dan variasi ukuran umpan biomassa pada rentang 0,1-5 mm sehingga didapatkan kondisi optimumnya.

Penelitian ini dibagi atas tiga tahap besar, yaitu tahap persiapan awal biomassa, tahap proses pirolisis, dan tahap pengujian. Tahap persiapan meliputi pencacahan, perendaman, dan pengeringan. Tahap proses pirolisis meliputi reaksi pirolisis, kondensasi, dan pengumpulan produk pirolisis (cair, padat, dan gas). Tahap pengujian meliputi uji berat jenis, viskositas, dan analisis komponen dengan GC-MS.

Hasil penelitian menunjukkan *bio oil* dihasilkan maksimum pada temperatur 500 °C dan ukuran partikel 0,1-1 mm. Nilai konversi mencapai 45,203% dan komponen utamanya adalah fenol dengan komposisi 17,17% pada temperatur 400 °C; 14,91% pada temperatur 500 °C; dan 17,53% pada temperatur 600 °C. Densitas *bio oil* berada pada rentang 1011-1013 gram/mL dan viskositas 2,2-2,7 cst. Hasil analisis karakteristik menunjukkan *bio oil* belum memenuhi spesifikasi bahan bakar diesel karena masih memiliki kandungan air dan daya bakar yang rendah.

**Kata kunci:** kelapa sawit, *bio-oil*, pirolisis.

## ABSTRACT

Name : Agrian Peby  
Study Programme : Chemical Engineering  
Title : Biomass to Liquid: Conversion Proses of Empty Frutih Bunches Palm Oil to be Bio Oil with Pyrolysis method.

Decreasing of fossil energy sources caused inventories needed renewable energy alternatives, and one of its sources is from biomass. Many variety of biomass, palm oil is a source of biomass is its availability very much in Indonesia. The purpose of this study was to produce bio-oil from oil palm empty fruit bunch with pyrolysis method. This study uses the operating conditions of temperature 400-600°C and bait size variation of biomass in the range of 0,1 to 5 mm to obtain optimum conditions.

This research is divided into three major phases, namely the initial preparation phase of biomass, pyrolysis process, and testing phases. Preparation phase includes the enumeration, soaking, and drying. Phase of pyrolysis process includes pyrolysis reaction, condensation, and the collection of pyrolysis products (liquid, solid, gas). Product testing specimens includes density, viscosity, and component analysis by GC-MS.

The result showed that the maximum liquid product produced at a temperature of 500 °C and 0,1 to 1 mm particle size. The value of conversion reached 45,203% and the primary component is phenol reached 17,17% at 400<sup>0</sup>C, 14,91% at 500<sup>0</sup>C, and 17,53% at 600<sup>0</sup>C. Density of bio oil reached 1011-1013 gram/mL and its viscosity was 2,2 – 2,7 cst. Results of analysis showed the characteristics of liquid products did not meet the specifications for diesel because it still contains water and the combustion value was low.

**Key words:** palm oil, pyrolysis, bio oil.

## DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI .....	vi
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiii
BAB 1 .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Batasan Masalah .....	4
1.5 Sistematika Penulisan .....	4
BAB 2 .....	6
2.1 Biomassa .....	6
2.2 Persebaran dan Sumber Biomassa .....	7
2.3 Komposisi Biomassa .....	8
2.3.1 Selulosa .....	9
2.3.2 Lignin .....	10
2.3.3 Hemiselulosa .....	10
2.4 Biomassa Kelapa Sawit Indonesia dan Potensinya .....	11
2.4.1 Tandan Kelapa Sawit .....	14
2.5 Pirolisis .....	16
2.5.1 Jenis Teknologi Pirolisis .....	18
2.5.2 Parameter yang Mempengaruhi Produk Pirolisis .....	19
2.5.3 Mekanisme Proses Pirolisis .....	19

2.6 <i>Bio-oil</i> .....	24
BAB 3 .....	27
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	27
3.2 Variabel Penelitian .....	28
3.3 Skema Peralatan.....	29
3.4 Alat dan Bahan Penelitian .....	30
3.5 Prosedur Penelitian.....	32
3.6 Teknik Pengumpulan Data dan Analisis Data .....	34
3.7 Cara Penafsiran dan Penyimpulan Hasil Penelitian .....	37
BAB 4 .....	38
4.1 Hasil Analisis Umpan Pirolisis.....	38
4.2 Hasil Analisis Pengaruh Variabel Penelitian terhadap Produk Pirolisis.....	41
4.2.1 Hasil Analisis Pengaruh Temperatur terhadap Produk Pirolisis ...	42
4.2.2 Analisis Pengaruh Ukuran Partikel terhadap Produk Pirolisis. ....	44
4.3 Analisis Produk Cair Pirolisis.....	45
4.3.1 Uji Pembakaran.....	46
4.3.2 Analisis Densitas Produk Cair .....	46
4.3.3 Analisis Viskositas Produk Cair .....	48
4.3.4 Identifikasi Komponen Produk Cair dengan Metode GC-MS. ....	49
4.4 Analisis Produk Gas Pirolisis .....	55
4.5 Perbandingan Karakteristik Produk Cair Pirolisis dengan Minyak Diesel.....	58
BAB 5 .....	60
DAFTAR PUSTAKA .....	61
LAMPIRAN .....	615

## DAFTAR GAMBAR

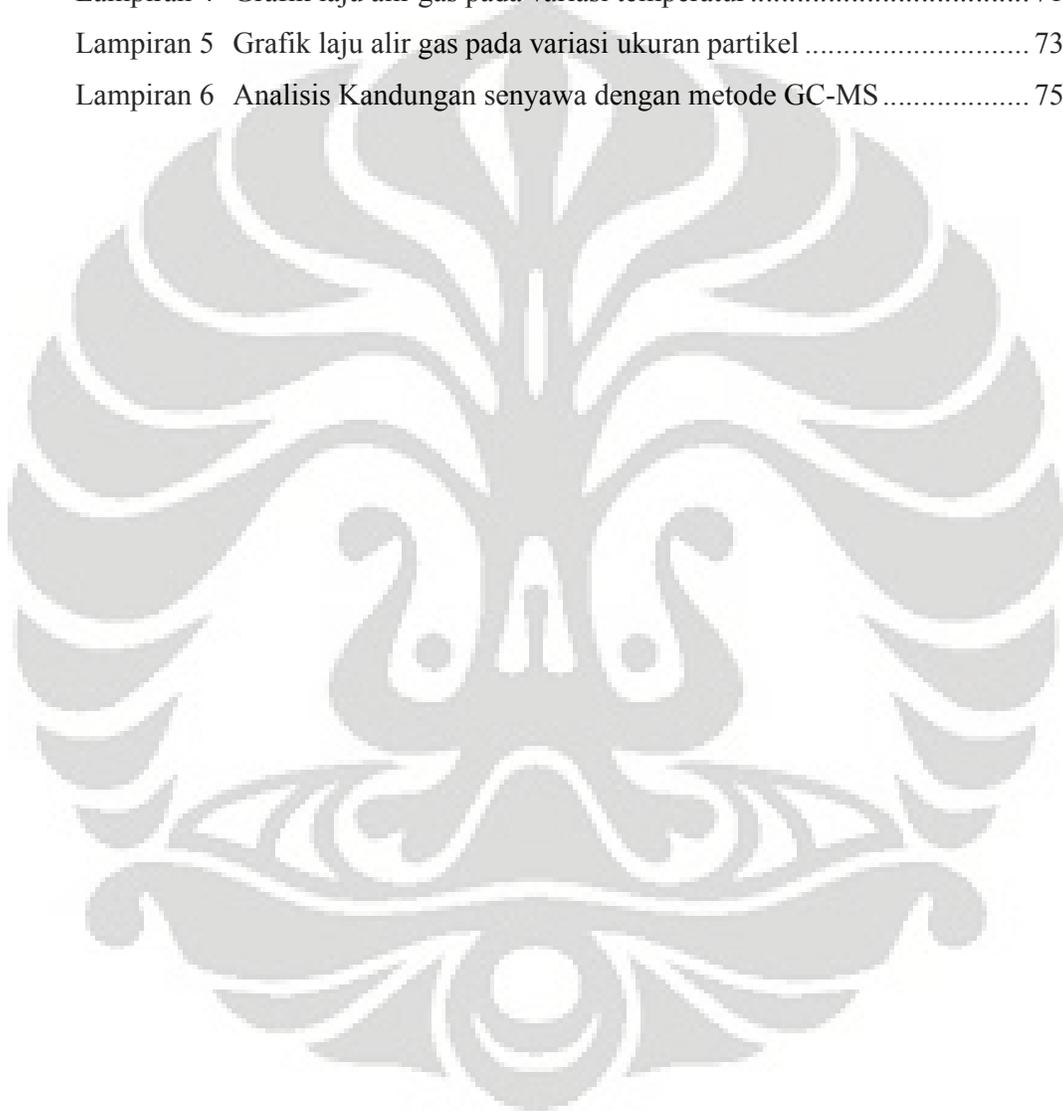
Gambar 2.1	Peta persebaran potensi biomassa di Indonesia.....	7
Gambar 2.2	Struktur bangun selulosa.....	9
Gambar 2.3	Struktur bangun lignin.....	10
Gambar 2.4	Struktur Bangun Hemiselulosa.....	11
Gambar 2.5	Peta persebaran luas lahan dan produksi kelapa sawit.....	12
Gambar 2.6	Pertumbuhan luas area kelapa sawit dan produksi CPO.....	13
Gambar 2.7	Neraca massa pabrik kelapa sawit.....	13
Gambar 2.8	Estimasi jumlah limbah kelapa sawit terhadap produksi CPO. ....	14
Gambar 2.9	Perengkahan struktur umpan pada pyrolysis.....	17
Gambar 2.10	Proses pirolisis untuk menghasilkan bio-oil.....	19
Gambar 2.11	Proses konversi tandan kelapa sawit di industri.....	20
Gambar 2.12	Reaksi degradasi selulosa.....	21
Gambar 2.13	Mekanisme reaksi dehidrasi selulosa.....	22
Gambar 2.14	Mekanisme perengkahan selulosa menjadi selulosa aktif.....	22
Gambar 2.15	Mekanisme reaksi detail perengkahan selulosa.....	23
Gambar 2.16	Reaksi degradasi lignin.....	24
Gambar 2.17	Kegunaan bio oil.....	25
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	27
Gambar 3.2	Skema peralatan pirolisis (a) Skema gambar ; (b) Skema nyata...	29
Gambar 3.3	Alat utama penelitian.....	31
Gambar 3.4	Skema peralatan GC-MS.....	36
Gambar 4.1	Perlakuan awal tandan kosong kelapa sawit.....	38
Gambar 4.2	Grafik pengaruh temperatur terhadap persentase produk pirolisis.....	42
Gambar 4.3	Grafik pengaruh ukuran partikel terhadap % yield.....	44
Gambar 4.4	Produk cair pirolisis.....	45
Gambar 4.5	Densitas Produk cair pada variasi temperatur.....	47
Gambar 4.6	Viskositas produk cair pada variasi temperatur.....	48
Gambar 4.7	Identifikasi senyawa pada produk cair dengan metode GC-MS...	49
Gambar 4.8	Grafik laju alir gas terhadap perubahan waktu.....	57

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Klasifikasi sumber biomassa.....	8
Tabel 2.2	Komposisi dari Tiap Material Kelapa Sawit.....	9
Tabel 2.3	Produsen CPO Dunia.....	12
Tabel 2.4	Karakteristik tandan kosong kelapa sawit .....	15
Tabel 2.5	Perbandingan jenis umpan proses pirolisis.....	16
Tabel 2.6	Jenis pirolisis dan karakteristiknya.....	18
Tabel 2.7	Persentase produk dari jenis pirolisis .....	18
Tabel 2.8	Karakteristik Bio-oil.....	25
Tabel 2.9	Karakteristik Bahan Bakar Diesel.....	26
Tabel 3.1	Karakteristik Kondisi Operasi Pirolisis .....	29
Tabel 3.2	Jenis peralatan yang digunakan dan fungsinya .....	31
Tabel 4.1	Analisis komponen tandan kosong kelapa sawit.....	39
Tabel 4.2	Analisis <i>proximate</i> tandan kosong kelapa sawit .....	40
Tabel 4.3	Analisis <i>ultimate</i> tandan kosong kelapa sawit .....	41
Tabel 4.4	Karakterisasi GC-MS produk cair pirolisis pada temperatur 400 °C..	51
Tabel 4.5	Karakterisasi GC-MS produk cair pirolisis pada temperatur 500 °C..	52
Tabel 4.6	Karakterisasi GC-MS produk cair pirolisis pada temperatur 600 °C..	53
Tabel 4.7	Hasil perengkahan kandungan biopolimer umpan pada temperatur 400°C.....	54
Tabel 4.8	Tabel persentase perengkahan kandungan biopolimer pada produk cair pirolisis.....	55
Tabel 4.9	Jumlah massa gas yang dihasilkan pada variasi temperatur .....	57
Tabel 4.10	Jumlah massa gas yang dihasilkan pada variasi ukuran partikel .....	57
Tabel 4.11	Perbandingan karakteristik minyak diesel dengan produk cair hasil pirolisis.....	58

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Pengolahan data densitas dan viskositas produk cair .....	65
Lampiran 2	Laju pemanasan pada variasi temperatur.....	67
Lampiran 3	Laju pemanasan pada variasi ukuran partikel .....	69
Lampiran 4	Grafik laju alir gas pada variasi temperatur .....	71
Lampiran 5	Grafik laju alir gas pada variasi ukuran partikel .....	73
Lampiran 6	Analisis Kandungan senyawa dengan metode GC-MS .....	75



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sebagian besar sumber energi yang digunakan di dunia saat ini berasal dari sumber daya alam yang tak terbarukan, yaitu bahan bakar fosil berupa minyak dan gas bumi. Minyak bumi umumnya digunakan sebagai bahan bakar pada sektor pembangkit listrik dan sektor transportasi. Pada sektor pembangkit listrik, ketergantungan terhadap minyak bumi dapat dikurangi dengan penggunaan beberapa sumber energi alternatif seperti batu bara, angin, panas bumi, tenaga surya, dan sebagainya. Sebaliknya, ketergantungan minyak bumi di sektor transportasi, yang merupakan 21% konsumsi energi primer di dunia (Asthary, 2008), tidak dapat digantikan dengan sumber-sumber energi alternatif tersebut. Hal ini dikarenakan hingga saat ini, dengan mempertimbangan teknologi *existing* dan berbagai karakteristik berbagai macam bahan bakar, bahan bakar minyak (atau cair) merupakan bahan bakar utama untuk kendaraan.

Ketergantungan dunia terhadap bahan bakar fosil ini perlu segera dicarikan solusinya. Hal ini untuk mengantisipasi terjadinya krisis energi global akibat kelangkaan bahan bakar fosil yang menurut *Association for the Study of Peak Oil and Gas* (ASPO) diperkirakan akan terjadi di akhir abad dua puluh satu ini. Sebagai gambaran, produksi minyak bumi Indonesia kini sekitar satu juta barel per hari, tetapi kebutuhannya mencapai 1,3 juta barel sehingga kekurangan 300.000 barel harus dipenuhi dari impor. (Pramudono, 2007).

Hal ini dapat diantisipasi oleh semua negara dengan menciptakan sumber energi terbarukan. Indonesia, sebagai negara agraris yang beriklim tropis memiliki potensi energi baru terbarukan yang cukup besar diantaranya, mini/mikro hidro sebesar 450 MW, Biomass 50 GW, energi surya 4,80 kWh/m<sup>2</sup>/hari, energi angin 3-6 m/detik, dan energi nuklir 3 GW (Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, 2008).

Salah satu sumber energi terbarukan yang berproyeksi besar di masa depan untuk menggantikan bahan bakar fosil adalah energi biomassa. Biomassa adalah sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan karena gas-gas emisi yang berasal dari penggunaan biomassa akan diserap oleh biomassa lain yang baru tumbuh, apabila manajemen siklus pertumbuhannya dikelola dengan baik. Selain itu, biomassa memiliki kemungkinan untuk dikonversi menjadi bahan bakar kendaraan. Etanol, metanol, dan hidrokarbon sintetik dapat diproduksi dari biomassa dan hasil produksinya sangat mungkin dimanfaatkan untuk sektor transportasi. Akan tetapi, dengan potensi biomassa yang besar, Indonesia belum banyak bisa memanfaatkannya.

Dari sekian banyak sumber biomassa Indonesia, kelapa sawit merupakan sumber biomassa yang sangat potensial untuk dimanfaatkan terutama sekali dari produk sampingnya. Hal ini didukung oleh fakta bahwa Indonesia merupakan negara produsen kelapa sawit terbesar di dunia. Berdasarkan data yang dirilis oleh *US Department of Agriculture* menunjukkan bahwa produksi kelapa sawit Indonesia tahun 2010 diperkirakan mencapai 24,5 juta ton. Angka ini naik 13,9% dari tahun lalu yang hanya 21,5 juta ton. Produksi kelapa sawit Indonesia tahun ini merupakan setengah dari produksi kelapa sawit dunia yang mencapai 49,3 juta ton pada tahun 2010 ini. Namun, dengan besarnya industri perkebunan kelapa sawit tersebut tentunya akan menghasilkan masalah berupa penanganan limbah kelapa sawit (batang, daun, pelepah, sabut, tandan, dan cangkang).

Dari satu hektar perkebunan kelapa sawit menghasilkan limbah sebesar 50-70 ton (Salathong J., 2007). Sementara itu dalam pembuatan satu ton pembuatan CPO (*Crude Palm Oil*) dapat menghasilkan limbah berupa tandan kosong sebesar 1,16 ton; serat 0,53 ton; cangkang 0,3 ton; dan abu 0,02 ton (Hayashi K., 2007). Untuk itulah dibutuhkan penanganan dalam menanggulangi masalah limbah ini.

Salah satu alternatif dalam menanggulangi permasalahan limbah tersebut adalah dengan memproses limbah kelapa sawit tersebut menjadi produk sumber energi biomassa. Berdasarkan jumlah limbah yang dihasilkan, tandan kosong merupakan yang paling dominan dalam jumlah yang sangat besar. Limbah tandan

kosong kelapa sawit tersebut dapat dikonversi untuk menghasilkan produk berfasa cair dalam bentuk *bio-oil* sebagai energi biomassa pengganti bahan bakar diesel.

Teknologi proses yang digunakan untuk menghasilkan *bio oil* ini adalah pirolisis. Pirolisis merupakan proses pembakaran dengan temperatur tinggi (antara 400-600°C) tanpa adanya kehadiran oksigen. Salah satu parameter yang mempengaruhi jumlah konversi dengan pirolisis tersebut adalah karakteristik dari umpan seperti kandungan selulosanya. Dengan pertimbangan demikian, tandan kosong kelapa sawit mempunyai potensi yang besar pula untuk menghasilkan produk dalam jumlah yang tinggi karena tandan kosong kelapa sawit mempunyai komposisi selulosa yang cukup besar. Kandungan tersebut adalah selulosa 59,7%; hemiselulosa 22,1%; dan lignin 18,1% ( Abdullah, Bridgwater, 2007).

Dalam aplikasinya, konversi tandan kosong kelapa sawit ini masih belum mencapai *yield* maksimum yang diharapkan. Berdasarkan penelitian dari Mohamad Azri Sukiran, Chow Mee Chin, dan Nor Kartini Abu Bakar pada Universitas Malaya (Malaysia) dengan menggunakan *fixed bed reaktor* didapatkan *bio-oil* maksimum 42,28% pada temperatur optimum 500°C dengan ukuran partikel biomassa 91-106  $\mu$ m.

Untuk mencapai *bio-oil* yang lebih tinggi, maka akan dilakukan konversi tandan kosong kelapa sawit melalui proses pirolisis dengan mengkondisikan operasi pada rentang temperatur 400-600°C. Selain itu, akan dilakukan perlakuan awal tambahan dengan merendam partikel umpan selama 24 jam dalam 7 liter air distilat sebelum dilakukan pengeringan. Tujuan perendaman ini adalah untuk mengurangi kadar abu pada umpan sehingga nantinya diharapkan *bio-oil* akan mampu mencapai 70-80%.

Produk cair yang diperoleh dari pirolisis tandan kelapa sawit ini kemudian akan dianalisis kandungan fisika, kimia, dan gugus fungsinya apakah produk cair atau *bio-oil* ini mempunyai karakteristik sebagai bahan bakar alternatif seperti bahan bakar diesel/solar.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dalam menghasilkan *bio-oil* dari biomassa tandan kosong kelapa sawit, terdapat dua rumusan masalah utama.

*Pertama*, Bagaimana kondisi operasi optimum (temperatur dan ukuran partikel umpan) untuk menghasilkan *bio-oil* dalam jumlah maksimum.

*Kedua*, apakah *bio-oil* yang diperoleh dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif (biodiesel) dilihat dari karakteristiknya.

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah menghasilkan *bio-oil* dalam jumlah maksimum yang diperoleh dari proses pirolisis tandan kosong kelapa sawit dengan temperatur reaktor 400–600°C. Produk tersebut nantinya akan dikarakterisasi sifat fisika dan kimianya sehingga dapat dibandingkan sebagai bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar fosil.

### 1.4 Batasan Masalah

Masalah yang dibahas dalam penelitian ini dibatasi sebagai berikut.

1. Bahan baku yang digunakan adalah tandan kosong kelapa sawit setelah mengalami proses pencacahan untuk mendapatkan ukuran partikel yang diinginkan, perendaman, dan pengeringan.
2. *Bio-oil* yang diperoleh berasal dari pirolisis dengan menggunakan kondisi variasi temperatur operasi 400-600°C dan variasi ukuran partikel 1–5 mm.
3. Analisis berat jenis, viskositas, pH, komponen dengan analisis GC-MS, dan kandungan air dari produk yang diperoleh untuk dibandingkan dengan karakteristik bahan bakar fosil.

### 1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan seminar ini adalah sebagai berikut.

#### 1. BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini membahas pendahuluan yang terdiri atas latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

## **2. BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini membahas dasar teori yang penelitian, yaitu bahasan tentang biomassa. biomassa kelapa sawit, proses pirolisis (disertai tentang parameter yang mempengaruhi proses dan mekanismenya), dan *bio-oil*.

## **3. BAB 3 METODE PENELITIAN**

Bab ini membahas tentang diagram alir penelitian, variabel penelitian, skema peralatan, alat dan bahan penelitian, prosedur penelitian, dan metode yang digunakan untuk menganalisis produk *bio-oil*.

## **4. BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini berisi tentang hasil dan pembahasan dari penelitian yang berupa uraian dan hasil analisis umpan pirolisis, hasil analisis pengaruh variabel penelitian, hasil analisis produk cair pirolisis, hasil analisis produk gas, dan perbandingan karakteristik produk cair dengan bahan bakar diesel.

## **5. BAB 5 KESIMPULAN**

Bab ini berisi kesimpulan atas penelitian yang telah dilakukan.

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Biomassa**

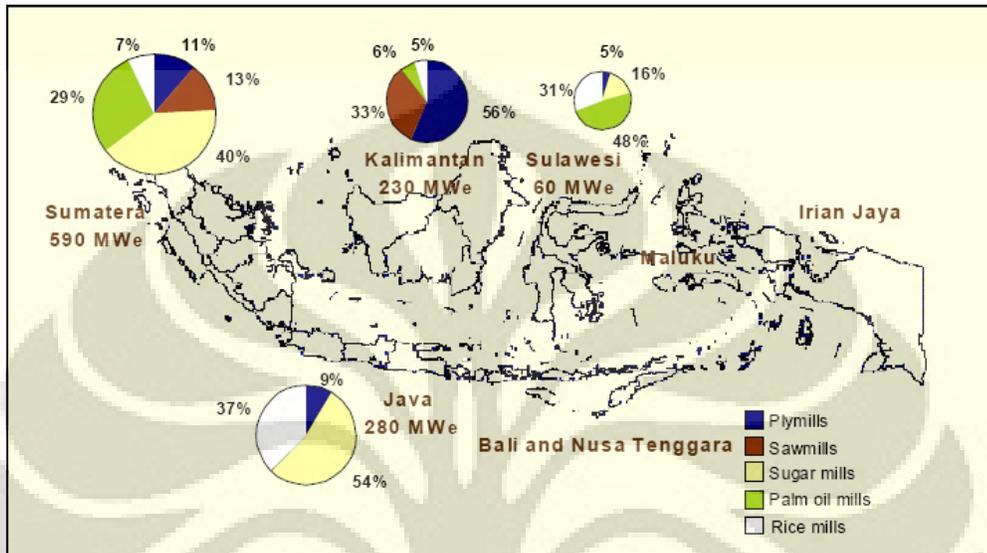
Biomassa adalah nama yang diberikan untuk semua benda hidup seperti tumbuh-tumbuhan dan produk-produk yang dihasilkannya. Untuk tumbuh-tumbuhan, biomassa biasanya didapat dari hasil proses konversi fotosintesis, baik itu yang masih hidup ataupun yang sudah terdekomposisi. Biasanya biomassa ini mengacu pada bahan organik yang kebanyakan diperoleh dari industri budidaya, seperti pertanian, perkebunan, kehutanan, peternakan, dan perikanan. Pada kenyataannya, biomassa yang didapat kebanyakan dari tumbuh-tumbuhan.

Di alam ini, semua biomassa pada akhirnya akan membusuk menjadi molekul dasarnya dengan adanya pelepasan panas. Oleh karena itu, pelepasan energi dari konversi biomassa menjadi energi yang berguna akan menyerupai proses alam, tetapi dengan laju yang lebih cepat. Oleh sebab itu, energi yang didapatkan dari biomassa adalah bentuk energi dari energi yang terbaharukan. Pemanfaatan energi ini adalah mendaur ulang karbon dan tidak menambahkan karbon dioksida ke lingkungan, yang hal ini berbeda dengan bahan bakar fosil. Dari ke semua sumber energi yang terbaharui, biomassa sangatlah unik dalam keefektifannya menyimpan energi matahari. Lebih lanjut lagi, biomassa merupakan satu-satunya sumber karbon yang dapat diperbaharui, dan juga mampu diproses menjadi bahan bakar gas, cair, dan padat yang baik.

Biomassa dapat digunakan secara langsung (misalnya, membakar kayu untuk pemanas/memanaskan dan memasak) atau secara tidak langsung mengkonversikannya menjadi bahan bakar gas/cair. Energi bersih yang didapat dari biomassa ketika dibakar berkisar antara 8 MJ/kg untuk *green wood*, 20 MJ/kg untuk bahan tumbuhan kering, hingga 55 MJ/kg untuk metana; sebagai bahan perbandingan yaitu 23-30 MJ/kg untuk batu bara (Twidell, 1998). Efisiensi dari proses konversi akan menentukan berapa banyak energi aktual yang dapat dimanfaatkan secara praktis.

## 2.2 Persebaran dan Sumber Biomassa

Indonesia memiliki potensi biomassa yang sangat besar yang tersebar di berbagai wilayah. Persebaran tersebut dapat terlihat pada Gambar 2.1 di bawah ini:



Gambar 2.1 Peta persebaran potensi biomassa di Indonesia (Budiono, 2009).

Dari gambar diatas terlihat potensi biomassa di masing-masing pulau, yaitu 590 MWe di Sumatera, 280 MWe di Jawa, 230 MWe di Kalimantan, dan 60 MWe di Sulawesi. Sumatera emrupakan penyedia biomassa terbesar dan 40% dari biomassa tersebut adalah berupa penggilingan tebu. Untuk biomassa kelapa sawit banyak dihasilkan pada daerah Sumatera, Kalimantan, Sulawesi dan sedang dikembangkan di Papua.

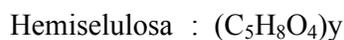
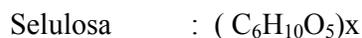
Biomass dapat diperoleh dari berbagai sumber, seperti hutan, hasil pertanian, limbah pabrik industri, dan lain-lain. Klasifikasi sumber biomassa tersebut dapat dibagi menurut sektor *supplier*, seperti terlihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Klasifikasi sumber biomassa (Eubia, 2009)

Sektor supplier	Tipe	Contoh
Hutan	Hutan khusus penghasil bahan baku <i>biomass fuel</i>	Penanaman pohon yang memiliki waktu rotasi cenderung singkat (contoh: <i>willow</i> , <i>poplar</i> , <i>eucalyptus</i> )
	Hasil hutan	Balok kayu dan ranting
Agrikultur	<i>Lignocellulosic</i> kering	Tanaman <i>Herbaceous</i> (contoh: <i>miscanthus</i> , <i>reedcanarygrass</i> )
	Minyak, gula, dan tepung	Minyak untuk <i>methylesters</i> . (contoh: minyak lobak, bunga matahari)
		Gula untuk ethanol (contoh: gula tebu, gula gandum)
		Tepung untuk ethanol (contoh: jagung, terigu)
	Sisa agrikultur	Jerami, ranting-daun, dan pohon buah
	Zat sisa makhluk hidup	Kotoran hewan, basah dan kering
Industri	Sisa industri	Sampah kayu industri, sampah gergaji
		Sampah dari industri kertas
Sampah	<i>Lignocellulosic</i> kering	Sampah dari taman dan kebun (contoh: rumput, daun, ranting)
	Sampah yang telah terkontaminasi	Sampah organik
		Sampah endapan.

### 2.3 Komposisi Biomassa

Biomassa adalah istilah yang digunakan untuk jenis biomassa dalam bentuk padat yang digunakan sebagai bahan bakar, terlebih kayu bakar, arang, kotoran hewan, limbah pertanian, dan limbah padat yang dapat terbiodegradasi. Biomassa merupakan produk reaksi fotosintetik dari karbon dioksida dengan air, yang terdiri atas karbon, oksigen, dan hidrogen, yang terdapat dalam bentuk polimerik makroskopik kompleks. Bentuk-bentuk polimernya adalah:



Setiap biomassa memiliki kandungan biopolimer yang bervariasi. Untuk kelapa sawit memiliki komposisi biopolimer yang berbeda dari tiap bagiannya, yang dapat dilihat pada Tabel 2.2 di bawah ini.

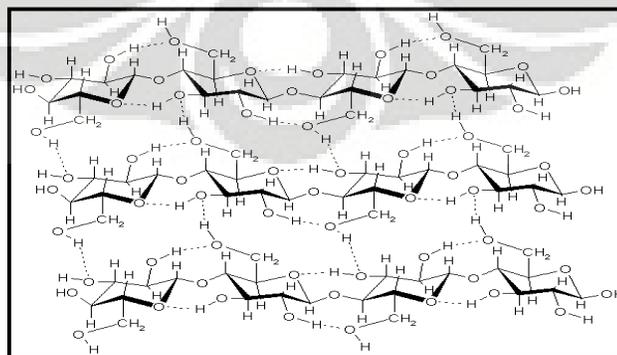
**Tabel 2. 2** Komposisi dari Tiap Material Kelapa Sawit (Danish, 2004)

Bagian Kelapa Sawit	Selulosa	Hemiselulosa	Lignin	Glukosa	Xilosa
Tandan Kosong	59,7	22,1	18,1	0.43	0.26
Batang	59.0	10.0	11.0	0.65	0.12
Daun	42.0	21.0	23.0	0.47	0.24
Serat	21.0	16.0	43.0	0.23	0.18

### 2.3.1 Selulosa

Selulosa merupakan senyawa organik yang paling melimpah di bumi. Selulosa mencakup sekitar 50% karbon tak bebas di bumi. Selulosa berwujud padat dan tidak berwarna dengan densitas rata-rata 1,5 g/ml. Selulosa tersusun atas fragmen-fragmen selubiosa yang terdiri atas dua molekul  $\alpha$ -glukosa.

Selulosa awalnya ditemukan sebagai penyusun dinding sel tumbuhan. Selulosa sendiri merupakan rantai panjang yang tersusun atas senyawa unit ulang glukosa. Sebagai karbohidrat, sifat kimia selulosa memiliki kesamaan dengan sifat kimia alkohol. Oleh karena itu, selulosa dapat membentuk turunan alkohol seperti ester, eter, dll. Selulosa juga memiliki ikatan hidrogen yang kuat sehingga molekul-molekul pelarut mengalami kesulitan untuk melakukan penetrasi terhadap molekul selulosa sehingga selulosa sukar larut dalam pelarut biasa seperti air. Struktur bangun dari selulosa dapat dilihat pada Gambar 2.2 berikut:



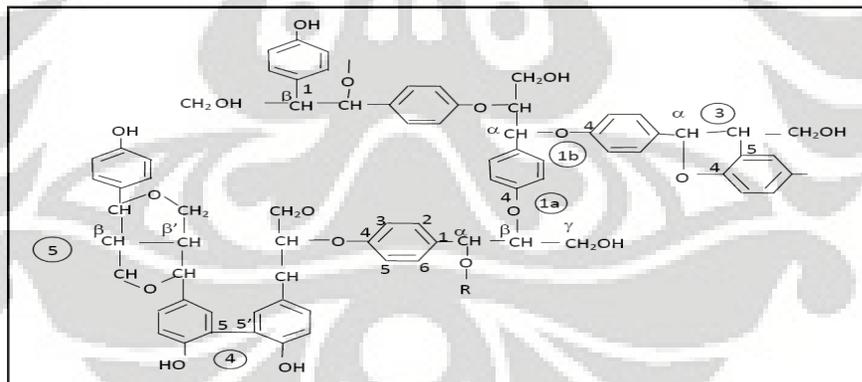
**Gambar 2.2** Struktur bangun selulosa (Garcia-Perez, 2009).

Selulosa menggambarkan tendensi yang kuat untuk membentuk ikatan intra dan intermolekul yang membuat molekul-molekul membentuk mikrofibril. Mikrofibril inilah yang membentuk fibril dan akhirnya terbentuk fiber selulosa. Adanya fiber tersebut membuatnya tidak larut dalam kebanyakan macam pelarut.

### 2.3.2 Lignin

Lignin adalah molekul kompleks yang tersusun dari unit *phenylpropane* yang terikat di dalam struktur tiga dimensi. Lignin merupakan material yang paling kuat di dalam biomassa. Lignin memiliki titik leleh yang cukup rendah yaitu 140°C. Zat ini sangat resisten terhadap degradasi, baik secara biologi, enzimatik, maupun kimia. Lignin memiliki rasio dari C:O dan H:O lebih besar dibandingkan dengan fraksi karbohidrat lainnya di dalam biomassa. Hal ini membuat lignin lebih potensial untuk proses oksidasi.

Berbeda dengan selulosa yang terutama terbentuk dari gugus karbohidrat, lignin terbentuk dari gugus aromatik yang saling dihubungkan dengan rantai alifatik, yang terdiri dari 2-3 karbon. Pada proses pirolisis lignin dihasilkan senyawa kimia aromatis yang berupa fenol, terutama kresol. Struktur bangun lignin dapat dilihat pada Gambar 2.3 berikut:

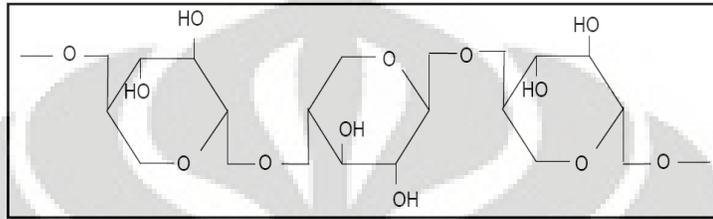


Gambar 2.3 Struktur bangun lignin (Garcia-Perez, 2009).

### 2.3.3 Hemiselulosa

Hemiselulosa mirip dengan selulosa yang merupakan polimer gula. Namun, berbeda dengan selulosa yang hanya tersusun dari glukosa, hemiselulosa tersusun dari bermacam-macam jenis gula. Monomer gula penyusun hemiselulosa terdiri dari monomer gula berkarbon 5 (C<sub>5</sub>) dan 6 (C<sub>6</sub>), misalnya xilosa, mannose,

glukosa, galaktosa, arabinosa, dan sejumlah kecil rhamnosa, asam glukoroat, asam metal glukoronat, dan asam galaturonat. Xilosa adalah salah satu gula C<sub>5</sub> dan merupakan gula terbanyak kedua di di biosfer setelah glukosa. Hemiselulosa lebih mudah dihidrolisis daripada selulosa, tetapi gula C<sub>5</sub> lebih sulit difermentasi menjadi etanol daripada gula C<sub>6</sub>. Struktur bangun dari hemiselulosa dapat dilihat pada Gambar 2.4 berikut:



**Gambar 2.4** Struktur Bangun Hemiselulosa (Manuel Garcia-Perez, 2009).

#### 2.4 Biomassa Kelapa Sawit Indonesia dan Potensinya

Kelapa sawit merupakan salah satu primadona tanaman perkebunan yang menjadi sumber penghasil devisa non-migas bagi Indonesia. Kelapa sawit memiliki nilai ekonomi yang tinggi untuk industri karena banyak dari bagiannya yang dapat dimanfaatkan menjadi produk berharga. Ceraahnya prospek komoditi minyak kelapa sawit dalam perdagangan dunia telah mendorong pemerintah Indonesia untuk memacu pengembangan areal perkebunan kelapa sawit.

Berkembangnya sub-sektor perkebunan kelapa sawit di Indonesia tidak lepas dari adanya kebijakan pemerintah yang memberikan berbagai insentif, terutama kemudahan dalam hal perijinan dan bantuan subsidi investasi untuk pembangunan perkebunan rakyat dan dalam pembukaan wilayah baru untuk areal perkebunan besar swasta. Dari segi konversinya, sebanyak 100 kg bibit minyak biasanya menghasilkan 20 kg minyak, sementara satu hektar kelapa sawit bisa menghasilkan 5.000 kg minyak mentah, atau hampir 6.000 liter minyak mentah yang bisa digunakan dalam produksi biodiesel.

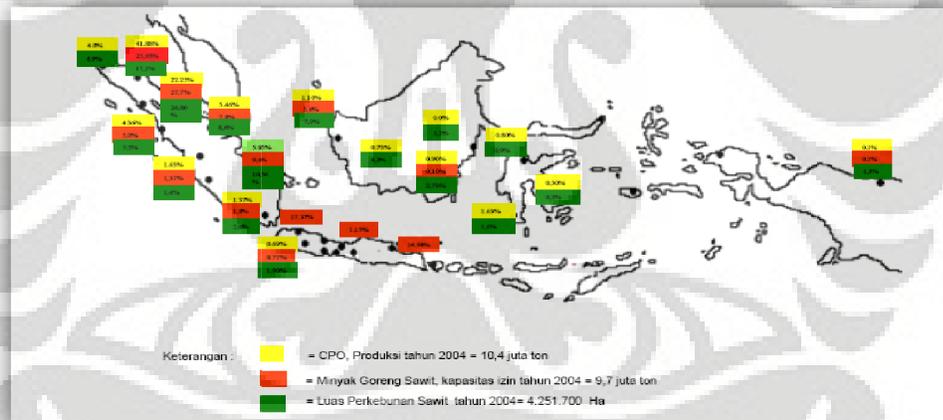
Hasil utama dari perkebunan kelapa sawit adalah minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil-CPO*) dan inti kelapa sawit (*PK-palm kernel*). Bahkan sejak tahun 2006 Indonesia telah menjadi produsen minyak sawit terbesar di dunia. Bersama dengan Malaysia, Indonesia menguasai hampir 90% produksi minyak sawit dunia. Daftar produsen CPO dunia dapat dilihat pada Tabel 2.3 berikut ini:

**Tabel 2.3** Produsen CPO Dunia (MPOB Malaysia, 2007)

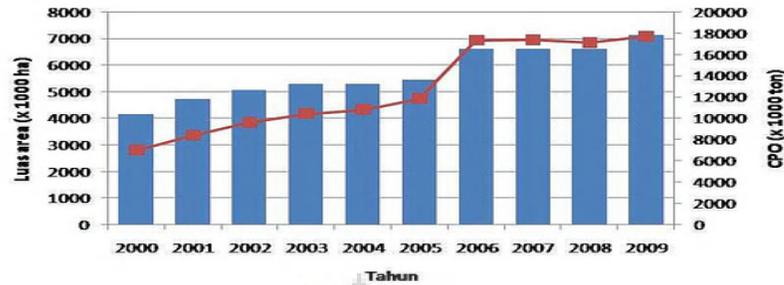
WORLD MAJOR PRODUCERS OF PALM OIL : 1998 - 2007 ('000 TONNES)										
Country	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Indonesia	5,100	6,250	7,050	8,080	9,370	10,600	12,380	14,100	16,050	16,800
Malaysia	8,320	10,554	10,842	11,804	11,909	13,355	13,976	14,962	15,881	15,824
Thailand	475	560	525	625	600	690	735	700	860	1,020
Nigeria	690	720	740	770	775	785	790	800	815	835
Colombia	424	500	524	548	528	527	632	661	713	780
Papua New Guinea	210	264	336	329	316	326	345	310	365	395
Ecuador	200	263	218	228	238	262	279	319	352	385
Cote d'Ivoire	269	264	278	205	265	240	270	320	330	320
Costa Rica	105	122	137	150	128	155	180	210	198	215
Honduras	92	90	101	130	126	158	170	180	195	205
Brazil	89	92	108	110	118	129	142	160	170	190
Guatemala	47	53	65	70	86	85	87	92	125	137
Venezuela	44	60	70	52	55	41	61	63	65	76
Others	855	833	873	883	895	906	940	969	1,023	1,064
TOTAL	16,920	20,625	21,867	23,984	25,409	28,259	30,987	33,846	37,142	38,246

Source : Oil World Annual (1999 - 2007) & Oil World Weekly (14 December, 2007)  
Source : MPOB - For data on Malaysia

Tingginya produksi minyak sawit tersebut ditunjang karena perkebunan yang semakin luas. Sekarang perkebunan kelapa sawit di Indonesia sudah tersebar di banyak daerah dengan kapasitas yang berbeda. Berikut adalah Gambar peta persebaran perkebunan kelapa sawit di Indonesia.

