

Kode>Nama Rumpun Ilmu: 433/Teknik Kimia

LAPORAN PENELITIAN HIBAH BERSAING



Karakterisasi Produk Pirolisis Mikroalga *Spirulina platensis* residue (SPR) Untuk Pengembangan *Renewable Energy*

TIM PENELITI :

Ketua : Dr. Ir. Siti Jamilatun M.T (60960133)

Anggota : Dr. Martomo Setyawan ST.MT (60970162)

**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS AHMAD DAHLAN YOGYAKARTA
Oktober, 2019**

Kepada:

Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat
Universitas Ahmad Dahlan

**PENELITIAN INI DILAKSANAKAN ATAS BIAYA
DARI ANGGARAN PENDAPATAN DAN BELANJA UNIVERSITAS
AHMAD DAHLAN
NOMOR KONTRAK: No: PHB-081/ SP3/LPPM-UAD/IV/2019**

**HALAMAN PENGESAHAN
LAPORAN PENELITIAN HIBAH BERSAING
TAHUN AKADEMIK 2018/2019**

Judul Penelitian : Karakterisasi Produk Pirolisis Mikroalga *Spirulina platensis* residue (SPR) Untuk Pengembangan Renewable Energy
 Kode/Nama Rumpun Ilmu* : 433/ Teknik Kimia
 Batas RHP** : 2
 TSE Penelitian*** : Renewable Energy
 Tahapan Penelitian : ~~Riset Dasar~~ Riset Terapan/~~Riset Pengembangan~~ (pilih salah satu)
 TKT : 1 / 2 / 3 4 / 5 / 6 / 7 / 8 / 9 (lingkari salah satu)

Ketua Peneliti :

a. Nama Lengkap : Dr. Ir. Siti Jamilatun MT
 b. NID/NIP/NIDN : 60360133 / 0512086601
 c. Fakultas/Program Studi : Teknologi Industri / Teknik Kimia
 d. Pendidikan Terakhir : S2 / S3 Jabatan Akademik : A.A / L.K / GB
 e. Nomor HP / Alamat email : 081933096313 / siti.jamilatun@che.uad.ac.id

Anggota Peneliti I

a. Nama Lengkap : Dr. Martomo Setyawan ST, MT.
 b. Fakultas/Program Studi : Teknologi Industri / Teknik Kimia
 c. Nomor HP / Alamat email : 0811267050 / martomo@che.uad.ac.id

Lokasi Penelitian : Laboratorium Satuan Proses UAD
 Lama Penelitian Keseluruhan : 6 bulan
 Biaya Penelitian : Rp. 11.000.000,-
 - Diusulkan ke UAD : Rp. 11.000.000,-
 - Dana sumber lain : Rp.

Yogyakarta, 6 November 2020



Ketua Pengusul,

Dr. Ir. Siti Jamilatun, MT.
 NIDN/NIP. 60960133

Menyetujui,
 Kepala Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat
 Universitas Airlangga, Dahlan.



SURAT PERNYATAAN

Dengan surat ini kami menyatakan bahwa proposal penelitian :

- | | |
|----------------------------|--|
| 1. Judul penelitian | : Karakterisasi Produk Prolisis Mikroalga <i>Spirulina Platensis</i> Residu (SPR) Untuk Pengembangan <i>Renewable Energy</i> |
| 2. Ketua Peneliti | |
| a. Nama Lengkap dan Gelar | : Dr. Ir. Siti Jamilatus, M.T. |
| b. Jenis Kelamin | : Perempuan |
| c. Pangkat dan Golongan | : Pemusa Tk I / III c |
| d. Jabatan Fungsional | : Lektor |
| e. Fakultas/Jurusan | : Teknologi Industri / Teknik Kimia |
| f. Alamat | : Jalan Barokah Gang Nuri 361 Cabang
Kasihan Bantul |
| g. Nomor Telepon/HIP | : 081 329 157 053 |
| h. E-mail | : siti.jamilatus@che.usd.ac.id |
| 3. Jumlah Anggota Peneliti | : 1 Orang |
| a. Nama Anggota Peneliti 1 | : Dr. Martomo Setyawan ST., M.T. |
| b. Nama Anggota Peneliti 2 | : - |
| 4. Lama Penelitian | : 6 bulan |
| 5. Biaya yang diperlukan | : |
| a. Sumber UAD | : Rp 11.000.000 |
| b. Sumber Lain | : - |
| Jumlah | : Rp 11.000.000 |

Telah direvisi sesuai dengan masukan dan petunjuk yang disampaikan reviewer.

Mengetahui :

Reviewer,

Dr. Etna Astuti, S.T., M.T.
NIY 60960141

Yogyakarta, 29 Oktober 2019

Peneliti,

Dr. Ir. Siti Jamilatus, M.T.
NIY 60960133

KATA PENGANTAR



Puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penyusun dapat menyelesaikan laporan penelitian dengan judul **“Karakterisasi Produk Pirolisis Mikroalga Spirulina platensis residue (SPR) Untuk Pengembangan Renewable Energy”**.

Adapun penelitian yang telah dilakukan pada penelitian Tahun II ini adalah mencari karakteristik produk bio-oil dan potensinya sebagai bahan bakar terbarukan.

Dalam penyusunan laporan penelitian ini, penyusun mengucapkan terimakasih atas bantuan dan dorongan banyak pihak. Penyusun menyadari masih banyak kekurangan dalam pelaksanaan penelitian maupun dalam penyusunan laporan ini. Semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi yang membaca. Kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penyusun harapkan untuk perbaikan dimasa yang akan datang.

Yogyakarta, November 2019

Penyusun

DAFTAR ISI

COVER	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
SURAT PERNYATAAN TELAH REVISI.....	ii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR LAMPIRAN.....	vii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
ABSTRAK.....	x
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Rumusan Masalah	3
I.3. Tujuan Penelitian.....	3
I.4. Manfaat Penelitian.....	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	4
II.1. Mikroalga.....	4
II.2. Pirolisis	7
II.3. Bio-oil	10
BAB III. METODE PENELITIAN.....	11
III.1. Bagan Alur Penelitian	11
III.2. Alat dan Bahan	12
III.2.1. Alat.....	12
III.2.2. Bahan	12
III.3. Cara Penelitian	13
III.4. Analisis Hasil.....	14
III.5. .5. Lokasi Penelitian	14
III.6. Target Luaran	14

BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	15
IV.1. Karakteristik <i>Spirulina platensis</i> residue (SPR)	15
IV.2. Karakteristik Alat Pirolisis	15
IV.3. <i>Yield</i> produk	17
IV.4. Karakteristik Bio-oil.....	21
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	28
DAFTAR PUSTAKA.....	30
LAMPIRAN	33

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN-LAMPIRAN

1. Personalia Peneliti
2. Profil Penelitian
3. Borang Capaian Luaran Penelitian
4. Bukti Capaian Luaran Penelitian
5. Surat Kontrak Penelitian
6. Salinan Presensi/Daftar Hadir Kolokium

DAFTAR TABEL

Tabel II.1.	Perbandingan biodiesel dari beberapa sumber biomassa	4
Tabel II.2.	Jenis mikroalga dan kandungan protein, karbohidrat & lipid	5
Tabel II.3.	Distribusi produk dalam proses pirolisis	8
Tabel IV.1.	Karakteristik <i>Spirulina platensis</i> residue (SPR)	16

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1.	Skema Proses Pirolisis	7
Gambar II.2.	Skema mekanisme reaksi dan produk pirolisis mikroalga	9
Gambar III.1.	Blok Diagram Pirolisis SPR dan Analisis	11
Gambar III.2.	Rangkaian Alat Percobaan	12
Gambar IV.1.	Hubungan antara waktu dengan suhu pirolisis	17
Gambar IV.2.	Hubungan antara pengaruh suhu terhadap yield produk: (a) bio-oil, (b) water phase, (c) char dan (d) gas	19
Gambar IV.3.	Pengaruh suhu terhadap konversi pirolisis SPR	21
Gambar IV.4.	Pengaruh suhu terhadap komposisi bio-oil	22
Gambar IV.5.	Pengaruh suhu terhadap perbandingan O/C dan H/C dari bio-oil	23
Gambar IV.6.	Pengaruh suhu terhadap HHV dari bio-oil	23
Gambar IV.7.	Pengaruh suhu terhadap gugus fungsional penyusun bio-oil: (a) oksigenat, (b) nitrogenat, (c) alifatik dan (d) aromatik	26

ABSTRAK

Saat ini, konsumsi energi mengalami kenaikan seiring dengan peningkatan jumlah penduduk yang dibarengi dengan perkembangan sosial ekonomi dan peningkatan standar kehidupan. Penggunaan bahan bakar konvensional dari fosil yang bersifat tak terbarukan masih digunakan sebagai sumber utama pemenuhan energy, penggunaan yang berlebihan akan menyebabkan berkurangnya cadangan sumber energi dan problem lingkungan yang serius akibat emisi CO₂ yang dihasilkan. Oleh karena itu perlu dicari pengganti energi fosil tersebut dengan sumber energi yang bersifat terbarukan dan yang potensial dikembangkan adalah biofuel. Dengan pemanfaatan residu ekstraksi mikroalga *Spirulina platensis* (SPR) sebagai bahan baku pirolisis akan dihasilkan produk bio-oil, water phase, gas dan *char*. Tujuan penelitian ini adalah karakterisasi produk pirolisis, yield produk dari tiga kali percobaan dan analisis bio-oil dengan GC-MS. Kualitas bio-oil dapat dilihat dari kandungan komponen O/C, H/C dan nilai *higher heating value* (HHV), dan kandungan senyawa oksigenat, alifatik dan aromatik. Bahan bakar dengan kualitas baik jika O/C rendah, H/C tinggi, HHV tinggi, senyawa oksigenat rendah, sedangkan alifatik dan aromatik tinggi.

Pirolisis dilakukan pada suhu 300-600°C dalam kondisi atmosferis dengan *heating rate* 5-35 °C/menit. Peralatan yang digunakan adalah reaktor *fixed-bed* dengan ukuran diameter luar 44 mm, diameter dalam 40 mm, serta tinggi reaktor adalah 600 mm. Sebelum reaktor digunakan terlebih dahulu dianalisis karakteristik kenaikan suhu terhadap waktu pirolisis untuk mengontrol *heating rate* pada kisaran yang dikehendaki. Umpan SPR yang digunakan sebanyak 50 gram, dengan variasi suhu pirolisis (300, 400, 500 dan 600°C) diharapkan akan diperoleh data kondisi optimum dengan produk bio-oil maksimal. Bio-oil produk dianalisis komponennya dengan GC-MS untuk mengetahui kandungan C, H, O, N, S, senyawa oksigenat, nitrogenate, alifatik dan aromatik.

Pada pirolisis SPR, semakin tinggi suhu pirolisis maka *yield* bio-oil akan semakin naik sampai suhu optimum, kemudian turun. Suhu optimum pirolisis adalah 550 °C (23,99 wt.% bio-oil) dan pada 600 °C (33,28 wt.% gas). Semakin tinggi suhu pirolisis H/C naik, O/C turun. Kondisi optimum dicapai pada suhu 500 °C nilai C, H, O, dan H/C & O/C berturut-turut adalah 37,00; 43,25; 17,34 wt.% dan 1,17 & 0,47. Adapun *Higher Heating Value* (HHV) mengalami peningkatan dari 11,64 MJ/kg menjadi 20,63 MJ/kg dengan kenaikan suhu dari 300 sampai 600 °C. Senyawa oksigenat mengalami penurunan dengan kenaikan suhu, yakni dari rata-rata 85,26 (300 °C) menjadi 37,55 wt.% (600 °C), terjadi penurunan senyawa oksigenat sekitar 55,96 %. Adapun alifatik dan aromatik mengalami peningkatan dari 300-600 °C, masing-masing adalah dari 5,76 sampai 36,72 wt.% dan 1,67 ampai 6,67 wt.%.

Kata kunci : *Spirulina platensis* residue, oksigenat, alifatik, aromatik

ABSTRACT

At present, energy consumption has increased along with an increase in population coupled with socio-economic developments and improved living standards. The use of conventional fuels from non-renewable fossils still use as the primary source of energy fulfillment; excessive use will cause a reduction in reserves of energy sources and severe environmental problems due to CO₂ emissions produced. Therefore it is necessary to find a substitute for fossil energy with renewable energy sources, and the potential to be developed is biofuels. By utilizing *Spirulina platensis* (SPR), microalgae extraction residue as pyrolysis raw material, bio-oil, water phase, gas, and char products will produce. The purpose of this study is the characterization of pyrolysis products, product yields from three experiments, and analysis of bio-oil with GC-MS.

The quality of bio-oil can see from the content of O / C, H / C components, and higher heating value (HHV), and the content of oxygenate, aliphatic, and aromatic compounds. Good quality fuel if O / C is low, H / C is high, HHV is high, oxygenate compounds are small, while aliphatic and aromatic are high. Pyrolysis is carried out at a temperature of 300-600°C in atmospheric conditions with a heating rate of 5-35 ° C/min. The equipment used is a fixed-bed reactor with an outer diameter of 44 mm, an inner diameter of 40 mm, and a reactor height of 600 mm. Before the reactor use, the temperature rise characteristic of the pyrolysis time is analyzed to control the heating rate in the desired range. SPR feed that is used as much as 50 grams, with variations in pyrolysis temperature (300, 400, 500, and 600 ° C), is expected to obtain optimum condition data with maximum bio-oil products. The composition of bio-oil was analyzed by GC-MS to determine the contents of C, H, O, N, S, and oxygenate, nitrogenate, aliphatic, and aromatic.

In the SPR pyrolysis, the higher the pyrolysis temperature, the bio-oil yield will increase to an optimum temperature, then decrease. The optimum pyrolysis temperature is 550°C (23.99 wt.% Bio-oil) and at 600 ° C (33.28 wt.% Gas). The higher the pyrolysis temperature H/C rises, the O/C falls. The optimum conditions achieved at a temperature of 500°C the values of C, H, O, and H / C & O / C are 37.00; 43.25; 17.34 wt.% And 1.17 & 0.47. The Higher Heating Value (HHV) has increased from 11.64 MJ / kg to 20.63 MJ / kg, with an increase in temperature from 300 to 600 °C. Oxygenate compounds decreased with an increase in temperature, ie, from an average of 85.26 (300°C) to 37.55 wt.% (600°C), a decrease in oxygenating compounds was around 55.96%. As for aliphatic and aromatic experiences, it increased from 300-600 °C, each from 5.76 to 36.72 wt.% And 1.67 to 6.67 wt.%.

Keywords: *Spirulina platensis* residue, oxygenate, aliphatic, aromatic

BAB I. PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Peningkatan kebutuhan energi primer yang dibarengi dengan penurunan cadangan sumber energi fosil sangat mengawatirkan dalam pemenuhan energi di masa kini dan masa yang akan datang. Konsumsi energi final (tanpa kayu bakar) Indonesia tahun 2016 masih didominasi oleh bahan bakar minyak (BBM) sebesar 47%. Jika dilihat secara sektoral, maka sektor transportasi dan industri memiliki pangsa yang paling besar, yaitu sebesar 42% dan 36%. Selama tahun 2016-2050, BBM akan terus menjadi kebutuhan energi final karena penggunaan teknologi saat ini yang masih berbasis BBM, terutama di sektor transportasi (BPPT–OEI, 2018).

Menurut data Renstra ESDM (2015–2019), pada tahun 2014 cadangan terbukti minyak bumi sebesar 3,6 miliar barel, gas bumi sebesar 100,3 TCF dan batubara sebesar 32,27 miliar ton. Jika diasumsikan tidak ada penemuan cadangan baru, maka minyak bumi akan habis dalam 12 tahun, gas bumi 37 tahun, dan batubara 70 tahun. Cadangan ini dapat lebih cepat habis karena produksi energi fosil yang terus meningkat, hal ini akan menyebabkan ketahanan energi nasional terganggu. Kebijakan konservasi dan diversifikasi energi baru terbarukan (EBT) harus terus dikembangkan, meskipun peranan BBN, LPG, dan biomassa belum begitu besar dalam memenuhi kebutuhan energi final nasional (BPPT–OEI, 2018).

Biomassa adalah sumber energi terbarukan, tersedia di seluruh dunia, memungkinkan produksi panas dan daya sesuai yang direncanakan secara berkelanjutan. Salah satu sumber biomassa sebagai bahan bakar terbarukan di masa depan adalah mikroalga. Pengembangan mikroalga memiliki banyak keuntungan dibandingkan sumber energi dari biomassa lainnya, seperti laju produksi biomassa yang tinggi, tidak berkompetisi dengan bahan pangan, serta tidak membutuhkan lahan yang luas untuk pertumbuhannya (Gultom et al., 2014).

Pembuatan biodiesel dari mikroalga dengan ekstraksi menghasilkan residu padat yang dapat dimanfaatkan kembali sebagai sumber bahan baku untuk menghasilkan biofuel (Goyal et al., 2008). Residu padat ini dapat disebut dengan *Spirulina platensis residue* (SPR) yang masih banyak mengandung karbohidrat dan protein yang tinggi. Pengolahan SPR dengan fermentasi akan menghasilkan etanol, sedangkan pengolahan dengan pirolisis akan menghasilkan biofuel (*char*, biogas dan bio-oil). Penggunaan residu padat mikroalga dari jenis dengan kandungan *lipid* yang rendah seperti *Spirulina sp.* (*lipid* 4-9 %) sebagai bahan baku pirolisis sangat menguntungkan karena dapat mengoptimalkan *yield* produk bio-oil hampir 40 % (Chaiwong et al., 2013).

Bio-oil adalah cairan coklat gelap yang memiliki nilai panas sekitar setengah dari bahan bakar minyak konvensional, sedangkan dari *water phase* akan didapatkan produk *chemicals* yang bermanfaat dalam bidang farmasi (Gronli M, 1996). Bio-oil biasanya menghasilkan campuran komponen oksigenat (alkohol, eter, aldehida, keton, fenol, ester, dan asam) dan nitrogenat (Maher et al., 2007). Kekurangan bio-oil dari mikroalga adalah kandungan oksigenat dan nitrogenat yang masih cukup tinggi yang menyebabkan ketidakstabilan dalam penggunaannya.

Dari paparan di atas, peluang pemanfaatan residu padat hasil ekstraksi mikroalga untuk pembuatan bahan bakar sangat menjanjikan. Identifikasi kandungan senyawa penyusun bio-oil pada berbagai suhu pirolisis penting dilakukan, agar selanjutnya dilakukan upaya *upgrading* bio-oil untuk dapat diaplikasikan di industri. Pada penelitian ini akan dilakukan karakterisasi produk pirolisis mikroalga *Spirulina platensis residue* (SPR) untuk pengembangan *renewable energy*.

I.2. Rumusan Masalah

1. Permasalahan konsumsi energi yang masih mengandalkan sumber fosil (*Non-renewable energy*), mendesak untuk dicarikan energi alternatif dari *renewable energy* dari bahan baku *Spirulina platensis residue* (SPR).
2. Bagaimana pengolahan SPR dan kondisi optimum yang akan menghasilkan produk yang berkualitas?
3. Karakterisasi produk pirolisis untuk identifikasi komponen senyawa penyusun *bio-oil*, *water phase*, *gas* dan *char*, dan kandungan senyawa oksigenat, nitrogenat, alifatik dan aromatik

I.3. Tujuan Penelitian

1. Mengolah *Spirulina plantesis residu* (SPR) menjadi *renewable energy*.
2. Mengetahui kondisi optimum pirolisis dan mempelajari pengaruh suhu terhadap komponen penyusun produk pirolisis (C, H, O, N dan S)
3. Menentukan karakteristik/kandungan senyawa *bio-oil* dalam produk pirolisis

I.4. Manfaat Penelitian

1. Dengan mengetahui cara pengolahan *Spirulina plantesis residu* (SPR) diharapkan dapat dihasilkan produk *renewable energy* yang berkualitas.
2. Dapat mengetahui pengaruh suhu terhadap karakteristik dari produk pirolisis dan kondisi operasi optimum untuk menghasilkan bahan bakar *bio-oil* dengan O/C rendah, H/C dan HHV tinggi.
3. Mengetahui kandungan senyawa dalam *bio-oil* (alifatik, aromatik, nitrogenat, dan oksigenat) untuk menentukan kualitas *bio-oil* produk.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

II.1. Mikroalga

Mikroalga merupakan sumber biomassa yang mengandung banyak komponen yang berguna seperti protein, karbohidrat, lemak dan lain-lain. Komponen pada mikroalga dapat dikonversi dengan beberapa proses untuk dijadikan produk biofuel (cair, padat dan gas), dapat dikatakan bahwa mikroalga memiliki potensi memasok 30 % dari bahan bakar global (Jeevan-Kumar et al., 2017).