**Gambar 2.5** Peta persebaran luas lahan dan produksi kelapa sawit di Indonesia.

Semakin meningkatnya areal perkebunan, maka produksi CPO pun akan turut meningkat. Jumlah peningkatan luas area dan produksi CPO dalam beberapa tahun terakhir dapat dilihat pada Gambar 2.6 dibawah ini.

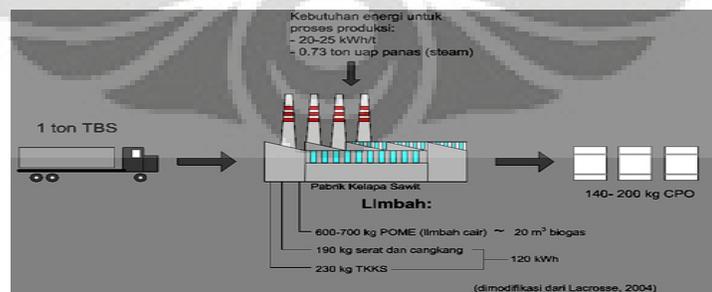


Gambar 2. 6 Pertumbuhan luas area kelapa sawit dan produksi CPO Indonesia.

Dengan tingginya pertumbuhan luas area, Indonesia memiliki produksi kelapa sawit terbesar di dunia saat ini. Produksi kelapa sawit Indonesia tahun 2010 diperkirakan mencapai 24,5 juta ton. Angka ini naik 13,9% dari tahun lalu yang hanya 21,5 juta ton. Produksi kelapa sawit Indonesia tahun ini merupakan setengah dari produksi kelapa sawit dunia yang mencapai 49,3 juta ton pada tahun 2010 ini (*US Department of Agriculture, 2010*). Luas area dan produksi tersebut diperkirakan akan terus meningkat mengingat saat ini gencar dilakukan pembukaan lahan-lahan sawit baru, terutama di pulau Kalimantan dan Papua. Semakin meningkatnya areal perkebunan, maka produksi CPO akan turut meningkat dan limbahnya pun akan meningkat.

Pohon kelapa sawit menghasilkan buah sawit yang terkumpul di dalam satu tandan dengan istilah TBS (Tandan Buah Segar). Sawit yang sudah berproduksi optimal dapat menghasilkan TBS dengan berat antara 15-30 kg/tandan. Tandan-tandan inilah yang kemudian diangkut ke pabrik untuk diolah lebih lanjut menghasilkan minyak sawit.

Neraca pengolahan sawit di pabrik kelapa sawit dapat dilihat pada Gambar 2.7 berikut ini.

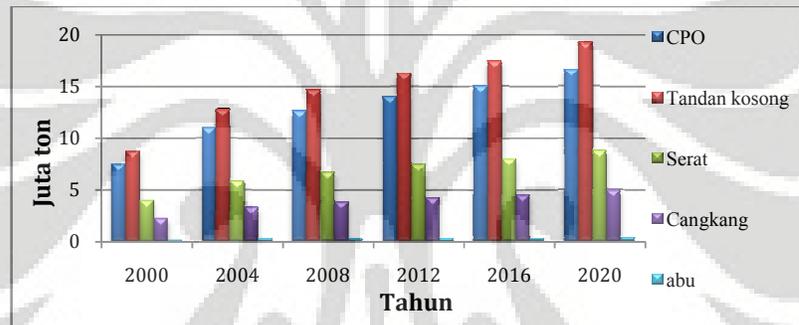


Gambar 2. 7 Neraca massa pabrik kelapa sawit.

Berdasarkan gambar diatas, dapat kita lihat bahwa dari setiap ton TBS yang diolah dapat menghasilkan 140-200 kg CPO. Selain menghasilkan CPO, pengolahan ini juga menghasilkan limbah/produk samping, antara lain:

- Limbah cair (*POME=Palm Oil Mill Effluent*) 600 – 700 kg
- Cangkang dan serat sawit 190 kg
- Tandan kosong kelapa sawit 230 kg

Selain itu juga, dalam pembuatan satu ton pembuatan CPO (*Crude Palm Oil*) dapat menghasilkan limbah berupa tandan kosong sebesar 1,16 ton; serat 0,53 ton; cangkang 0,3 ton; abu 0,02 ton (Hayashi K., 2007). Perkembangan dan estimasi jumlah limbah kelapa sawit terhadap produksi CPO Indonesia dapat dilihat pada Gambar 2.8 berikut:



Gambar 2. 8 Estimasi jumlah limbah kelapa sawit terhadap produksi CPO.

Jumlah inilah yang mempunyai potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku biomassa penghasil energi terbaru pengganti bahan bakar fosil dan untuk mengurangi keberadaannya sebagai limbah yang dapat mengganggu ekosistem dan lingkungan.

#### 2.4.1 Tandan Kelapa Sawit

Tandan kosong kelapa sawit adalah salah satu produk sampingan (*by-product*) berupa padatan dari industri pengolahan kelapa sawit. Ketersediaan tandan kosong kelapa sawit cukup signifikan bila ditinjau berdasarkan rata-rata produksi tandan kosong kelapa sawit terhadap total jumlah tandan buah segar (TBS) yang diproses. Rata-rata produksi tandan kosong kelapa sawit adalah

berkisar 22% hingga 24% dari total berat tandan buah segar yang diproses di Pabrik Kelapa Sawit (Deraman-Ismail-Said, 1995) .

Secara fisik tandan kosong kelapa sawit terdiri dari berbagai macam serat dengan komposisi antara lain selulosa sekitar 59,7%, hemiselulosa sekitar 22,1%, dan lignin sekitar 18,1%. Apabila dilihat dari strukturnya, tandan kosong kelapa sawit adalah kumpulan jutaan serat organik yang memiliki kemampuan dalam menahan air yang ada di sekitarnya. Secara fisik, struktur tersebut akan mengalami proses dekomposisi dan degradasi bahan organik sehingga akan mengalami perubahan struktur menjadi serat yang kuat dan fleksibel. Setiap serat mempunyai rata-rata dimensi 1 mm panjang, 25  $\mu\text{m}$  lebar, dan 3  $\mu\text{m}$  tebal. Tabel 2.4 berikut merupakan karakteristik dari tandan kosong kelapa sawit:

**Tabel 2.4** Karakteristik tandan kosong kelapa sawit  
(Abdullah, Gerhauser, Bridgwater, 2007)

Karakteristik	Nilai
<b>Komposisi (%)</b>	
Selulosa	45.9
Hemiselulosa	18.3
Lignin	18.3
<b>Analisis Proximate (wt%)</b>	
Volatilitas	81.9
Karbon murni	12.6
Kandungan abu	3.1
Kandungan air	2.4
<b>Analisis Ultimate (wt%)</b>	
Karbon	53.78
Hidrogen	4.37
Nitrogen	0.35
Oksigen	41.5
H/C	0.98
O/C	0.58
Rumus empiris	$\text{CH}_{0.98}\text{O}_{0.58}\text{N}_{0.01}$
Nilai kalor (MJ/kg)	17.08

Pengambilan tandan kosong kelapa sawit ini sebagai umpan biomassa juga berdasarkan perbandingan yang dilakukan terhadap biomassa yang lain yang sebelumnya telah dilakukan penelitian pirolisis. Perbandingan tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.5 dibawah ini:

**Tabel 2. 5** Perbandingan jenis umpan proses pirolisis

Karakteristik	Pohon aspen	Tongkol Jagung	Jerami	Tandan Kosong Kelapa Sawit
Selulosa (% berat)	42,3	31	32,4	45,9
Hemiselulosa (% berat)	31	43	41,8	18,3
Lignin (% berat)	16,2	13	16,7	18,3
Kadungan air (% berat)	5	6,5	9	20
Kandungan abu (%berat)	0,39	11	4,6	3,1
Produk: (% berat)				
Abu	11	42,2	22	?
Gas	14	13,7	19	?
<i>Bio-oil</i>	74,1	43,1	54	?

Berdasarkan tabel diatas, dapat dilihat bahwa produk *bio-oil* dari pohon aspen adalah yang paling banyak dibandingkan dengan umpan tongkol jagung dan jerami. Jumlah produk *bio-oil* yang dihasilkan tersebut tentunya dipengaruhi oleh karakteristik dari masing-masing umpan. Karakteristik yang berpengaruh dominan adalah kandungan selulosa dan kandungan abu. Semakin tinggi kandungan selulosa maka akan semakin banyak *bio-oil* yang dihasilkan. Semakin tinggi kandungan abu maka semakin banyak jumlah arang yang terbentuk sebagai produk samping pirolisis.

Karakteristik dari tandan kosong kelapa sawit memiliki kandungan selulosa 45,9% dan kandungan abu 3,1%. Selulosa tandan kosong kelapa sawit tersebut memiliki nilai potensial yang tinggi. Sementara itu, untuk mengurangi kandungan abu maka dilakukan perendaman hingga diperoleh kandungan abu kurang dari 1%. Dengan kondisi yang demikian diharapkan akan dihasilkan *bio-oil* maksimal seperti halnya jika menggunakan umpan pohon aspen.

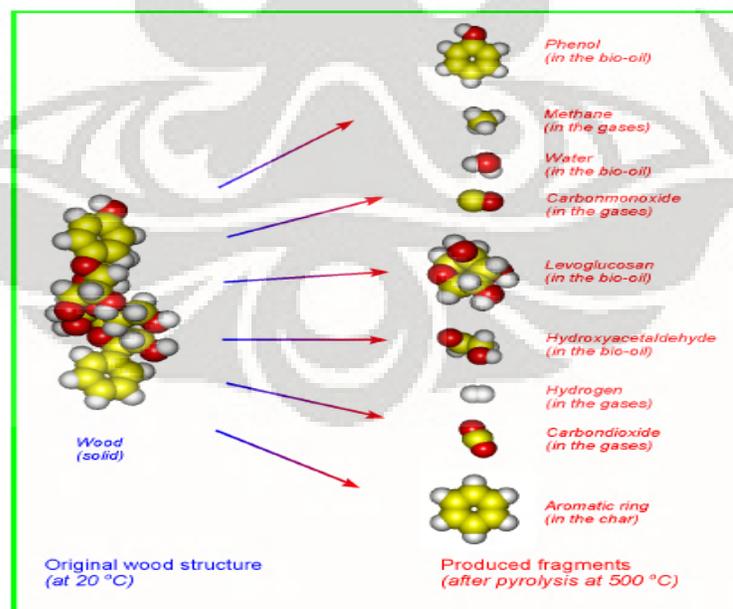
## 2.5 Pirolisis

Berdasarkan *Encyclopedia of Energy Technology and the Environment*, pirolisis didefinisikan sebagai proses dekomposisi panas untuk memproduksi gas,

cairan organik (*tar*), dan padatan sisa (*char*) pada temperatur tinggi. Pirolisis biasanya dipahami sebagai dekomposisi panas yang terjadi pada kondisi bebas oksigen, tetapi pirolisis yang oksidatif hampir selalu menjadi bagian yang berkaitan dari proses pembakaran dan gasifikasi. Bahan-bahan yang cocok sebagai umpan proses pirolisis antara lain batubara, biomassa, plastik, karet, dan fraksi selulosa (50%) dari sampah perkotaan (Serio, 1995).

Produk yang dihasilkan dari pirolisis adalah minyak, arang dan gas sintetis. Masing masing produk pirolisis merupakan bahan bakar yang dapat di konversi menjadi listrik melalui cara yang berbeda. Minyak dapat dipergunakan sebagai bahan bakar untuk menghasilkan energi listrik melalui mesin pembakaran pada motor diesel. Hasil gerakan dapat di hubungkan pada generator untuk menghasilkan listrik. *Char* merupakan sisa pirolisis yang dapat dipergunakan sebagai bahan bakar padat melalui proses pembakaran langsung. Sementara itu penggunaan *syngas* dapat menghasilkan energi listrik pada turbin gas.

Prinsip dasar dari proses pirolisis ini adalah degradasi ikatan kimia pada umpan yang terjadi akibat pemanasan yang cepat tanpa kehadiran oksigen. Struktur asli dari umpan akan mengalami perengkahan sehingga terbentuk beberapa fragmen yang terdapat pada fasa cair, gas, atau *char*. Perengkahan struktur tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.9 dibawah ini:



**Gambar 2. 9** Perengkahan struktur umpan pada pyrolysis (Prins, 2009).

Dari hasil perengkahan struktur umpan tersebut, maka akan dihasilkan senyawa-senyawa tertentu pada *bio-oil* (seperti fenol, air, levoglucosan, hidroksiasetaldehida), gas (metana, hidrogen, karbonmonoksida, karbondioksida, etana, dan etana), dan *char* (seperti cincin aromatik dan lain-lain).

### 2.5.1 Jenis Teknologi Pirolisis

Pirolisis dapat dibagi dalam beberapa jenis metode berdasarkan produk utama yang dihasilkan, yang dapat dilihat pada Tabel 2.6 berikut.

**Tabel 2.6** Jenis pirolisis dan karakteristiknya (Bridgwater, 2009)

Jenis Pirolisis	Waktu Tinggal	Laju Pemanasan	Temperatur (°C)	Produk
Karbonisasi	Harian	Sangat lambat	400	Arang
Konvensional	5-30 menit	Lambat	600	Minyak, gas, arang
Pirolisis cepat	0.5-5 detik	Sangat cepat	450-600	<i>bio-oil</i>
Cairan-flash	< 1 detik	Cepat	< 650	<i>Bio-oil</i>
Gas-flash	< 1 detik	Cepat	< 650	Zat kimia, gas
Ultra pirolisis	< 0.5 detik	Sangat cepat	1000	Zat kimia, gas
<i>Vacuum pyrolysis</i>	2-30 detik	Medium	400	<i>Bio-oil</i>
<i>Hydro pyrolysis</i>	< 10 detik	Cepat	< 500	<i>Bio-oil</i>
<i>Methano pyrolysis</i>	< 10 detik	Cepat	> 700	Zat kimia

Pirolisis dapat juga dibedakan berdasarkan persentase produk yang dihasilkan, yang ditunjukkan pada Tabel 2.7 berikut:

**Tabel 2.7** Persentase produk dari jenis pirolisis (Kzernick, 2002)

Jenis Pirolisis	Produk		
	Liquid (%)	Char (%)	Gas (%)
Pirolisis	75	12	13
Karbonisasi	30	35	35
Gasifikasi	30	35	35

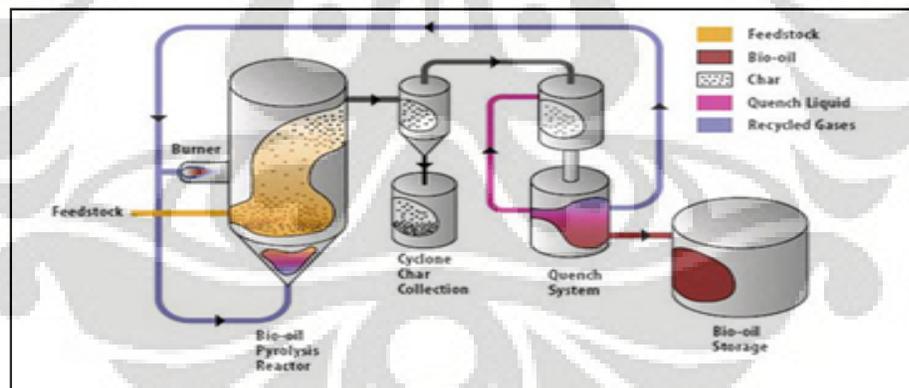
Seperti yang sudah dijelaskan diatas dan juga berdasarkan tabel diatas, pirolisis merupakan salah satu teknologi yang ideal dipakai untuk mendapatkan *bio-oil* dengan konversi mencapai 75% (Kzernick, 2002).

### 2.5.2 Parameter yang Mempengaruhi Produk Pirolisis

Parameter-parameter yang mempengaruhi produk pirolisis adalah temperatur, laju alir gas inert, *heating rate*, dan ukuran partikel umpan masuk (Bridgwater, 1999). Parameter tersebut akan mempengaruhi proses perengkahan yang terjadi pada struktur biomassa. Selain itu komposisi kandungan kimia penyusun biomassa (seperti kandungan lignin, selulosa, kandungan air, dan kandungan abu) juga akan menghasilkan produk yang bervariasi. Misalnya, jika biomassa mengandung banyak lignin, maka produk yang dihasilkan mengandung banyak unsur fenol. Apabila mengandung banyak selulosa maka akan semakin tinggi kemungkinan dihasilkannya levoglucosan. Kandungan air umpan biomassa akan mempengaruhi nilai kalor dari *bio-oil* dimana semakin tinggi kandungan airnya maka akan semakin rendah nilai kalor yang dihasilkan. Sementara itu apabila semakin tinggi kandungan abunya maka akan produksi arang akan tinggi pula.

### 2.5.3 Mekanisme Proses Pirolisis

Skema umum proses pirolisis untuk menghasilkan *bio-oil* dapat dilihat seperti pada Gambar 2.10 berikut:

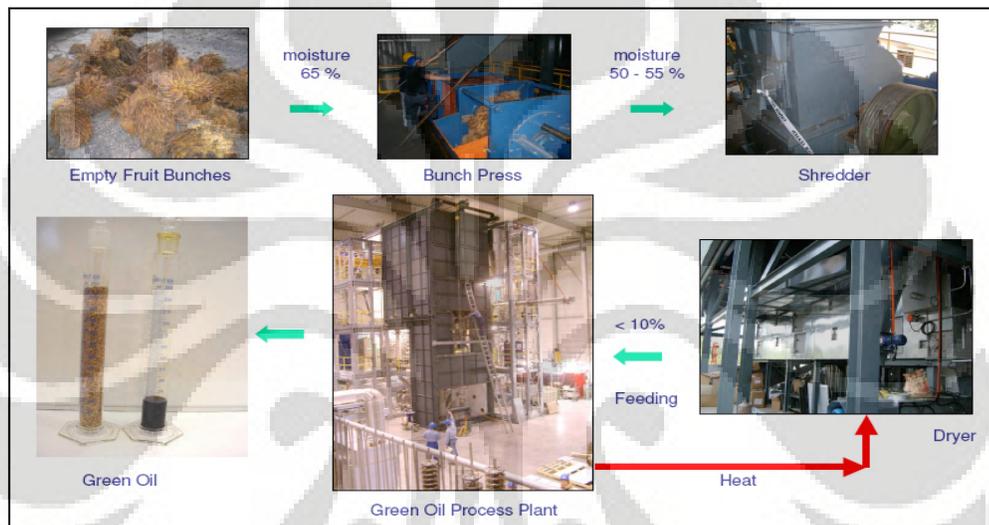


Gambar 2.10 Proses pirolisis untuk menghasilkan bio-oil.

Berdasarkan gambar diatas, proses pirolisis biomassa secara ringkas dimulai dengan memotongnya sesuai dengan ukuran yang diinginkan kemudian direndam dan dikeringkan. Biomassa tersebut dimasukkan ke dalam reaktor/*furnace*/tungku. Untuk menyediakan panas pada proses ini dilakukan dengan memasukkan udara atau bahan pembawa panas (*heat carrier*) seperti

pasir, atau dengan menggunakan *furnace*. Penggunaan sistem *cyclone* dan kondenser digunakan untuk mendapatkan hasil yang diinginkan. *Cyclone* digunakan untuk proses pengumpulan produk berupa arang dan kondenser digunakan pada proses kondensasi uap untuk menghasilkan produk *liquid*. Pendinginan yang cepat juga akan mempengaruhi kuantitas produk *liquid* yang diperoleh.

Dalam aplikasi industri, mekanisme proses konversi tandan kelapa sawit menjadi *bio-oil* dapat dilihat pada Gambar 2.11 dibawah ini:



**Gambar 2.11** Proses konversi tandan kelapa sawit di industri (Prins, 2009).

Untuk kondisi operasi proses pirolisis, pada temperatur dibawah  $300^{\circ}\text{C}$ , maka reaksi yang dominan adalah dehidrasi. Disini akan banyak dihasilkan gas  $\text{CO}_2$ , air, dan  $\text{CO}$ . Produk utama yang dihasilkan adalah arang. Pada temperatur diatas  $400^{\circ}\text{C}$ , terjadi depolimerisasi yang menghasilkan levoglucosan. Pemanasan yang tinggi mengakibatkan reaksi dehidrasi sangat kecil terjadi sehingga hasil utamanya adalah berupa *liquid*.

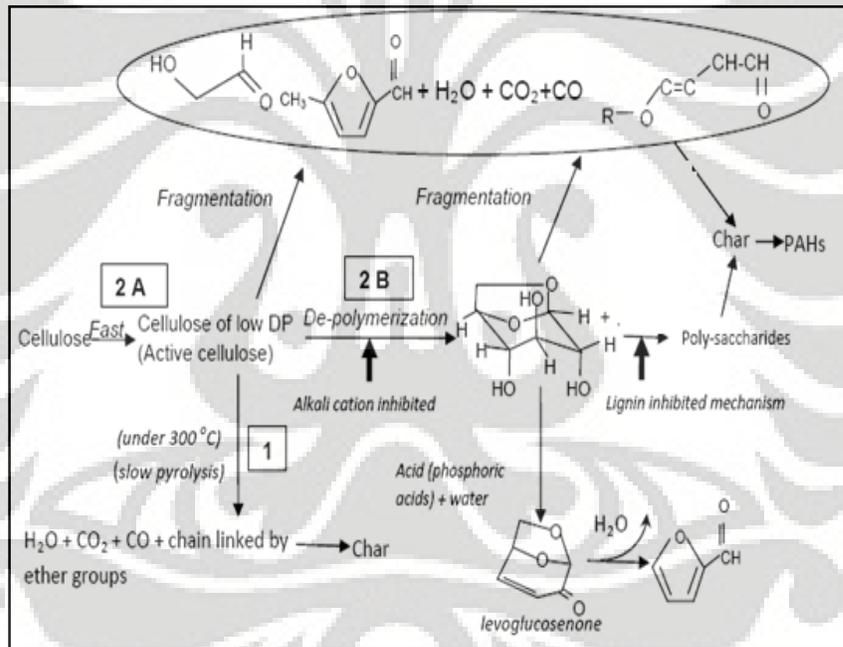
Mekanisme reaksi pada proses pirolisis ini berbeda pada setiap komponennya untuk menghasilkan produk yang beragam. Secara umum, komponen tersebut akan mengalami proses dehidrasi, depolimerisasi, dan dekarboksilasi sebagai bentuk proses degradasi molekul umpan. Dehidrasi selulosa bersifat eksotermik sedangkan depolimerisasi dan perengkahan uap sekunder adalah reaksi endotermik. Oleh karena itu, temperatur rendah dengan

waktu tinggal yang lebih lama (200°C, waktu tinggal lebih dari 5 detik) akan mempercepat pembentukan char. Temperatur tinggi dengan waktu tinggal yang lebih lama (800°C, waktu tinggal lebih dari 5 detik) akan meningkatkan konversi biomassa menjadi gas dan temperatur sedang dengan waktu tinggal yang lebih singkat (500°C, waktu tinggal sekitar 2 detik) merupakan kondisi optimum untuk menghasilkan produk cair.

Berikut akan dijelaskan mekanisme reaksi perengkahan untuk selulosa, hemiselulosa, dan lignin.

#### a. Mekanisme Reaksi Pirolisis Selulosa.

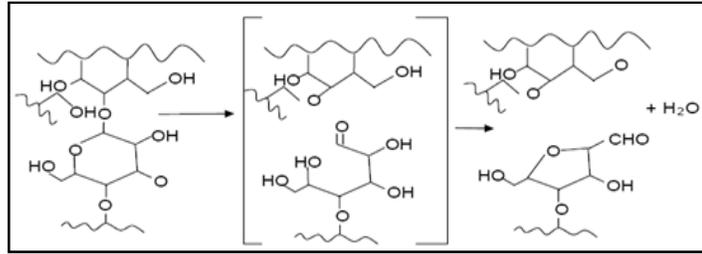
Mekanisme reaksi pirolisis yang terjadi untuk molekul selulosa dapat ditunjukkan pada Gambar 2.12 berikut:



Gambar 2. 12 Reaksi degradasi selulosa (Garcia-Perez, 2008).

#### ▪ Reaksi 1.

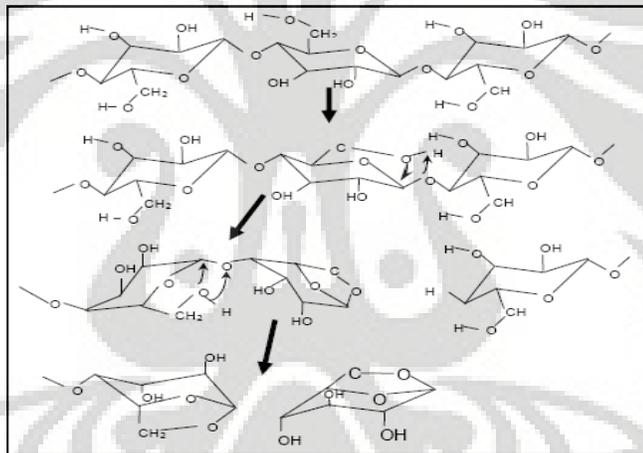
Akibat pemanasan awal maka akan terjadi reaksi dehidrasi sehingga terbentuk senyawa radikal bebas, penghilangan air, senyawa karbonil, karboksil, dan hidroperoksida. Kemudian akan terjadi reaksi antara H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, dan CO menjadi arang. Reaksi dehidrasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.13 berikut:



**Gambar 2. 13** Mekanisme reaksi dehidrasi selulosa (Garcia-Perez, 2008).

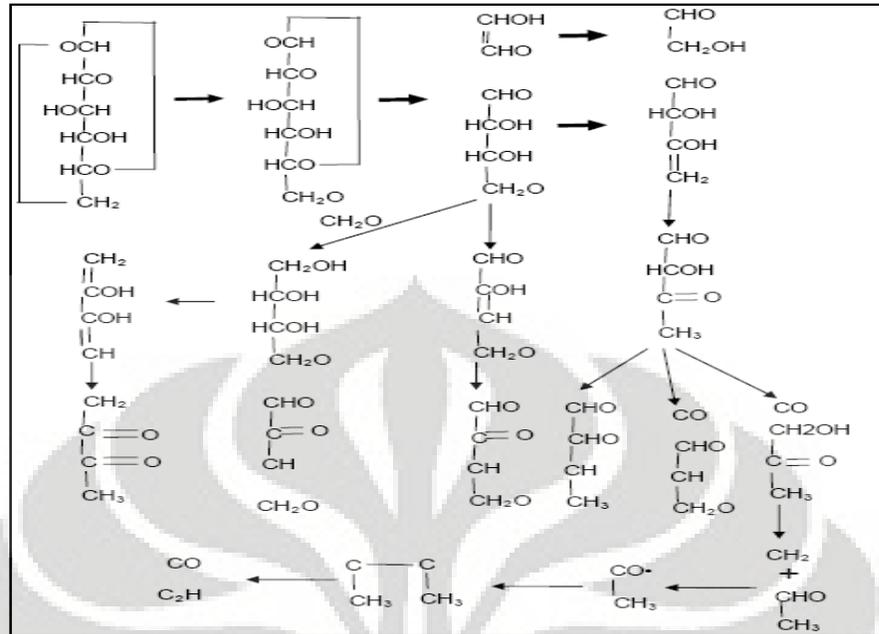
▪ **Reaksi 2 (depolimerisasi).**

Reaksi ini diawali dengan terbentuknya selulosa aktif yang juga disebut sebagai reaksi broido-shafizadeh. Kemudian akan terjadi dekomposisi termal dimana selulosa aktif tersebut akan membentuk levoglucosan melalui proses depolimerisasi. Reaksi pembentukan selulosa aktif dapat dilihat pada Gambar 2.14 berikut.



**Gambar 2. 14** Mekanisme perengkahan selulosa menjadi selulosa aktif Garcia-Perez, 2008).

Selanjutnya akan terjadi reaksi perengkahan dari ikatan selulosa sehingga nantinya akan dihasilkan senyawa karboksil dan senyawa oksigenat. Selulosa juga akan menghasilkan senyawa levoglucosan yang akan mengalami dehidrasi dan dekarbonilasi sehingga dihasilkan senyawa C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub> dan C<sub>4</sub>. Melalui reaksi ini akan terbentuk juga Hidroksi-asetaldehid. Reaksi perengkahan selulosa tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.15 berikut.



Gambar 2. 15 Mekanisme reaksi detail perengkahan selulosa (Garcia-Perez, 2008).

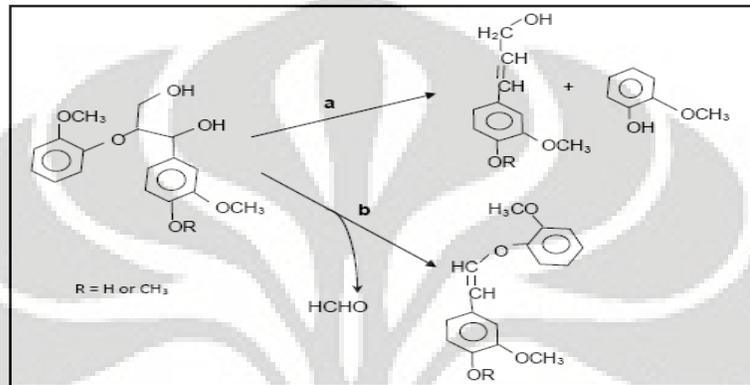
#### b. Mekanisme Reaksi Pirolisis Hemiselulosa.

Hemiselulosa merupakan senyawa polisakarida kompleks yang berikatan dengan selulosa pada dinding sel. Hemiselulosa pada umumnya terdiri dari 50-200 unit monomer dan beberapa residu glukosa sederhana. Komponen utama dari hemiselulosa adalah *xylan* dalam bentuk struktur kimia 4-metil-3-asetilglukoronoxylan. Persentase xilan terdapat pada *softwoods* dan *hardwoods* diatas 10% dan 30% dalam keadaan kayu kering. Pada hemiselulosa, *xylan* merupakan senyawa yang paling tidak stabil karena mudah sekali mengalami reaksi hidrolisis dan dehidrasi. Hemiselulosa akan mulai terdegradasi pada rekasi tersebut pada temperatur sekitar 250°C.

Degradasi dari *xylan* akan menghasilkan delapan senyawa produk, yaitu air, metanol, asam formiat, asam asetat, asam propianat, hidroksi-1-propanon, hidroksi-1-butanon, dan 2-furfuraldehid. Pada proses pirolisis biomassa, air akan terbentuk dari dehidrasi, asam asetat terbentuk dari eliminasi pada gugus asetil, furfural terbentuk dari dehidrasi unit xilose, asam formiat terbentuk dari gugus karboksil asam uronic, dan metanol terbentuk dari gugus metoksil asam uronic.

### c. Mekanisme Reaksi Pirolisis Lignin

Pada umumnya, mekanisme degradasi pada lignin terjadi dalam bentuk reaksi dehidrasi (pada temperatur sekitar 250°C), depolimerisasi, dan kondensasi/karbonisasi. Degradasi termal pada lignin ini akan menghasilkan senyawa monomeric fenol, asam formiat, formaldehid, metanol, karbondioksida, dan air. Reaksi depolimerisasi lignin dapat dilihat di Gambar 2.16 di bawah ini:



Gambar 2.16 Reaksi degradasi lignin (Garcia-Perez, 2008).

Pada reaksi (a) terjadi degradasi ikatan C-O menjadi senyawa alkohol atau guaiacol. Sementara itu pada reaksi (b) terjadi eliminasi ikatan karbon menjadi fenol eter. Kehadiran lignin pada suatu pirolisis biomassa akan mengarah untuk menghasilkan produk arang.

Setelah mengalami proses pirolisis maka akan terbentuk fasa *liquid* dengan mengalami proses kondensasi pada sistem kondensernya. Produk berupa *liquid* ini terdiri dari air dengan campuran asetaldehid, propion aldehyd, butiraldehyd, acrolein, crotonaldehyd, furan, aseton, butanedion, dan metanol.

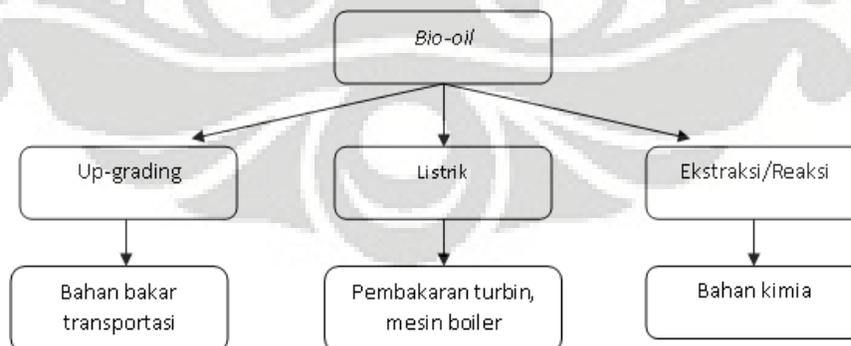
### 2.6 Bio-oil

*Bio-oil* merupakan produk utama yang diinginkan pada proses pirolisis. *Bio-oil* tersusun atas campuran uap organik seperti asam, alkohol, aldehyd, eter, ester, keton, furan, fenol, asetaldehyd, butanedion, metanol, dan hidrokarbon. Untuk penyusun kimia dan properti fisika dan kimia dari *bio-oil* dapat dilihat pada Tabel 2.8 berikut.

**Tabel 2.8** Karakteristik Bio-oil (Aston University, 2009)

Penampilan/rupa	Cairan coklat tua. Berdasarkan bahan baku dan tipe pirolisis yang dipakai, warna yang ditampilkan bisa menjadi hitam sampai coklat kemerah-merahan atau hijau tua.
Bau	Berbau asap tajam yang dapat mengiritasi mata jika terbuka terhadap udara luar untuk waktu yang lama.
Kandungan air	Cairan mengandung kandungan air yang berbeda, yang berbentuk campuran fasa tunggal yang stabil. Biasanya kandungannya sebesar 15-30% berat, tergantung dari cara memproduksi cairan.
Densitas	Densitas dari cairan sangat tinggi yaitu 1,2 kg/L dibandingkan dengan bahan bakar cair ringan yang sekitar 0,85 kg/L
Viskositas	Viskositas dari <i>bio-oil</i> bervariasi dari yang terendah yaitu 40 cp hingga yang tertinggi, 100 cp. Viskositas berguna pada beberapa aplikasi bahan bakar.
Pengaruh waktu	Berubahnya waktu menyebabkan meningkatnya viskositas, menurunnya volatilitas.

Cairan *bio-oil* terbentuk dari pendinginan yang cepat produk intermediet dari degradasi cepat selulosa, hemiselulosa, dan lignin. *Bio-oil* ini berguna sebagai bahan bakar atau bahan kimia dalam industri kimia. Untuk lebih jelasnya, kegunaan *bio-oil* dapat dilihat pada Gambar 2.17 berikut:

**Gambar 2. 17** Kegunaan bio oil.

Dalam penelitian ini, *bio-oil* yang dihasilkan akan dibandingkan dengan karakteristik dari bahan bakar diesel. Untuk karakteristik bahan bakar diesel dapat dilihat pada Tabel 2.9 berikut.

**Tabel 2.9** Karakteristik Bahan Bakar Diesel

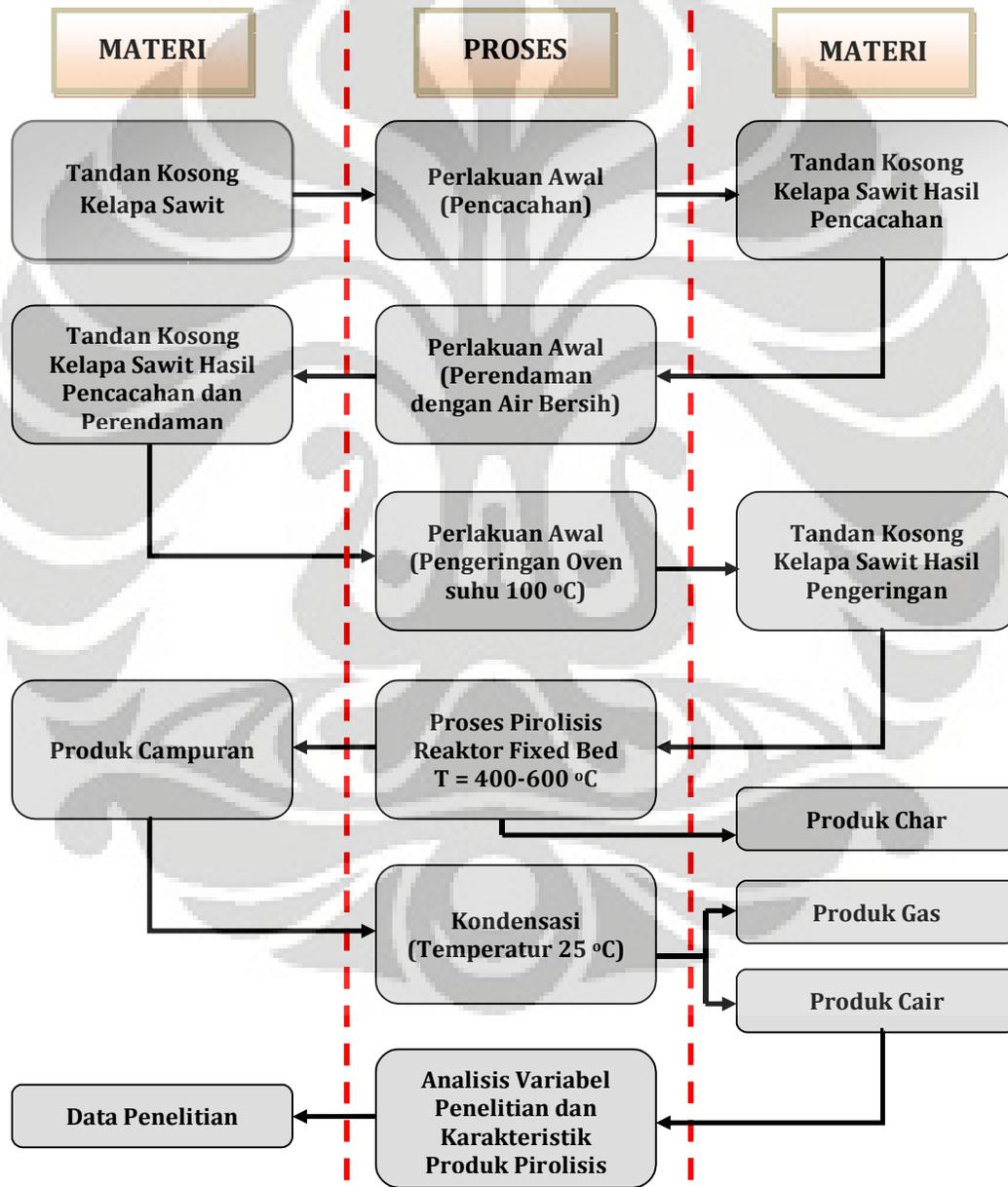
<b>Karakteristik</b>	<b>Diesel</b>
Nilai kalor	42.3 MJ/kg
Viskositas	4 cst
Kandungan abu	< 0.01 % berat
Ph	5
Densitas	0.85 g/ml
Kandungan sulfur	0.15-0.5 % berat

## BAB 3

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Tahapan dari produksi *bio-oil* dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut ini:



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.

Berdasarkan Gambar 3.1, penelitian akan dibagi dalam beberapa tahap, dimana tahap pra-penelitian adalah melakukan studi literatur mengenai hal-hal yang berhubungan dengan proses konversi biomassa tandan kosong kelapa sawit dengan metode pirolisis. Kemudian akan dilakukan tahap inti penelitian yang terdiri dari perlakuan awal, proses pirolisis, dan analisis produk. Tahap perlakuan awal terdiri dari pencacahan untuk mendapatkan diameter partikel 0,1-5 mm, perendaman untuk menghilangkan kandungan abu, dan pengeringan umpan. Tahap pirolisis terdiri dari proses pirolisis di dalam reaktor, kondensasi uap, dan pengumpulan produk *bio-oil*. Setelah itu akan dilakukan analisis dan evaluasi hasil penelitian dan terakhir dibuat kesimpulan.

### 3.2 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam percobaan ini terdiri dari variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah:

a. Temperatur operasi.

Variasi temperatur yang akan dilakukan adalah pada temperatur 400, 450, 500, 550, dan 600°C. Pertimbangan dalam melakukan variasi tersebut adalah apabila temperatur dibawah 350°C maka proses perengkahan tidak akan terjadi secara sempurna melainkan akan terjadi karbonisasi dimana produk arang yang akan dominan dihasilkan.

Apabila temperatur diatas 600°C maka proses yang terjadi adalah pirolisis dan gasifikasi, dimana akan banyak dihasilkan produk berupa uap/gas sebagai hasil gasifikasi. Hal ini disebabkan karena pada temperatur ini gas yang dihasilkan adalah gas *non-condensable*. Selain itu pada kondisi ini, uap/gas panas tadi akan membentuk produk lanjutan sesudah produk intermediet, dimana untuk proses pirolisis cepat uap yang ingin dikondensasi adalah produk intermediet dari degradasi cepat selulosa, hemiselulosa, dan lignin.

b. Ukuran umpan biomassa.

Ukuran umpan akan divariasikan pada angka 0,1–5 mm, dengan variasi 0,1-1 mm, 1-2 mm, 2-3 mm, 3-4 mm, dan 4-5 mm.

Batas bawah rentang ukuran umpan biomassa tersebut berdasar kepada penelitian yang dilakukan oleh M. Azri Sukiran, Chow Mee Chin, dan Nor Kartini Abu Bakar dimana pada ukuran kecil dari 0,1 mm maka *yield* yang didapat akan lebih sedikit apabila dibandingkan dengan ukuran umpan besar dari 0,1 mm. Kemudian, batas atas ukuran umpan didasarkan atas informasi pada jurnal “*Mechanisms of Thermochemical Biomass Conversion Processes. Part 1: Reactions of Pyrolysis*” berikut:

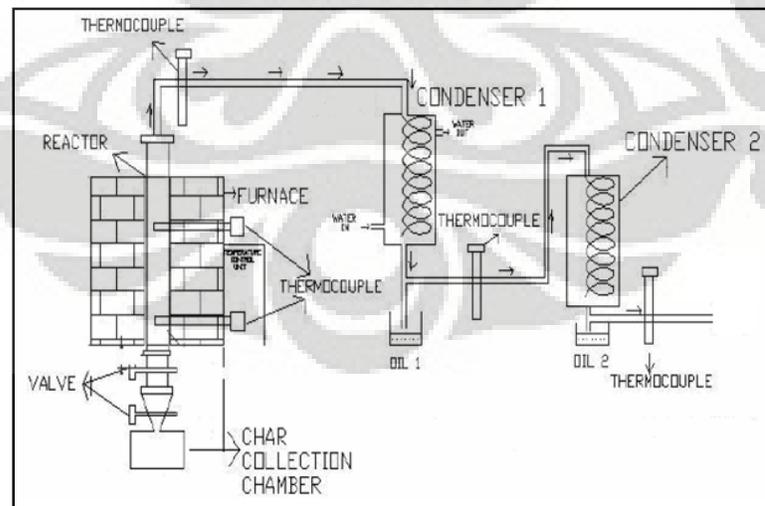
**Tabel 3.1** Karakteristik Kondisi Operasi Pyrolysis (Taylor dan Francis, 2008)

Karakteristik	<i>Conventional Pyrolysis</i>	<i>Pirolisis</i>	<i>Flash Pyrolysis</i>
Temperatur (°C)	276,85 – 676,85	450 – 600	700-1200
Laju pemanasan (°C/s)	0,1 – 1	1 – 20	> 100
Ukuran umpan (mm)	5 – 50	< 5	< 0,2

Adapun parameter yang ingin diketahui pada berbagai kondisi operasi atau sebagai variabel terikat pada penelitian ini adalah berat jenis, viskositas, pH, kandungan air, analisis GC-MS dan kandungan unsur dasar C, H, O, dan N.

### 3.3 Skema Peralatan

Skema peralatan penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut:



(a)



(b)

**Gambar 3. 2** Skema peralatan pirolisis (a) Skema gambar ; (b) Skema nyata.

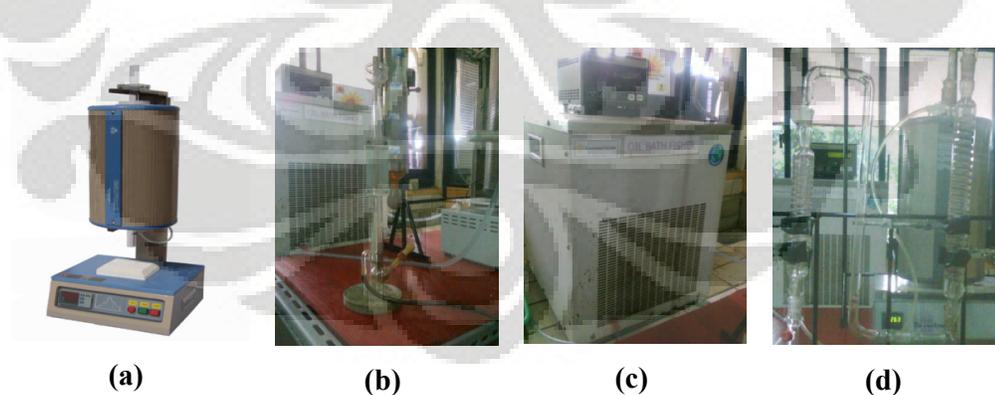
Unit operasi pirolisis ini bekerja pada tekanan atmosferik. Dari skema diagram diatas, unit ini terdiri dari tiga unit utama yaitu reaktor, kondenser, dan unit pengumpul produk. Pemanasan pada reaktor dilakukan dengan menggunakan *furnace* dengan laju pemanasan tertentu.

### 3.4 Alat dan Bahan Penelitian

Penyiapan rangkaian peralatan meliputi pemilihan jenis, konfigurasi, dimensi reaktor, serta unit proses lainnya. Jenis reaktor yang digunakan adalah reaktor *fixed bed* dengan sistem *batch*. Unit proses lainnya adalah kondenser yang memiliki fungsi untuk mengkondensasi uap hasil reaksi pirolisis. Berikut adalah semua peralatan yang akan digunakan pada proses pirolisis tandan kelapa sawit beserta fungsi masing-masing alat.

Tabel 3.2 Jenis peralatan yang digunakan dan fungsinya

Peralatan	Fungsi
1. <i>Furnace</i>	Tempat pemanasan reaktor dan pengaturan variabel suhu penelitian.
2. Reaktor.	Wadah umpan dan pemanasannya.
3. Kondenser	Kondensasi uap hasil pemanasan <i>furnace</i> .
4. Selang	Mengalirkan gas hasil pirolisis dari kondenser menuju <i>bubble soap</i> dan pembuangan.
5. Statip	Penahan kondenser dan reaktor.
6. <i>Oil pot</i>	Tempat penampungan produk cair hasil pirolisis.
7. <i>Bubble soap</i>	Menghitung laju alir gas pada waktu tertentu.
8. <i>Cooling Bath</i>	Menjaga suhu air kondensasi dan mengalirkan air pendingin menuju kondenser.
9. <i>Stopwatch</i>	Menghitung waktu pada perhitungan laju alir gas dan laju pemanasan.
10. GCMS	Alat analisis produk cair untuk identifikasi komponen senyawa pada produk cair tersebut.
11. Piknometer	Alat analisis produk cair untuk menghitung densitas produk.
12. Viskometer	Alat analisis untuk menghitung viskositas produk cair.



Gambar 3.3 Alat utama penelitian  
(a) *furnace*; (b) *Buble soap*; (c) *Cooling Bath*; (d) Kondenser spiral.

Untuk bahan yang digunakan terdiri dari dua, yaitu bahan utama dan bahan pendukung. Bahan utamanya adalah serbuk tandan kosong kelapa sawit

yang telah dicacah hingga mencapai diameter 0,1-5 mm. Untuk bahan pendukungnya adalah air pendingin pada *cooling bath* sebagai fluida kondensasi pada kondenser.

### 3.5 Prosedur Penelitian

Berdasarkan diagram alir penelitian, maka rincian kegiatan penelitian dapat dijelaskan sebagai berikut:

#### 3.5.1 Persiapan Awal Biomassa

Proses persiapan awal biomassa terdiri dari pencacahan (pemotongan kecil-kecil) biomassa, perendaman, dan pengeringan.

##### a. Pencacahan

Tandan kelapa sawit yang diperoleh akan dipotong-potong menjadi bagian kecil dengan panjang rata-rata  $\pm 5-8$  cm. Tandan kelapa sawit ini kemudian di oven selama  $\pm 5-6$  jam. Proses pemanasan awal ini dilakukan untuk menghilangkan kandungan air dari bahan. Jika secara fisik sudah terasa kering, maka langkah pencacahan sudah dapat dilakukan.

Pencacahan tandan sampai ke bagian yang terkecil menggunakan pisau, *blender*, *hammer mill*, dan alat penepung. Penggunaan pisau dilakukan untuk mengecilkan tandan hingga sampai ukuran  $\pm 1-2$  cm, sedangkan *blender* digunakan untuk memperoleh partikel tandan dengan ukuran yang lebih kecil lagi. Penggunaan *hammer mill* dan alat penepung direncanakan akan dilaksanakan di Balai Pengembangan dan Produksi Mekanisasi Pertanian (BPP Mektan) di Serpong, Tangerang. Penggunaan kedua alat tersebut dimaksudkan untuk mendapatkan diameter partikel yang diperlukan. Hasil yang didapat akan bervariasi. Untuk pemisahan berdasarkan diameter partikel, kami akan menggunakan saringan dengan diameter saring bervariasi antara 0,1-1 mm; 1-2 mm; 2-3 mm ; 3-4 mm ; dan 4-5 mm.

Penyaringan menggunakan alat saring dengan menggunakan mesin dimana saringan diletakkan secara betingkat dengan urutan diameter saringan paling besar berada di atas. Dengan menggunakan alat saring seperti ini

bertujuan supaya kerja lebih efisien dan hasil yang didapat juga lebih banyak dibandingkan dengan menyaring secara manual.

b. Perendaman

Perendaman dilakukan dengan tujuan untuk mengurangi kadar abu yang terdapat pada tandan kosong kelapa sawit. Dengan mengurangi kadar abu tersebut maka kita dapat mengurangi produksi arang pada hasil konversi.

Perendaman akan dilakukan dengan cara merendam 100 gram umpan tandan kelapa sawit selama 24 jam pada temperatur ambient di dalam 7 liter air bersih.

c. Pengeringan

Hasil perendaman tersebut kembali dikeringkan dengan tujuan untuk menghilangkan kadar air yang terdapat pada umpan tandan kosong kelapa sawit.

### 3.5.2 Pelaksanaan *Running* Pirolisis

Proses *running* pirolisis mempunyai tahapan sebagai berikut:

a. Persiapan alat dan bahan

1. Menyediakan peralatan dan bahan dan mengecek semuanya apakah berada dalam kondisi yang baik untuk dilakukan percobaan.
2. Menimbang alat dan bahan yang digunakan, yaitu berupa berat reaktor, sambungan reaktor-kondenser, sambungan kondenser bawah, dan *oil pot*.
3. Menyiapkan bahan-bahan yang akan digunakan sebelum reaktor dinyalakan, yaitu berupa biomassa tandan kosong kelapa sawit dalam ukuran yang sudah ditentukan. Umpan biomassa ini dimasukkan ke dalam reaktor.
4. Menyalakan *cooling bath* dan menset nya pada temperatur operasi ,yaitu 25 °C.
5. Memasang dan menempatkan peralatan pada tempatnya masing-masing dan mengecek ulang semua sudah terpasang dengan baik dan kokoh.

## b. Reaksi Pirolisis

1. Jika semua bahan dan persiapan proses sudah siap, selanjutnya mulai menyalakan *furnace*.
2. Menyetel temperatur yang diinginkan pada *furnace* yang berada di panel pada kondisi operasi yang diinginkan.
3. Membiarkan proses pirolisis berlangsung dalam rentang waktu  $\frac{1}{2}$  -1 jam, tergantung dari kondisi umpan biomassa dan laju pemanasan *furnace*.
4. Mencatat nilai laju alir gas yang dihasilkan pada *bubble soap* dan laju pemanasan dari *furnace* pada rentang waktu tertentu.
5. Setelah proses selesai, *cooling bath* dan *furnace* dimatikan.
6. Mengambil produk berupa *char* dan *bio oil* serta menimbanginya.

### 3.6 Teknik Pengumpulan Data dan Analisis Data

Produk cair yang didapat selanjutnya akan dianalisis karakteristik fisika dan kimianya. Karakteristik yang diuji yaitu berupa berat jenis, viskositas, pH, kandungan abu, kandungan sulfur, nilai kalor HHV, kandungan gugus fungsi, kandungan air, dan kandungan unsur dasar C, H, O, dan N.

Prosedur pengujian dari karakteristik *bio-oil* tersebut adalah:

#### 1. Berat Jenis

Metode yang digunakan: ASTM D-3505.

Cara kerja:

- a. Menimbang piknometer kosong, beratnya  $W_o$ .
- b. Mengisi piknometer dengan sampel, beratnya  $W$ .
- c. Volume piknometer =  $V$
- d. Berat jenis sampel dapat ditentukan dengan rumus = ———

#### 2. Viskositas

Metode yang digunakan: ASTM D-446

Peralatan:

- |                          |                    |
|--------------------------|--------------------|
| - <i>Batch viscosity</i> | - Termometer       |
| - Viskometer tube        | - <i>Stopwatch</i> |

Cara kerja:

- a. Memilih viskometer tube yang tepat dan bersih, lalu dikeringkan
- b. Mengisi viskometer tube dengan sampel
- c. Memasukkan tube ke dalam batch pemanas pada temperatur 40°C
- d. Menghisap sampel sampai ke garis batas, kemudian dilonggarkan penghisapnya agar permukaan cairan turun.
- e. Menghitung waktu alir dari batas awal sampai batas akhir dengan menggunakan *stopwatch*.
- f. Perhitungan viskositas:  $cSt = C \times t$   
 Dimana: C = faktor viskometer  
 t = waktu alir sampel (detik)

### 3. pH

Metode yang digunakan: pH meter digital

Cara kerja:

- a. menyiapkan sampel secukupnya  $\pm 10-15$  mL
- b. mencelupkan ujung elektroda pH meter ke dalam sampel
- c. mencatat angka yang tertera pada pH meter

### 4. Kandungan unsur dasar

Metode yang digunakan: ASTM D-5373

Cara kerja:

- a. Menyiapkan sistem peralatan sesuai dengan instruksi
- b. Mengkalibrasi peralatan dengan memilih referensi standar material
- c. Menganalisa sampel dengan melihat data masing-masing persen berat komponen dasar yang tertera pada komputer.

### 5. Kandungan air

Metode yang digunakan: Gravimetri

Peralatan:

- cawan kosong
- *furnace* dan timbangan

Cara kerja:

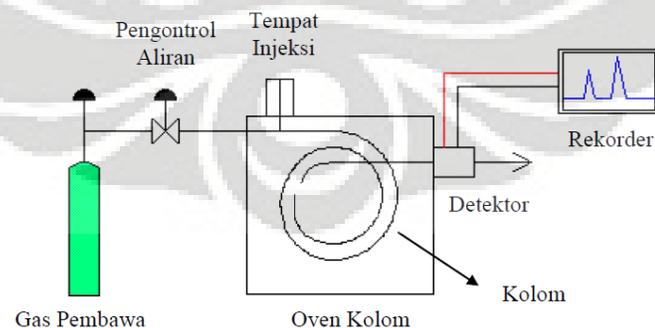
- Menimbang biomassa yang dimasukkan ke dalam cawan kosong yang kemudian sampel tersebut diuapkan terlebih dahulu di *furnace*.
- Setelah ditimbang kemudian memanaskan sampel di tanur dengan temperatur 450°C selama ± 2 jam
- Mengeluarkan sampel diletakkan pada desikator, kemudian ditimbang pada temperatur ruangan.
- Memanaskan kembali selama ± menit, lalu ditimbang kembali. Perlakuan ini dilakukan hingga data berat yang didapatkan konstan,  $w_1 = w_2 = w_3 =$  konstan.
- $W_{\text{air}} = \frac{\text{---}}{\text{---}} \times 100\%$

## 6. Kandungan gugus fungsi dan komposisi

Metode yang digunakan: Gas Chromatography Mass Spektrometry (GC-MS)

Cara kerja:

- Menyalakan alat GC-MS dan perangkat komputer berikut softwarena
- Menginjeksikan sampel pada suhu tertentu
- Zat terlarut akan teradsorpsi kemudian akan merambat dengan laju rambatan masing-masing komponen
- Detektor mencatat sederetan sinyal yang timbul akibat perubahan konsentrasi dan perbedaan laju elusi
- Melihat hasil pada detector



**Gambar 3. 4** Skema peralatan GC-MS.

### 3.7 Cara Penafsiran dan Penyimpulan Hasil Penelitian

Berdasarkan hasil penelitian akan dapat diketahui temperatur dan ukuran partikel umpan optimum yang dapat menghasilkan produk *bio-oil* dengan jumlah maksimum. Setelah dilakukannya pengujian terhadap karakteristik dari *bio-oil* yang didapatkan, maka akan dapat kita simpulkan apakah produk *bio-oil* tersebut dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar fosil. Hal ini dilakukan dengan cara membandingkan karakteristik dari bahan bakar diesel dengan karakteristik *bio-oil* yang didapatkan.



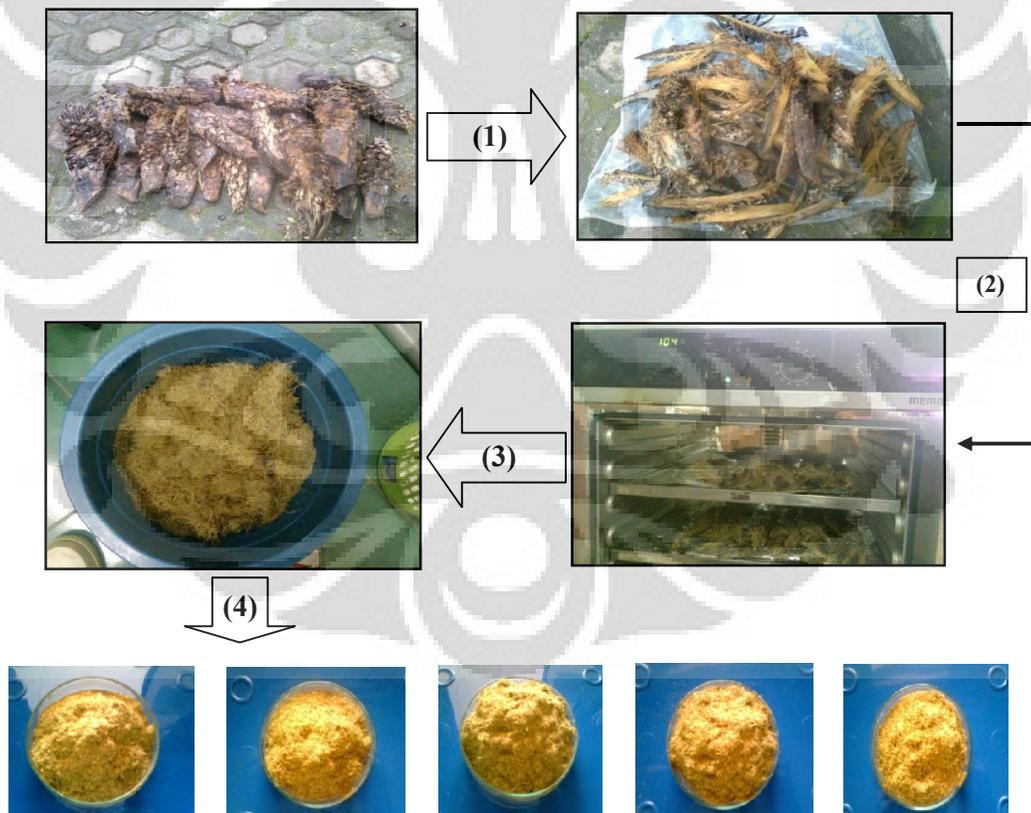
## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Analisis Umpan Pirolisis

Dalam bab ini dipaparkan tentang hasil penelitian pirolisis dan pembahasan berupa analisis produk cair yang didapatkan. Selain itu, juga dipaparkan pembahasan dan hasil analisis terhadap variabel operasi yang dilakukan, yaitu berupa variasi temperatur dan variasi ukuran partikel.

Umpa pirolisis yang digunakan pada penelitian kali ini adalah berupa tandan kosong kelapa sawit. Kami mendapatkan umpa tersebut langsung dari perkebunan kelapa sawit yang terletak di Pekanbaru, Riau. Tandan kosong kelapa sawit tersebut mengalami beberapa perlakuan, yaitu pengeringan, perendaman, dan pencacahan. Visual perlakuan awal penelitian terhadap umpa tandan kosong kelapa sawit tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut ini:



Gambar 4.1 Perlakuan awal tandan kosong kelapa sawit.

Perlakuan awal yang dilakukan berdasarkan gambar tersebut adalah:

- (1) Pencacahan (masih menghasilkan ukuran besar) dan perendaman umpan untuk mengurangi kadar abu.
- (2) Pengeringan dengan menggunakan oven pada suhu 100 °C. Ketika terjadi pemanasan dengan dikenai temperatur tinggi, air dalam bentuk *moisture* di permukaan bahan akan menguap, sedangkan yang berada di dalam akan mengalir keluar melalui pori-pori partikel dan akan menguap juga. Dengan demikian akan terjadi pengurangan kadar air dalam umpan.
- (3) Pencacahan lanjutan dengan menggunakan *hammer mill* untuk mendapatkan ukuran yang kecil, tetapi belum memenuhi variasi ukuran partikel penelitian.
- (4) Pencacahan dengan menggunakan alat penepung untuk mendapatkan ukuran partikel yang dibutuhkan dalam penelitian yaitu 0,1-1 mm, 1-2 mm, 2-3 mm, 3-4 mm, dan 4-5 mm.

#### 4.1.1 Karakteristik Biomassa

Untuk mengetahui karakteristik umpan yang digunakan, maka dilakukan analisis *proximate*, *ultimate*, dan kandungan biopolimer dari umpan.

##### a. Analisis Kandungan Biopolimer

Analisis kandungan biopolimer dilakukan untuk mengetahui kandungan dan persentase dari komponen selulosa, hemiselulosa, dan lignin pada umpan. Analisis ini dilakukan di laboratorium TEKMIIRA (Teknologi Mineral dan Batu Bara), Bandung. Hasil analisis komponen umpan ditampilkan dalam Tabel 4.1 berikut ini:

Tabel 4.1 Analisis komponen tandan kosong kelapa sawit

Biomassa	% Selulosa	% Hemiselulosa	% Lignin
Tandan Kosong Kelapa Sawit	36,82	24,95	29,42

Berdasarkan Tabel 4.1, dapat kita lihat bahwa persentase komponen yang terdapat di umpan tandan kosong kelapa sawit memiliki nilai yang relatif

tidak jauh berbeda dengan komponen selulosa sebagai persentase terbanyak. Berdasarkan literatur, dapat diprediksikan bahwa perengkahan yang akan terjadi akan lebih banyak menghasilkan senyawa seperti senyawa oksigenat dan formaldehid sebagai hasil perengkahan selulosa serta senyawa fenol dan turunannya sebagai hasil perengkahan lignin.

b. Analisis *Proximate*

Analisis *proximate* dilakukan untuk mengetahui kandungan air, abu, karbon padat, nilai kalor, dan *volatile matter* pada umpan. Hasil analisisnya ditampilkan dalam Tabel 4.2 berikut ini:

**Tabel 4. 2** Analisis *proximate* tandan kosong kelapa sawit

Analisis	Hasil
- Kandungan air	10,46
- Kandungan abu	3,43
- <i>Volatile Matter</i>	68,67
- Karbon padat	17,45
- Nilai kalor HHV (cal/gr)	3996

Berdasarkan Tabel 4.2, dapat kita lihat bahwa umpan yang digunakan masih mempunyai kandungan air yang relatif besar, yaitu 10,46%. Hal ini dimungkinkan karena penyimpanan umpan hasil preparasi awal yang kurang optimal dan waktu penyimpanan sebelum analisis yang relatif lama. Hal ini memungkinkan terjadinya kontak umpan hasil preparasi dengan udara bebas yang mengakibatkan kandungan air di dalamnya kembali bertambah. Sementara itu, untuk kandungan abu telah sesuai dengan yang diharapkan (mempunyai nilai dibawah 5%) sebagai hasil preparasi awal biomassa.

Dari hasil analisis diatas dapat juga dilihat bahwa umpan memiliki kandungan *volatile matter* yang tinggi, yaitu 68,67%. Nilai ini yang diharapkan dapat mengalami penguraian dan kondensasi sehingga didapatkan konversi yang tinggi.

c. Analisis *Ultimate*

Analisis *ultimate* dilakukan untuk mengetahui kandungan karbon, nitrogen, hidrogen, belerang, dan oksigen pada umpan. Hasil analisisnya ditampilkan dalam Tabel 4.3 berikut ini:

**Tabel 4. 3** Analisis ultimate tandan kosong kelapa sawit

Analisis	Hasil
- % karbon	44,06
- % nitrogen	0,29
- % hidrogen	6,06
- % belerang	0,11
- % oksigen	46,05

Untuk analisis *ultimate*, dapat kita lihat bahwa unsur penyusun umpan biomassa didominasi oleh senyawa oksigen dengan persentase mencapai 46,05 %. Hal ini dapat menyebabkan kontribusi terbentuknya senyawa oksigenat pada produk cair akan semakin besar yang dapat menurunkan nilai kalor dari produk itu sendiri.

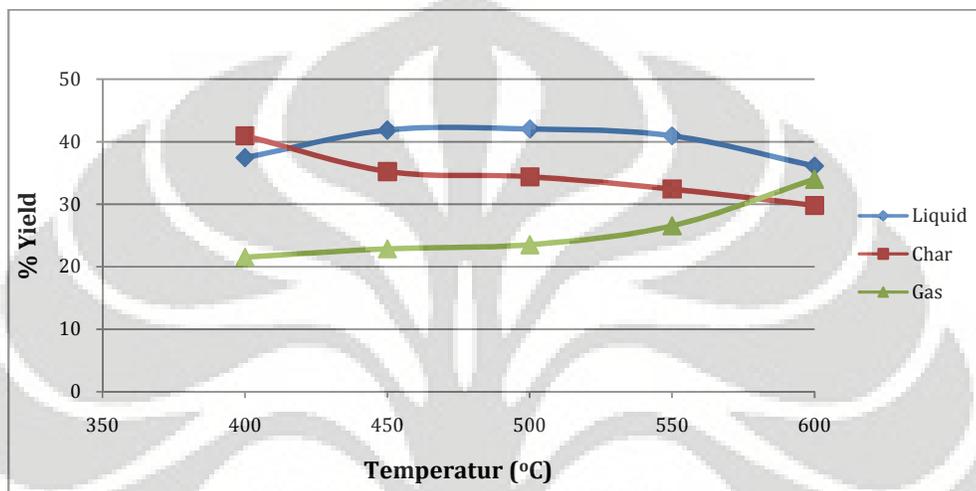
Dari data di atas, dapat juga kita lihat bahwa kandungan nitrogen dan belerang pada umpan sangat kecil. Hal ini merupakan salah satu keuntungan dari biomassa dibandingkan dengan batubara. Pada biomassa, kandungan nitrogen dan sulfur berada di bawah 1%, sedangkan kandungan nitrogen dan sulfur pada batubara bernilai sampai 3% (ASTM, 1981, *op cit* Wood *et al.*, 1983). Nilai ini akan mengakibatkan jumlah emisi SO<sub>x</sub> dan NO<sub>x</sub> pada biomassa memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan batubara.

#### 4.2 Hasil Analisis Pengaruh Variabel Penelitian terhadap Produk Pirolisis

Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari dua variabel, yaitu variasi temperatur dan ukuran partikel umpan. Hasil penelitian dan analisis terhadap hasil tersebut akan dijelaskan dalam penjelasan sebagai berikut.

#### 4.2.1 Hasil Analisis Pengaruh Temperatur terhadap Produk Pirolisis

Variabel temperatur yang dilakukan adalah pada nilai 400, 450, 500, 550, dan 600 °C. Variasi temperatur ini dibantu dengan kondisi operasi pada kondenser dengan temperatur konstan 25 °C dan ukuran partikel 0,1-1 mm. Dari masing-masing variasi temperatur tersebut akan didapatkan produk cair dengan jumlah dan persentase yang berbeda seperti ditunjukkan pada Gambar 4.2 dibawah ini:



Gambar 4.2 Grafik pengaruh temperatur terhadap persentase produk pirolisis.

Berdasarkan tabel dan grafik diatas dapat kita lihat bahwa:

- Persentase produk cair akan meningkat seiring peningkatan temperatur dari 400-500 °C dan akan menurun pada temperatur yang lebih tinggi pada nilai 550 dan 600 °C.
- Persentase produk padat berupa *char* memiliki kecenderungan menurun seiring dengan naiknya temperatur.
- Persentase produk gas memiliki kecenderungan akan meningkat seiring dengan naiknya temperatur.

Untuk percobaan berdasarkan variasi temperatur ini, didapatkan bahwa produk cair sebagai produk utama yang diharapkan memiliki *yield* paling besar pada temperatur 500 °C dan akan semakin berkurang seiring dengan naiknya temperatur.

Produk pirolisis diperoleh dari hasil reaksi dekomposisi senyawa-senyawa yang terkandung di umpan. Laju reaksi dekomposisi tersebut meningkat seiring

dengan peningkatan temperatur. Peningkatan perolehan ini terjadi karena kenaikan temperatur akan meningkatkan laju pemecahan rantai-rantai senyawa di dalam bahan. Dengan peningkatan temperatur tersebut kandungan air dan senyawa-senyawa volatil akan teruapkan secara cepat dengan jumlah yang lebih besar pula. Hal ini akan menyebabkan produk pirolisis cair meningkat pada temperatur yang lebih tinggi hingga mencapai titik temperatur dimana proses gasifikasi akan lebih dominan.

Untuk temperatur dibawah 500 °C, proses perengkahan tidak akan terjadi secara sempurna melainkan lebih banyak terjadi proses karbonisasi dimana produk padat berupa *char* yang akan dominan dihasilkan. Hal ini terbukti dari hasil penelitian bahwa produk padat memiliki *yield* tertinggi pada variasi temperatur terendah (400 °C) dan akan semakin berkurang seiring meningkatnya temperatur.

Untuk temperatur diatas 500°C hingga 600 °C maka proses yang terjadi adalah pirolisis dan gasifikasi, dimana akan banyak dihasilkan produk berupa uap/gas sebagai hasil gasifikasi. Peningkatan temperatur akan menyebabkan semakin banyaknya produk gas yang dihasilkan seperti ditunjukkan pada tabel hasil pirolisis diatas. Hal ini disebabkan karena pada temperatur ini gas yang dihasilkan adalah gas *non-condensable*. Selain itu pada kondisi ini, uap/gas panas tadi akan membentuk produk lanjutan sesudah produk intermediet, dimana untuk proses pirolisis cepat uap yang ingin dikondensasi adalah produk intermediet dari degradasi cepat selulosa, hemiselulosa, dan lignin.

Produk cair hasil pirolisis yang didapatkan terdiri atas air dan senyawa organik yang dikondensasikan dan dikumpulkan setelah melalui tahap-tahap pirolisis. Cairan ini merupakan campuran yang sangat kompleks dan mudah menguap.

Selain produk cair, pirolisis juga menghasilkan produk padat *char* (sisa padatan pirolisis). Dari pengamatan yang dilakukan secara kuantitatif, jumlah *char* berkurang seiring peningkatan temperatur pirolisis. Hal ini disebabkan oleh konversi pirolisis yang semakin cepat terjadi pada temperatur yang lebih tinggi sehingga jumlah *residue solid* yang dihasilkan semakin kecil. Jumlah *residue solid* dapat juga digunakan sebagai parameter efisiensi pirolisis. Semakin kecil

*residue solid* maka reaksi pirolisis semakin efisien dalam menghasilkan produk cair.

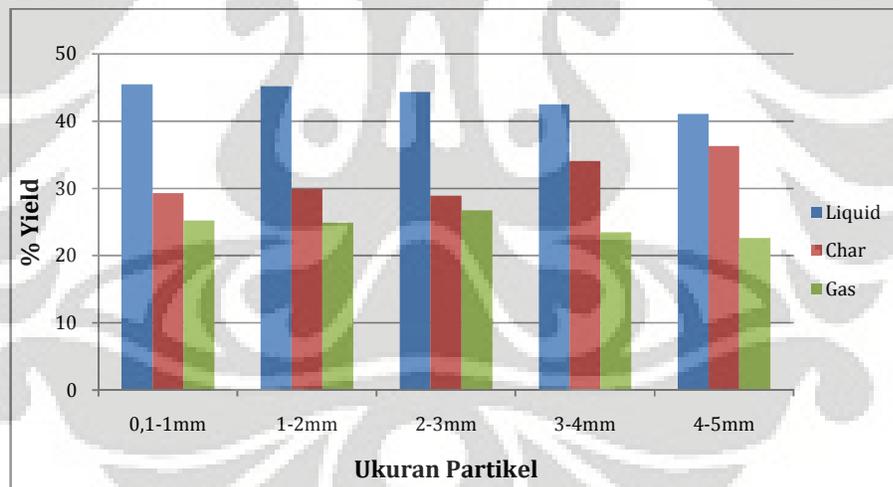
#### 4.2.2 Analisis Pengaruh Ukuran Partikel terhadap Produk Pirolisis.

Pada variasi ukuran partikel, kondisi operasi yang digunakan adalah:

- Temperatur pirolisis : 500 °C
- Temperatur kondenser : 25 °C

Kondisi operasi dengan temperatur 500 °C digunakan sebagai hasil maksimum pada variasi temperatur sebelumnya, dimana produk cair maksimum dihasilkan pada temperatur ini.

Ukuran partikel memegang peranan penting dalam pendistribusian panas di dalam reaktor, menjamin keberlangsungan reaksi secara cepat dan efektif, serta pemisahan *char* (padatan), dan pengumpulan produk cairan yang baik. Selain itu, ukuran partikel sangat berpengaruh terhadap biaya unit operasi pirolisis (Diebold, 1999). Hasil dari variasi ukuran partikel umpan dapat dilihat pada Gambar 4.3 berikut ini:



Gambar 4.3 Grafik pengaruh ukuran partikel terhadap % yield.

Berdasarkan Gambar 4.3 diatas dapat kita lihat bahwa kecenderungan *yield* pirolisis dalam bentuk produk cair akan semakin menurun seiring dengan meningkatnya ukuran partikel yang digunakan sebagai umpan. Produk cair maksimum dihasilkan pada ukuran partikel 0,1-1 mm.

Ukuran partikel berbanding terbalik dengan jumlah produk cair yang dihasilkan. Hal ini berarti ukuran partikel juga berbanding terbalik dengan kecepatan reaksi yang terjadi pada proses pirolisis. Semakin besar ukuran partikel, maka laju reaksi atau perpindahan panasnya pun akan semakin lama, dan begitu juga sebaliknya. Semakin kecil ukuran partikel, yang berarti semakin besar luas permukaannya, maka akan mempercepat laju reaksi karena akan semakin banyak bagian zat yang saling bertumbukan dan semakin besar peluang adanya tumbukan efektif menghasilkan perpindahan panas yang lebih besar.

Pada penelitian ini, perpindahan panas yang terjadi pada umpan partikel adalah secara konduksi dimana umpan tandan kosong kelapa sawit menerima panas dari hasil pemanasan reaktor oleh furnace. Laju perpindahan panas tersebut berbanding lurus dengan luas permukaan partikel atau berbanding terbalik dengan ukuran partikel. Hal ini telah dipenuhi oleh hasil penelitian diatas.

#### 4.3 Analisis Produk Cair Pirolisis

Produk cair yang didapatkan memiliki karakteristik berwarna coklat kekuningan dan berbau sangat tajam. Sementara itu produk padat berupa arang hitam. Produk hasil pirolisis tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.4 berikut.



**Gambar 4. 4** Produk cair dan padat hasil pirolisis.

Berdasarkan produk cair tersebut dilakukanlah analisis produk. Analisis produk pirolisis dilakukan untuk mengetahui sifat fisik dan kimia dari produk pirolisis. Karakteristik kimia dilakukan dengan uji pembakaran dan identifikasi

komponen dengan menggunakan GC-MS. Karakteristik fisik dilakukan dengan mengukur pH, viskositas, dan densitas.

Berikut akan dipaparkan analisis terhadap karakteristik fisik dan kimia produk cair hasil pirolisis.

#### **4.3.1 Uji Pembakaran**

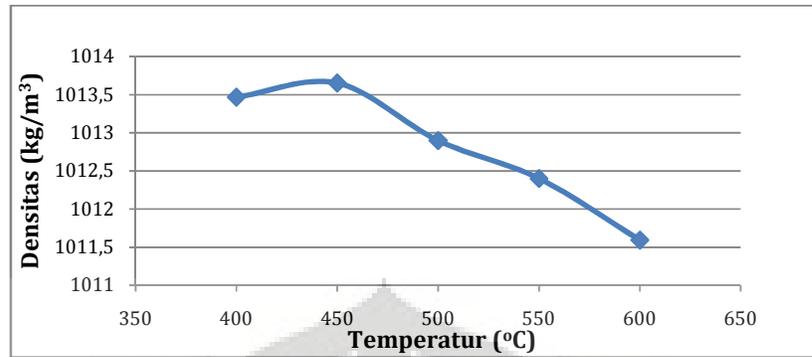
Salah satu sifat fisik yang ingin diketahui dari produk cair pirolisis ini adalah mengidentifikasi kemampuan bakarnya. Uji pembakaran dilakukan secara visual terhadap produk cair pirolisis. Hal ini dilakukan dengan dengan cara menggunakan sumbu dan membasahinya untuk kemudian dilakukan uji bakar terhadap sumbu tersebut.

Dari pengujian yang dilakukan didapatkan bahwa produk cair pirolisis ini tidak dapat terbakar. Hal ini mengindikasikan kemampuan nyala dari produk cair pirolisis belum memenuhi kualitas bahan bakar yang sebenarnya. Hal ini menunjukkan pula bahwa produk cair pirolisis sebagian besar masih mengandung air dengan sedikit hidrokarbon.

#### **4.3.2 Analisis Densitas Produk Cair**

Sifat fisik produk cair hasil pirolisis sangat ditentukan oleh senyawa-senyawa yang terkandung dalam produk cair tersebut. Peningkatan atau penurunan konsentrasi suatu senyawa akan mempengaruhi karakteristik produk cair tersebut. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, bahwa temperatur reaksi sangat mempengaruhi konsentrasi dan jenis-jenis senyawa yang dikandung oleh produk cair. Dengan demikian, perubahan temperatur secara langsung turut mempengaruhi karakteristik produk cair pirolisis.

Densitas merupakan salah satu sifat fisik yang diuji untuk mengetahui kedekatan karakteristik produk cair komersial dengan produk cair hasil pirolisis. Dari hasil perhitungan yang dilakukan diperoleh hasil bahwa kenaikan temperatur pirolisis hingga 450 °C menyebabkan peningkatan densitas dan kemudian turun hingga temperatur 600 °C. Hasil perhitungan data densitas terhadap temperatur ditunjukkan pada Gambar 4.5 berikut:



**Gambar 4.5** Densitas Produk cair pada variasi temperatur.

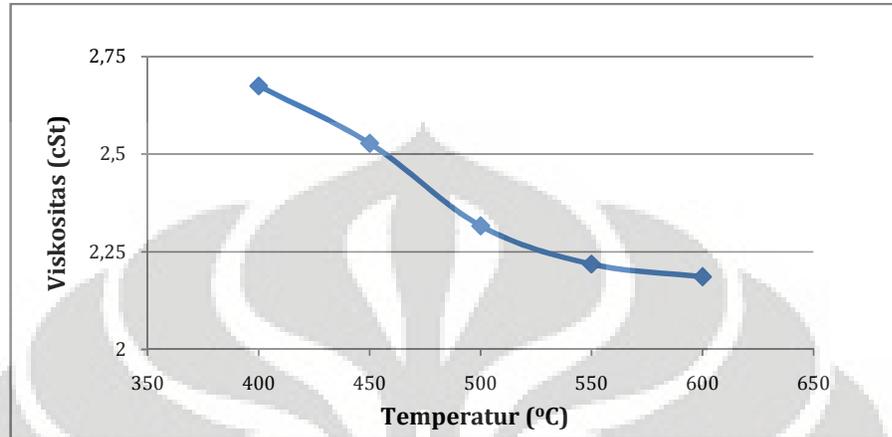
Berdasarkan gambar 4.5, densitas produk cair pirolisis untuk temperatur 400-600 °C berada pada rentang yang berdekatan, yaitu pada nilai 1011,5-1013,75 kg/m<sup>3</sup>. Nilai ini hampir mendekati densitas air yaitu 1000 kg/m<sup>3</sup> dan masih lebih besar bila dibandingkan dengan nilai densitas bahan bakar diesel yang berada pada kisaran nilai 850 kg/m<sup>3</sup>. Kedekatan nilai densitas produk cair dengan densitas air membuktikan bahwa produk cair pirolisis ini masih memiliki kandungan air.