Perbandingan jumlah biodiesel per hektar yang dihasilkan dari berbagai macam sumber biomassa ditampilkan pada Tabel II.1.

Tabel II.1. Perbandingan biodiesel dari beberapa sumber biomassa (Gultom et al., 2014)

Tanaman	Oil Yield (L/ha)	Luas Area yang dibutuhkan (M ha) ^a	Persen area panen lahan di AS
Jagung	172	1540	846
Kedelai	446	594	326
Canola	1190	223	122
Jatropha	1892	140	77
Kelapa	2689	99	54
Kelapa sawit	5950	45	24
Microalgae ^b	136.900	2	1.1
Microalgae ^c	58.700	4.5	2.5

^a Untuk memenuhi 50% dari semua kebutuhan bahan bakar transportasi di Amerika Serikat.

^b 70% oil(by wt) dalam biomassa.

^c 30% oil(by wt) in biomassa.

Dari Tabel II.1 dapat dilihat bahwa mikroalga menjadi satu-satunya sumber biodiesel yang berpotensi sepenuhnya menggantikan biodiesel dari fosil. Dari mikroalga dengan kandungan minyak 70 % dihasilkan 136.900 liter minyak per hektar

yang hanya membutuhkan lahan 2 hektar. Produk minyak ini 72 kali lebih banyak dibandingkan dengan biomassa *Jatropha*, 23 kali lebih banyak dibandingkan dari kelapa sawit. Tidak seperti tanaman minyak lainnya, mikroalga tumbuh sangat cepat dan kaya minyak (Gultom et al., 2014).

Macam-macam mikroalga untuk basis kering serta kandungan protein, karbohidrat dan *lipid* dapat dilihat pada Tabel II.2, yaitu:

Tabel II.2. Jenis mikroalga dan kandungan protein, karbohidrat & *lipid*

Mikroalga	Protein (%)	Karbohidrat (%)	Lipid(%)
<i>Scenedesmus sp.</i>	8-18	21-30	1-40
<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	48	17	21
<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	51-58	12-17	14-22
<i>Chlorella pyrenoidos</i>	57	26	2
<i>Spyrogyra sp.</i>	6-20	33-64	11-21
<i>Dunaliella bioculata</i>	49	4	8
<i>Dunaliella salina</i>	57	32	6
<i>Euglena viridis gracilis</i>	39-61	14-18	14-20
<i>Prymnesium parvum</i>	28-45	25-33	22-38
<i>Tetraselmis Malculate</i>	52	15	3
<i>Porphyridium cruentum</i>	28-39	40-57	9-14
<i>Spirulina platensis</i>	46-63	8-14	4-9
<i>Spirulina maxima</i>	60-71	13-16	6-7
<i>Synechoccus sp.</i>	63	15	11
<i>Anabaena cylindrical</i>	43-56	25-30	4-7

Kandungan minyak dalam mikroalga dapat melebihi 80% berat biomassa kering (Spolaore et al., 2006). Oleh karena itu pengembangan teknologi konversi mikroalga menjadi energi terus dilakukan. Potensi mikroalga sebagai bahan baku pembuatan

minyak bio-disel, bio-etanol dan produk lainnya menjadi pemacu dalam menemukan dan menerapkan teknologi konversi mikroalga yang efektif, efisien serta secara ekonomi dapat menguntungkan.

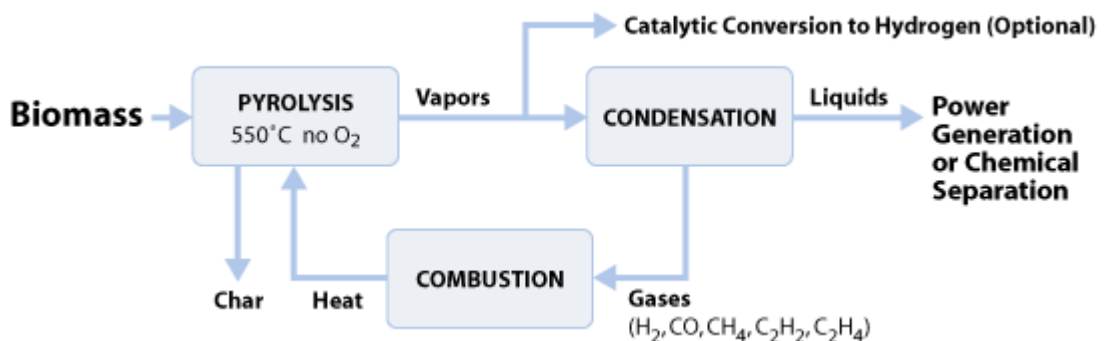
Mikroalga mengandung *lipid* dan asam lemak yang bisa menjadi bahan dasar dari biofuel. *Lipid* yang dihasilkan dari mikroalga mengandung C16 dan C18 yang dapat diesterifikasi untuk produksi biodiesel bermutu tinggi (Silva *et al.*, 2014). Keuntungan lain dari mikroalga adalah tidak bersaing dengan tanaman lain dalam penggunaan lahan. Kandungan minyak yang terkandung dalam tubuh mikroalga bisa mencapai 70 % dari total berat kering (Dragone *et al.*, 2010).

Dari Tabel II.2 dapat dilihat bahwa ada beberapa mikroalga yang dijadikan sebagai bahan baku pembuatan biofuel, salah satunya adalah *Spirulina platensis*. *Spirulina platensis* adalah alga hijau biru yang kaya protein, vitamin, mineral dan nutrient lainnya (Dragone *et al.* 2010). Kandungan nutrisi tinggi dapat digunakan sebagai bahan makanan kesehatan. *Spirulina* mengandung 5 zat gizi utama, yaitu : karbohidrat, protein, lemak (gama linoleat, omega 3, 6, dan 9), vitamin (B-kompleks, E), mineral (Fe, Ca, K), serta pigmen alami (beta karoten, klorofil, xantofil, fikosianin). Oleh karena itu, *spirulina* dapat berfungsi sebagai antioksidan (mencegah kanker dan radikal bebas), meningkatkan sistem imunitas tubuh (daya tahan terhadap fluktuasi lingkungan dan serangan penyakit), serta menurunkan kolesterol. Media Guillard sering digunakan untuk budidaya *Spirulina* dan memiliki kandungan nutrisi yang lengkap. Media Guillard digunakan karena berdasarkan penelitian sebelumnya pada mikroalga *Chaetoceros gracillis*, media ini mendapatkan protein dan kadar lemak yang tinggi, kandungan N dan P media ini adalah $N(NaNO_3)=88,2032$ g/l, $P(NaH_2PO_4 \cdot 2H_2O)=10$ g/l. Media ini biasa digunakan untuk kultivasi mikroalga dan diketahui dapat menghasilkan biofuel yang tinggi (Spolaore *et al.*, 2006).

II.2. Pirolisis

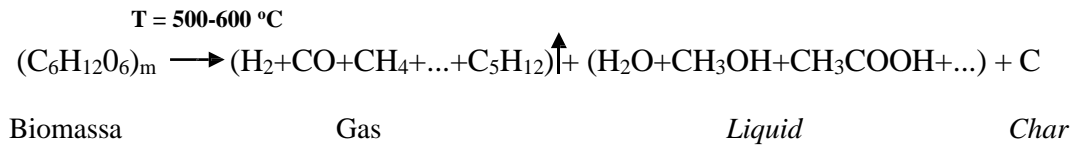
Pirolisis adalah dekomposisi termokimia untuk menghasilkan produk dan proses yang terjadi adalah tanpa menggunakan oksigen (Basu, 2010). Pemanasan pirolisis dilakukan dalam temperatur berkisar 350-500 °C. Selama proses pemanasan pirolisis, molekul-molekul besar biomassa terurai pada temperatur tinggi dan menghasilkan produk yang umumnya terdiri dari tiga jenis, yaitu gas ringan (H_2 , CO , CO_2 , H_2O dan CH_4), tar, dan *char* (Edwards, 2008). Distribusi produk pirolisis dapat bergantung pada proses parameter seperti suhu, waktu tinggal dan laju pemanasan. Pengaruh suhu pada pirolisis *Spirulina* diselidiki dengan tujuan memperkirakan produk utama pirolisis seperti hidrokarbon, oksigenat dan senyawa nitrogen (Jamilatun et al, 2017).

Jumlah dan karakteristik produk dipengaruhi oleh komposisi kimia bahan baku biomassa dan kondisi operasi. Devolatilisi sedikit endotermik, untuk suhu di atas 500 °C maka 75-90 % berat bahan akan mudah menguap dan dihasilkan produk berupa uap yang *condensable* dan *non-condensable gas*. *Yield* dari *condensable* (bio-oil dan *water phase*) dan *non-condensable gas* (CO , CO_2 , CH_4 dan H_2) dan banyaknya *char* yang terbentuk tergantung pada tingkat pemanasan (*heating rate*) dan suhu akhir (Dickerson and Soria, 2013). Skema proses pirolisis dapat dilihat pada Gambar II.1.



Gambar II.1. Skema proses pirolisis

Dibawah ini reaksi kimia dari pirolisis :

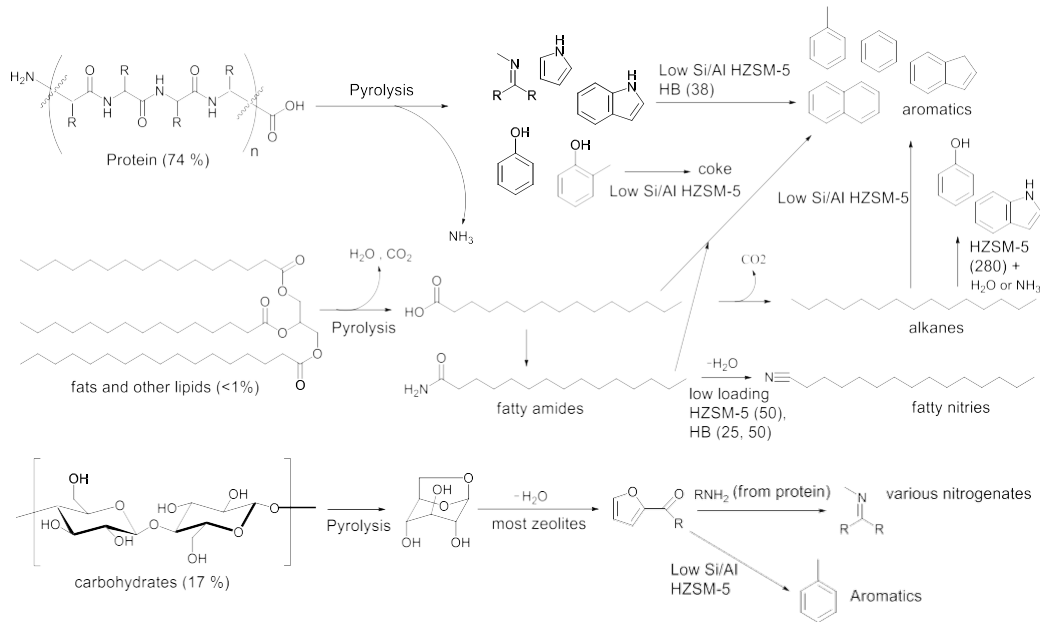


Hemiselulosa terdekomposisi pada suhu 200 °C-260 °C, selulosa pada suhu 240 °C-340 °C dan lignin pada suhu 280 °C-500 °C (Yokohama, 2008); Yuan *et al.*, 2013). Pirolisis lambat terjadi pada suhu yang lebih rendah dengan laju pemanasan lebih rendah, dan waktu tinggal yang lebih lama daripada proses pirolisis cepat. Jumlah cairan, arang, dan gas dapat bervariasi tergantung pada jenis dan sifat pirolisis dan bahan baku biomassa (Mohan *et al.*, 2005).

Tabel II.3. Distribusi produk dalam proses pirolisis (De Wild *et al.*, 2011)

Jenis pirolisis	Kondisi	Cairan	Padatan	Gas
<i>Fast</i>	Suhu reaktor 500 °C, <i>heating rate</i> sangat tinggi >1000 °C/det., <i>Short hot vapour residence</i> ≈1 det	75 %	12 %	13 %
<i>Intermediate</i>	Suhu reaktor 400-500 °C, <i>heating rate</i> 1-1000 °C/det., <i>hot vapour residence</i> ≈10-30 det.	50 %	25 %	25 %
<i>Slow-Torrefaction</i>	Suhu reaktor ≈ 290 °C, <i>heating rate</i> diatas 1°C/det., <i>solids residence time</i> ~30 men.	0-5 %	77 %	23 %
<i>Slow-Carbonisation</i>	Suhu reaktor 400-500 °C, <i>heating rate</i> diatas 1 °C/det., <i>long solid residence</i> dari jam sampai hari	30 %	33 %	35 %

Skema mekanisme reaksi dan produk dari pirolisis mikroalga dapat dilihat pada Gambar II.2.



Gambar II.2. Skema mekanisme reaksi dan produk pirolisis mikroalga

Bio-oil dari hasil pirolisis mikroalga dan *proteinaceous* biomass (biomassa dengan kandungan protein tinggi) umumnya lebih stabil, HHV yang lebih tinggi dan kandungan O yang lebih rendah dibandingkan bio-oil dari lignoselulosa. *Linear hydrocarbon* dalam kandungan bio-oil dihasilkan dari pirolisis *lipid*, *aromatic hydrocarbon* dihasilkan dari pirolisis protein, sedangkan turunan glukosa dihasilkan oleh pirolisis karbohidrat (Hu *et al.*, 2013; Wang *et al.*, 2017).

Komposisi senyawa pada produk bio-oil turunan karbohidrat, protein dan *lipid* setiap jenis mikroalga adalah berbeda-beda, baik jenis senyawanya maupun persen berat. Hal lain yang mempengaruhi komposisi produk bio-oil adalah komposisi jenis mikroalga yang digunakan (C, H, O, N dan S), suhu pirolisis, *heating rate* dan pemakaian katalis.

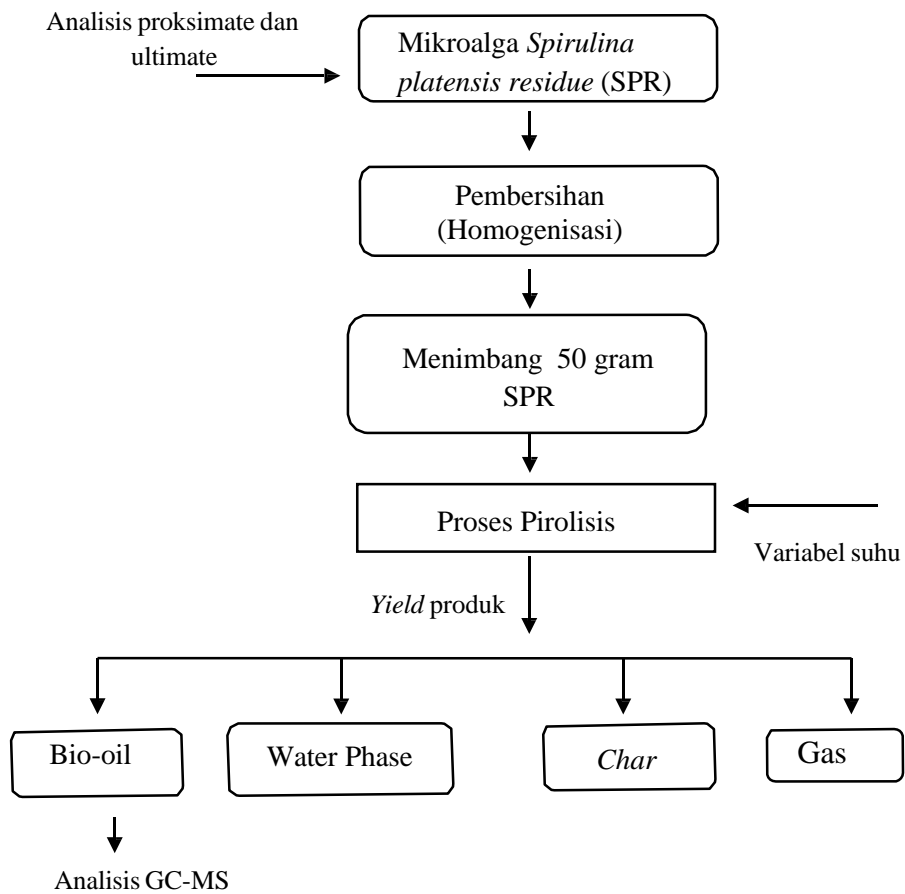
II.3. Bio-oil

Bio oil adalah bahan bakar cair yang terbuat dari biomassa seperti pertanian limbah perkotaan, produk sampingan pertanian dan kehutanan melalui proses biokimia atau termokimia. Bio oil terdiri dari unsur karbon, hidrogen, dan oksigen dengan sedikit kandungan nitrogen dan sulfur, kandungan dari nitrogen dan sulfur dalam bio oil dapat dihilangkan. Komponen organik terbesar dalam bio oil adalah lignin, alkohol, asam organik, serta karbonil. Bio-oil mempunyai nilai bakar yang lebih besar dibandingkan dengan bahan bakar cair yang mengandung oksigen lainnya (seperti metanol) dan nilainya hanya lebih rendah sedikit dibandingkan dengan diesel dan *light fuel oil* lainnya (Huber et al., 2006).

Bio-oil dari mikroalga memiliki nilai kalor (*higher high value*) yang lebih tinggi dibandingkan berasal dari biomassa. Hasil samping produk bio-oil adalah arang dan gas yang dapat digunakan kembali sebagai bahan bakar pemanas pada reaktor pirolisis dan sebagai produk yang digunakan untuk keperluan yang lain (Du et al., 2013). Bio-oil dari mikroalga memiliki kualitas yang lebih baik dibandingkan dari biomassa lainnya dan dapat menghasilkan energy sebesar 39,7 MJ/kg. Pengembangan bio-oil dapat menjadi substitusi bahan bakar hidrokarbon dalam industri dan efektif digunakan sebagai pengganti diesel, *heavy fuel oil*, *light fuel oil*, serta dapat digunakan pada berbagai jenis boiler (Demirbas, 2010).

BAB III. METODE PENELITIAN

III.1. Bagan Alur Penelitian



Gambar III.1. Blok Diagram Pirolisis SPR dan Analisis

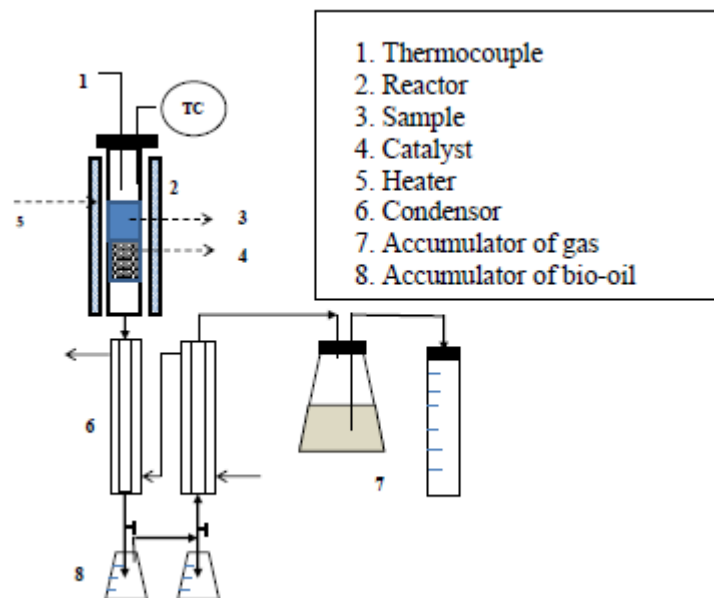
III.2. Alat dan Bahan

III.2.1. Alat

Percobaan pirolisis dilakukan menggunakan reaktor *fixed-bed* yang terbuat dari stainless steel dan dimensi: diameter dalam = 40 mm, diameter luar = 44 mm dan tinggi = 60 mm. Reaktor dilengkapi dengan pemanas. Diagram alat untuk sistem reaktor *fixed-bed* disajikan pada Gambar III.2.