Dari grafik diatas, dapat juga kita lihat kecendrungan nilai densitas akan menurun seiring meningkatnya temperatur dengan perbedaan yang kecil, yang menunjukkan terbentuknya senyawa yang lebih ringan (rantai pendek). Semakin tinggi suhu reaksi, reaksi perengkahan akan berlangsung semakin cepat sehingga dihasilkan pula senyawa dengan rantai molekul yang lebih pendek.

Pada hasil densitas diatas terdapat perbedaan pada densitas produk cair 450 °C yang lebih besar dibanding densitas produk cair 400 °C, tetapi dengan beda yang sangat kecil sekali yaitu 0,0001851 kg/m<sup>3</sup>. Kecendrungan bahwa densitas berbanding terbalik dengan temperatur disebabkan karena ketika temperatur lebih tinggi, densitas akan turun akibat pengaruh gaya kohesi antar molekul yang berkurang sehingga interaksi antar molekul pada temperatur tersebut akan turun pula. Hal ini menyebabkan volume produk cair tersebut akan berkurang dan berat yang didapat pada penimbangan akan lebih rendah. Namun untuk fluida cair, pengaruh temperatur tidak terlalu besar terhadap densitas zat cair tersebut. Hal ini juga yang terjadi pada nilai densitas produk cair pirolisis.

### 4.3.3 Analisis Viskositas Produk Cair

Berikut adalah gambar pengaruh temperatur terhadap viskositas dari produk cair:



**Gambar 4. 6** Viskositas produk cair pada variasi temperatur.

Gambar diatas menunjukkan pengaruh temperatur pirolisis terhadap viskositas produk cair hasil pirolisis. Viskositas menggambarkan cepat atau lambatnya cairan tersebut dapat mengalir. Dari grafik dapat kita lihat kecendrungan bahwa viskositas produk cair akan semakin kecil seiring dengan peningkatan temperatur operasi. Terjadinya penurunan nilai viskositas pada suhu yang lebih tinggi disebabkan karena terjadinya perenggangan ikatan pada molekul tersebut. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, bahwa perbedaan ini juga diakibatkan adanya perbedaan senyawa-senyawa yang dikandung oleh produk cair tersebut yang akan lebih memiliki senyawa rantai pendek pada temperatur yang lebih tinggi akibat perengkahan yang semakin banyak.

Dari penelitian ini, viskositas produk cair yang dihasilkan bernilai 2,3-3,05 cSt. Jika dibandingkan dengan *bio-oil* komersial, maka produk cair ini masih lebih kecil bila dibandingkan dengan viskositas *bio-oil* komersial yaitu 4 cSt.

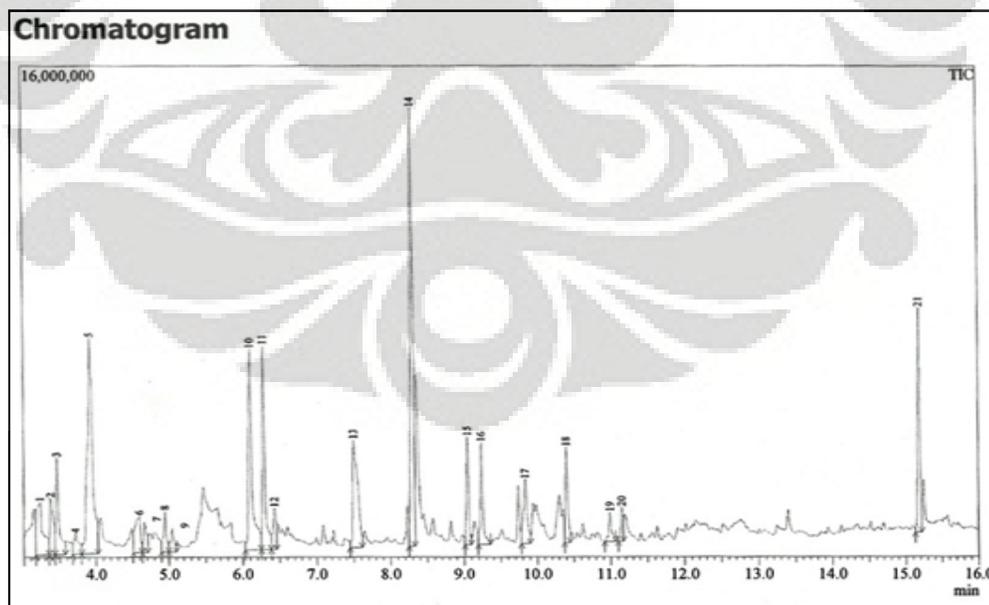
Berdasarkan analisis sifat fisik produk cair diatas (dengan melihat hasil perhitungan dan analisis densitas dan viskositasnya) dapat disimpulkan bahwa produk cair yang dihasilkan masih mengandung air. Kehadiran air ini mengindikasikan terjadinya pembentukan air selama reaksi. Reaksi pembentukan air terjadi karena pengusiran oksigen yang kurang sempurna, sehingga masih terdapat sejumlah besar gas oksigen. Keberadaan oksigen dalam jumlah besar ini

memungkinkan terjadinya reaksi pembakaran biasa yang menghasilkan air dan karbon dioksida. Akibatnya reaksi yang terjadi adalah reaksi pembakaran bukan pirolisis. Kesalahan ini terdapat pada bagian prosedur pengusiran oksigen dari dalam reaktor. Kondisi reaktor yang bebas dari oksigen tidak dapat diidentifikasi secara terukur.

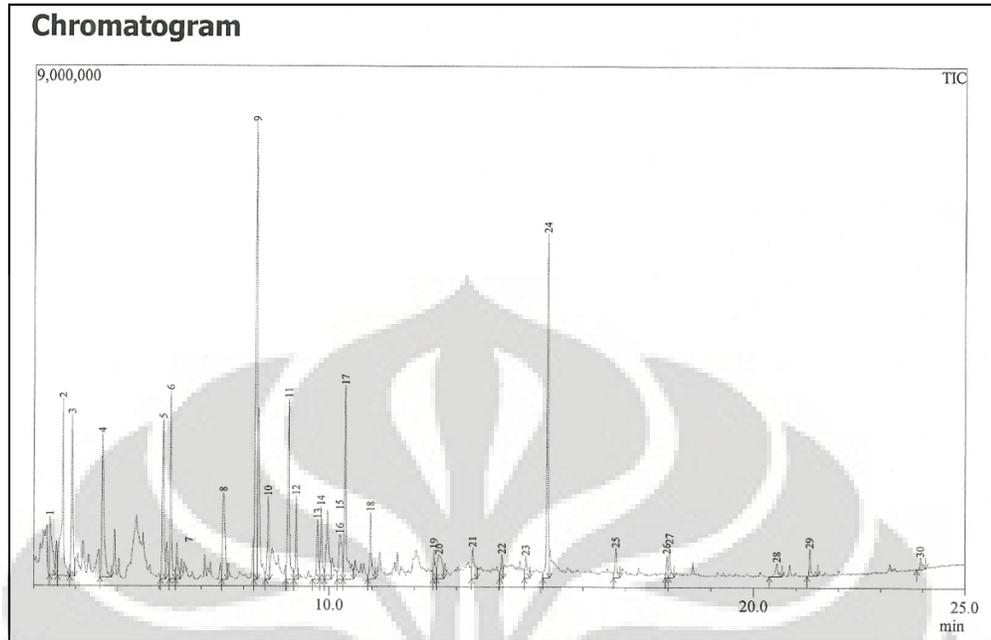
#### 4.3.4 Identifikasi Komponen Produk Cair dengan Metode GC-MS.

Pada umumnya, metode optimasi hasil pirolisis dilakukan sesuai dengan tujuan dari proses pirolisis yang dilakukan, apakah untuk menghasilkan produk cair berupa *bio oil* yang berkualitas *biofuel* (hidrokarbon non aromatik) atau senyawa aromatik. Perbedaan temperatur reaksi akan menentukan distribusi senyawa produk atau komponen produk cair sehingga juga berpengaruh terhadap reaksi yang terlibat dalam proses. Identifikasi senyawa dilakukan untuk mengetahui kualitas produk cair yang dihasilkan.

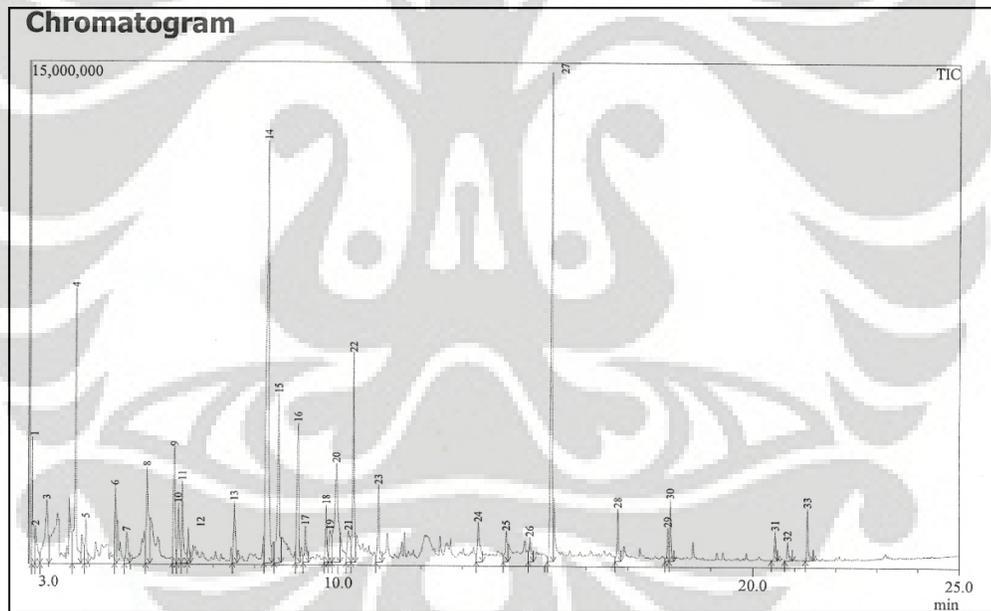
Pada penelitian ini, identifikasi produk cair dilakukan dengan menggunakan metode GC-MS. Identifikasi ini dilakukan untuk mengetahui distribusi komponen senyawa pada produk cair hasil pirolisis. Berikut adalah hasil pemecahan spectra pada GC-MS terhadap produk cair pirolisis yang ditunjukkan pada Gambar 4.7 berikut.



(a)



(b)



(c)

**Gambar 4. 7** Identifikasi senyawa produk cair dengan metode GC-MS pada temperatur (a) 400 °C ; (b) 500 °C ; (c) 600 °C.

Puncak-puncak spektra pada Gambar 4.6 diatas menunjukkan jenis-jenis komponen yang dikandung oleh cairan pirolisis. Sebagai contoh, berdasarkan gambar 4.7 (a) diatas dapat dilihat bahwa jumlah komponen yang teridentifikasi

mencapai 21 jenis komponen yang ditunjukkan dengan terbentuknya 21 *peak*. Begitu juga pada temperatur 500 °C (gambar b) yang menunjukkan 30 jenis komponen dengan terbentuknya 30 *peak*, dan 33 komponen pada temperatur 600 °C. Hasil identifikasi terhadap komponen tersebut kemudian ditabulasikan pada Tabel 4.4 ; 4.5 ; dan 4.6 berikut.

**Tabel 4. 4** Karakterisasi GC-MS produk cair pirolisis pada temperatur 400 °C

<b>Peak</b>	<b>Komponen</b>	<b>Rumus Molekul</b>	<b>% Area</b>
1	<i>Propanoic acid</i>	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> COOH	4,68
2	<i>Pyridine</i>	C <sub>5</sub> H <sub>5</sub> N	2,72
3	<i>Pyrrrol</i>	C <sub>4</sub> H <sub>4</sub> NH	3,93
4	<i>1-Hydroxy-2-butanone</i>	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	1,36
5	<i>Propanediamide</i>	C <sub>4</sub> H <sub>12</sub> N <sub>2</sub>	15,32
6	<i>Butanoic acid</i>	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	2,72
7	<i>2-methylpyridine</i>	C <sub>6</sub> H <sub>7</sub> N	1,31
8	<i>2-methylcyclopentanone</i>	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O	1,57
9	<i>3-methylcyclopentanone</i>	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O	1,03
10	<i>Butyrolactone</i>	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	9,76
11	<i>2-methyl-2-cyclopentanone</i>	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O	6,89
12	<i>Acetylfuran</i>	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	1,75
13	<i>3-methyl-2-cyclopentanone</i>	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O	7,28
14	<i>phenol</i>	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	17,17
15	<i>2-cyclopenten-1-one,2-hydroxy-3-methyl</i>	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	3,43
16	<i>2,3-dimethyl-2-cyclopentanone</i>	C <sub>7</sub> H <sub>10</sub> O	3,51
17	<i>o-methylpenone</i>	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	3,26
18	<i>guaiacol</i>	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	2,92
19	<i>3-ethyl-2-hydroxy-2-cyclopenten-1-one</i>	C <sub>7</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	1,23
20	<i>Tetrahydrofurfuryl alcohol</i>	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	1,19
21	<i>syringol</i>	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> O <sub>3</sub>	6,97

**Tabel 4. 5** Karakterisasi GC-MS produk cair pirolisis pada temperatur 500 °C

<b>Peak</b>	<b>Komponen</b>	<b>Molekul</b>	<b>% Area</b>
1	<i>Pyridine</i>	C <sub>5</sub> H <sub>5</sub> N	2,78
2	<i>1-Hydroxy-2-butanone</i>	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	7,24
3	<i>cyclopentanone</i>	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> O	4,83
4	<i>2-cyclopentanone</i>	C <sub>5</sub> H <sub>6</sub> O	5,68
5	<i>4-butyrolactone</i>	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	5,35
6	<i>2-methyl-2-cyclopentanone</i>	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O	4,66
7	<i>2-furyl methyl ketone</i>	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	1,22
8	<i>3 methyl-2-cyclopentanone</i>	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O	4,39
9	<i>phenol</i>	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O	14,91
10	<i>tetrahydro-2-furancarbinol</i>	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	2,28
11	<i>2 hydroxy-1-methylcyclopenten-3-one</i>	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	6,18
12	<i>2,3-dimethyl-2-cyclopenten-1-one</i>	C <sub>7</sub> H <sub>10</sub> O	1,98
13	<i>3,5-dimethyl cyclopentenolone</i>	C <sub>7</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	1,82
14	<i>phenol-3-methyl</i>	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O	2,35
15	<i>n-pentanal</i>	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O	3,44
16	<i>phenol 2-methyl</i>	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O	2,75
17	<i>guaiacol</i>	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	6,27
18	<i>3-ethyl-2-hydroxy-2-cyclopenten-1-one</i>	C <sub>7</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	2,28
19	<i>2-methoxy-4-methylphenol</i>	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	0,97
20	<i>1,4:3,6-dianhydro-alpha d-glucopyranose</i>	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>4</sub>	2,15
21	<i>3,7-decadien-5,6-diol, 4,7-dimethyl</i>	C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>2</sub>	1,53
22	<i>4-ethylguaiacol</i>	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	0,79
23	<i>phenol , 4-ethenyl-2-metoxy</i>	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	0,98
24	<i>syringol</i>	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> O <sub>3</sub>	8,61
25	<i>1,2,4-trimethoxybenzene</i>	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> O <sub>3</sub>	1,06
26	<i>1,4-isopoxy-3-methoxyphenyl)acetone</i>	C <sub>13</sub> H <sub>18</sub> O <sub>3</sub>	0,63
27	<i>5-tert-buthylpyrogallol</i>	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O <sub>3</sub>	0,97
28	<i>4-allyl-2,6-dimethoxyphenol</i>	C <sub>11</sub> H <sub>14</sub> O <sub>3</sub>	0,65
29	<i>desaspidinol</i>	C <sub>11</sub> H <sub>14</sub> O <sub>4</sub>	0,82
30	<i>N-(2,4,6-trimethyl-3-pyridyl) acetamide</i>	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> N <sub>2</sub> O	0,43

Tabel 4. 6 Karakterisasi GC-MS produk cair pirolisis pada temperatur 600 °C

Peak	Komponen	Molekul	% Area
1	<i>Acetylcarbinol</i>	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	2,00
2	<i>2,3-pentanedione</i>	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	1,39
3	<i>3-hydroxy-2-butanone</i>	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	3,98
4	<i>1-hydroxy-2-butanone</i>	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	6,95
5	<i>cyclopentanone</i>	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> O	1,22
6	<i>2-cyclopentanone</i>	C <sub>5</sub> H <sub>6</sub> O	1,91
7	<i>Butanoic acid</i>	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>3</sub>	1,20
8	<i>acetoxycetone</i>	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	3,49
9	<i>4-butyrolactone</i>	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	3,43
10	<i>4-hydroxy-3-hexanone</i>	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	1,85
11	<i>2-methyl-2-cyclopentanone</i>	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O	2,11
12	<i>2-furyl methyl ketone</i>	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	0,84
13	<i>3 methyl-2-cyclopentanone</i>	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O	1,86
14	<i>phenol</i>	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O	17,53
15	<i>tetrahydro-2-furancarbinol</i>	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	5,68
16	<i>corylone</i>	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	4,09
17	<i>2,3-dimethyl-2-cyclopenten-1-one</i>	C <sub>7</sub> H <sub>10</sub> O	1,12
18	<i>3,5-dimethyl cyclopentenolone</i>	C <sub>7</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	1,28
19	<i>phenol-2-methyl</i>	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O	1,27
20	<i>n-pentanal</i>	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O	6,11
21	<i>phenol 3-methyl</i>	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O	1,61
22	<i>guaiacol</i>	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	5,11
23	<i>3-ethyl-2-hydroxy-2-cyclopenten-1-one</i>	C <sub>7</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	2,06
24	<i>3,7-decadiene-5,6-diol,4,7-dimethyl</i>	C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>2</sub>	1,63
25	<i>4-ethylguaiacol</i>	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	1,12
26	<i>phenol , 4-ethenyl-2-metoxy</i>	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	0,95
27	<i>syringol</i>	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> O <sub>3</sub>	12,49
28	<i>1,2,4-trimethoxybenzene</i>	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> O <sub>3</sub>	1,35
29	<i>1,4-isopoxy-3-methoxyphenyl)acetone</i>	C <sub>13</sub> H <sub>18</sub> O <sub>3</sub>	0,80
30	<i>5-tert-buthylpyrogallol</i>	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> O <sub>3</sub>	1,30
31	<i>4-allyl-2,6-dimethoxyphenol</i>	C <sub>11</sub> H <sub>14</sub> O <sub>3</sub>	0,65
32	<i>acetosyringone</i>	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>4</sub>	0,47
33	<i>desaspidinol</i>	C <sub>11</sub> H <sub>14</sub> O <sub>4</sub>	1,15

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa komponen utama cairan produk pirolisis adalah fenol, senyawa asam, senyawa oksigenat, dan beberapa senyawa aromatik. Fenol dan turunannya adalah senyawa dengan komposisi paling besar. Kehadiran senyawa fenol ini dapat meningkatkan kemampuan terbakar produk cair, tetapi oleh karena produk cair ini masih memiliki kandungan air dan senyawa oksigenat yang tinggi maka pembakaran produk cair ini masih tergolong lama. Kehadiran senyawa asam mengakibatkan pH produk cair akan berada pada rentang 2-4. Kehadiran senyawa asam ini juga mengakibatkan produk cair bersifat korosif pada banyak logam kecuali pada *stainless steel*.

Komponen perengkahan diatas merupakan hasil penguraian dari:

- (i) hemiselulosa terdegradasi pada 200-260 °C,
- (ii) selulosa pada 240-350 °C, dan
- (iii) lignin terdegradasi pada 280-600 °C (Sjostrom, 1998).

Kehadiran senyawa aromatik dan furan berasal dari degradasi tekstur biopolimer umpan seperti selulosa dan hemiselulosa. Sementara itu, degradasi senyawa lignin diidentifikasi dengan adanya senyawa fenol dan turunannya. Berikut adalah tabel hasil perengkahan dari masing-masing kandungan biopolimernya pada temperatur 400 °C.

**Tabel 4. 7** Hasil perengkahan kandungan biopolimer umpan pada temperatur 400 °C

Hasil Perengkahan Selulosa	Hasil Perengkahan Hemiselulosa	Hasil Perengkahan Lignin
<i>1-Hydroxy-2-butanone</i>	<i>Propanoic acid</i>	<i>Pyridine</i>
<i>2-methylcyclopentanone</i>	<i>Butanoic acid</i>	<i>Pyrrrol</i>
<i>3-methylcyclopentanone</i>	<i>Acetylfuran</i>	<i>Propanediamide</i>
<i>Butyrolactone</i>	<i>Tetrahydrofurfuryl alcohol</i>	<i>2-methylpyridine</i>
<i>2-methyl-2-cyclopentanone</i>		<i>Phenol</i>
<i>3-methyl-2-cyclopentanone</i>		<i>guaiacol</i>
<i>2-cyclopenten-1-one, 2-hydroxy-3-methyl</i>		<i>syringol</i>
<i>2,3-dimethyl-2-cyclopentanone</i>		
<i>o-methylpenone</i>		
<i>3-ethyl-2-hydroxy-2-cyclopenten-1-one</i>		

Berdasarkan tabulasi tabel perengkahan dan data hasil analisis GC-MS pada temperatur dapat dilihat juga persentase jumlah produk cair berdasarkan hasil perengkahan masing-masing biopolimer. Berikut adalah tabel persentase produk cair berdasarkan perengkahan biopolimer.

**Tabel 4. 8** Tabel persentase perengkahan kandungan biopolimer pada produk cair pirolisis

<b>Komponen</b>	<b>400 °C</b>	<b>500 °C</b>	<b>600 °C</b>
% Selulosa	54,64	46,26	39,73
% Hemiselulosa	10,34	10,65	10,06
% Lignin	35,02	43,09	50,18

Dari tabel 4.8 diatas dapat kita lihat bahwa semakin tinggi suhu operasi maka produk yang lebih dominan dihasilkan berasal dari proses perengkahan lignin. Seperti telah dijelaskan diatas bahwa lignin adalah kandungan biopolimer biomassa yang paling kuat ikatannya dan akan mengalami perengkahan pada suhu 350-600 °C. Semakin tinggi suhu yang digunakan dan semakin lama waktu operasi perengkahan maka lignin akan semakin banyak menghasilkan produknya berupa senyawa fenol dan turunannya. Hal ini disebabkan juga karena kandungan biopolimer lignin yang cukup tinggi pada umpan, yaitu 29,42 %. Untuk selulosa yang merupakan kandungan biopolimer umpan paling banyak (36,82%), hasil perengkahannya juga tinggi untuk menghasilkan senyawa oksigenat pada produk cair pirolisis.

Berdasarkan tabel tabulasi kandungan senyawa pada produk cair, dapat juga digunakan untuk melihat nilai densitas dan viskositas produk cair pada temperatur operasi tersebut. Dengan melakukan perhitungan densitas pada masing-masing komponen didapatkan nilai densitas:

- produk cair temperatur 400 °C : 1,005 gr/cm<sup>3</sup>
- produk cair temperatur 500 °C : 1,033 gr/cm<sup>3</sup>
- produk cair temperatur 600 °C : 1,030 gr/cm<sup>3</sup>

Dari perhitungan diatas terdapat perbedaan kecendrungan dari yang diharapkan. Perbedaan tersebut adalah berupa densitas produk cair pada

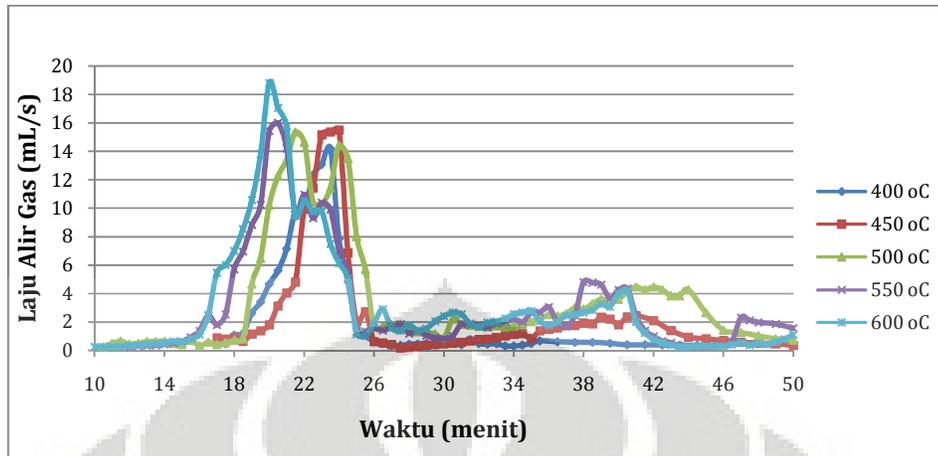
temperatur 400 °C yang lebih rendah dibandingkan densitas produk cair pada temperatur 500 dan 600 °C. Berdasarkan literatur seharusnya didapatkan densitas produk cair akan memiliki kecenderungan berkurang dengan naiknya temperatur. Dari tabulasi diatas diketahui bahwa komponen yang didapatkan pada temperatur 400 °C memiliki jumlah komponen terdeteksi yang jauh lebih sedikit dibandingkan komponen terdeteksi pada suhu 500 dan 600 °C. Tingginya densitas pada suhu 500 dan 600 °C disebabkan karena produk cair pada temperatur tersebut mengandung senyawa rantai panjang yang lebih banyak dibandingkan dengan produk cair temperatur 400 °C.

Sementara itu untuk perhitungan viskositas dengan memperhitungkan data komponen tidak dapat dilaksanakan karena keterbatasan data viskositas masing-masing komponen produk cair tersebut. Namun, berdasarkan persebaran komponen senyawa yang terkandung pada masing-masing sampel menunjukkan bahwa viskositas pada suhu 500 dan 600 °C akan lebih tinggi dibandingkan viskositas pada temperatur 400 °C. Kecenderungan ini sama dengan hasil analisis densitas yang dipengaruhi oleh keberadaan senyawa dengan berat molekul yang lebih besar (rantai karbon lebih panjang).

#### **4.4 Analisis Produk Gas Pirolisis**

Reaksi pirolisis juga menghasilkan produk berupa gas. Selama pembentukan *char*, gas utama yang terbentuk berjumlah sangat kecil (kurang dari 5% berat umpan kering). Gas tersebut mengandung CO<sub>2</sub>, CO, hidrokarbon (CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), dan H<sub>2</sub> (Diebold, 1999). Selama reaksi berlangsung, sebagian uap organik terpecah menjadi gas sekunder, yang mengandung CO<sub>2</sub>, CO, hidrokarbon, dan H<sub>2</sub>. Jadi produk gas dapat dianggap campuran gas utama dan gas sekunder.

Dalam penelitian ini dilakukan perhitungan jumlah gas yang dihasilkan pada variasi tertentu. Dalam perhitungannya, didapatkan data dalam bentuk laju alir gas pada temperatur tertentu terhadap perubahan waktu. Berikut adalah gambar yang menunjukkan perubahan laju alir gas terhadap waktu.



**Gambar 4.8** Grafik laju alir gas terhadap perubahan waktu.

Berdasarkan gambar diatas kita dapat menghitung jumlah volume gas yang dihasilkan pada temperatur tertentu. Perhitungan jumlah gas dilakukan dengan menggunakan asumsi gas ideal yang beroperasi pada tekanan 1 atm dan temperatur 25 °C. Perhitungan tersebut terdapat dalam lampiran, dan hasil perhitungannya ditampilkan dalam Tabel 4.9 dan 4.10 berikut.

**Tabel 4. 9** Jumlah massa gas yang dihasilkan pada variasi temperatur

Temperatur (°C)	Massa Gas Hasil Perhitungan (gr)	Massa Gas Neraca Massa (gr)	Akurasi Perhitungan (%)
400	5,86879	12,2418	47,941
450	5,759365	11,3629	50,686
500	7,389919	12,0181	61,490
550	6,972646	13,4598	51,803
600	8,052186	17,073	47,163

**Tabel 4. 10** Jumlah massa gas yang dihasilkan pada variasi ukuran partikel

Ukuran Partikel (mm)	Massa Gas Hasil Perhitungan (gr)	Massa Gas Neraca Massa (gr)	Akurasi Perhitungan (%)
0,1-1	7,136091	12,6658	56,34141
1-2	6,626286	8,79350	75,35436
2-3	6,167407	8,2987	74,31775
3-4	5,959345	7,3646	80,91879
4-5	5,088658	5,9629	85,33865

Berdasarkan tabel diatas, dapat terlihat bahwa terjadi perbedaan jumlah gas antara hasil perhitungan asumsi gas ideal dengan perhitungan neraca massa penelitian. Hal ini terjadi karena ketidakakuratan dan tidak dapat sepenuhnya dilakukan perhitungan dan pengambilan data terhadap laju alir gas pada rentang waktu penelitian. Selain itu juga, perbedaan ini disebabkan oleh masih adanya gas yang terperangkap di dalam peralatan utama penelitian, terutama sekali pada reaktor dalam jumlah yang relatif banyak. Hal ini terlihat secara visual ketika setelah selesai melakukan satu kali proses pirolisis dan bermaksud ingin melakukan penimbangan reaktor, ketika reaktor ingin dipisahkan dari *furnace* masih terlihat gas hasil pemanasan proses pirolisis.

#### 4.5 Perbandingan Karakteristik Produk Cair Pirolisis dengan Minyak Diesel

Setelah dilakukan perhitungan sifat fisik terhadap produk cair hasil pirolisis, maka hasilnya dibandingkan dengan karakteristik minyak diesel dengan harapan bisa atau tidaknya produk cair pirolisis dijadikan sebagai pengganti bahan bakar diesel. Perbandingan tersebut ditampilkan pada Tabel 4.11 berikut.

Tabel 4. 11 Perbandingan karakteristik minyak diesel dengan produk cair hasil pirolisis

Karakteristik	Diesel	Produk Cair Pirolisis
Viskositas (cSt)	4	2,04-3,04
Ph	5	4
Densitas (kg/m <sup>3</sup> )	850	1012-1014

Berdasarkan tabel beberapa sifat dasar tersebut, terlihat adanya perbedaan antara karakteristik minyak diesel dengan produk cair pirolisis. Hal ini mengindikasikan bahwa produk cair pirolisis masih memiliki kekurangan dan belum bisa dijadikan sebagai pengganti bahan bakar minyak diesel.

Disamping itu, berdasarkan analisis gravimetri yang dilakukan didapatkan bahwa produk cair pirolisis mengandung

air dalam jumlah 15%. Untuk menghilangkan kandungan air tersebut dilakukanlah pemanasan dengan menggunakan oven pada suhu 100 °C. Hasil pemanasan ini masih memiliki kesukaran produk cair tersebut untuk terbakar.

Jika dilihat dari hasil analisis komponen menunjukkan bahwa produk cair hasil pirolisis didominasi oleh senyawa  $C_5-C_{10}$  yang mencapai 70-80%. Hal ini tidak seiring dengan komponen penyusun diesel/solar yang didominasi senyawa  $C_{16}-C_{20}$ . Produk cair pirolisis berdasarkan komponen penyusunnya lebih mengarah ke spesifikasi komponen kerosin. Namun, produk cair pirolisis masih belum memiliki daya bakar yang tinggi seperti yang dibutuhkan untuk dijadikan sebagai bahan bakar.

Dalam aplikasi penggunaan produk cair ini sebagai bahan bakar adalah dengan cara mencampurkan produk cair dengan etanol 20%. Disamping itu juga, produk cair ini dapat digunakan sebagai binder biobriket untuk menahan agar briket dapat tahan lama ketika terbakar (tidak dapat cepat menjadi abu). Hal ini disebabkan karena senyawa yang terdapat di produk cair pirolisis mempunyai kemampuan untuk menahan interaksi air ke dalamnya. Caranya adalah dengan mencampurkan 10% berat produk cair pirolisis terhadap bahan baku biomassa pembuatan biobriket.

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian ini di antaranya adalah:

1. Proses pirolisis akan menghasilkan konversi produk cair maksimum pada kondisi temperatur 500 °C dan ukuran partikel 0,1-1 mm.
2. Produk cair pirolisis memiliki nilai densitas pada rentang 1011-1013 gram/mL dan viskositas 2,2-2,7 est.
3. Komponen penyusun utama produk cair berdasarkan analisis metode GC-MS adalah phenol dengan komposisi 17,17% pada temperatur 400 °C ; 14,91% pada temperatur 500 °C ; dan 17,53% pada temperatur 600 °C .
4. Produk cair pirolisis memiliki kecenderungan susah terbakar karena memiliki kadar air dan senyawa oksigenat yang tinggi.
5. Produk cair hasil pirolisis memiliki karakteristik mendekati karakteristik bahan bakar kerosin tetapi belum dapat digunakan sebagai bahan bakar pengganti bahan bakar fosil.

#### **5.2 Saran**

Saran yang dapat diberikan untuk meningkatkan perolehan penelitian ini adalah:

1. Menggunakan pirolisis cepat dengan memakai reaktor *fluidized bed* yang memiliki kemampuan penyebaran panas merata ketika pemanasan.
2. Reaktor sebaiknya dilengkapi oleh *gas carrier* yang berfungsi untuk pengusiran gas oksigen sehingga terbentuknya senyawa oksigenat pada produk cair dapat dikurangi.
3. Menggunakan laju pemanasan yang tinggi untuk mendapatkan produk cair yang lebih tinggi konversinya dan kualitas produk yang lebih baik.
4. Memakai katalis agar reaksi dapat diarahkan menuju komponen penyusun bahan bakar tertentu.

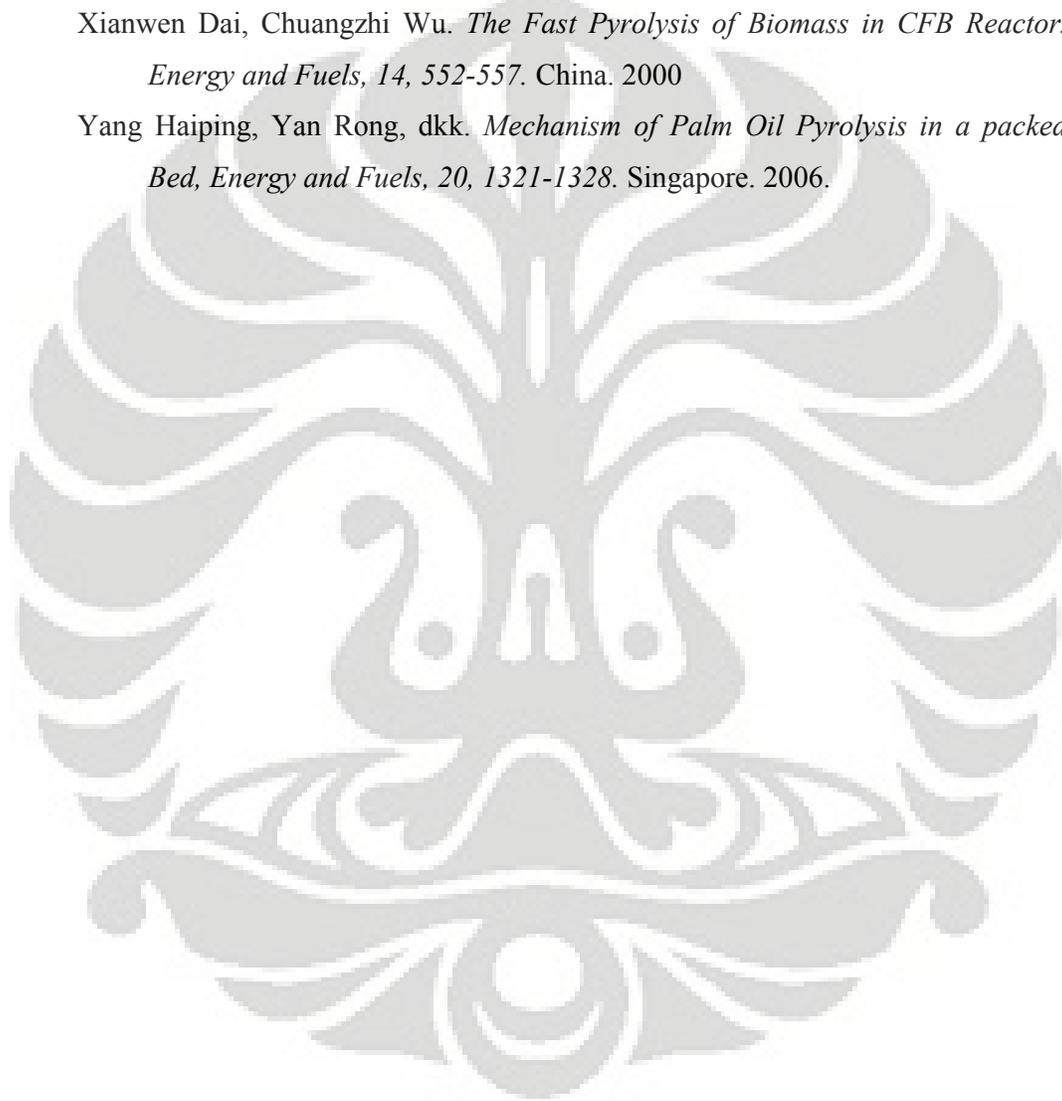
## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, Kamarudin. *Biomass Energy Potentials and Utilization in Indonesia*. Bogor. 2002
- Abdullah N, Gerhauser H, Bridgwater AV,. *Bio-Oil from Fast Pyrolysis of Oil Palm Empty Fruit Bunches*. *Journal of Physical Science*, Vol. 18(1), 57–74. Aston University, Birmingham. 2007.
- Anonim. Potensi Biomassa Lignoselulosa di Indonesia sebagai Bahan Baku Bioetanol:TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT. Dirjen Perkebunan, Jakarta. 2009
- Anonim. *Dynamotive Technologies Corporation. Biotherm™: A System for Continuous Quality, Fast Pyrolysis Bio-oil*. Canada. 2002.
- Anonim. *The Australian Energy Website, What is Biomass*, <http://www.acre.murdoch.edu.au>. Diakses 12 Maret 2009
- Anonim. *Potensi Energi Baru Terbarukan (EBT) Indonesia*. Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta. 2009.
- Arif Siregar, Fahri. *Tinjauan Fungsi Fisik Aplikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit*. [dedidoank.files.wordpress.com/tinjauan-fungsi-fisik-aplikasi-tandan-kosong-kelapa-sawit.doc/](http://dedidoank.files.wordpress.com/tinjauan-fungsi-fisik-aplikasi-tandan-kosong-kelapa-sawit.doc/). Diakses 15 Maret 2009.
- Azri Sukiran Muhammad, Mee Chin Chow, Kartini Abu Bakar Nor. *Bio-oils from Pyrolysis of Oil Palm Empty Fruit Bunches*. *American Journal of Applied Sciences* 6 (5): 869-875. University of Malaya, Selangor. Malaysia. 2009.
- Balat, M. *Mechanisms of Thermochemical Biomass Conversion Processes. Part I: Reactions of Pyrolysis*. University Mah, Trabzon, Turkey. 2008
- Bridgwater, AV. *Biomass Fast Pyrolysis. Thermal Science: Vol. 8 No. 2, pp. 21-49*. Aston University, Birmingham. 2004.
- Bridgwater, AV. *Thermal Conversion of Biomass and Waste: the Status*, Aston University, Birmingham. 1999.
- Budiono, Chayun. *Utilization of Biomass Wastes of Wood Based Industry*. [www.adb.org/Clean-Energy/.../INO-FS-Biomass-Wastes-Woodwaste.pdf/](http://www.adb.org/Clean-Energy/.../INO-FS-Biomass-Wastes-Woodwaste.pdf/). Diakses tanggal 26 April 2009

- Carlson R Torren, Vispute P Tuschar, Huber George. *Green Gasoline by Catalytic Fast Pyrolysis of Solid Biomass Derived Compounds*. *ChemSusChem* 2008, vol. 1, no. 5, pp. 397–400. Department of Chemical Engineering, University of Massachusetts, USA. 2008.
- Czernick, Stefan. *Review of Fast Pyrolysis of Biomass*, National Renewable Energy Laboratory. Golden, USA. 2002.
- Deraman M, Pauzi Ismail M, MD Said Ma'zam. *Young's modulus of carbon from a mixture of oil palm bunches and latex*. *Journal of Materials Science Letters* 14, 781-782. Universiti Kebangsaan Malaysia, Malaysia. 1995.
- Garcia, Manuel-Perez. *The Formation of Polyaromatic Hydrocarbons and Dioxins During Pyrolysis: A Review of the Literature with Descriptions of Biomass Composition, Fast Pyrolysis Technologies and Thermochemical Reactions*. Washington State University, USA. 2008.
- Hidayat Yuniawan, dkk. *Pengolahan Sekam Padi menjadi Bahan Bakar Alternatif melalui Proses Pirolisis Lambat*. Surakarta. 2009
- Huber, George. *Breaking the Chemical and Engineering Barriers to Lignocellulosic Biofuels: Next Generation Hydrocarbon Biorefineries*. USA. 2007
- Islam, Mohamad Rofiqul, dkk. *Fixed Bed Pyrolysis of Sugarcane Bagasse for Liquid Fuel Production*. Bangladesh. 2003.
- Kamulyan, Budi. *Pemanfaatan produk Samping dari Distilasi Tar-Asap Cair sebagai Bahan Bakar Pengganti Kerosin*. Malang. 2008.
- Khor, K.H, dkk. *Characterization of Bio Oil: A Bio Product from Slow Pyrolysis of Oil Palm Empty Fruit Bunches*. *American Journal of Applied Sciences* 6 (9): 1647-1652. Penang, Malaysia. 2009
- Kwei-Nam Law, Xingfen Jiang. *Comparative Papermaking Properties of Oil Palm Empty Fruit Bunches*. University of Quebec, Trois-Rivières. 2001.
- Li Jianfen, Yan Rong. *Influence of Temperatur on the Formation of Oil from Pyrolyzing Palm Oil wastes in a Fixed bed reactor*, *Energy and Fuels journal*. USA. 2007
- Mahajoeno, Edwi. *ENERGI ALTERNATIF PENGGANTI BBM: Potensi Limbah Biomassa Sawit sebagai Sumber Energi Terbarukan*, Jakarta. 2005.