III.2.2. Bahan

Spirulina plantesis residue (SPR) kering yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari limbah ekstraksi *Spirulina plantesis* (SP) segar. Sampel dari SPR dianalisis ultimat dan proksimat dan nilai HHVnya. Analisis dilakukan di Lab Pangan dan Hasil Pertanian, Departemen Teknologi Pertanian dan Lab Pangan dan Gizi dari Pusat Antar Universitas (PAU), UGM untuk analisis dan Lab Pengujian, Puslitbang Tekmira untuk analisis ultimate, Bandung.



Gambar III.2. Rangkaian Alat Percobaan

III.3. Cara Penelitian

Lima puluh (50) gram SPR dimasukkan dalam reactor sesuai susunan. Setelah itu, ditutup rapat dan dipanaskan. Sampel yang diuji dipanaskan dengan tingkat pemanasan konstan dari suhu kamar sampai ke suhu yang diinginkan (300, 400, 500, 550, 600)°C. Untuk mengetahui suhu sudah tercapai di gunakan termokopel yang dimasukkan dari atas lubang reactor. Produk cair keluar kondensor dikumpulkan dalam akumulator, produk gas dikumpulkan dalam kantong gas dan produk padat ditampung didalam reactor menggunakan wadah mikroalga spirulina plantesis. Kemudian dijaga konstan selama 1 jam pada suhu yang diinginkan.

Total produk cair (berat bio-oil dan water phase), char dan gas dihitung dengan persamaan : (Jamilatun et al., 2017).

$$Y_L = (W_L/W_M) \times 100 \% ; Y_{Ai} = (W_{Ai}/W_M) \times 100 \% \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$Y_A = (W_A/W_M) \times 100 \% = Y_L - Y_{Ai} \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$Y_C = (W_C/W_M) \times 100 \% ; Y_G = 1 - (Y_L + Y_C) \quad \dots\dots\dots(3)$$

Dalam hal ini, Y_L adalah *yield* hasil produk cair; W_L adalah berat dari produk cair; W_M adalah berat sampel; Y_A adalah *yield* produk fase air; W_A adalah berat produk fase air ; Y_{Ai} adalah *yield* bio oil; W_{Ai} adalah berat bio oil; Y_C adalah *yield* arang ; Y_G adalah *yield* gas produk. Adapun parameter yang dipelajari meliputi suhu (400, 450, 500, 550, 600 & 650°C).

Konversi pirolisis SPR dapat mengikuti persamaan berikut ini.

$$X = \frac{W_{\diamond o} + W_{\diamond} + W_G}{W_M} \times 100 \% \quad \dots\dots\dots(4)$$

III.4. Analisis Hasil

Sampel percobaan dan hasilnya dianalisis dengan :

1. Sampel percobaan: analisis proksimate, ultimate dan *Higher Heating Value* (HHV)
2. Sampel hasil percobaan: analisis bio-oil dengan GC-MS

III.5. Lokasi Penelitian

1. Laboratorium Mini Eco Plant Teknik Kimia UGM
2. Laboratorium Farmasi Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta

III.6. Target Luaran

1. International Conference Proceeding
2. Jurnal Nasional/ Seminar Nasional
3. Produk

BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Penelitian *Karakterisasi Produk Pirolisis Mikroalga Spirulina platensis residue (SPR) untuk pengembangan renewable energy* dijalankan pada reaktor *fixed-bed* pada suhu 300-600 °C dan ukuran butir 0,105-0,177 mm. Bahan baku yang digunakan adalah mikroalga SPR yang diperoleh dari hasil residu padat ekstraksi *Spirulina platensis*.

Pembahasan diawali dengan analisis *ultimate*, *proksimate* dan HHV dari SPR, karakterisasi alat pirolisis dan karakterisasi produk meliputi *yield*, konversi dan kandungan komponen bio-oil dari pirolisis tanpa katalis dengan variabel suhu pirolisis. Komposisi bio-oil dibahas secara terperinci dari hasil analisis GC-MS menjadi kelompok senyawa alifatik, oksigenat (asam, alkohol, eter, ester, aldehid, keton dan turunan phenol), nitrogenat dan aromatik (mono dan poli aromatik).

IV.1. Karakteristik *Spirulina platensis residue (SPR)*

Untuk mengetahui karakteristik komposisi *Spirulina platensis residue (SPR)* dilakukan analisis proksimat dan ultimate serta nilai kalor (HHV), hasil analisis disajikan pada Tabel IV.1.

Dari Tabel IV.1 terlihat bahwa SPR mempunyai komposisi dari hasil analisis *ultimate* untuk komponen C (41,36 wt.%), H (6,60 wt.%), dan N (7,17 wt.%), O (35,33 wt.%). Sedangkan untuk analisis proksimate terlihat *lipid* pada SPR (0,09 wt.%) sangat rendah.

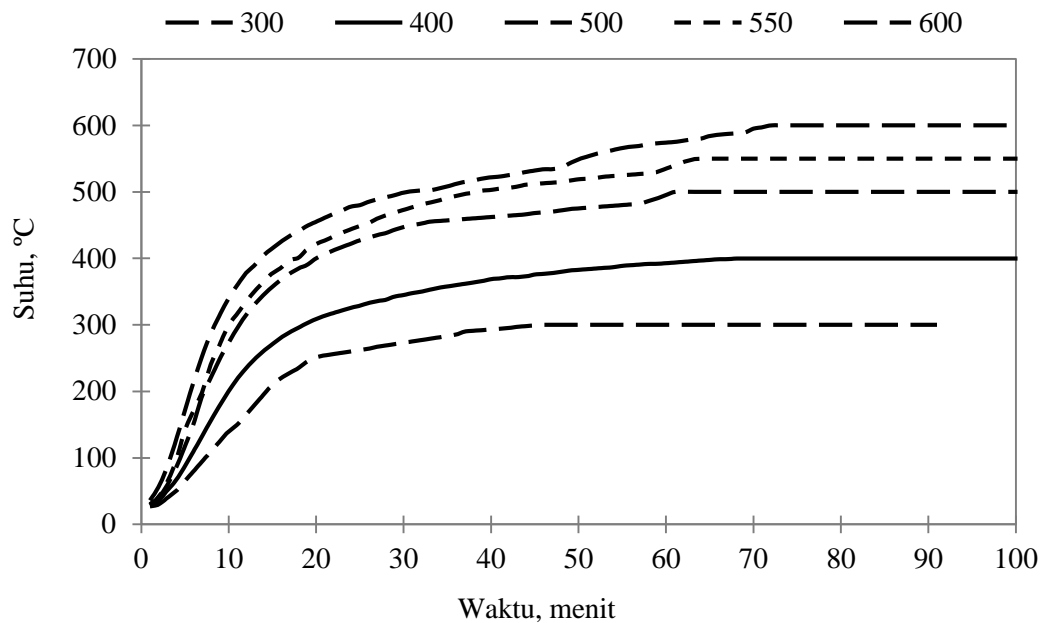
IV.2. Karakteristik Alat Pirolisis

Alat pirolisis diuji kinerjanya dengan cara memanaskan alat pada suhu 0 – 300 °C untuk *heating rate* 5-35 °C/menit dengan waktu dari 0 menit sampai waktu dicapainya suhu yang diinginkan, kemudian suhu alat ditahan selama kurang lebih 60 menit. Percobaan diulangi untuk suhu 400, 500, 550 dan 600 °C, hubungan antara waktu dan suhu pirolisis disajikan pada Gambar IV.1.

Dari Gambar IV.1. dapat dilihat bahwa setiap suhu pirolisis yang akan dicapai memerlukan waktu yang berbeda-beda, semakin tinggi suhu pirolisis yang diinginkan maka dibutuhkan waktu semakin lama. Pada suhu pirolisis 0 - 300 °C waktu tercapainya pada menit ke 35, sedangkan pada 400, 500, 550 dan 600 °C memerlukan waktu berturut-turut pada menit ke 50, 55, 60, 64 dan 70.

Tabel IV.1. Karakteristik *Spirulina platensis residue* (SPR) (Jamilatun, 2017)

<i>Component</i>	SPR
<i>Composition analysis (wt.%)</i>	
<i>Lipid</i>	0,09
<i>Carbohydrate</i>	38,51
<i>Protein</i>	49,60
<i>Proximate analysis (wt%)</i>	
<i>Moisture</i>	9,99
<i>Ash</i>	8,93
<i>Volatile</i>	68,31
<i>Fixed carbon</i>	12,77
<i>Ultimate analysis (wt.%)</i>	
<i>Sulfur</i>	0,55
<i>Carbon</i>	41,36
<i>Hydrogen</i>	6,60
<i>Nitrogen</i>	7,17
<i>Oxygen</i>	35,33
<i>H/C, molar ratio</i>	1,91
<i>O/C, molar ratio</i>	0,64
<i>Higher heating value (MJ/kg)</i>	18,21