- Marasabessy, Ismael. *Produksi Asap Cair dari Limbah Pertanian dan Penggunaannya dalam Pembuatan Ikan Tongkol Asap*. Institut Pertanian Bogor. 2007
- Murlen, Charless, dkk. *Chemical Composition of Bio-Oils Produced by Fast Pyrolysis of Two Energy Crops*. *Journal Energy and Fuels*, 22, 2104-2109. Pennsylvania, USA. 2008
- Natarajan E, Sundaram Ganapathy. *Pyrolysis of Rice Husk in a Fixed Bed Reactor*, *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 56. 2009
- Nugroho Agung Pambudi. Energi Berkelanjutan itu bernama Biomassa. <http://netsains.com/2008/04/energi-berkelanjutan-itu-bernama-biomassa-2>. Diakses 12 Maret 2009.
- Prins, Walter. *Opportunities for the (petro) chemical industry*. Biomass Technology Group, USA. 2009.
- Prof. Dr. Ir. Bambang Pramudono, M.S. "Jurnal CSICI, No. 10/2009. Petro Strategy Menuju Visi Indonesia 2030". <http://dirgopurbo.blogspot.com/>. Diakses 20 Maret 2009.
- Ratih Asthary. *Biomass to Liquid (BTL)*. <http://majarimagazine.com/2008/05/biomass-to-liquid-btl/>. Diakses 19 Maret 2009.
- Sumarni, Purwanti Ani. Kinetika Reaksi Pirolisis Plastik *Low Density Polyethylene* (LDPE), *Jurnal Teknologi*, Volume 1 Nomor 2, Halaman 135-140. Yogyakarta. 2008.
- Sukiran, Mohamad Azri, dkk. *Optimization of Pyrolysis of Oil Palm Empty Fruit Bunches*, *Journal of Oil Palm Research Vol. 21 p. 653-658*. Malaysia. 2009
- Sukiran, Mohamad Azri, dkk. *Bio Oils from Pyrolysis of Oil Palm Empty Fruit Bunches*. *American Journal of Applied Sciences* 6 (5): 869-875. Selangor, Malaysia. 2009
- Suyitno, dkk. *Pengolahan Sekam Padi menjadi Bahan Bakar Alternatif Melalui Proses Pirolisis Lambat*. Semarang. 2008.
- Twidell, J. *Biomass Energy, Renewable Energy World*, vol. 1, no.3, pp. 38-39. USA. 1998

- Vigourox, Rolando Zanzi. *Dissertation Pyrolysis of Biomass, Department of Chemical Engineering and Technology Chemical Technology*. Royal Institute of Technology, USA. 2001.
- Wampler, Thomas. *Applied Pyrolysis Handbook, Second Edition*. USA. 2007
- Westerhof Roel, Kuipers Norbert. *Controlling the Water of Biomass fast Pyrolysis Oil, Industrial and engineering Chemistry Research*. USA. 2009
- Xianwen Dai, Chuangzhi Wu. *The Fast Pyrolysis of Biomass in CFB Reactor. Energy and Fuels, 14, 552-557*. China. 2000
- Yang Haiping, Yan Rong, dkk. *Mechanism of Palm Oil Pyrolysis in a packed Bed, Energy and Fuels, 20, 1321-1328*. Singapore. 2006.



## LAMPIRAN

### LAMPIRAN 1

#### PENGOLAHAN DATA DENSITAS DAN VISKOSITAS PRODUK CAIR

Pada bab ini akan ditampilkan seluruh data-data yang diperoleh selama percobaan serta cara pengolahan data tersebut.

##### 1.1 Perhitungan Densitas Produk Cair

Kondisi Produk Cair	Massa Piknometer Kosong (gr)	Massa Piknometer berisi Air Aquades (gr)	Massa Piknometer berisi Produk Cair (gr)	Volume Piknometer (mL)	Densitas Produk Cair (gr/mL)
400 °C	15,2775	25,3700	25,5289	10,12507	1,013464
450 °C	15,2794	25,3734	25,5442	10,12658	1,011365
500 °C	15,2860	25,3680	25,5110	10,11454	1,012898
550 °C	15,3033	25,3274	25,5318	10,1032	1,012402
600 °C	15,3190	25,3837	25,5033	10,1027	1,011591

##### Contoh Data Kalibrasi Piknometer dan Perhitungan Densitas

Massa piknometer kosong : 15,2775 gr

Massa piknometer berisi aqua dm : 25,37 gr

Densitas air pada suhu 260C : 0,99678 gr/ml

Massa air dalam piknometer :  $25,37 - 15,2775 = 10,0925$  gr

Volume piknometer :  $\frac{10,0925}{0,99678} = 10,1251$  mL.

Persamaan kalibrasi untuk piknometer adalah:

$$= \frac{m - m_0}{\rho_{air} \cdot V}$$

Sehingga densitas cairan tersebut adalah:

$$= \frac{25,5289 - 15,2775}{10,1251} = 1,013464 \quad /$$

## 1.2 Perhitungan Viskositas Produk Cair

Jenis	t <sub>1</sub> (s)	t <sub>2</sub> (s)	t <sub>3</sub> (s)	t rata-rata (s)	C viskometer	Viskositas (μ)
400 °C	165	163	164	164	0,01631	2,67484
450 °C	156	155	155	155	0,01631	2,52805
500 °C	144	140	142	142	0,01631	2,31602
550 °C	138	137	133	136	0,01631	2,21816
600 °C	135	132	135	134	0,01631	2,18554

Perhitungan viskositas:  $\mu =$

Contoh Perhitungan:

Untuk produk cair kondisi operasi 400 °C, memiliki viskositas:

$\mu =$

$$\mu = 0,01631 \quad 164 = 2,67484$$

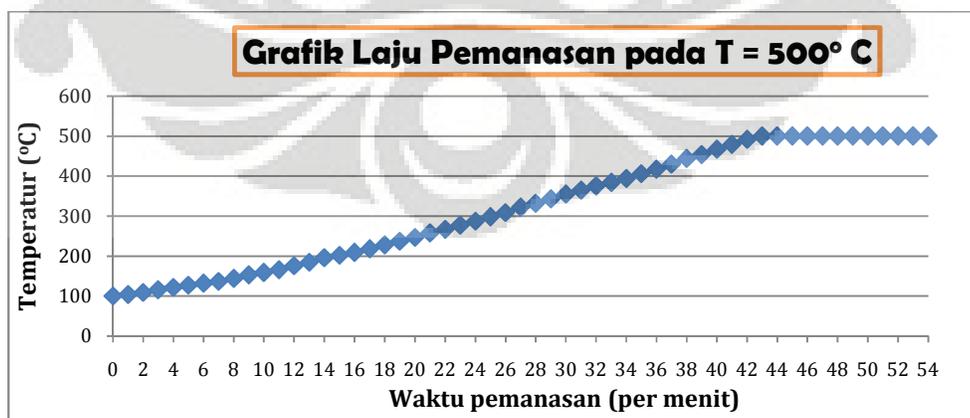
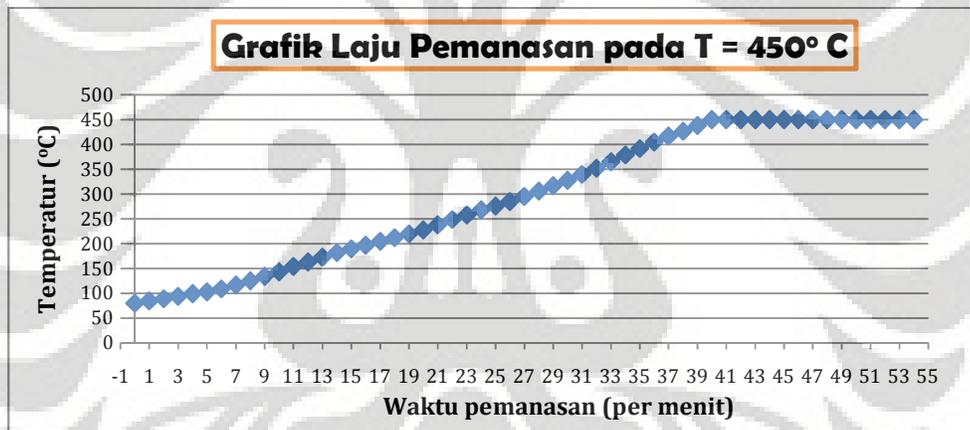
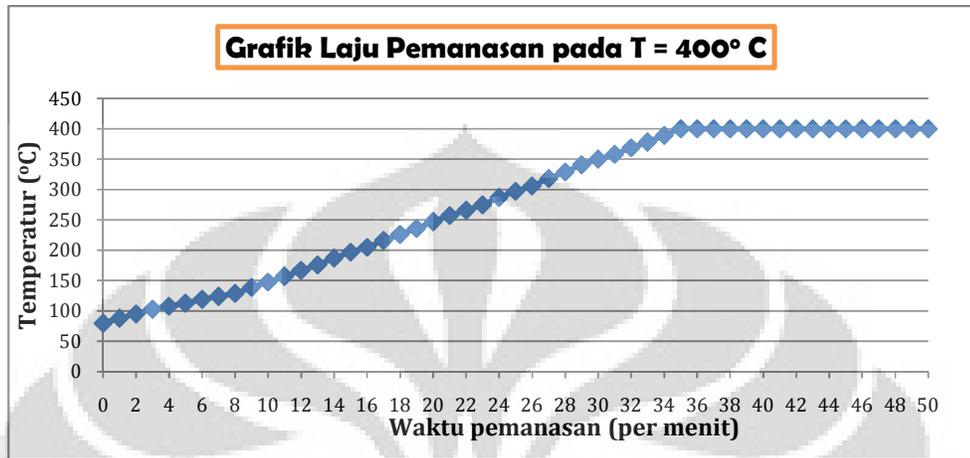
Tabel Persentase yield pirolisis pada variasi temperatur

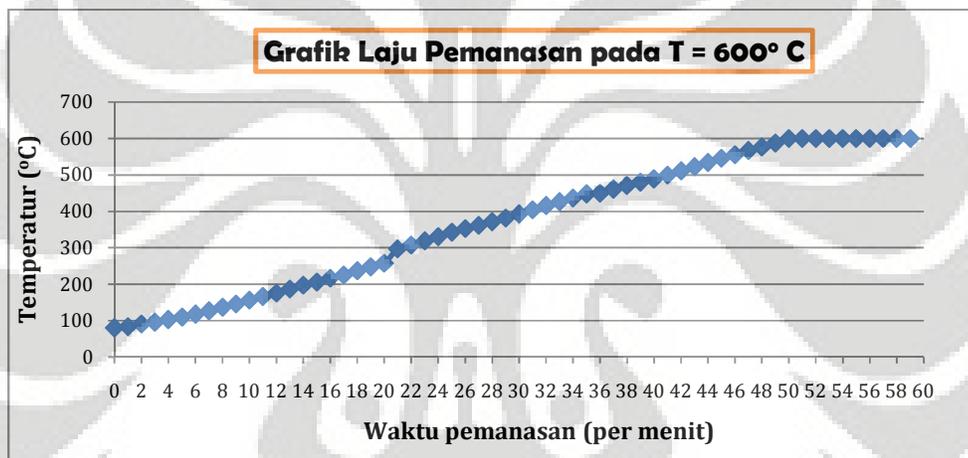
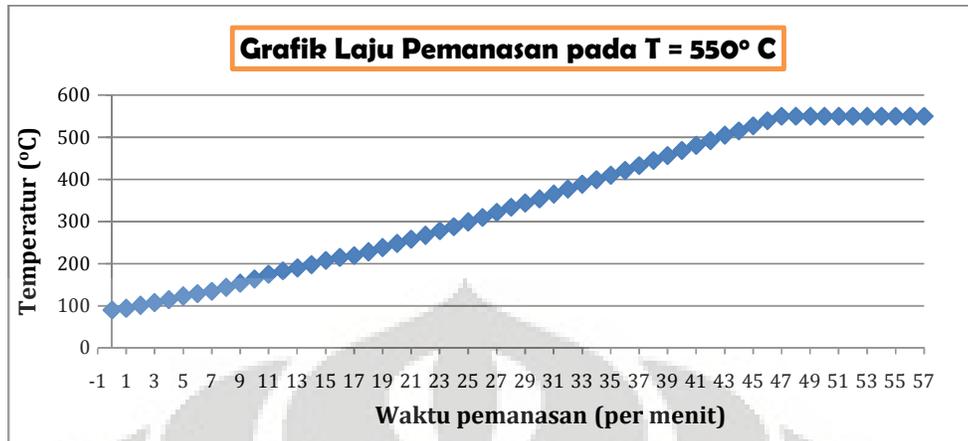
Ukuran Partikel: 0,1-1 mm			
T (°C)	% Yield		
	Cair	Padat	Cair
400	37,45523	40,98677	21,55801
450	41,86624	35,25789	22,87587
500	42,0531	34,41439	23,53251
550	40,96824	32,46439	26,56737
600	36,15511	29,83256	34,01233

Tabel Persentase yield pirolisis pada variasi ukuran partikel

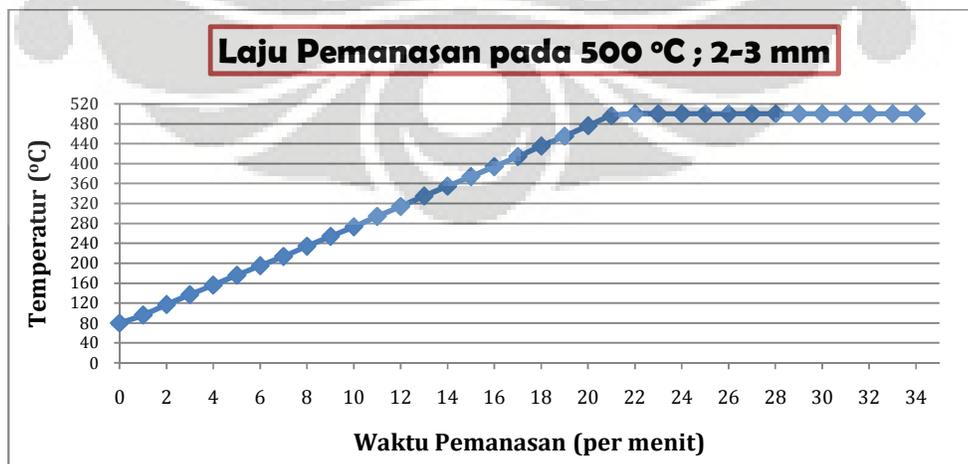
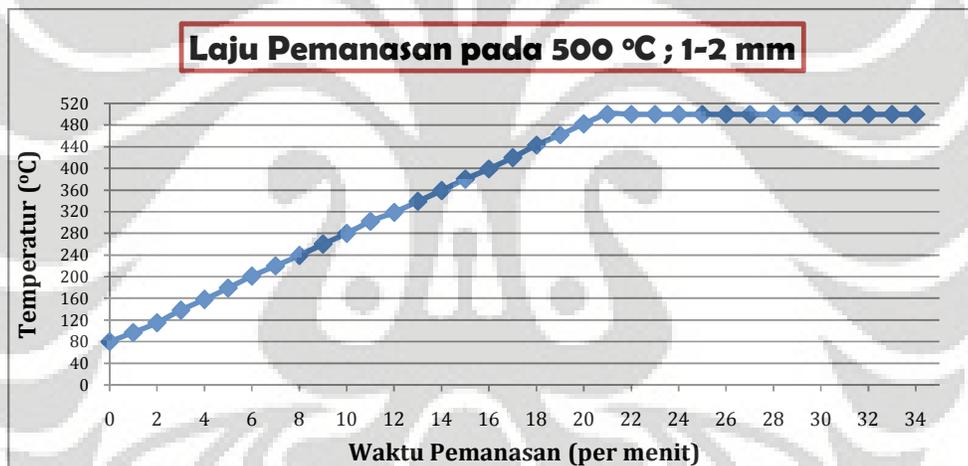
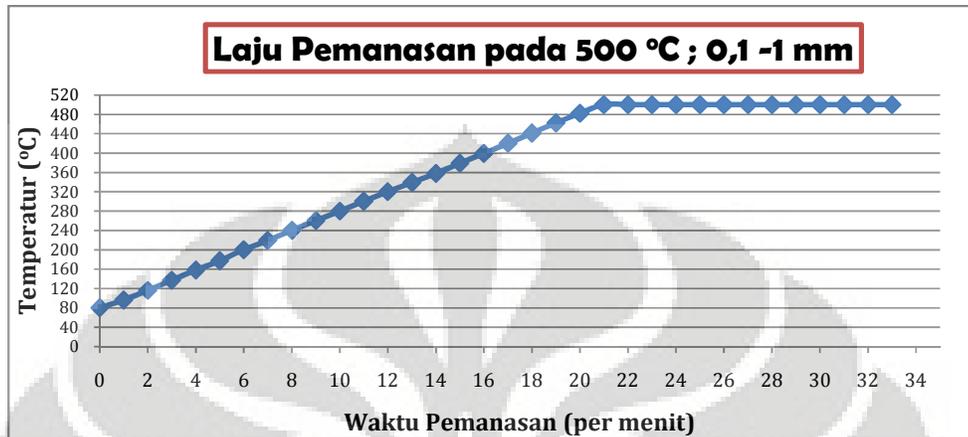
Temperatur 500 °C			
Ukuran Partikel	% Yield		
	Cair	Padat	Gas
0,1-1 mm	45,46932	29,3083	25,22239
1-2 mm	45,20282	29,90545	24,89173
2-3mm	44,36617	28,90229	26,73154
3-4 mm	42,4619	34,05307	23,48503
4-5 mm	41,04807	36,30376	22,64817

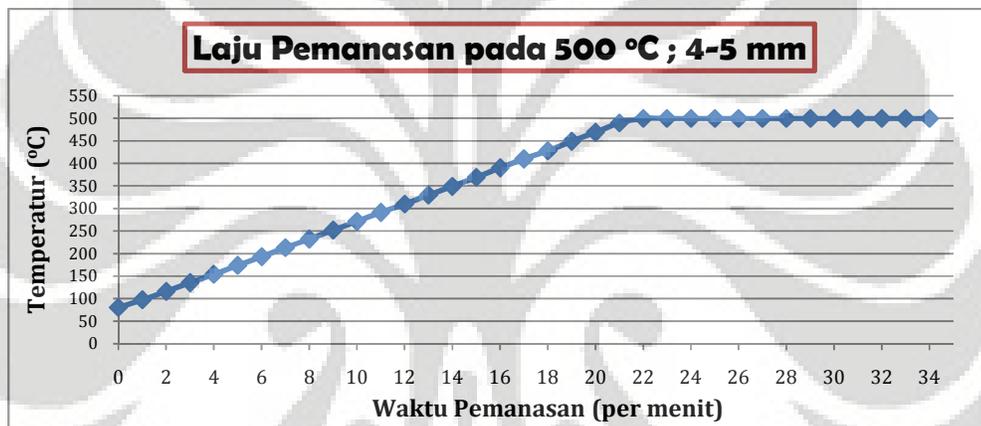
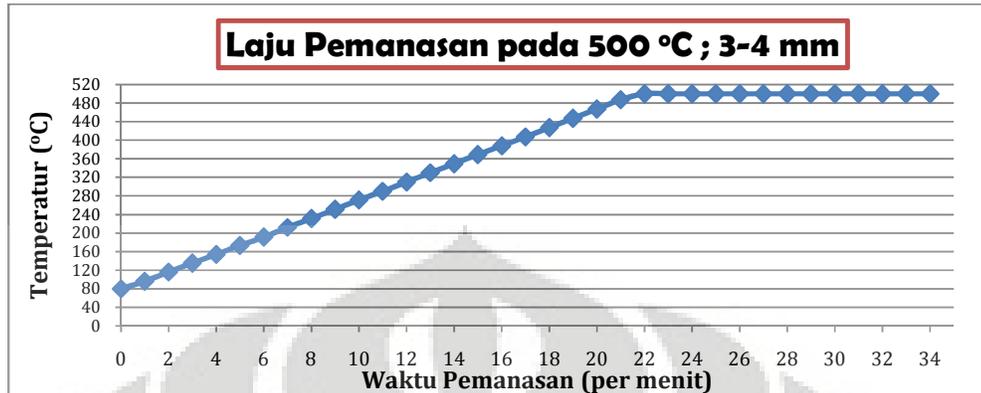
**LAMPIRAN 2**  
**LAJU PEMANASAN PADA VARIASI TEMPERATUR**



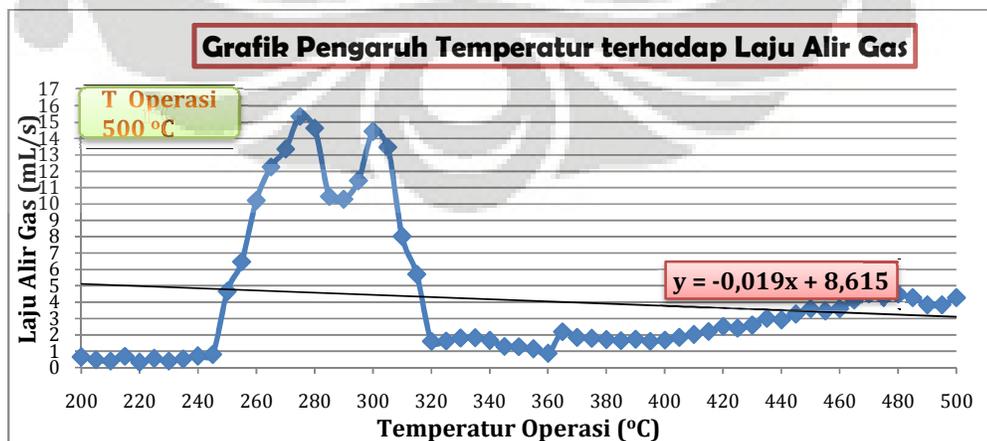
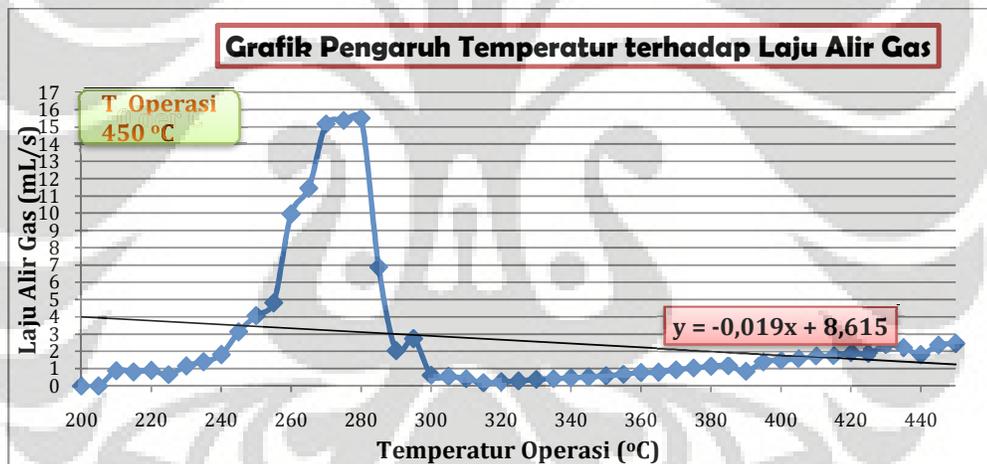
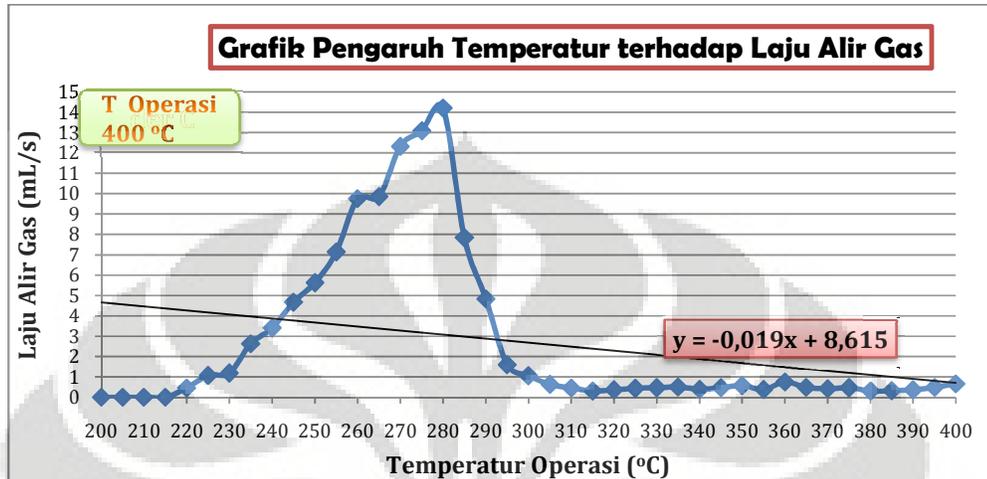


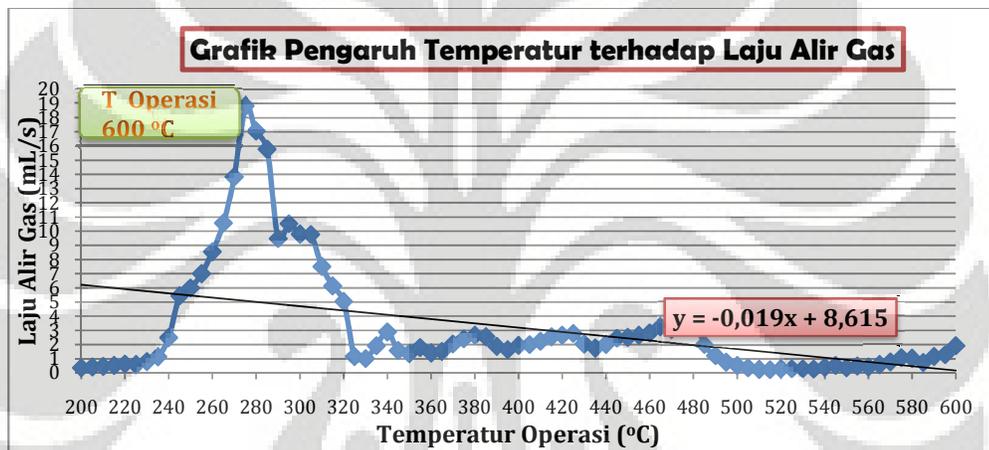
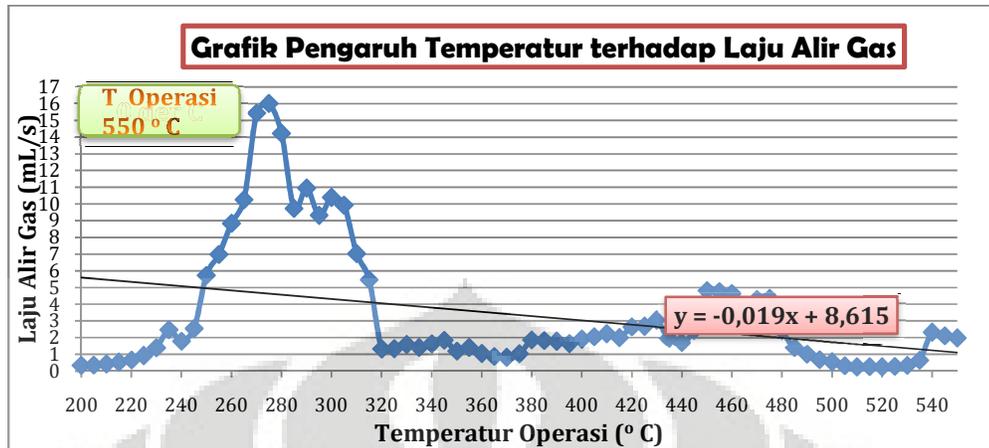
**LAMPIRAN 3**  
**LAJU PEMANASAN PADA VARIASI UKURAN PARTIKEL**





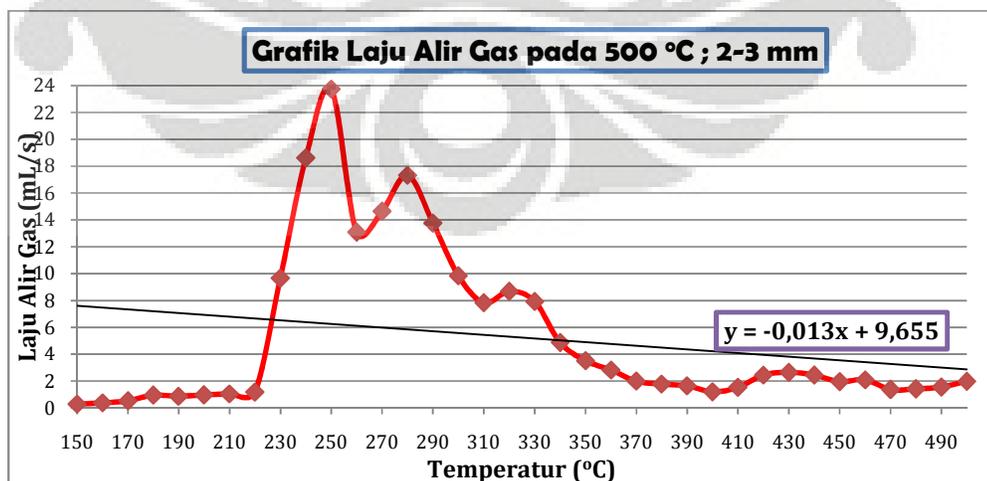
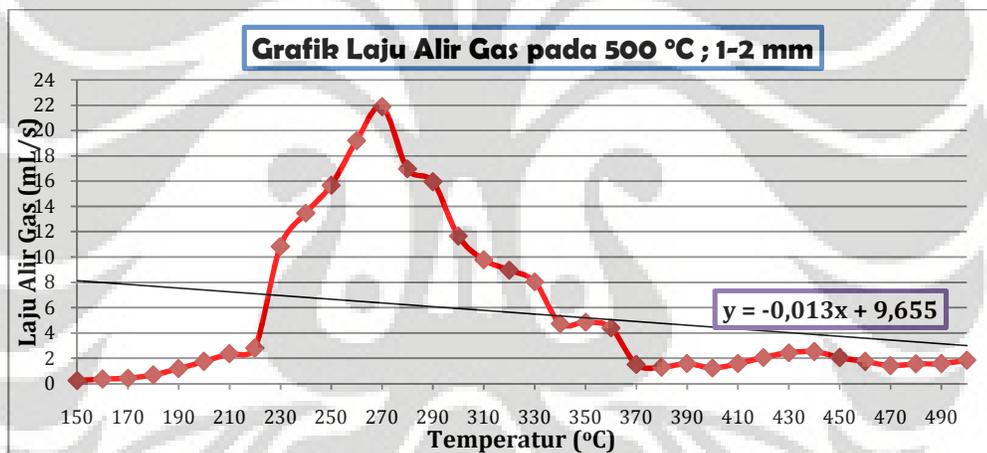
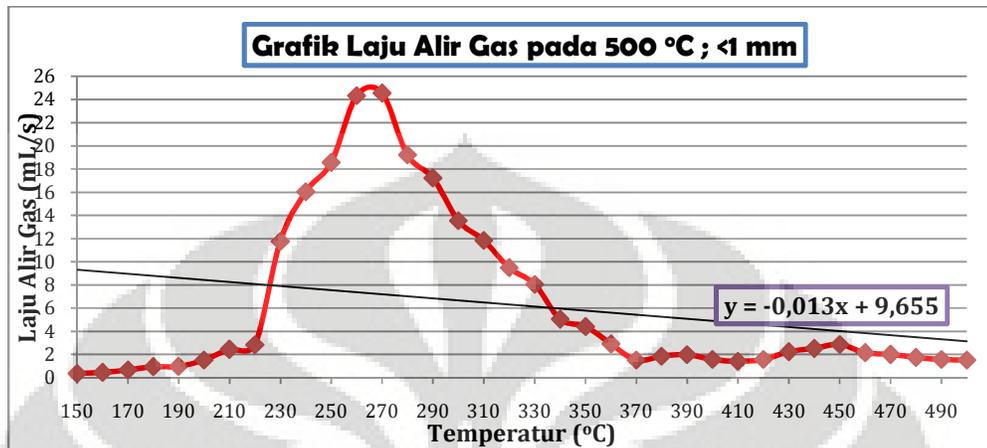
LAMPIRAN 4  
**GRAFIK LAJU ALIR GAS PADA VARIASI TEMPERATUR**

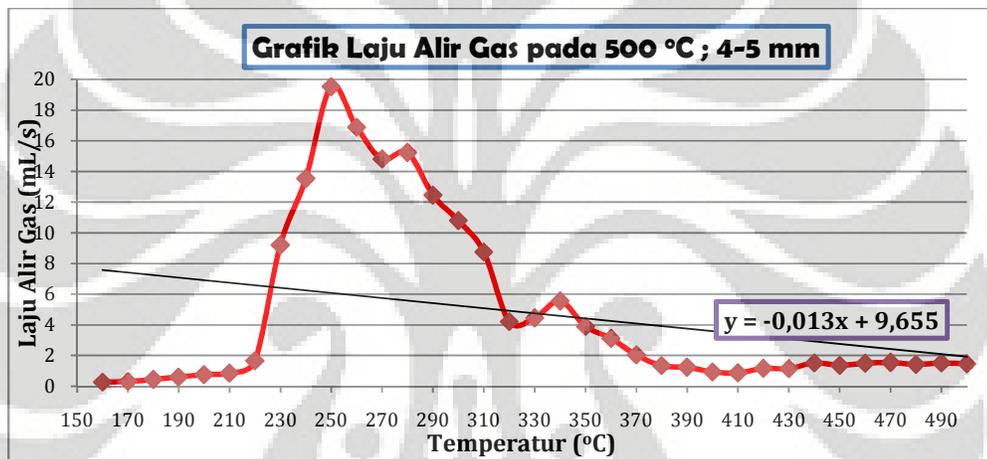
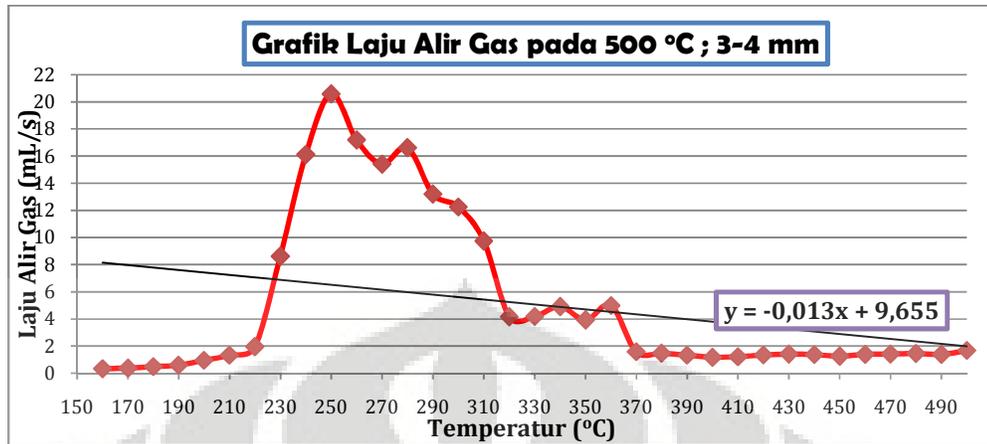




## LAMPIRAN 5

## GRAFIK LAJU ALIR GAS PADA VARIASI UKURAN PARTIKEL

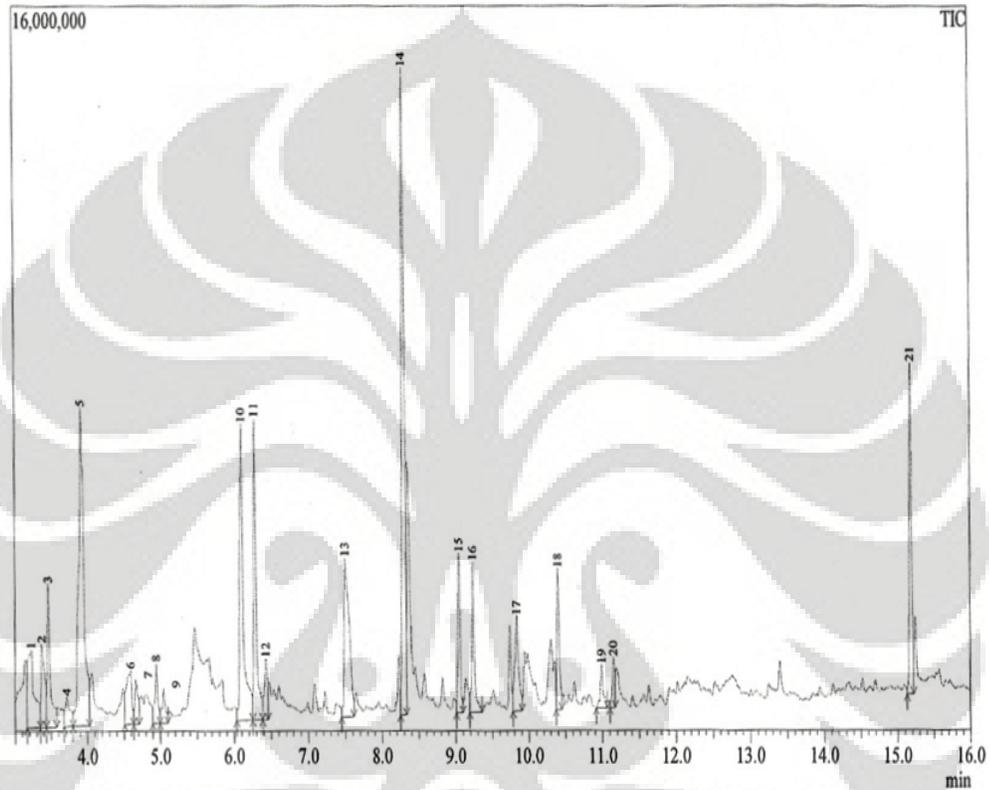




**LAMPIRAN 6**  
**ANALISIS KOMPONEN SENYAWA DENGAN METODE GC-MS**

**Hasil GC-MS produk cair temperatur 400 °C**

**Chromatogram**



==== Analytical Line 1 =====

```
[GC-2010]
Column Oven Temp. :50.0 °C
Injection Temp.   :250.00 °C
Injection Mode    :Split
Flow Control Mode :Linear Velocity
Pressure         :82.2 kPa
Total Flow       :72.7 mL/min
Column Flow      :1.41 mL/min
Linear Velocity  :43.0 cm/sec
Purge Flow       :1.0 mL/min
Split Ratio      :50.0
High Pressure Injection :OFF
Carrier Gas Saver :OFF
Splitter Hold    :OFF
Oven Temp. Program
Rate             Temperature(°C)   Hold Time(min)
-               50.0             3.00
8.0             280.0             5.00
0.0             280.0             0.00
0.0             280.0             0.00
```