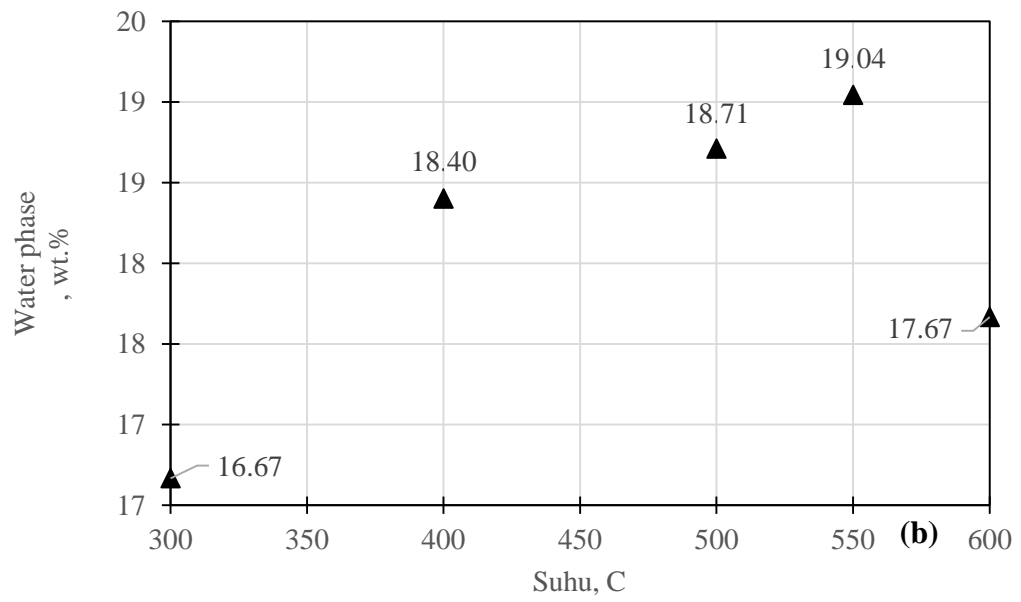
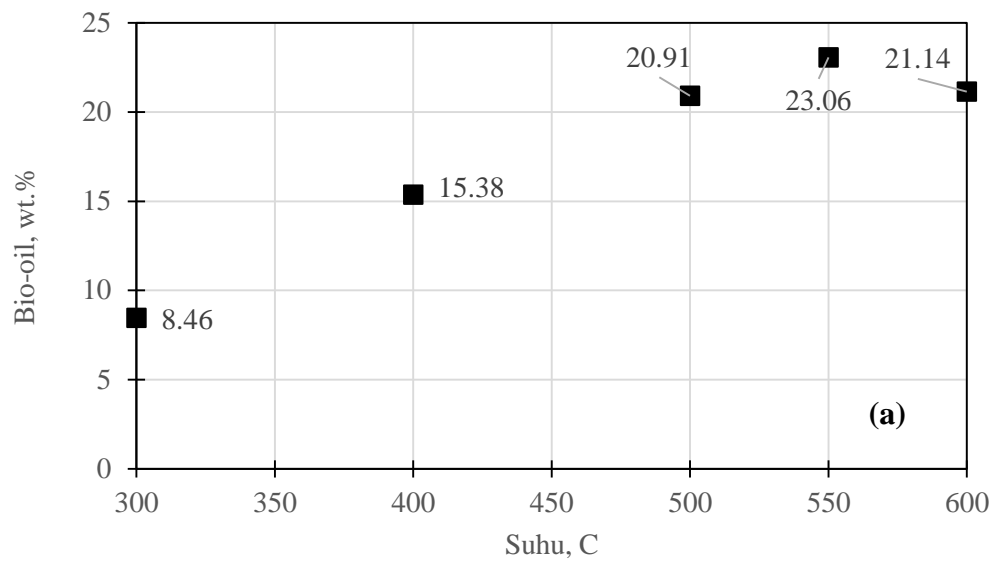


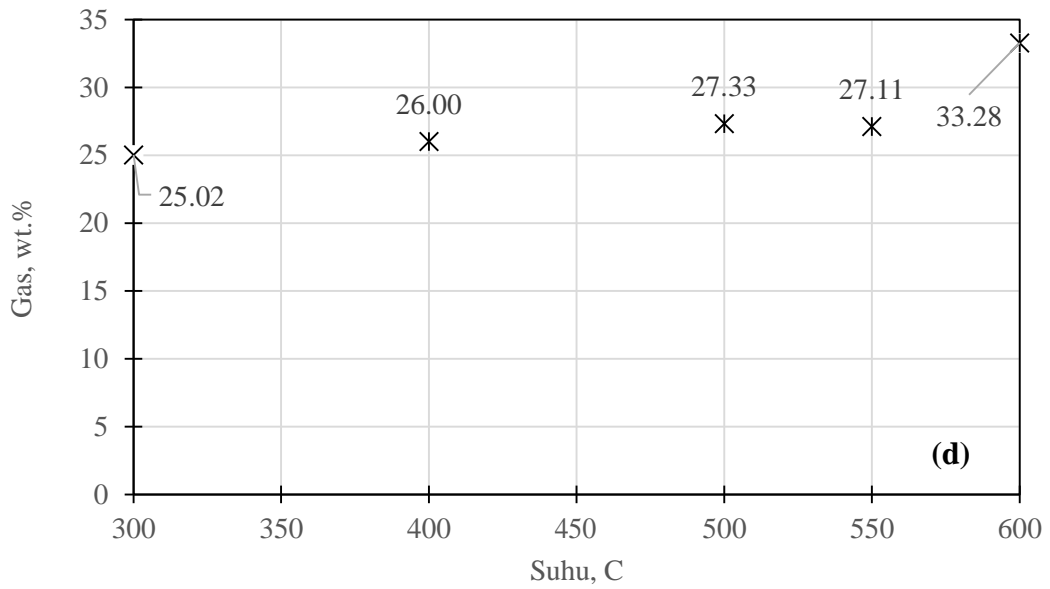
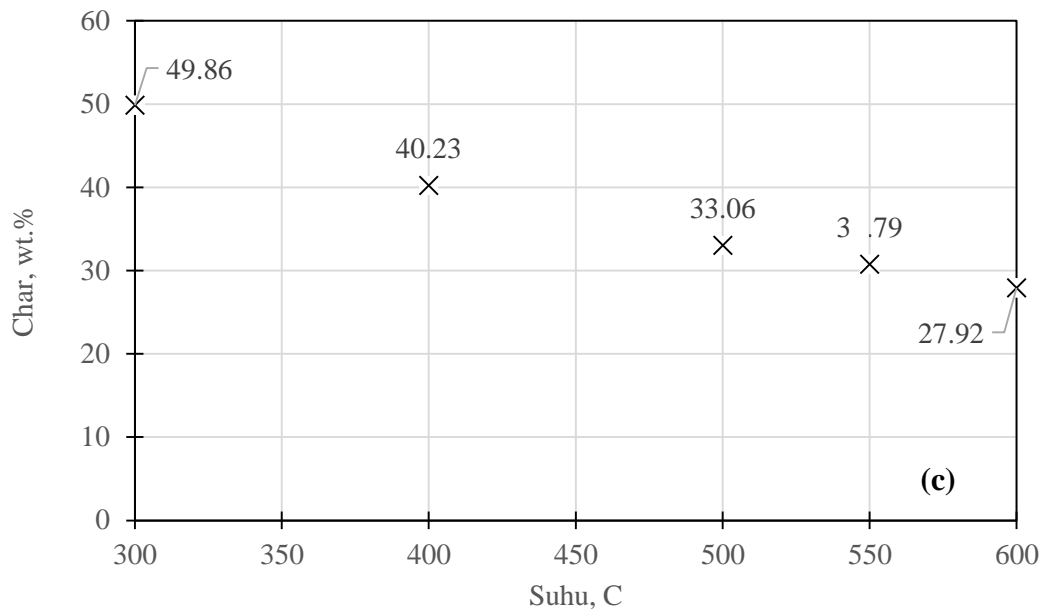
Gambar IV.1. Hubungan antara waktu dengan suhu pirolisis

IV.3. Yield produk

Dari pirolisis SPR, *yield* produk rata-rata dari tiga kali percobaan dihitung dengan Persamaan (1)–(3), hasilnya ditampilkan pada Gambar IV.2.

Dari Gambar IV.2 dapat dilihat pengaruh suhu terhadap *yield* bio-oil, water phase, char dan gas dengan *heating rate* 5-35 °C/menit. Dari Gambar IV.2(a) didapatkan *yield* bio-oil paling rendah (8,46 wt.%) terjadi pada suhu 300 °C, dan akan naik dengan tajam sampai 550 °C (23,06 wt.%) kemudian turun lagi pada 600 °C (21,14 wt.%). Sedangkan pada Gambar IV.2(b), *water phase* dari suhu 300 sampai 600 °C naik sedikit kemudian turun, jumlahnya pada kisaran 16,17 sampai 19,04 wt.%. Produk cair atau disebut dengan tar merupakan penjumlahan antara bio-oil dan *water phase*, dan didapatkan *yield* tar maksimal (42,10 wt.%) pada suhu optimum 550 °C. Adapun dari Gambar IV.2(c), *yield char* pada suhu 300-600 °C turun tajam dari 49,86 sampai 27,92 wt.%.



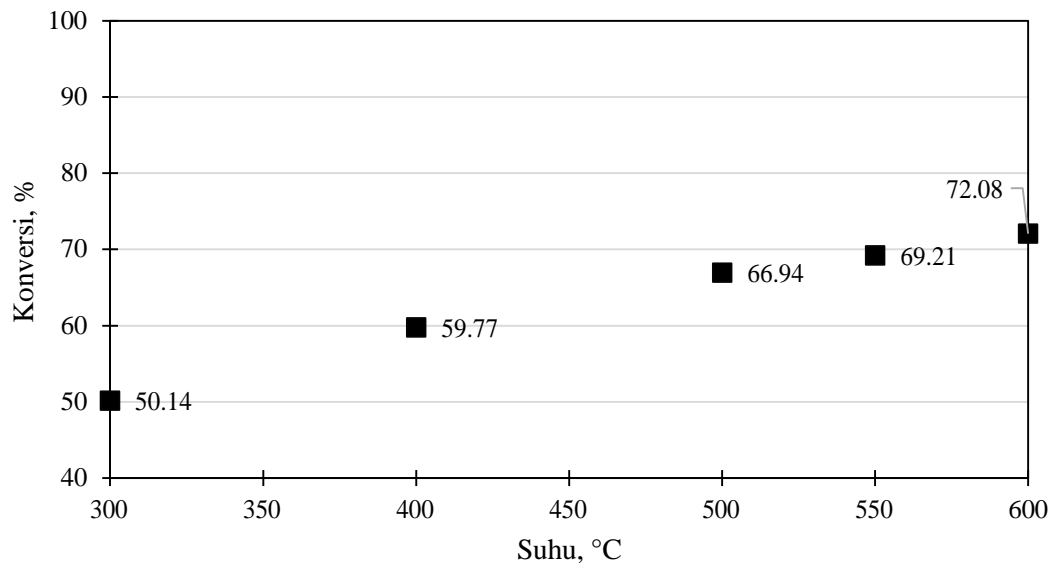


Gambar IV.2. Hubungan antara pengaruh suhu terhadap *yield* produk: (a) bio-oil, (b) water phase, (c) char dan (d) gas

Yield tar (penjumlahan bio-oil dan water phase) diatas suhu optimum 550 °C akan turun, penurunan ini disebabkan terjadinya reaksi *secondary cracking* (*cracking, polymerization, condensation*), dengan penjelasan bahwa produk tar pada *primary cracking* sebagian akan terdekomposisi lagi menjadi gas sehingga *yield* tar turun. *Yield water phase* mengalami kenaikan yang dipengaruhi oleh kenaikan suhu dari 300-400 °C, kemudian relatif stabil pada 400-550 °C dan turun sedikit diatas suhu 550 °C. *Yield* dari *water phase* dipengaruhi oleh kandungan air pada SPR (9,99 wt.% air bebas) dan reaksi-reaksi pembentukan air selama pirolisis (dehidrasi). Menurut Basu (2010), kandungan air dalam tar pada biomassa rata-rata diatas 20 wt.%.