Equilibrium Time :3.0 min

==== Analytical Line 1 =====

```
[GCMS-QP2010]
IonSourceTemp    :230.00 °C
Interface Temp.  :280.00 °C
Solvent Cut Time :1.00 min
Detector Gain Mode :Relative
Detector Gain    :0.00 kV
Threshold        :100
```

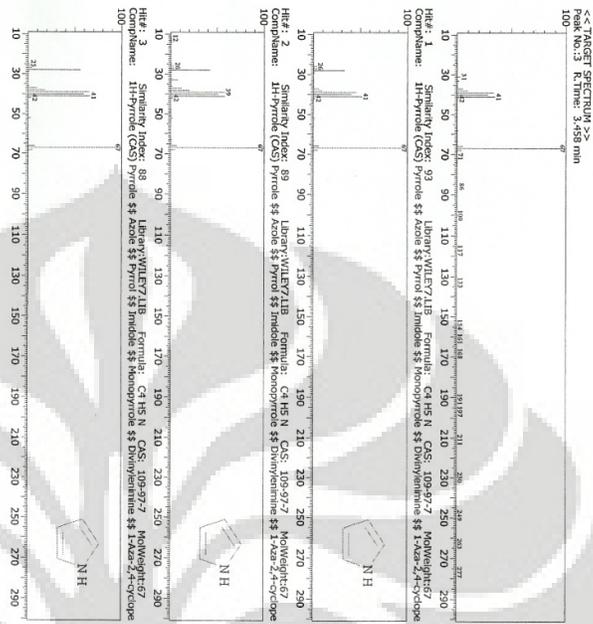
```
[MS Table]
Group            : 1
Start Time       :1.00min
End Time         :35.00min
ACQ Mode         :Scan
Interval         :0.50sec
Scan Speed       :666
Start m/z        :31.00
End m/z          :350.00
```

Sample Inlet Unit :GC



Qualitative Analysis Report

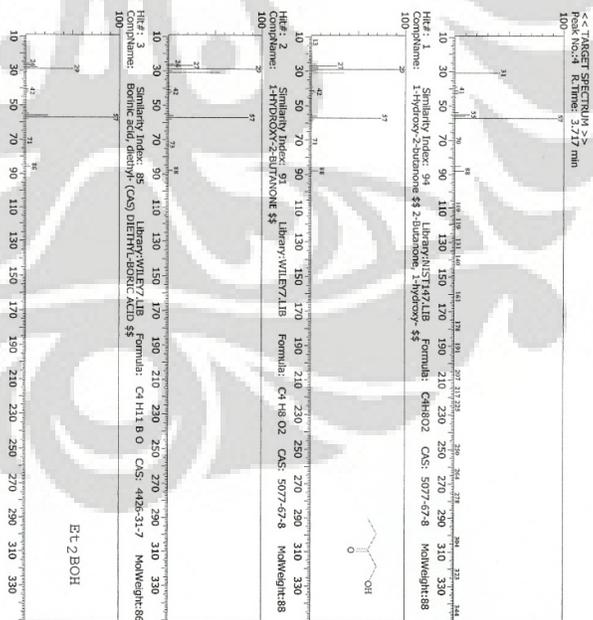
5 / 23



C:\GCMSolution\Data0156\_01e\_ortho\_0603.qpt

Qualitative Analysis Report

6 / 23



C:\GCMSolution\Data0156\_01e\_ortho\_0603.qpt

Qualitative Analysis Report

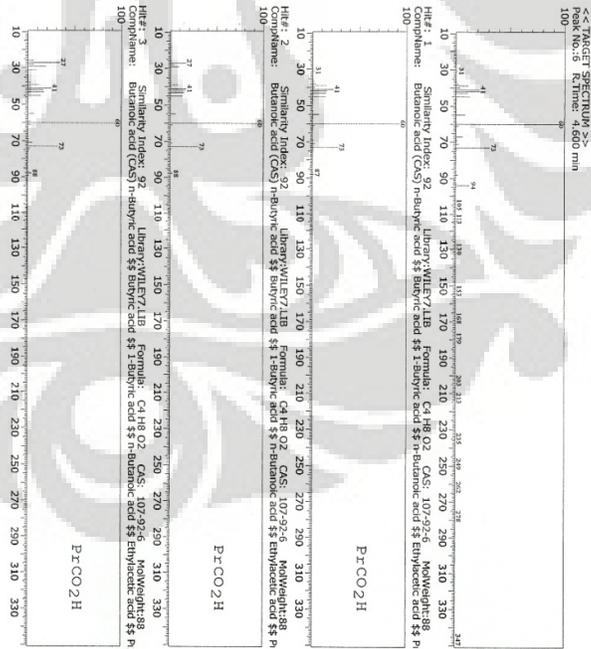
7 / 23



C:\GCMS\SolventData\156\_110.d\data\0156\_110.d\0156\_0103.gpd

Qualitative Analysis Report

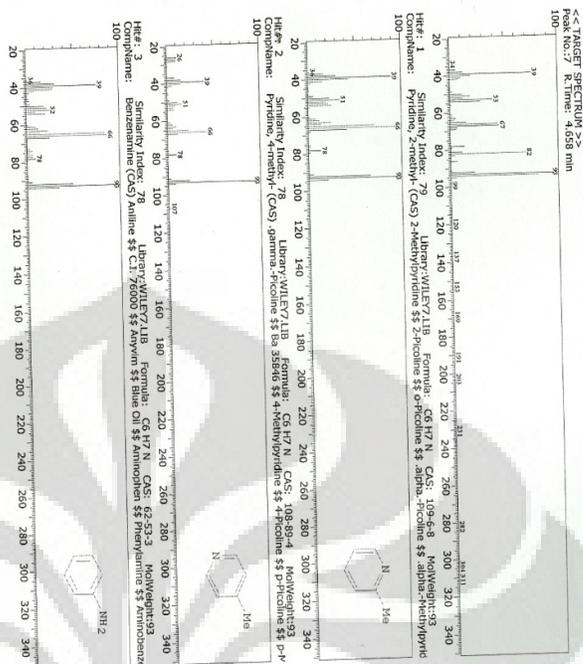
8 / 23



C:\GCMS\SolventData\156\_110.d\data\0156\_110.d\0156\_0103.gpd

Qualitative Analysis Report

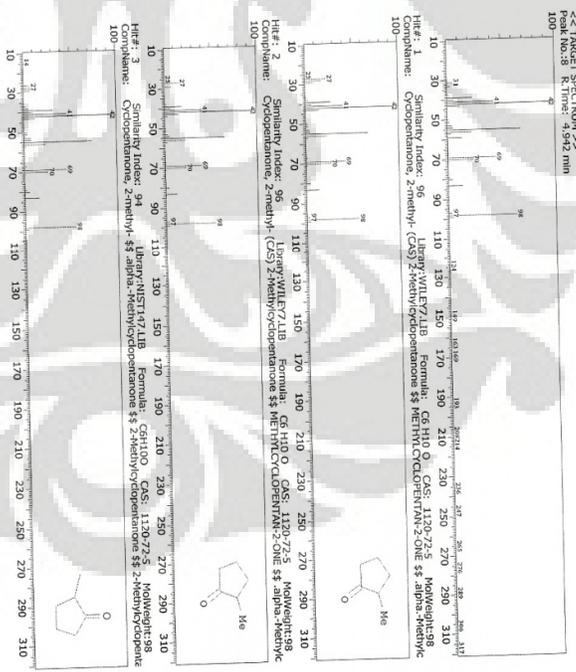
9 / 23



C:\GCMSolution\Data\156\_10a\ortho\_0103.qcd

Qualitative Analysis Report

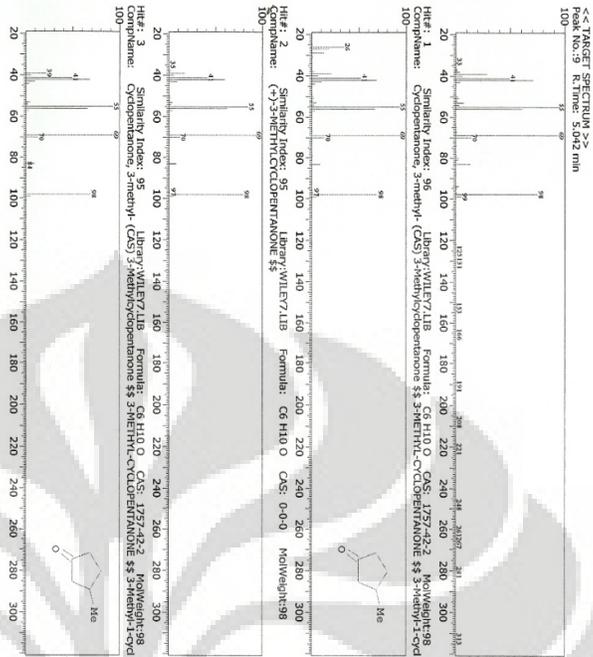
10 / 23



C:\GCMSolution\Data\156\_10a\ortho\_0103.qcd

Qualitative Analysis Report

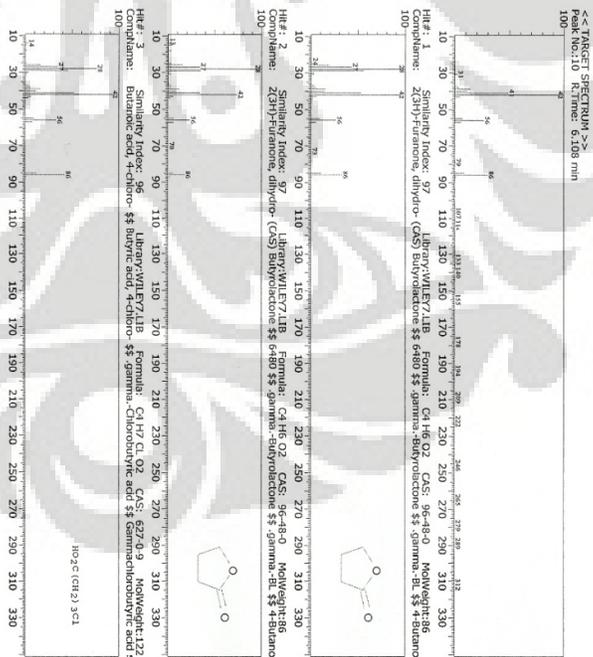
11 / 23



C:\GCMSolution\Data\17152\_110\_01101\_0123.qpd

Qualitative Analysis Report

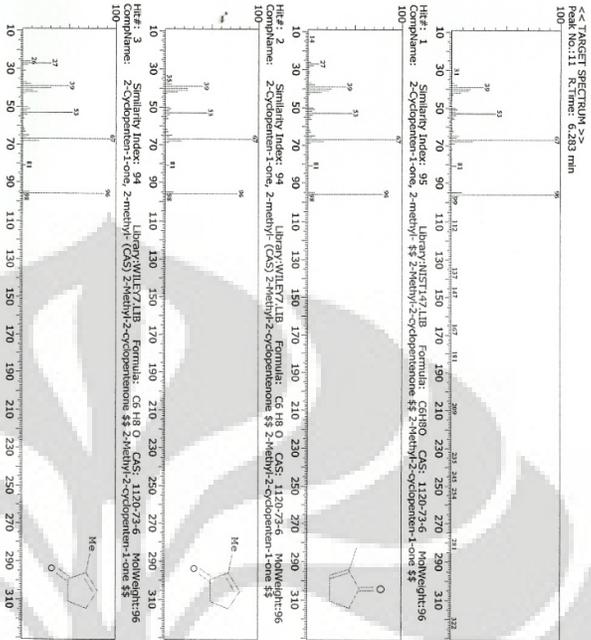
12 / 23



C:\GCMSolution\Data\17152\_110\_01101\_0123.qpd

Qualitative Analysis Report

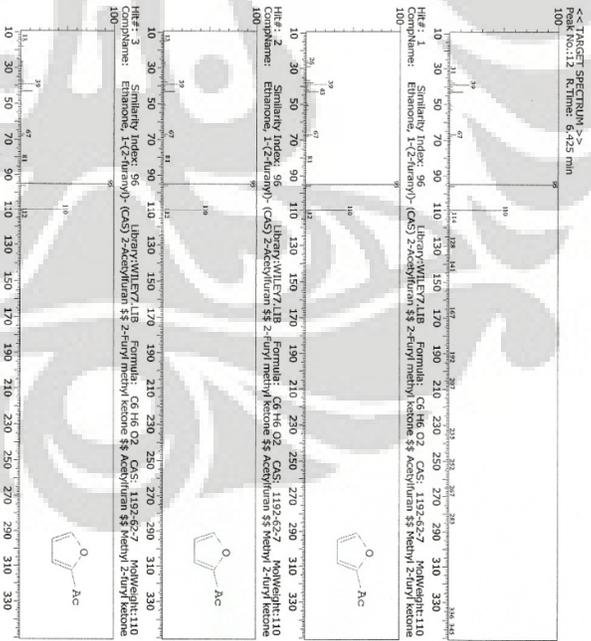
13 / 23



C:\GCMS\Software\Data\0156\_13e\_01103\_0103.qqd

Qualitative Analysis Report

14 / 23



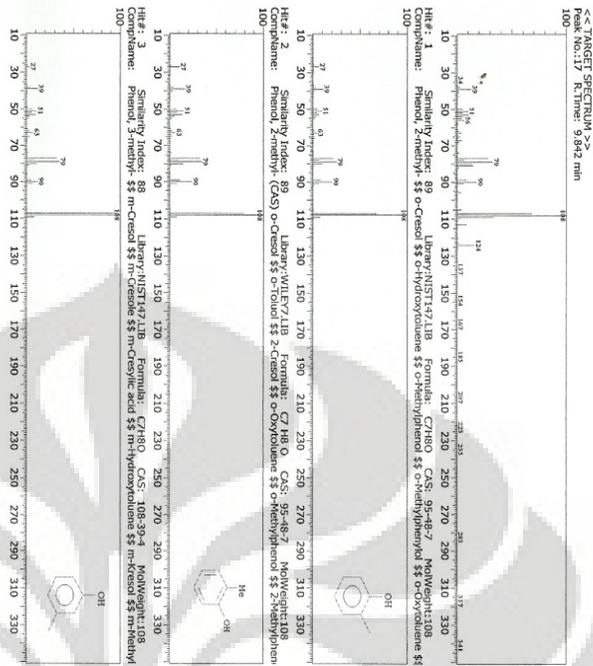
C:\GCMS\Software\Data\0156\_14e\_01103\_0103.qqd





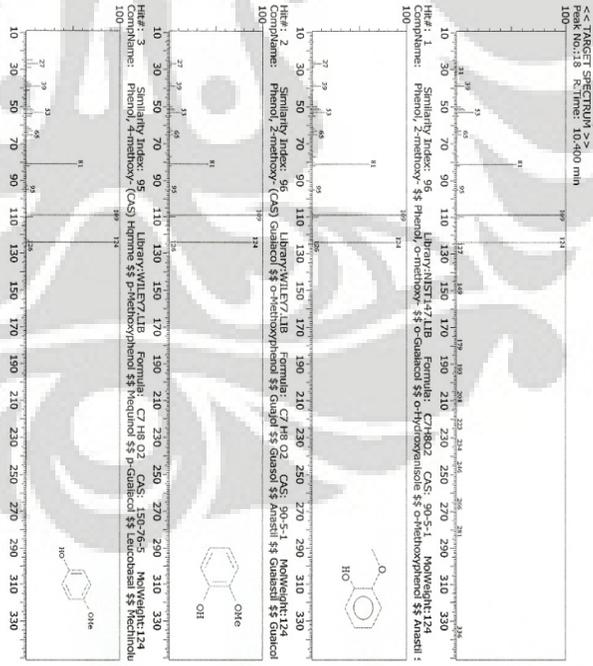
Qualitative Analysis Report

19 / 23



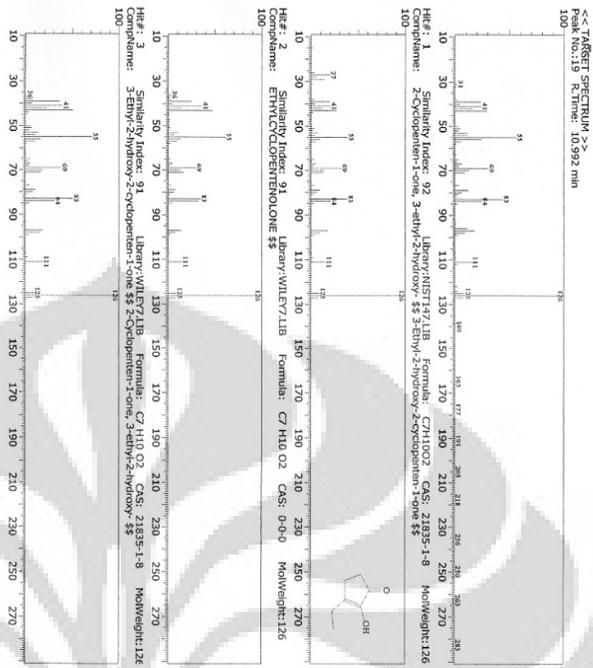
Qualitative Analysis Report

20 / 23



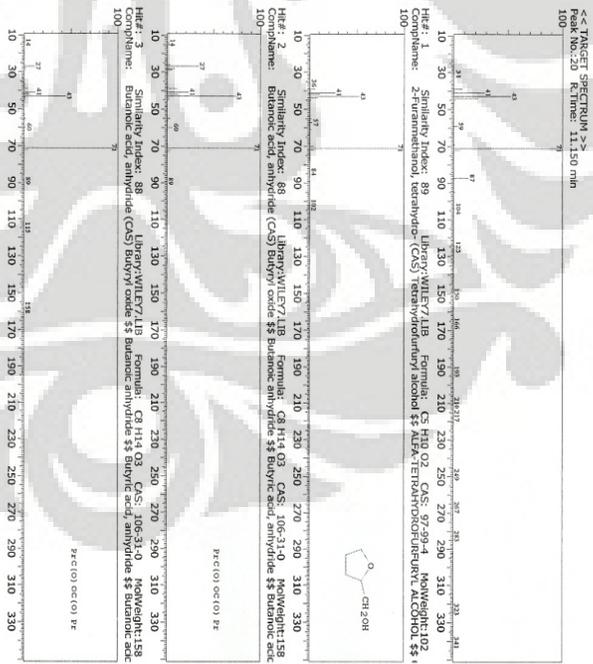
Qualitative Analysis Report

21 / 23



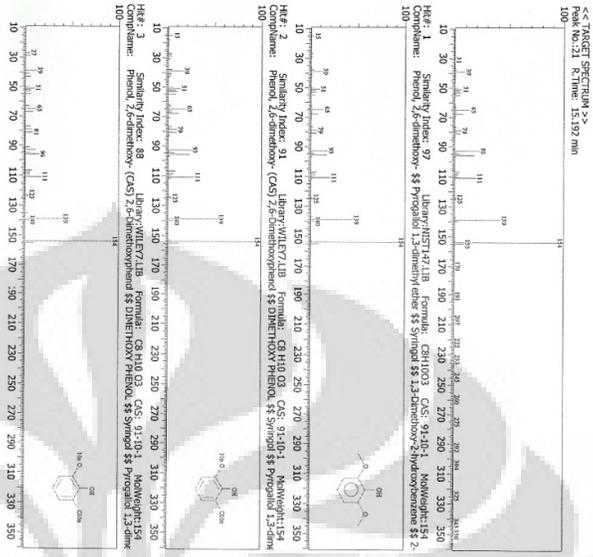
Qualitative Analysis Report

22 / 23



Qualitative Analysis Report

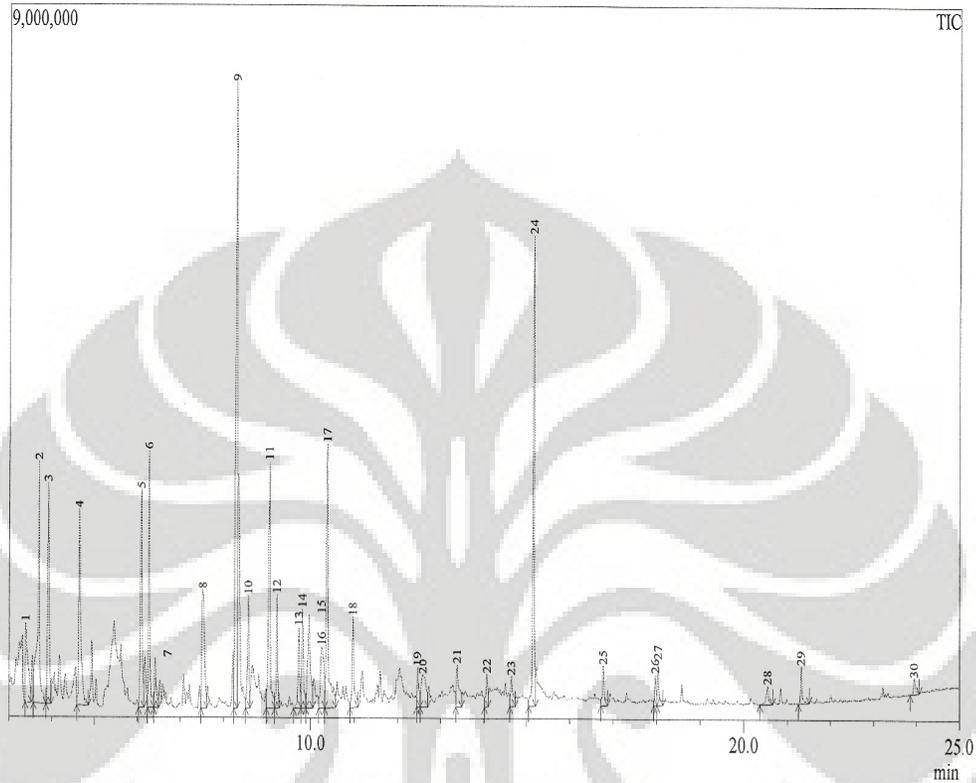
23 / 23



C:\CHN\StationData\196\_100.d\data\0001.dq4

## Hasil GC-MS produk cair temperatur 500 °C

### Chromatogram



==== Analytical Line 1 =====

[GC-2010]  
 Column Oven Temp. :50.0 °C  
 Injection Temp. :250.00 °C  
 Injection Mode :Split  
 Flow Control Mode :Linear Velocity  
 Pressure :82.2 kPa  
 Total Flow :72.7 mL/min  
 Column Flow :1.41 mL/min  
 Linear Velocity :43.0 cm/sec  
 Purge Flow :1.0 mL/min  
 Split Ratio :50.0  
 High Pressure Injection :OFF  
 Carrier Gas Saver :OFF  
 Splitter Hold :OFF  
 Oven Temp. Program

Rate	Temperature(°C)	Hold Time(min)
-	50.0	3.00
8.0	280.0	5.00
0.0	280.0	0.00
0.0	280.0	0.00

Equilibrium Time :3.0 min

==== Analytical Line 1 =====

[GCMS-QP2010]  
 IonSourceTemp :230.00 °C  
 Interface Temp. :280.00 °C  
 Solvent Cut Time :1.00 min  
 Detector Gain Mode :Relative  
 Detector Gain :0.00 kV  
 Threshold :100

[MS Table]  
 Group : 1  
 Start Time :1.00min  
 End Time :35.00min  
 ACQ Mode :Scan  
 Interval :0.50sec  
 Scan Speed : 666  
 Start m/z :31.00  
 End m/z :350.00

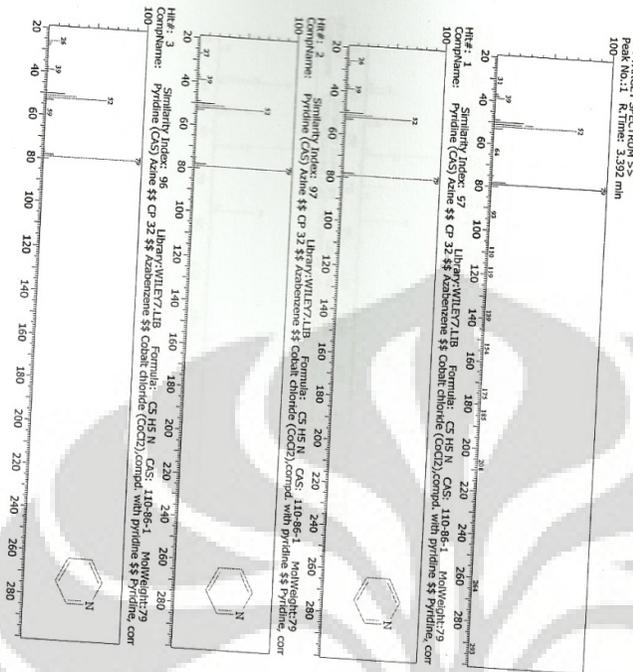
Sample Inlet Unit :GC

Qualitative Analysis Report

Analyzed by : Admin  
 Date Time : 10/23/2010 3:51:00 PM  
 Level : Unknown  
 Sample Name :  
 IS Amount : 1.000  
 Sample Amount : 1.000

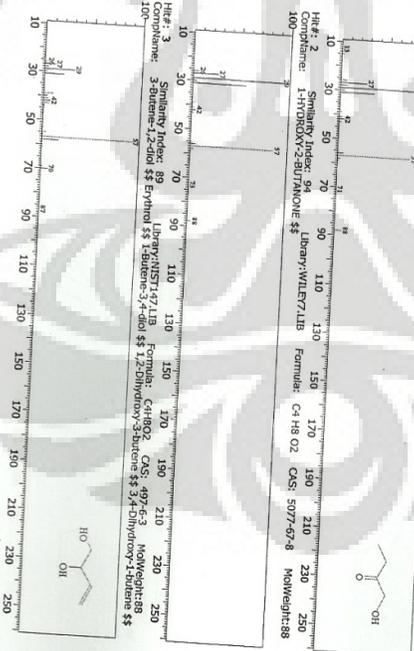
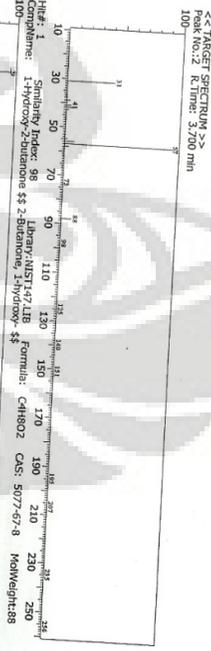
Method File : C:\GCMSolution\Data\project1\mp\_c012.dgm  
 Vial # : 13000  
 Collection Volume : 1.000  
 File Name : mp13000.d  
 Modified by : Admin  
 Date Time : 10/23/2010 10:52:28 AM

Similarity Search Results



3 / 32

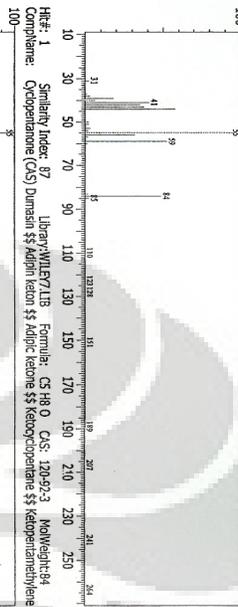
Qualitative Analysis Report



Qualitative Analysis Report

5 / 32

<< TARGET SPECTRUM >>  
Peak No.:3 Rt.time: 3.937 min



Hit#: 1 Similarity Index: 97 Library:WILEY.LIB Formula: C5 H8 O CAS: 120-92-3 MolWeight:84  
Compound: Cyclopentanone (CAS) Dimasin \$\$ Aldrin Icton \$\$ Aldric ketone \$\$ Ketocyclopentane \$\$ Ketopentamethylene

Hit#: 2 Similarity Index: 86 Library:WILEY.LIB Formula: C5 H12 O CAS: 593-43-8 MolWeight:84  
Compound: 2-hexene (CAS) Hex-2-ene \$\$ Hexene(2) \$\$ 2-hexene cis + trans \$\$ 2-hexene (C4) \$\$



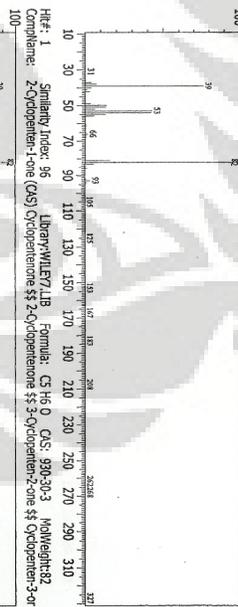
Hit#: 3 Similarity Index: 84 Library:WILEY.LIB Formula: C5 H8 O CAS: 120-92-3 MolWeight:84  
Compound: Cyclopentanone (CAS) Dimasin \$\$ Aldrin Icton \$\$ Aldric ketone \$\$ Ketocyclopentane \$\$ Ketopentamethylene



Qualitative Analysis Report

6 / 32

<< TARGET SPECTRUM >>  
Peak No.:1 Rt.time: 4.642 min



Hit#: 1 Similarity Index: 96 Library:WILEY.LIB Formula: C5 H6 O CAS: 890-30-3 MolWeight:82  
Compound: 2-Cyclopenten-1-one (CAS) Cyclopentenone \$\$ 2-Cyclopentenone \$\$ 2-Cyclopenten-1-one \$\$ Cyclopenten-3-one

Hit#: 2 Similarity Index: 94 Library:WILEY.LIB Formula: C5 H6 O CAS: 890-30-3 MolWeight:82  
Compound: 2-Cyclopenten-1-one (CAS) Cyclopentenone \$\$ 2-Cyclopentenone \$\$ 2-Cyclopenten-1-one \$\$ Cyclopenten-3-one

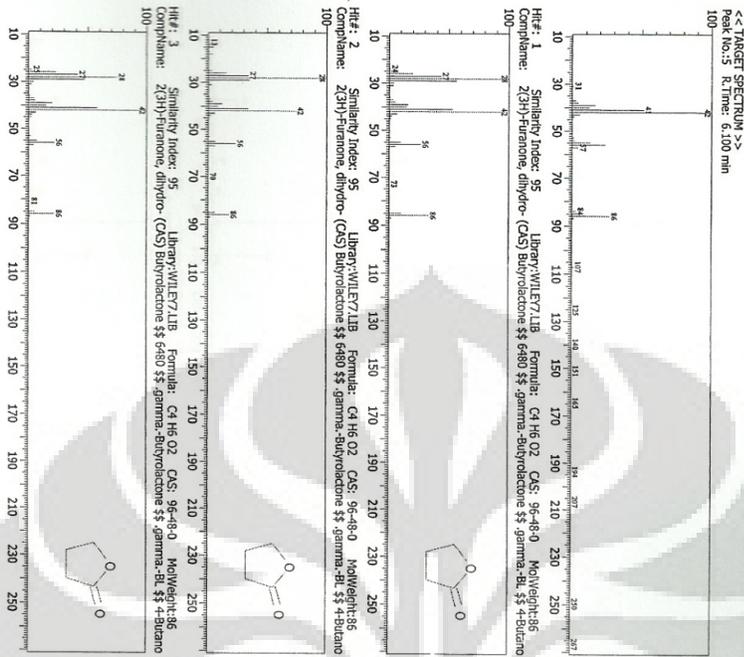


Hit#: 3 Similarity Index: 94 Library:WILEY.LIB Formula: C5 H6 O CAS: 890-30-3 MolWeight:82  
Compound: 2-Cyclopenten-1-one (CAS) Cyclopentenone \$\$ 2-Cyclopentenone \$\$ 2-Cyclopenten-1-one \$\$ Cyclopenten-3-one



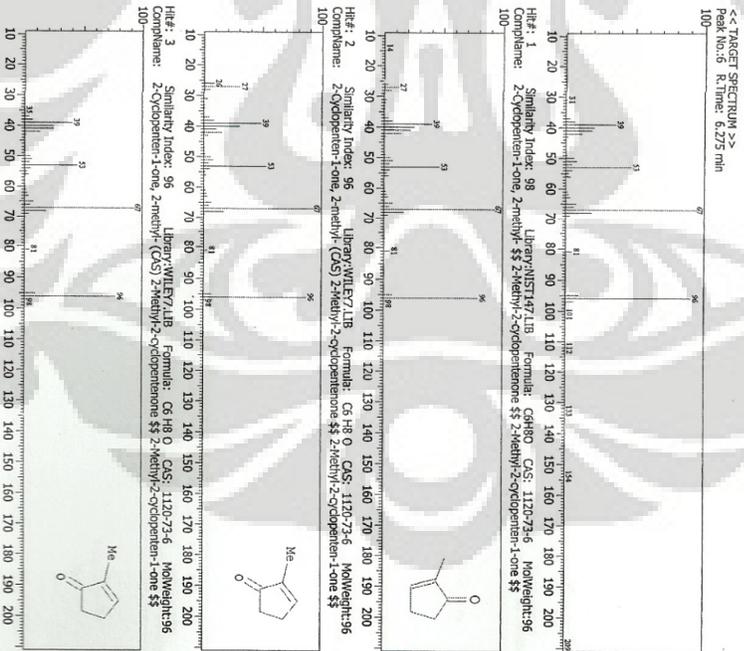
Qualitative Analysis Report

7 / 32



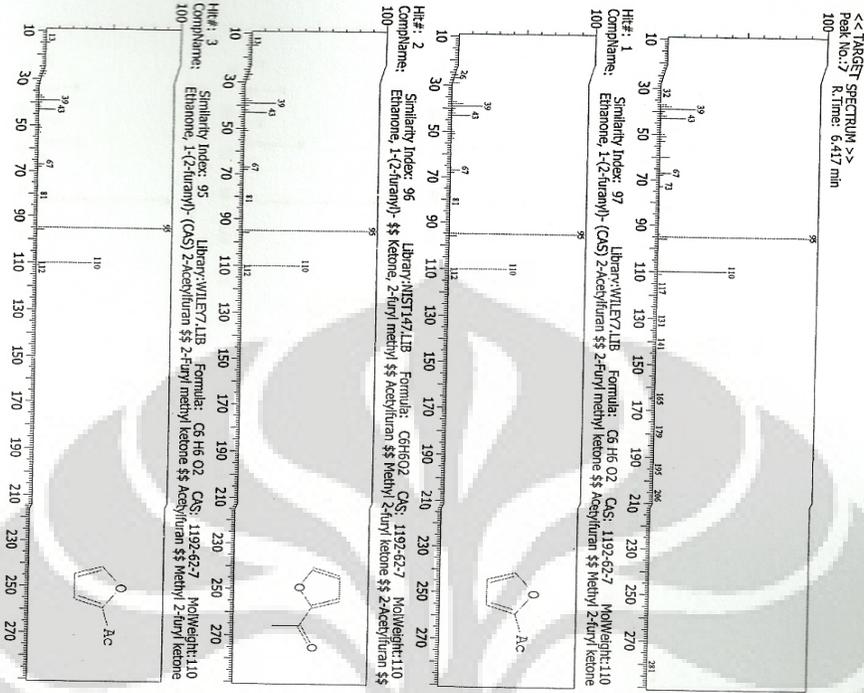
Qualitative Analysis Report

8 / 32

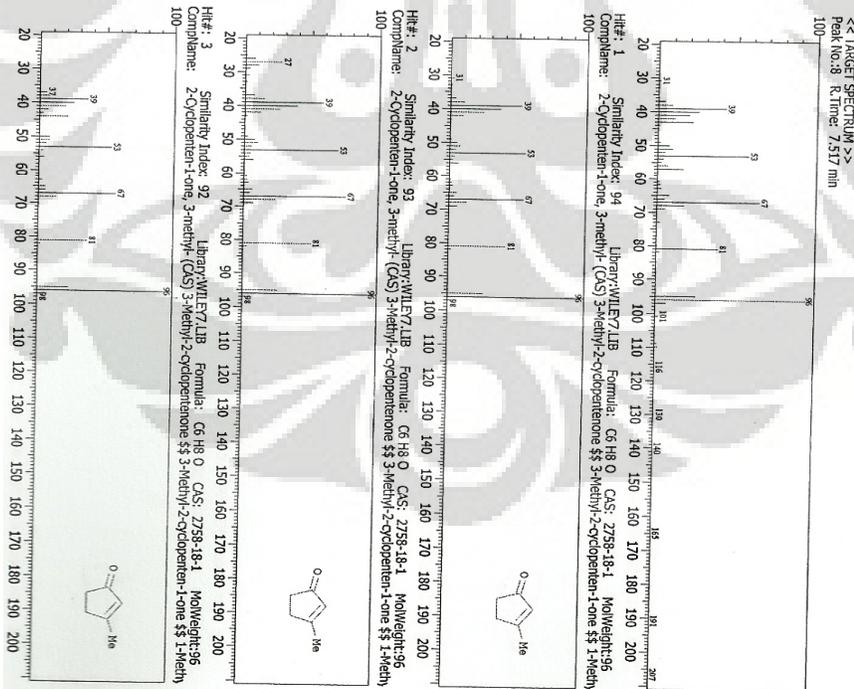


Qualitative Analysis Report

9 / 32

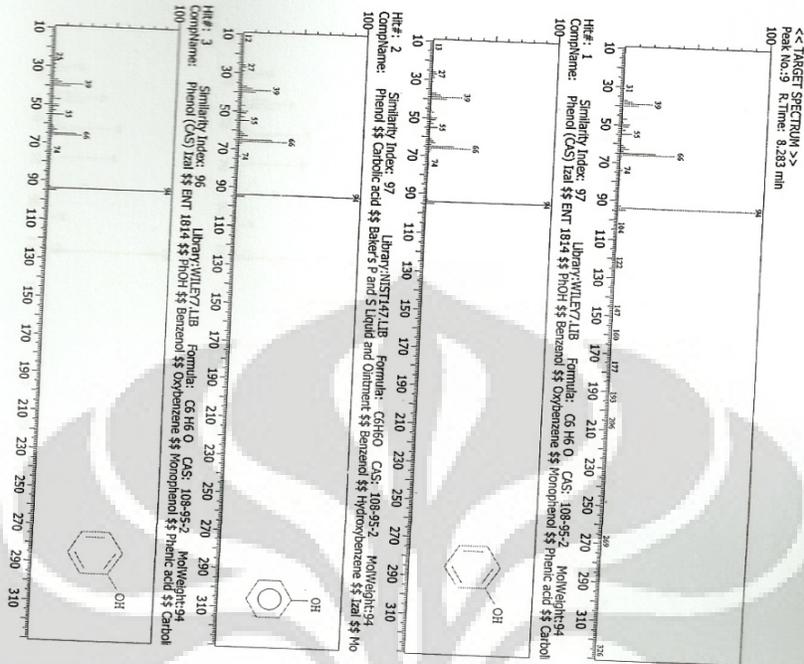


Qualitative Analysis Report



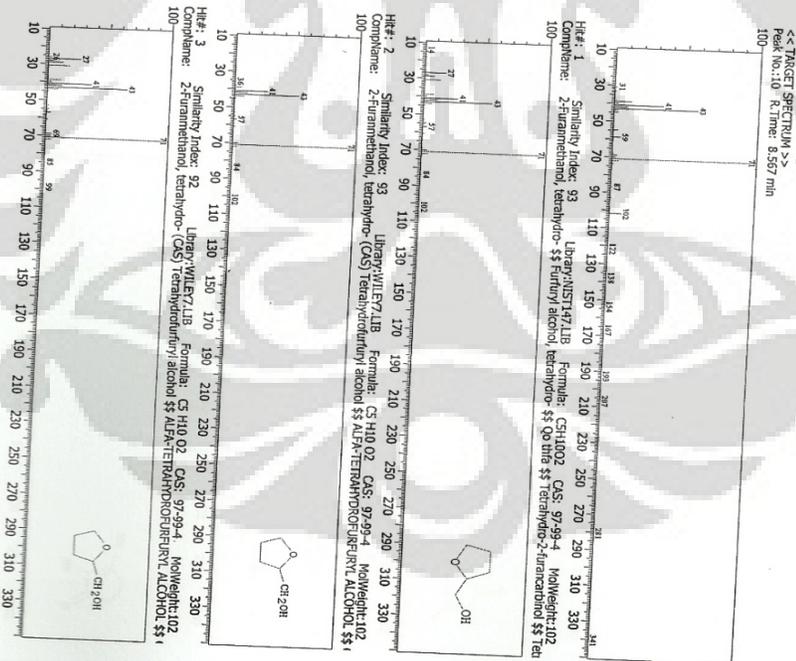
Qualitative Analysis Report

11 / 32



Qualitative Analysis Report

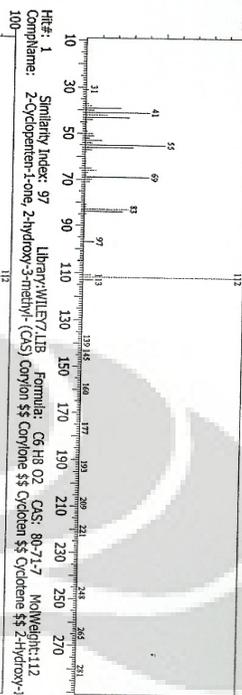
12 / 32



Qualitative Analysis Report

13 / 32

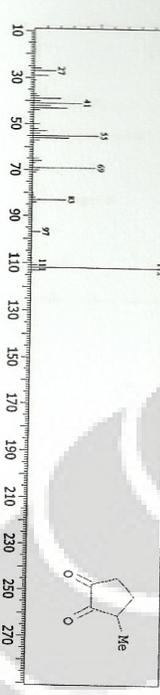
<< TARGET SPECTRUM >>  
Peak No.:11 R.Time: 9.050 min



Library: WILEY7.LIB Formula: C6 H8 O2 CAS: 765-70-8 MolWeight:112  
Compound: 1,2-Cyclopentanedione, 3-methyl- (CAS) Conyon \$\$\$ 3-Methylcyclopentanone 1,2-dione \$\$\$

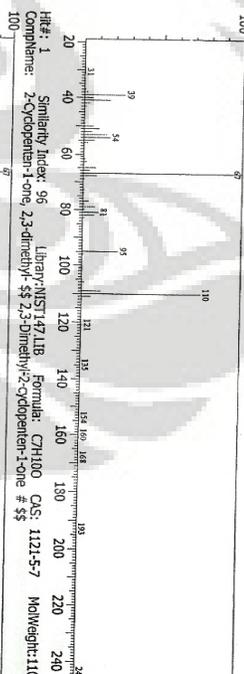


Library: WILEY7.LIB Formula: C6 H8 O2 CAS: 765-70-8 MolWeight:112  
Compound: 1,2-Cyclopentanedione, 3-methyl- (CAS) Conyon \$\$\$ 3-Methylcyclopentanone 1,2-dione \$\$\$



Qualitative Analysis Report

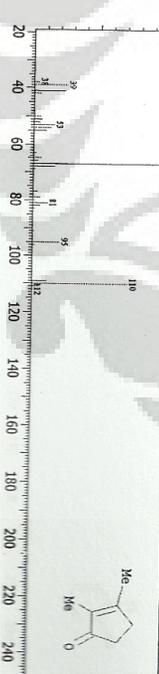
<< TARGET SPECTRUM >>  
Peak No.:12 R.Time: 9.225 min



Library: WILEY7.LIB Formula: C7 H10 O CAS: 1121-5-7 MolWeight:110  
Compound: 2,3-Dimethyl-2-cyclopentan-1-one \$\$\$ 2,3-Dimethyl-2-cyclopentan-1-one \$\$\$ 2,3-Dimethyl-2-cyclopentan-1-one \$\$\$



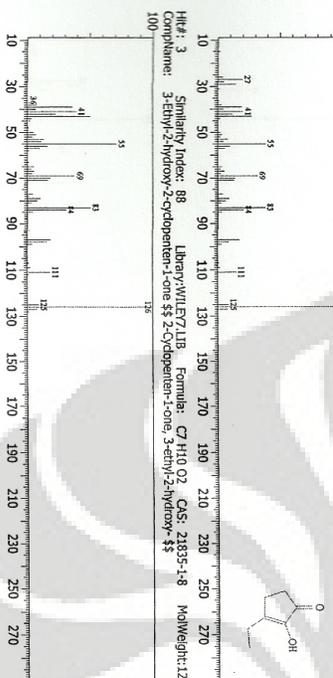
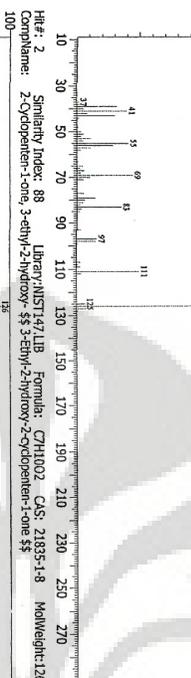
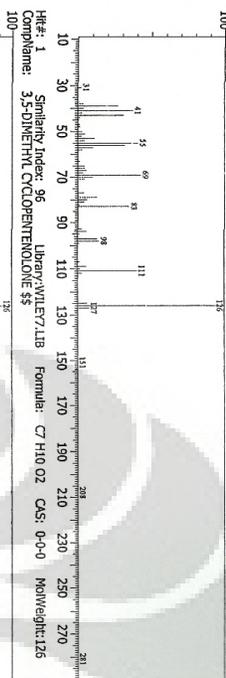
Library: WILEY7.LIB Formula: C7 H10 O CAS: 1121-5-7 MolWeight:110  
Compound: 2,3-Dimethyl-2-cyclopentan-1-one \$\$\$ 2,3-Dimethyl-2-cyclopentan-1-one \$\$\$ 2,3-Dimethyl-2-cyclopentan-1-one \$\$\$



Qualitative Analysis Report

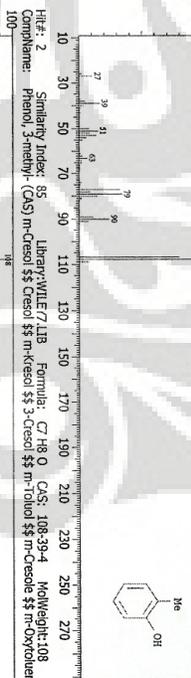
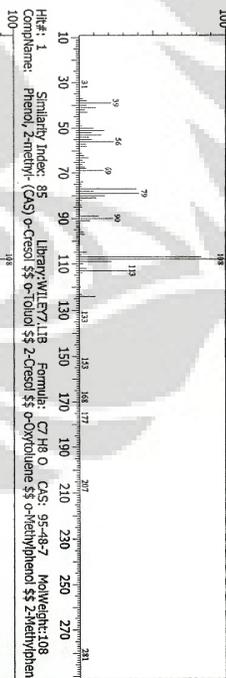
15 / 32

<< TARGET SPECTRUM >>  
Peak No.:13 R.Time: 9.733 min



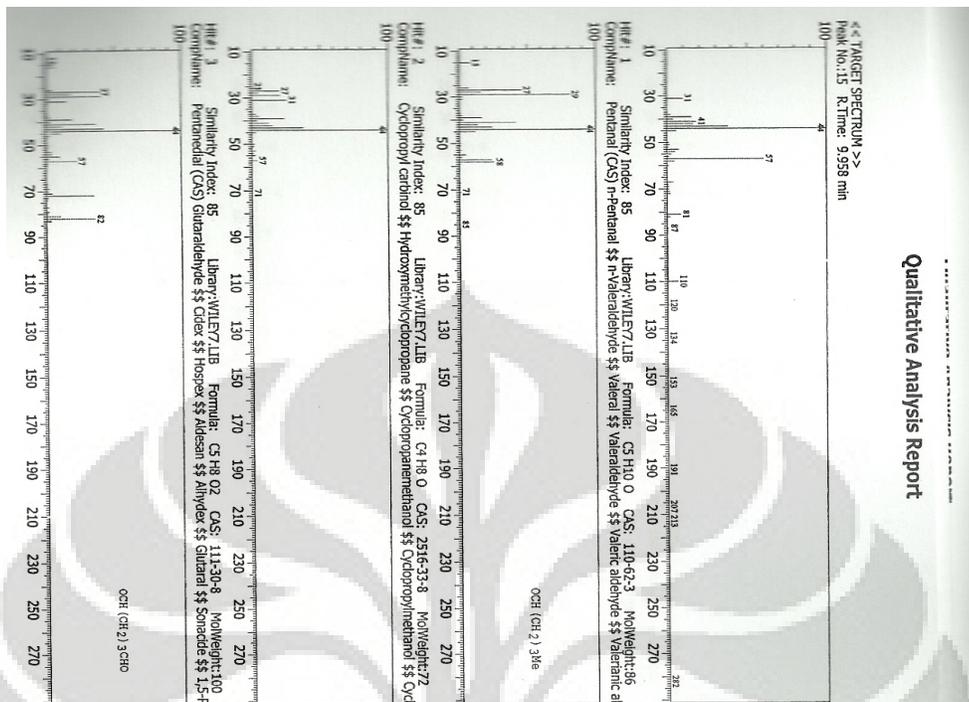
Qualitative Analysis Report

<< TARGET SPECTRUM >>  
Peak No.:14 R.Time: 9.808 min

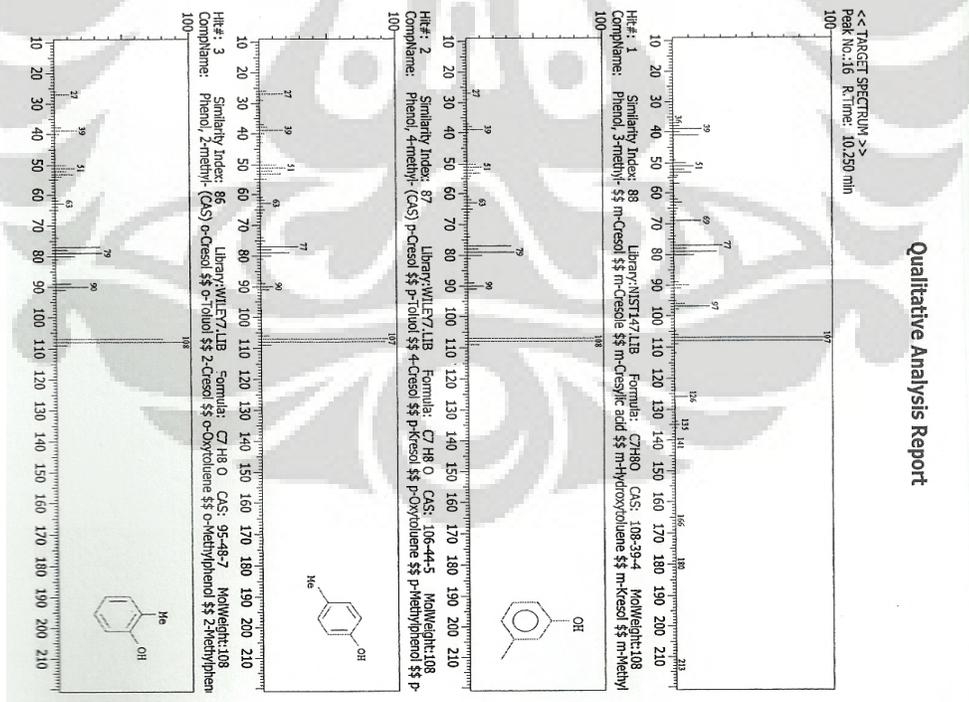


Qualitative Analysis Report

17 / 32

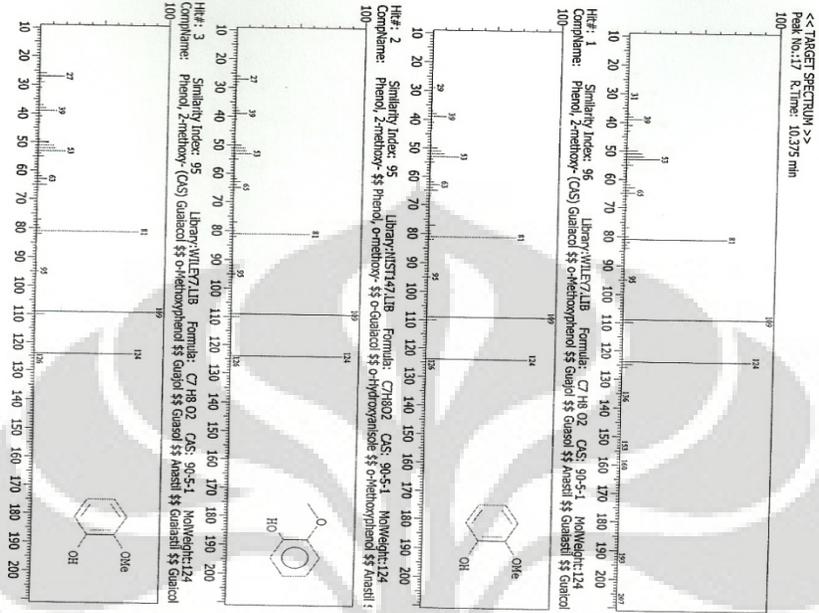


Qualitative Analysis Report



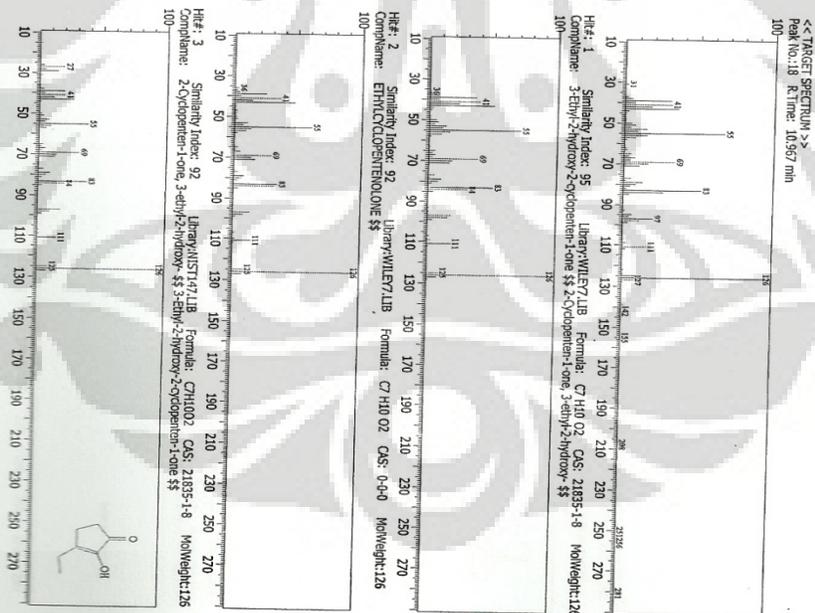
Qualitative Analysis Report

19 / 32



Qualitative Analysis Report

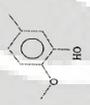
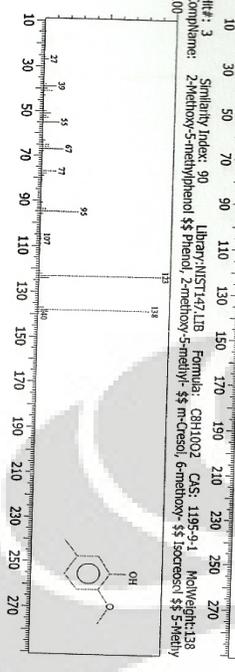
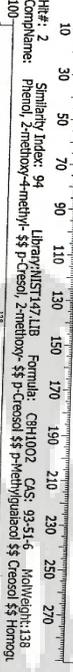
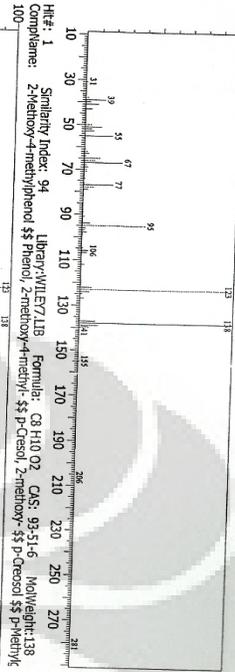
20 / 32



Qualitative Analysis Report

21 / 32

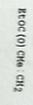
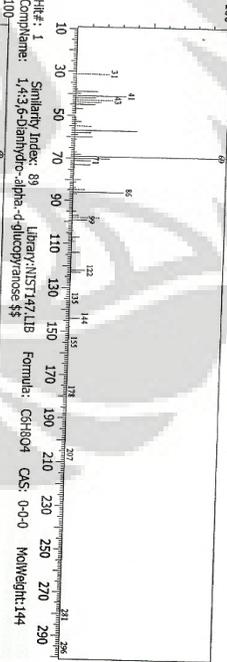
<< TARGET SPECTRUM >>  
Peak No.:19 R.Time: 12.475 min



Qualitative Analysis Report

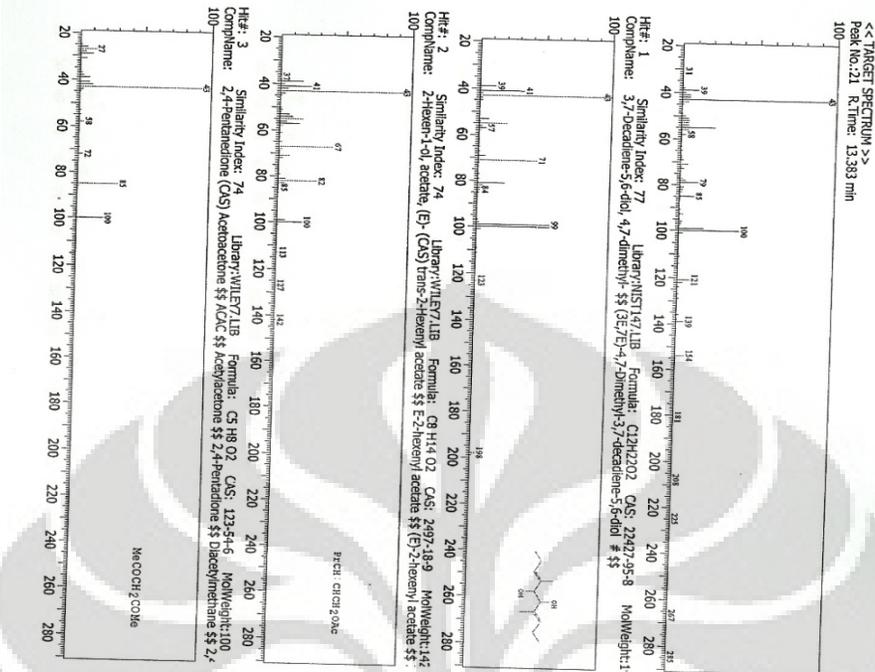
2.

<< TARGET SPECTRUM >>  
Peak No.:20 R.Time: 12.592 min



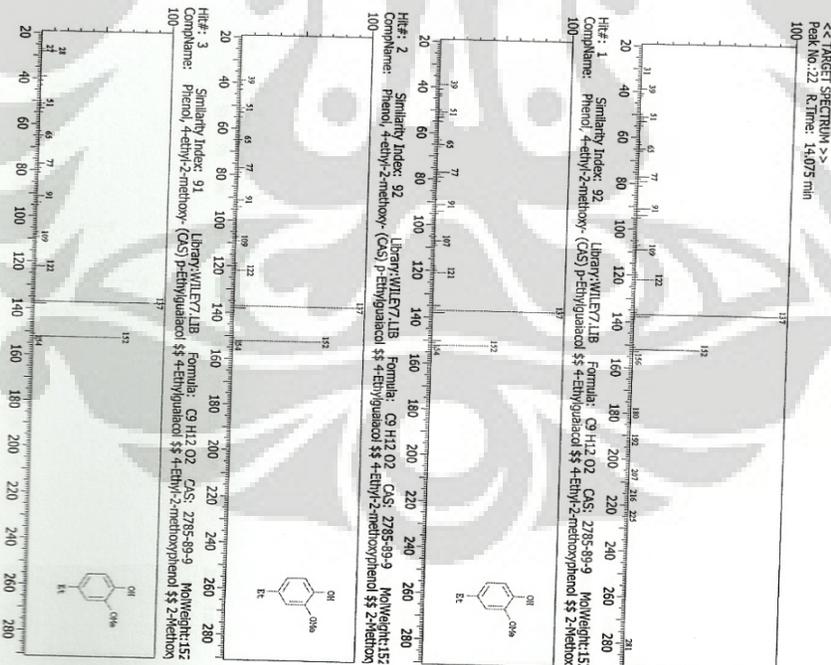
Qualitative Analysis Report

23 / 32



Qualitative Analysis Report

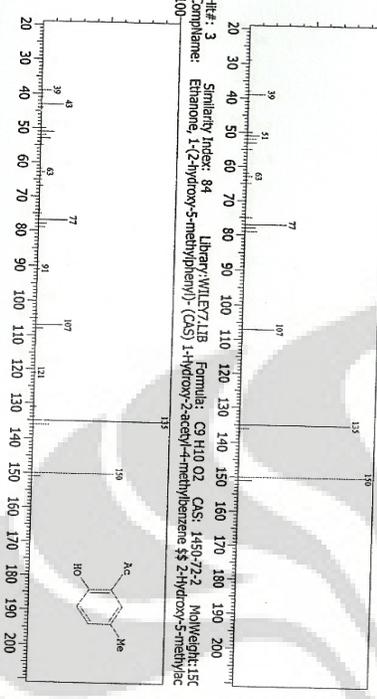
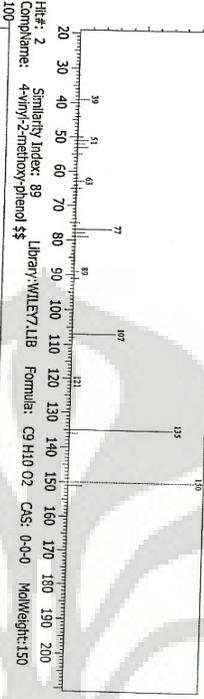
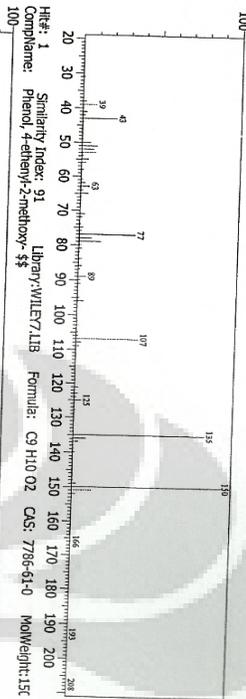
2



Qualitative Analysis Report

25 / 32

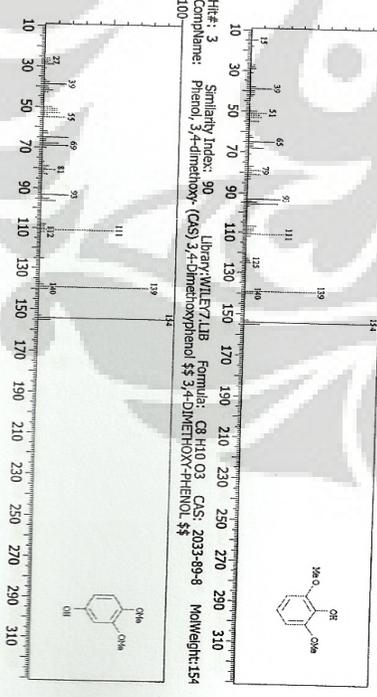
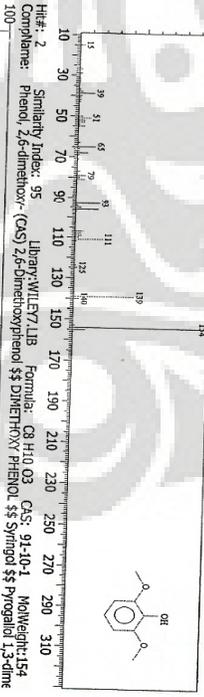
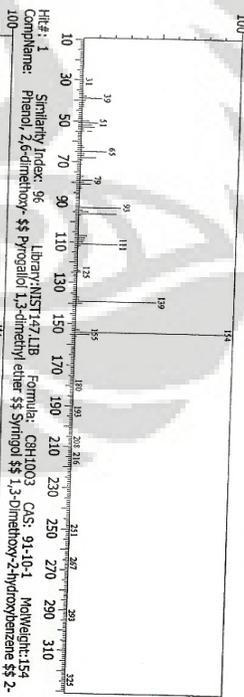
<< TARGET SPECTRUM >>  
Peak No.:23 R.Time: 14.650 min



Qualitative Analysis Report

21

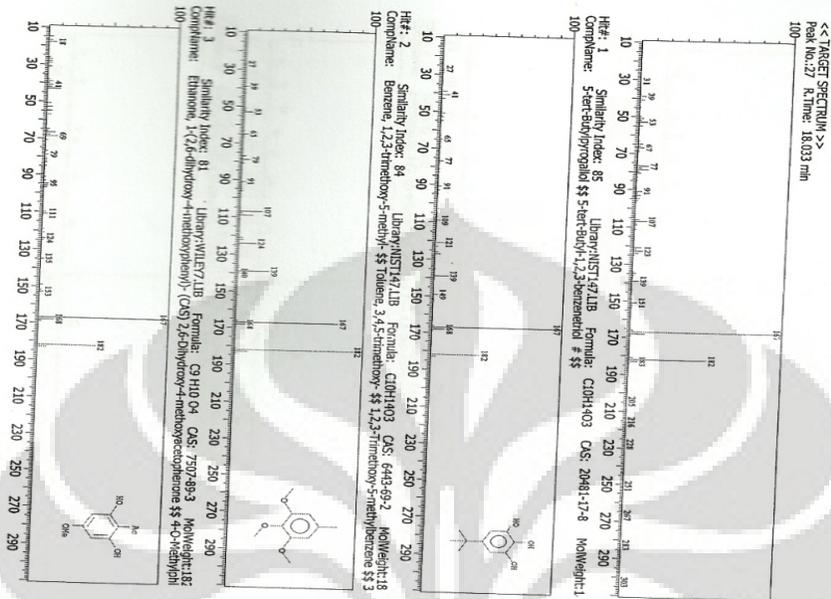
<< TARGET SPECTRUM >>  
Peak No.:24 R.Time: 15.150 min





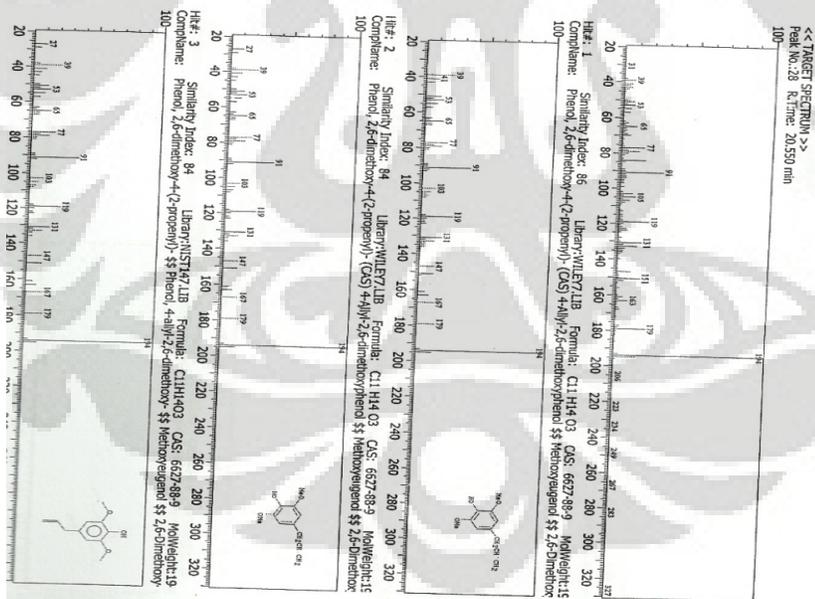
Qualitative Analysis Report

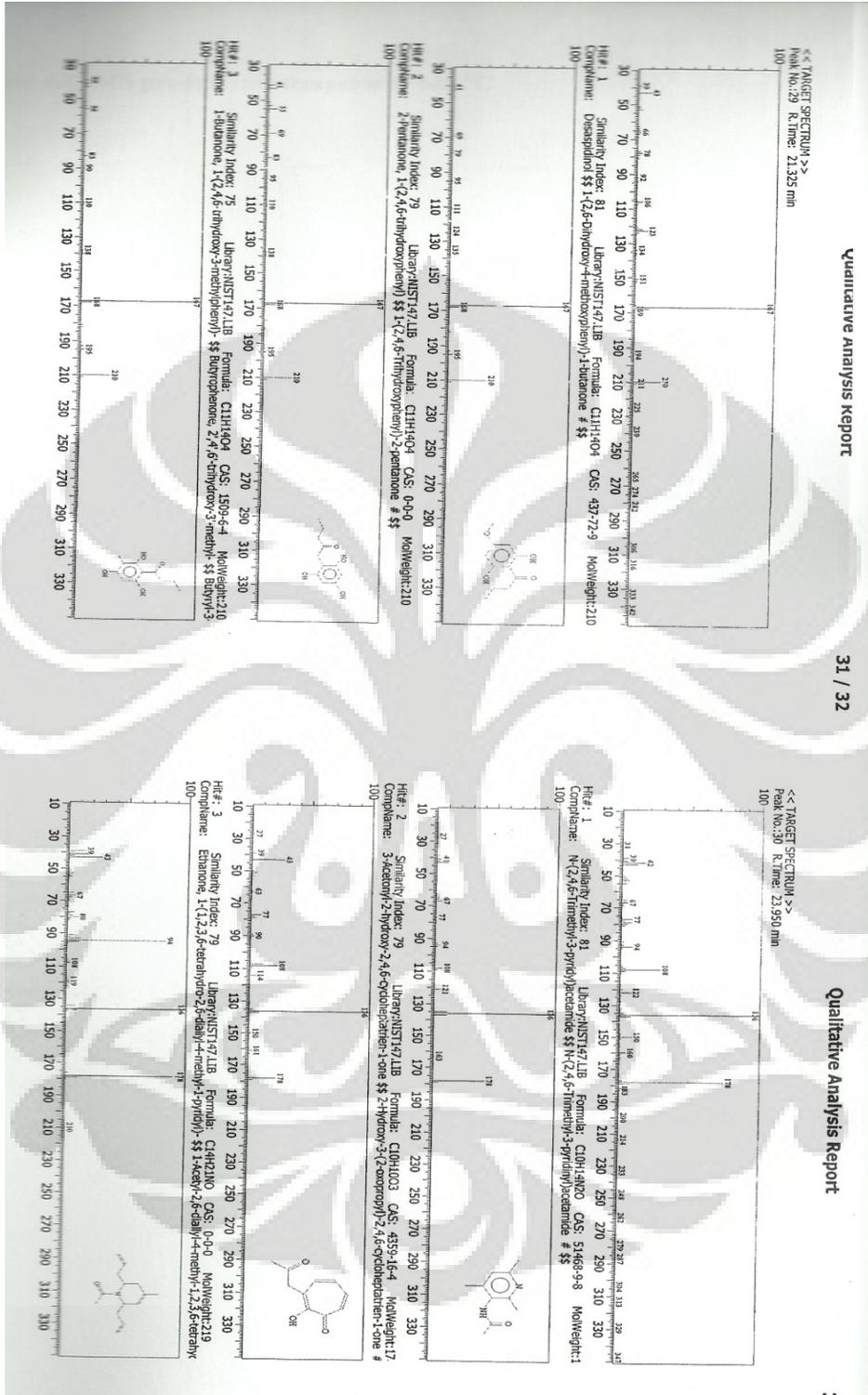
29 / 32



Qualitative Analysis Report

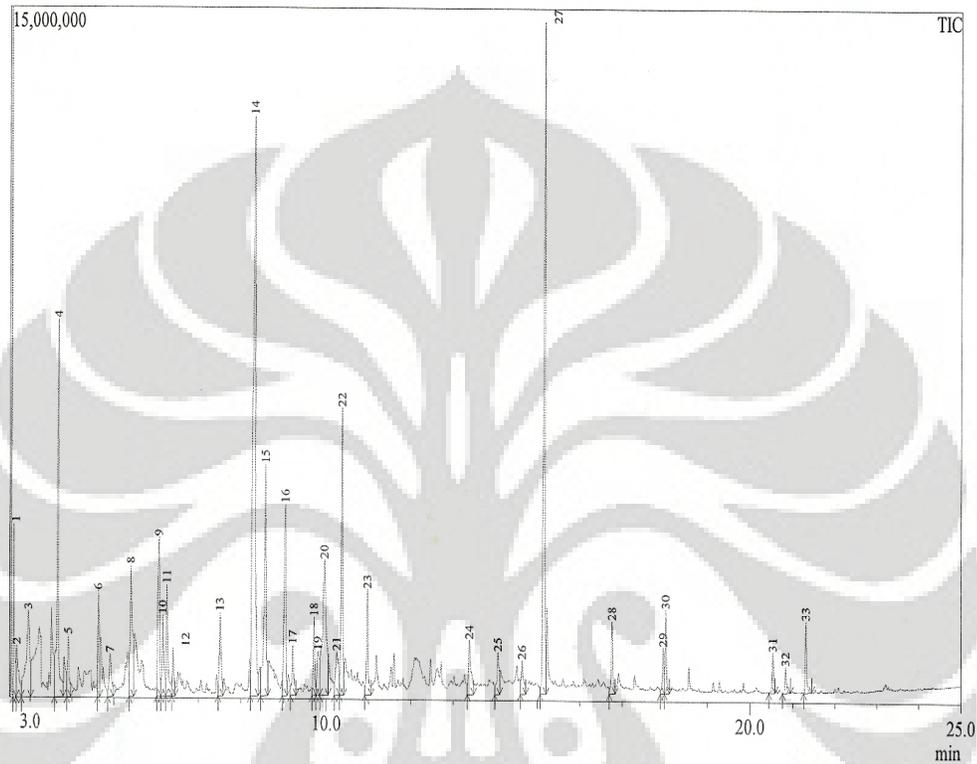
30 / 32





## Hasil GC-MS produk cair temperatur 600 °C

### Chromatogram



==== Analytical Line 1 =====

[GC-2010]  
 Column Oven Temp. :50.0 °C  
 Injection Temp. :250.00 °C  
 Injection Mode :Split  
 Flow Control Mode :Linear Velocity  
 Pressure :82.2 kPa  
 Total Flow :72.7 mL/min  
 Column Flow :1.41 mL/min  
 Linear Velocity :43.0 cm/sec  
 Purge Flow :1.0 mL/min  
 Split Ratio :50.0  
 High Pressure Injection :OFF  
 Carrier Gas Saver :OFF  
 Splitter Hold :OFF  
 Oven Temp. Program

Rate	Temperature(°C)	Hold Time(min)
-	50.0	3.00
8.0	280.0	5.00
0.0	280.0	0.00
0.0	280.0	0.00

Equilibrium Time :3.0 min

==== Analytical Line 1 =====

[GCMS-QP2010]  
 IonSourceTemp :230.00 °C  
 Interface Temp. :280.00 °C  
 Solvent Cut Time :1.00 min  
 Detector Gain Mode :Relative  
 Detector Gain :0.00 kV  
 Threshold :100

[MS Table]  
 Group : 1  
 Start Time :1.00min  
 End Time :35.00min  
 ACQ Mode :Scan  
 Interval :0.50sec  
 Scan Speed : 666  
 Start m/z :31.00  
 End m/z :350.00

Sample Inlet Unit :GC

Qualitative Analysis Report

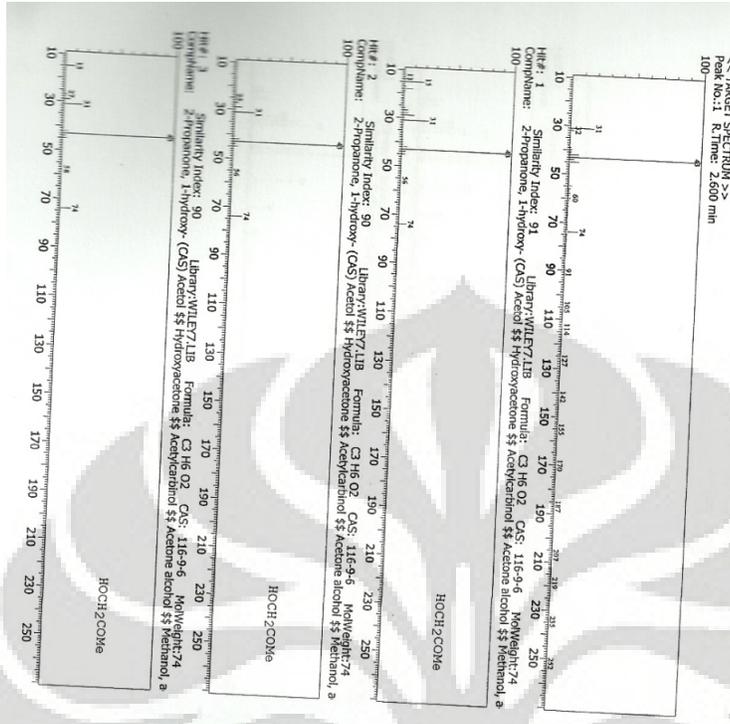
3 / 35

Analyzed by : Admin  
 Date Acquired : 6/29/2010 9:02:00 AM  
 Level # : 1  
 Sample Name : Unknown  
 IS Style ID : 1  
 Sample Amount : 110.0000

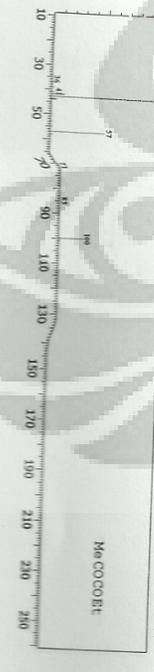
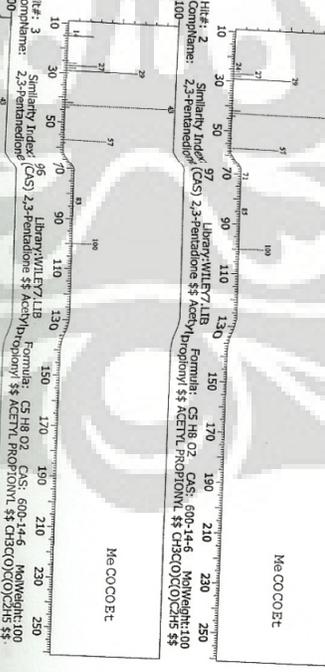
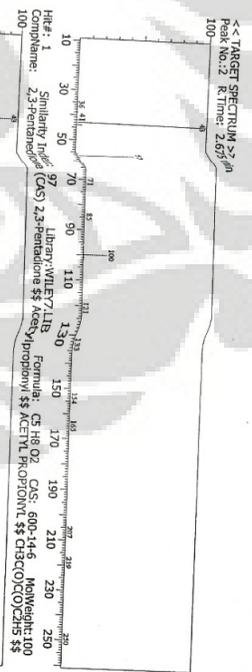
Dilution Factor : 1.000  
 Vial # : 31  
 Injection Volume : 1.000  
 (Comment)  
 pHIS UT  
 Modified by : Admin  
 Modified : 6/29/2010 3:54:41 PM

Method File : C:\GC\Software\Data\Project1\400\_dnp3.apd  
 Tuning File : C:\GC\Software\Data\Project1\400\_dnp3.apd  
 C:\GC\Software\System1\Tune\131-05-2010.tcf