Yield gas relatif naik dengan kenaikan suhu dari 300-550 °C (25,52-27,11 %), diatas 550 °C peningkatan *yield* gas relatif tajam yakni dari 27,11 ke 33,28 %. Penambahan gas ini disebabkan produk dari *secondary cracking* (*cracking, polymerization, condensation*) pada tar yang menghasilkan gas yang dinamakan *secondary gas*. Jumlah total *non condensable gas* adalah penjumlahan gas yang dihasilkan dari reaksi primer dan sekunder, yakni *primary* dan *secondary gases* (Basu, 2010; Ojolo *et al.*, 2013).

Konversi pirolisis SPR dihitung dengan penjumlahan berat bio-oil, *water phase* dan gas dibagi dengan berat mula-mula SPR (Persamaan 4), penjelasan kenaikan konversi pirolisis pada suhu 300-600 °C dapat dilihat pada Gambar IV.3. Dengan naiknya suhu pirolisis maka dekomposisi thermal SPR semakin efektif sehingga berat SPR semakin turun, hal ini mengakibatkan konversi mengalami kenaikan. Peningkatan produk cair dan gas mengindikasikan bahwa kecepatan reaksi dekomposisi meningkat dengan meningkatnya suhu (Fogler, 2006).



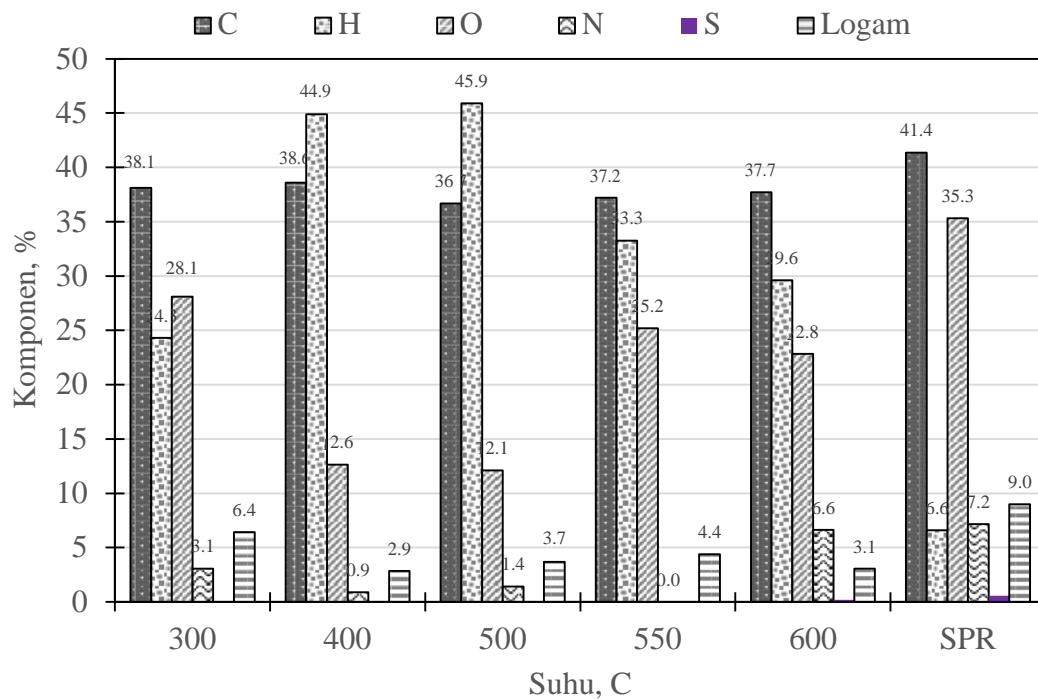
Gambar IV.3. Pengaruh suhu terhadap konversi pirolisis SPR

IV.4. Karakteristik Bio-oil

IV.4.1. Pengaruh suhu pirolisis terhadap komposisi penyusun bio-oil (C, H, O, N, S) tanpa katalis

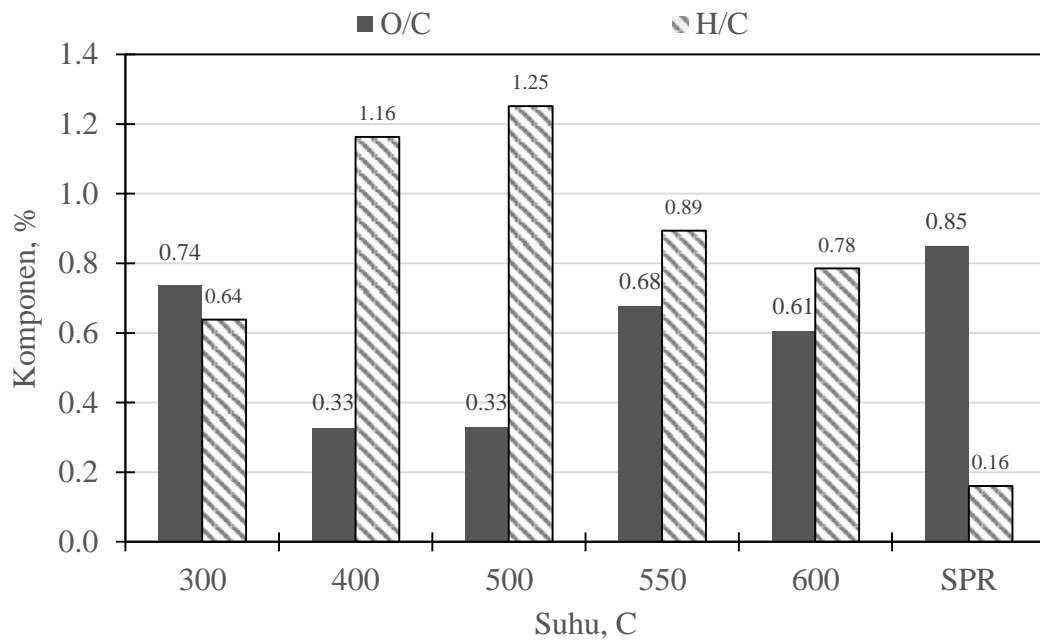
Kualitas bio-oil dapat dilihat dari komposisi penyusun bio-oil, yakni perbandingan O/C dan H/C. Berikut data komposisi C, H, O, N, S dan logam penyusun bio-oil dibandingkan dengan SPR tanpa katalis pada suhu 300-600 °C, disajikan pada Gambar IV.4. Nilai C, H, O, N dan S dihitung dari hasil GC-MS dan HHV dihitung dengan persamaan Dulong (Pan *et al.*, 2010).

Dari Gambar IV.4 terlihat untuk bio-oil produk pirolisis tanpa katalis komposisi C, O, dan N lebih kecil nilainya dibandingkan pada biomassa SPR, hal ini disebabkan terjadi pengurangan C, O dan N karena *cracking*, molekul-molekul besar (protein dan karbohidrat) terpotong menjadi molekul-molekul lebih kecil dengan melepas gas seperti CO, CO₂, H₂, CH₄ dan lain-lain. Semakin tinggi suhu maka O semakin turun dan H naik.

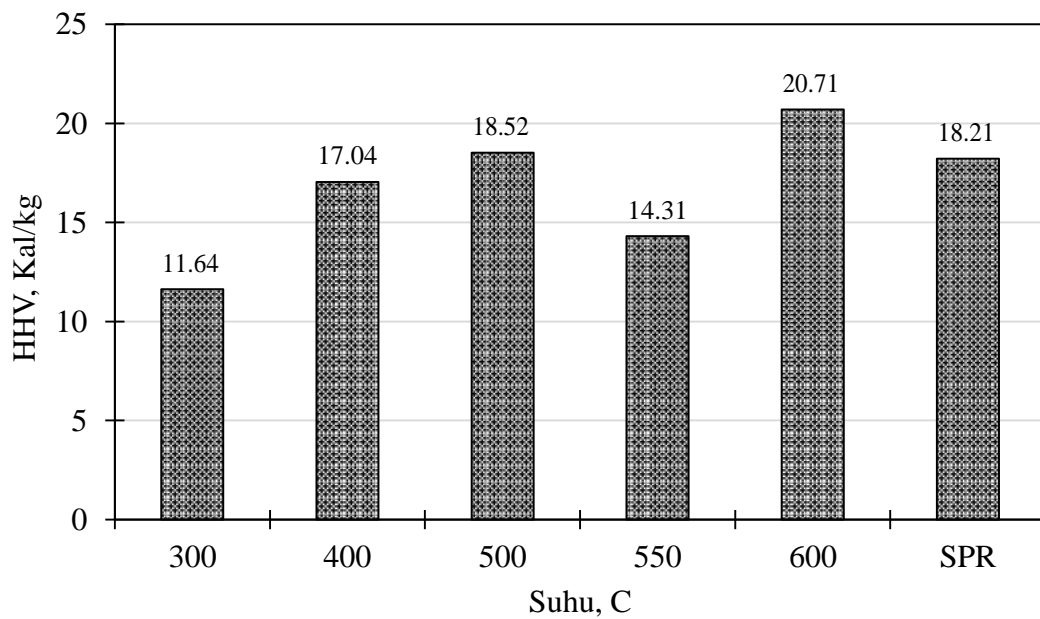


Gambar IV4. Pengaruh suhu terhadap komposisi bio-oil

Pengaruh suhu terhadap H/C dan O/C disajikan pada Gambar IV.5, semakin tinggi suhu H/C naik, O/C turun. Adapun pengaruh suhu terhadap HHV dapat dilihat pada Gambar IV.5, kenaikan suhu menyebabkan HHV naik sampai suhu optimum. Kondisi optimum dicapai pada suhu 500 °C nilai C, H, O, dan H/C & O/C berturut-turut adalah 37,00; 43,25; 17,34 wt.% dan 1,17 & 0,47. Sedangkan HHV optimum pada suhu 600 °C, yakni 20,01 MJ/kg.