Similarity Search Results

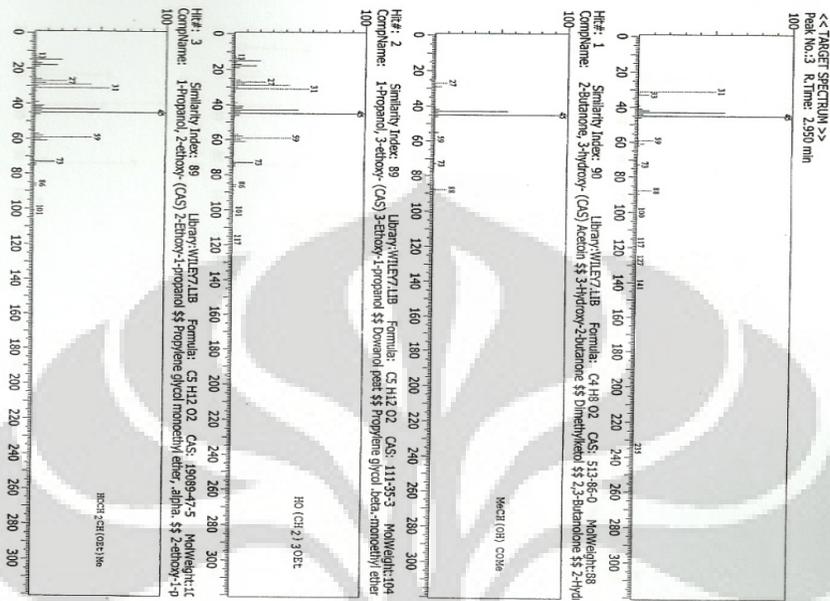


Qualitative Analysis Report



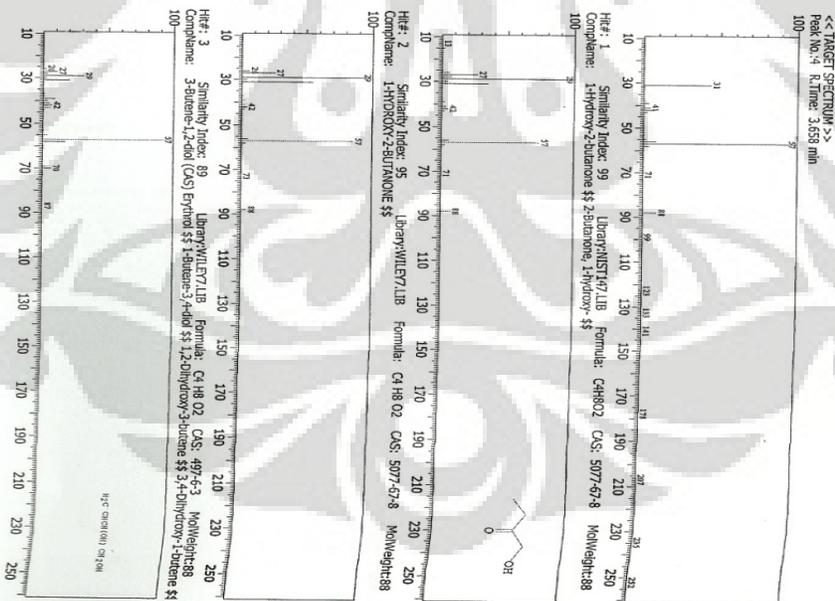
Qualitative Analysis Report

5 / 35



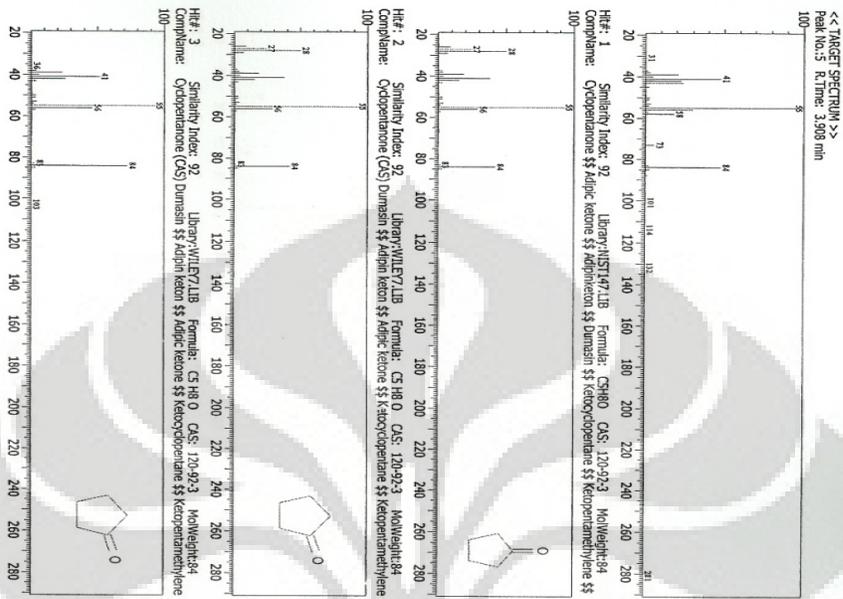
Qualitative Analysis Report

6 / 35



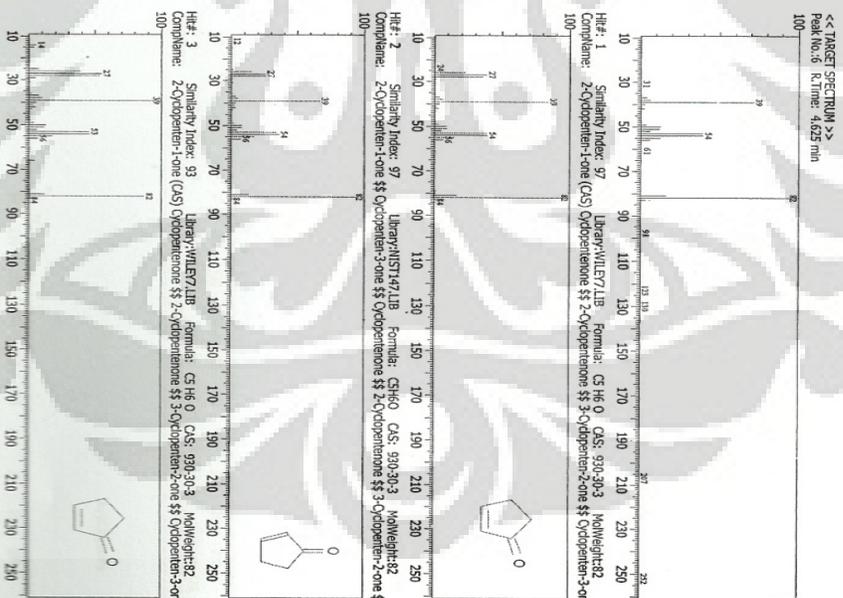
Qualitative Analysis Report

7 / 35



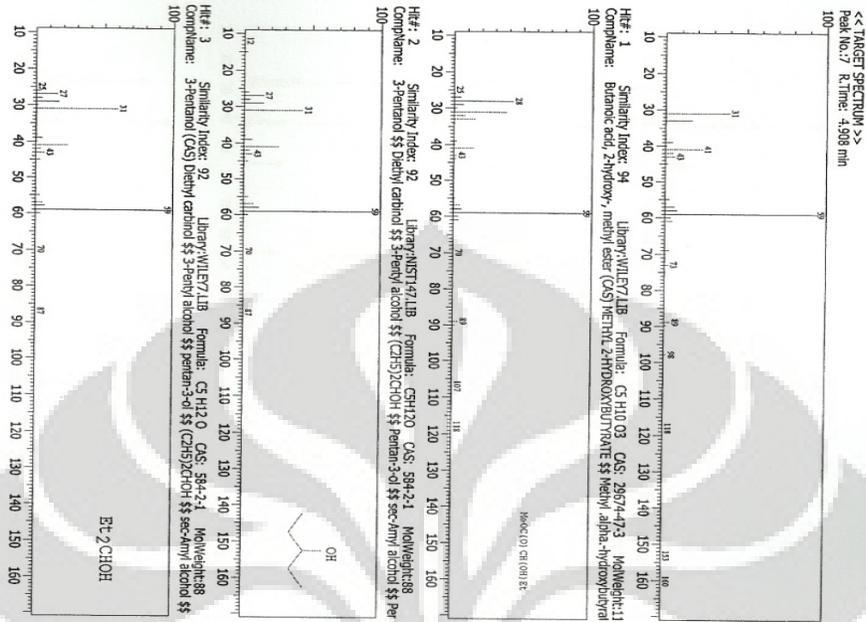
Qualitative Analysis Report

8 / 35



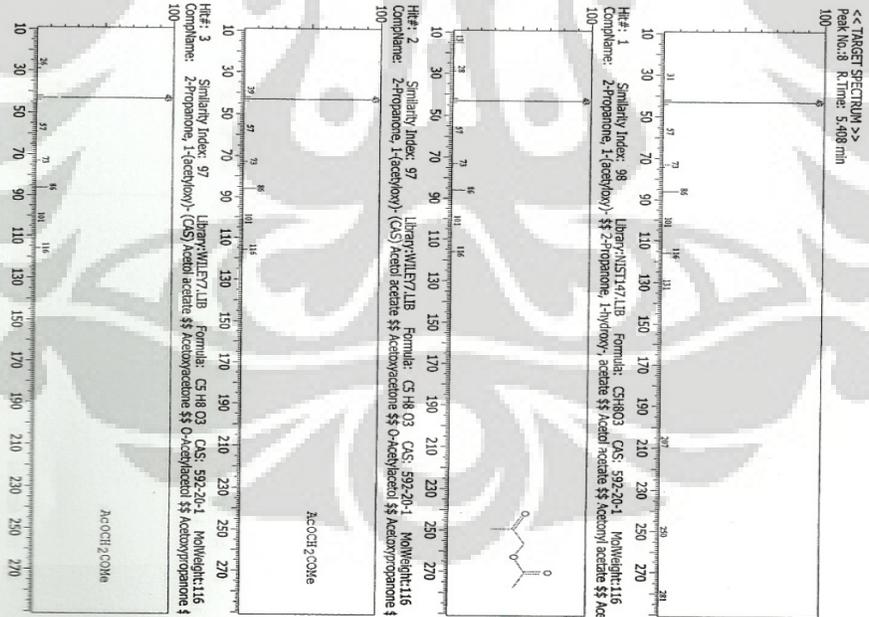
Qualitative Analysis Report

9 / 35



Qualitative Analysis Report

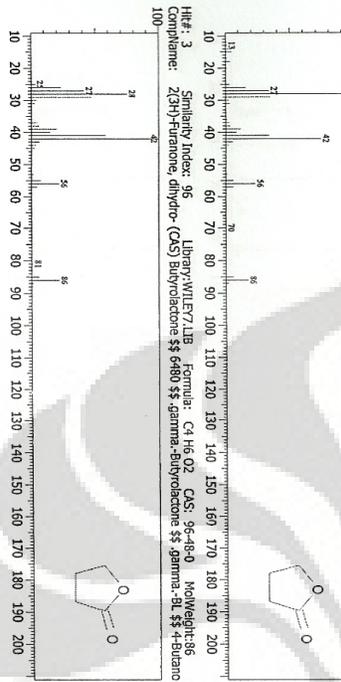
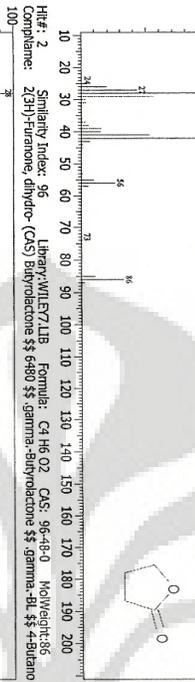
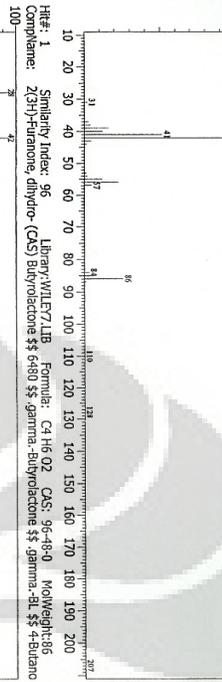
10 / 35



Qualitative Analysis Report

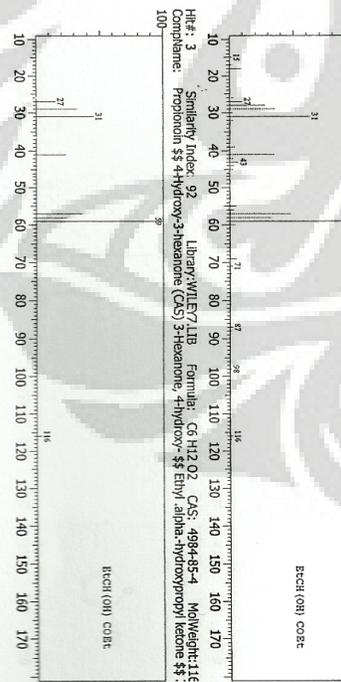
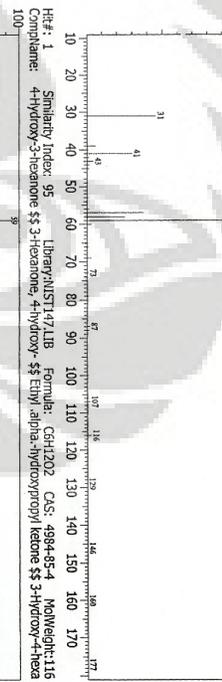
11 / 35

<< TARGET SPECTRUM >>  
Peak No.:9 R.Time: 6.075 min



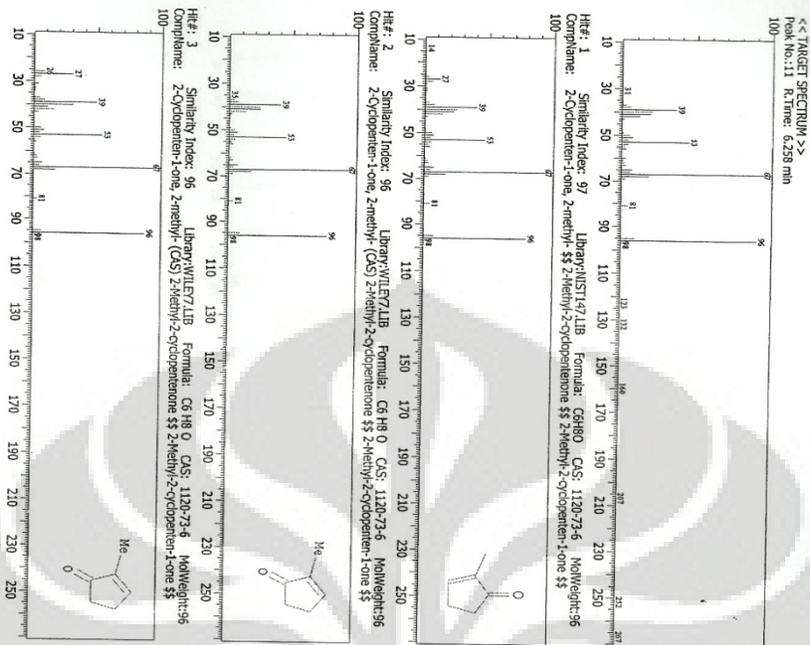
Qualitative Analysis Report

<< TARGET SPECTRUM >>  
Peak No.:10 R.Time: 6.167 min



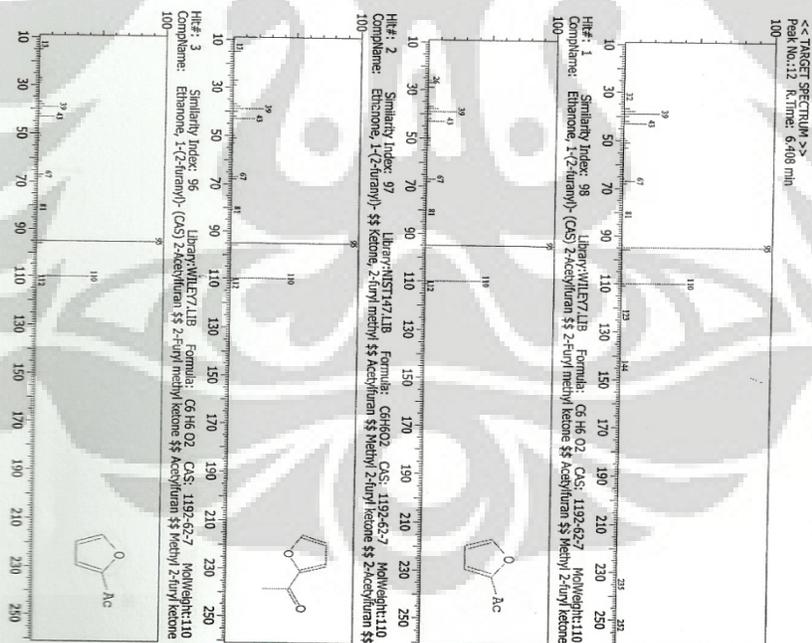
## Qualitative Analysis Report

13 / 35



## Qualitative Analysis Report

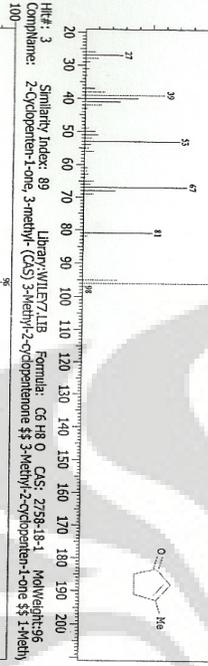
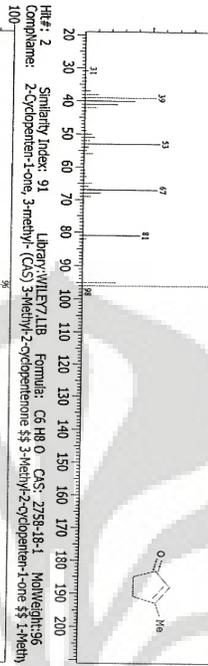
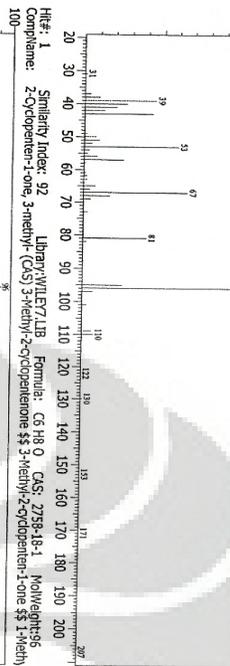
14 / 35



Qualitative Analysis Report

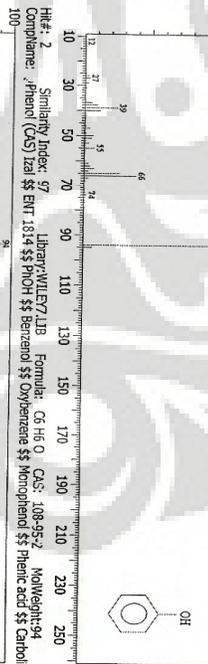
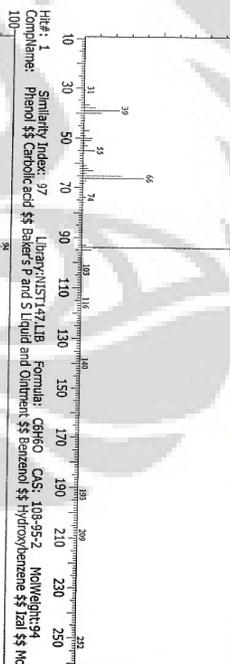
15 / 35

<< TARGET SPECTRUM >>  
Peak No.:13 R.time: 7.517 min



Qualitative Analysis Report

<< TARGET SPECTRUM >>  
Peak No.:14 R.time: 8.517 min



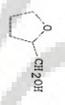
Qualitative Analysis Report

17 / 35

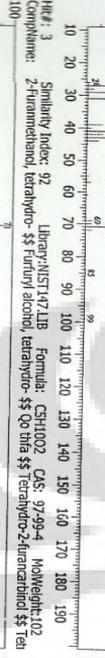
<< TARGET SPECTRUM >>  
Peak No.:15 R. Time: 8.575 min



Hit#: 1  
Library: NIST147.LIB  
Formula: C5H10O2  
CAS: 97-99-4  
MolWeight: 102  
CompName: 2-Furanmethanol, tetrahydro- (CAS) Tetrahydrofurfuryl alcohol



Hit#: 2  
Library: NIST147.LIB  
Formula: C5H10O2  
CAS: 97-99-4  
MolWeight: 102  
CompName: 2-Furanmethanol, tetrahydro- (CAS) Tetrahydrofurfuryl alcohol

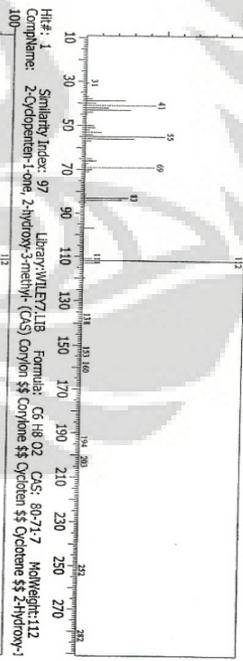


Hit#: 3  
Library: NIST147.LIB  
Formula: C5H10O2  
CAS: 97-99-4  
MolWeight: 102  
CompName: 2-Furanmethanol, tetrahydro- (CAS) Tetrahydrofurfuryl alcohol

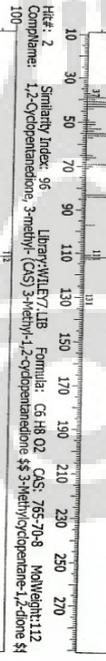
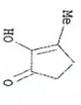


Qualitative Analysis Report

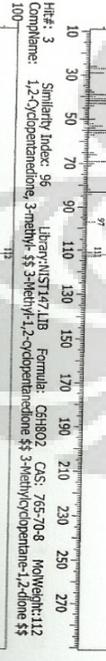
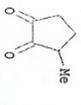
<< TARGET SPECTRUM >>  
Peak No.:16 R. Time: 9.042 min



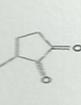
Hit#: 1  
Library: NIST147.LIB  
Formula: C6H8O2  
CAS: 86-71-7  
MolWeight: 112  
CompName: 2-Cyclopentanone, 3-methyl- (CAS) Cyclopentanone



Hit#: 2  
Library: NIST147.LIB  
Formula: C6H8O2  
CAS: 765-70-8  
MolWeight: 112  
CompName: 1,2-Cyclopentanediene, 3-methyl- (CAS) 3-Methyl-1,2-Cyclopentadiene

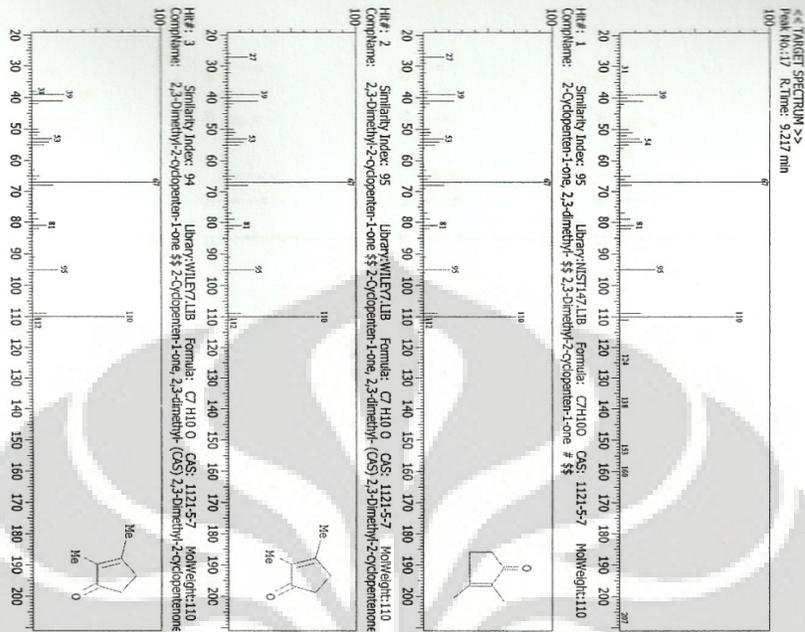


Hit#: 3  
Library: NIST147.LIB  
Formula: C6H8O2  
CAS: 765-70-8  
MolWeight: 112  
CompName: 1,2-Cyclopentanediene, 3-methyl- (CAS) 3-Methyl-1,2-Cyclopentadiene



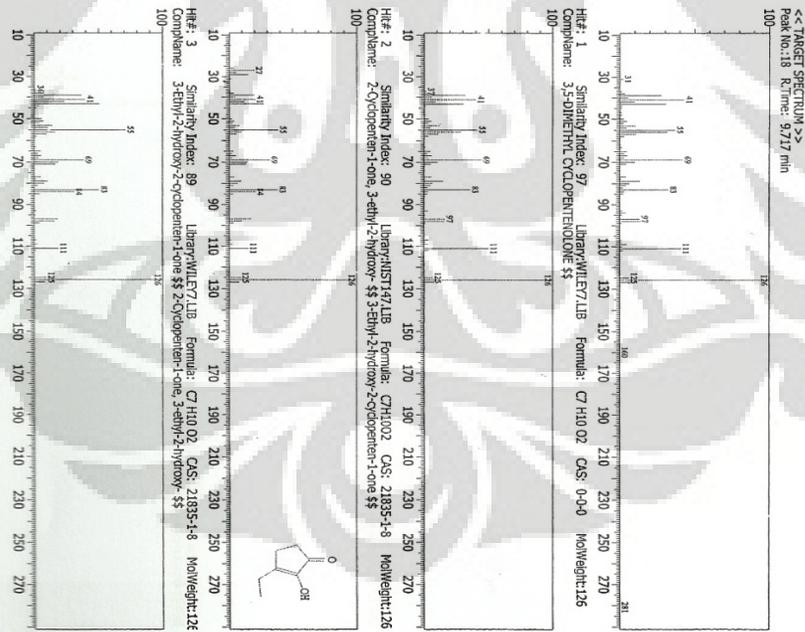
Qualitative Analysis Report

19 / 35



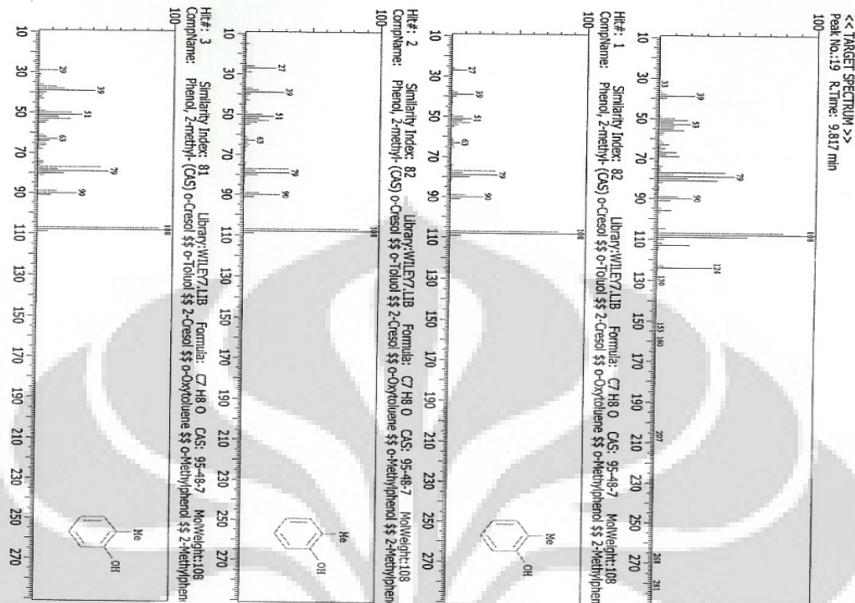
Qualitative Analysis Report

20 / 35



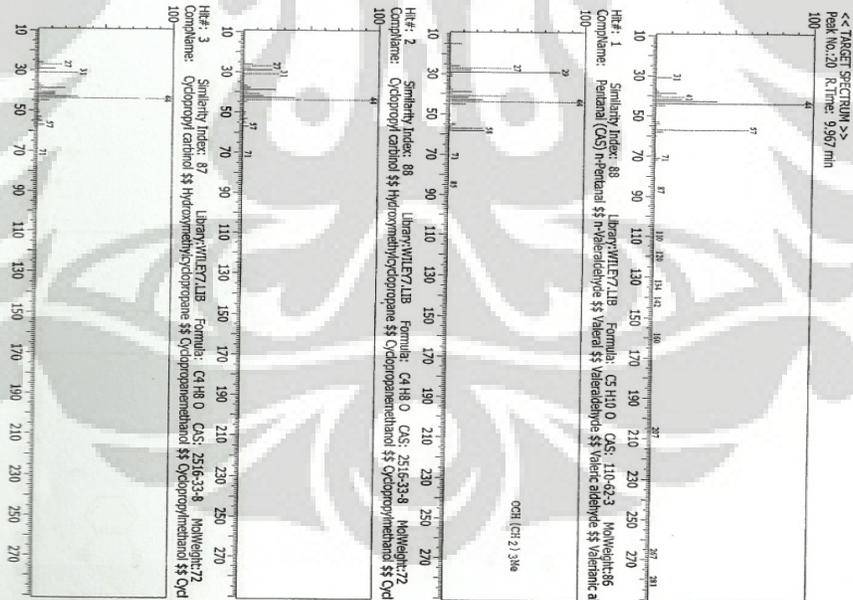
Qualitative Analysis Report

21 / 35



Qualitative Analysis Report

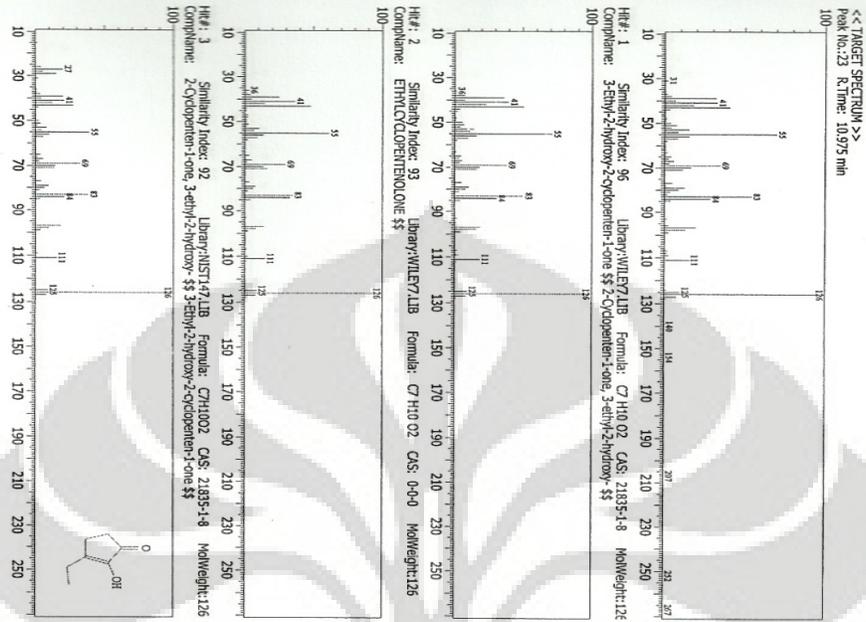
22 / 35





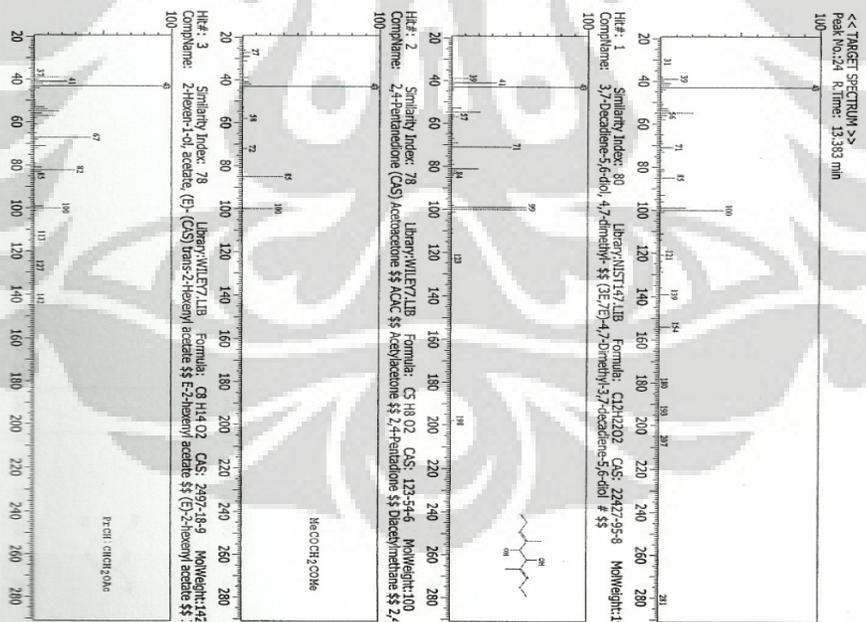
## Qualitative Analysis Report

25 / 35



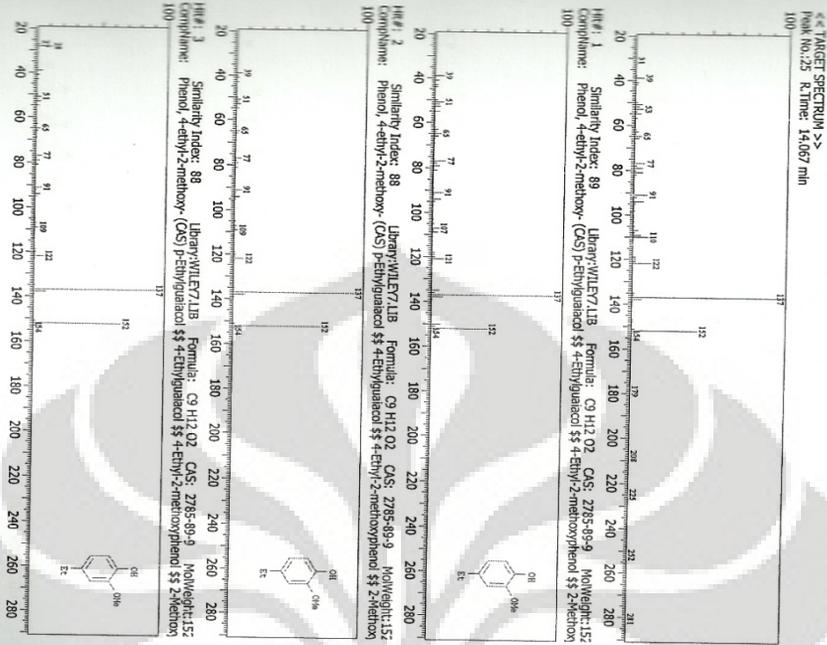
## Qualitative Analysis Report

26 / 31



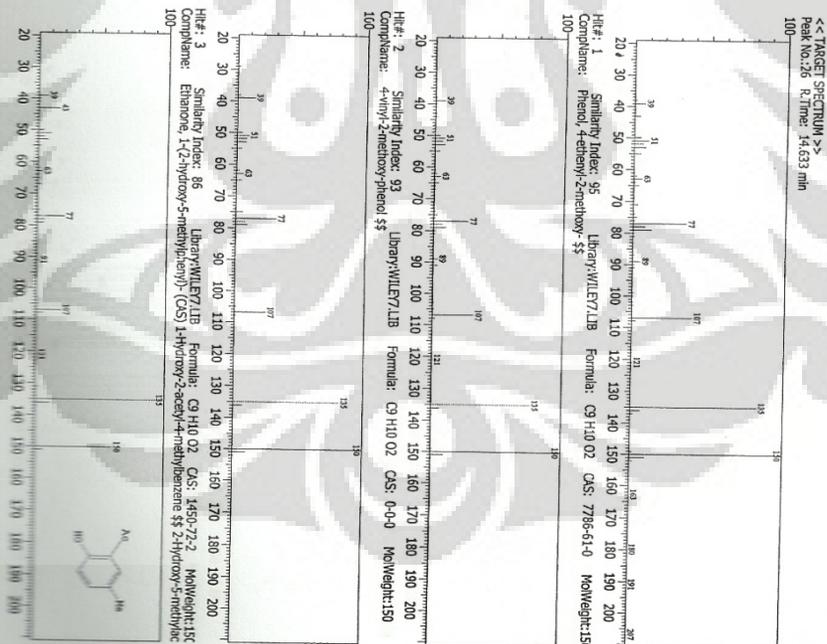
Qualitative Analysis Report

27 / 35



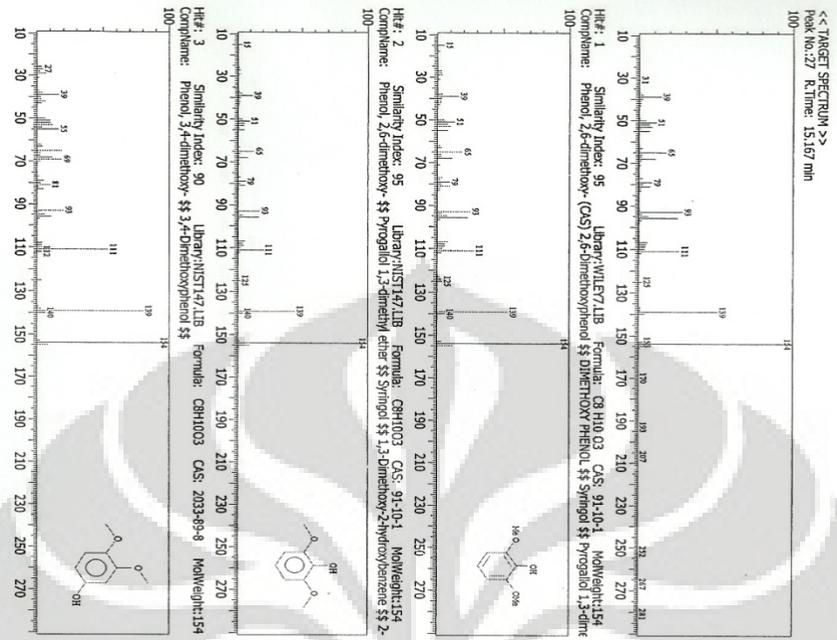
Qualitative Analysis Report

28 /



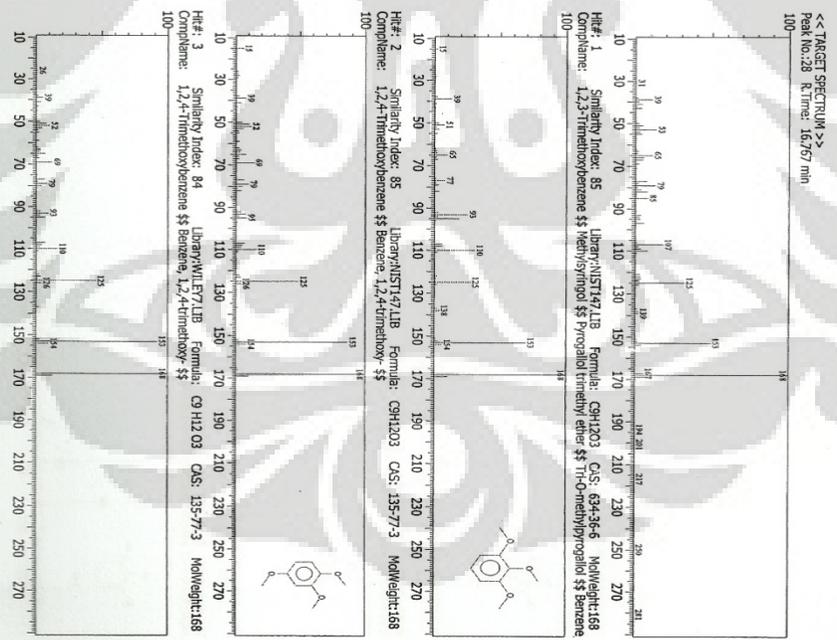
Qualitative Analysis Report

29 / 35



Qualitative Analysis Report

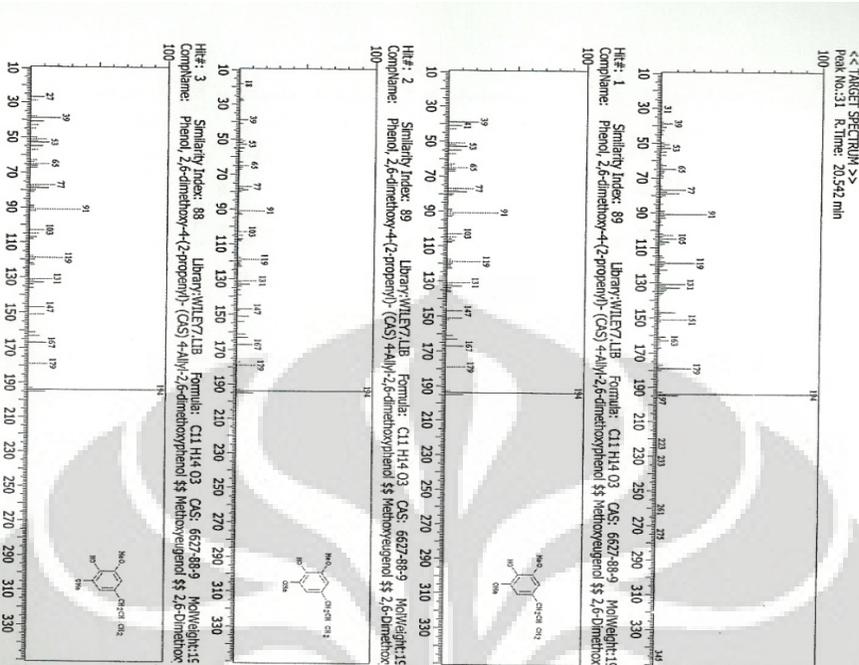
30 / 35





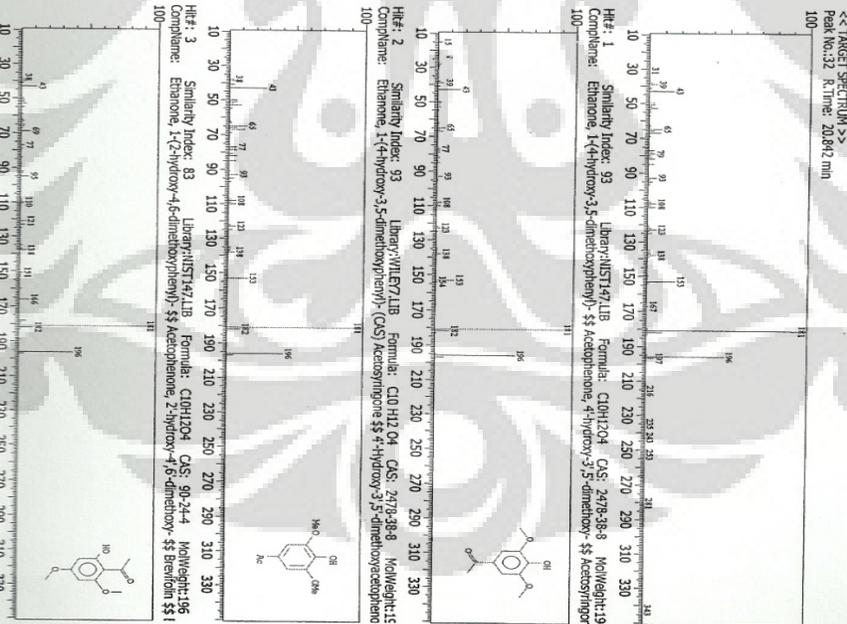
Qualitative Analysis Report

33 / 35



Qualitative Analysis Report

34 / 35



## Qualitative Analysis Report

35 / 35

<< TARGET SPECTRUM >>  
 Peak No.:33 R. Time: 21.317 min