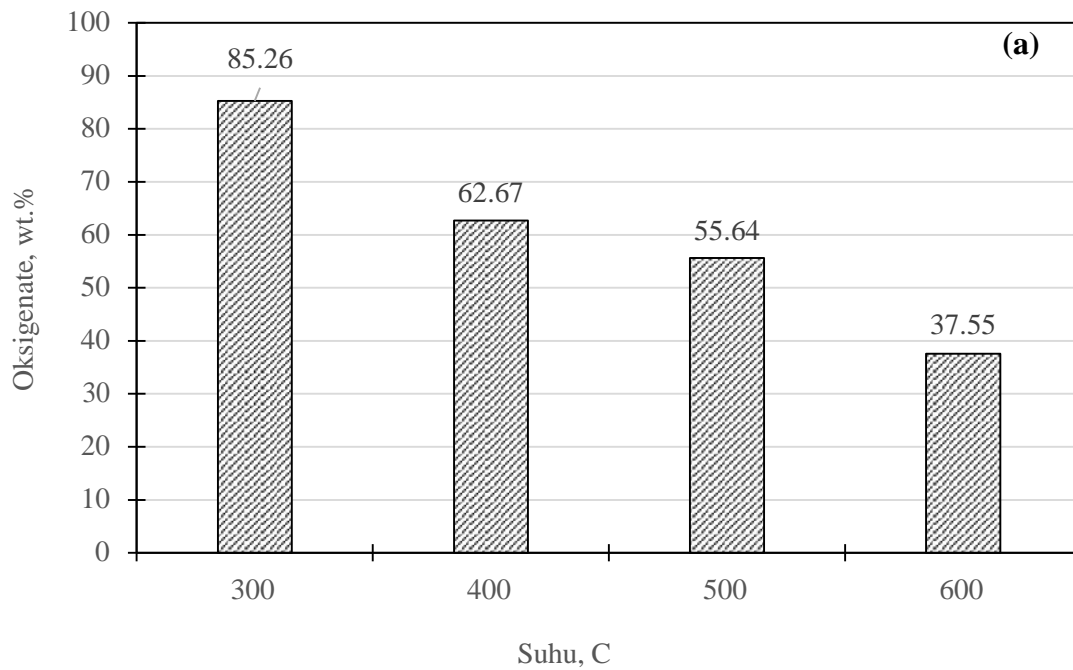
Gambar IV.5. Pengaruh suhu terhadap perbandingan O/C dan H/C dari bio-oil

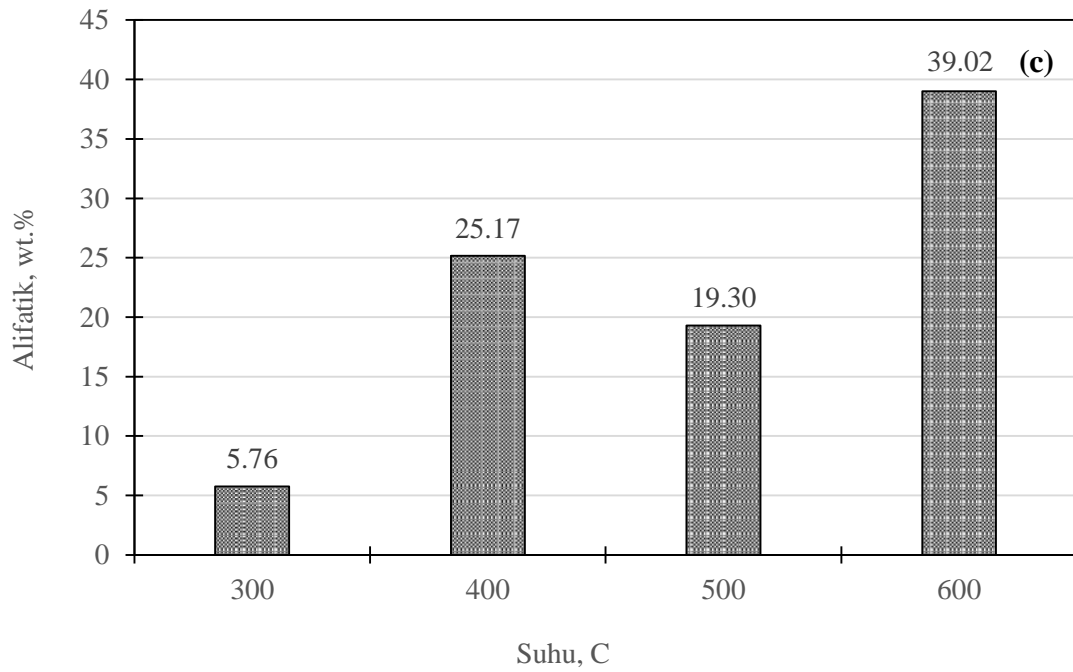
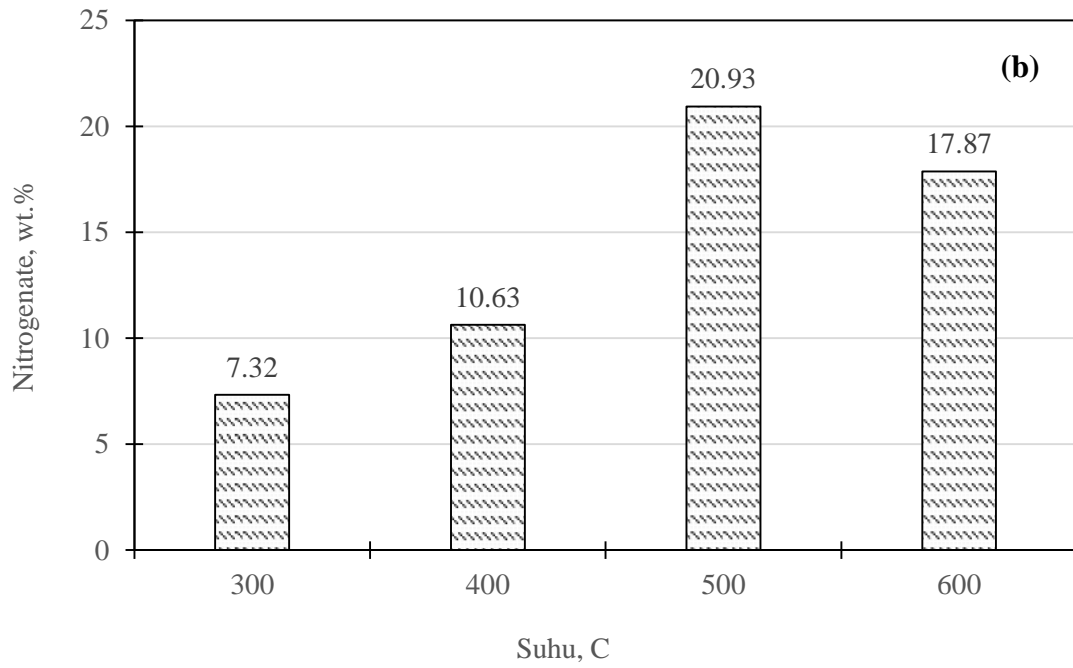


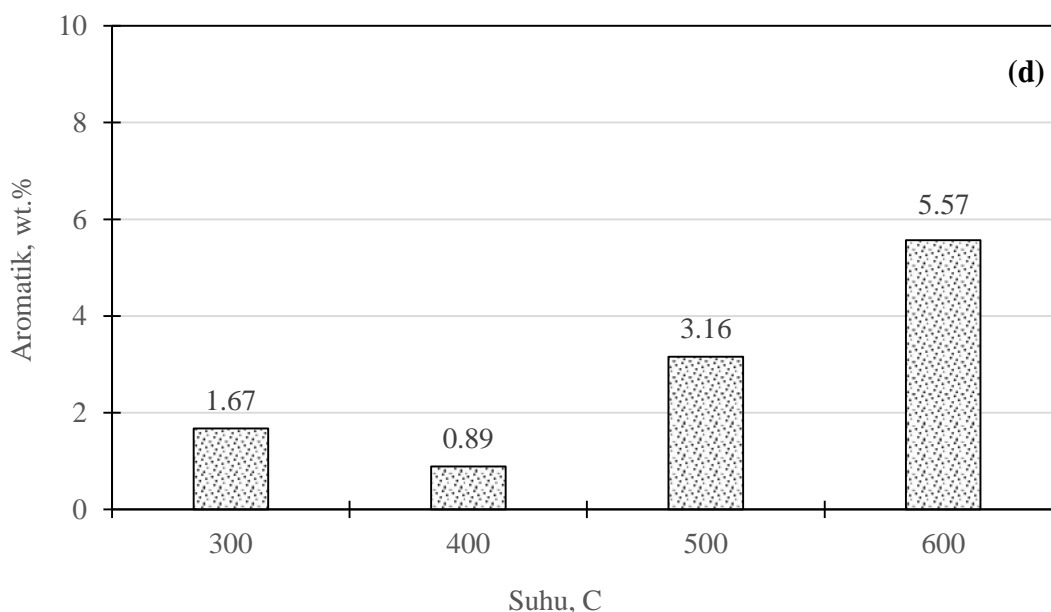
Gambar IV.6. Pengaruh suhu terhadap HHV dari bio-oil

IV.4.2. Pengaruh suhu pirolisis terhadap pengelompokan 4 gugus fungsional bio-oil tanpa katalis

Dari hasil penelitian, bio-oil dianalisis dengan GC-MS dan didapatkan lebih dari 100 macam komponen, namun dapat dikategorikan dalam 4 group fungsional yakni senyawa oksigenat (eter, ester, alkohol, asam, aldehyd, keton dan phenol), nitrogenat, alifatik dan aromatik (mono aromatik dan poliaromatik) yang disajikan pada Gambar IV.7.







Gambar IV.7. Pengaruh suhu terhadap gugus fungsional penyusun bio-oil: (a) oksigenat, (b) nitrogenat, (c) alifatik dan (d) aromatik

Bio-oil dari hasil pirolisis mikroalga merupakan campuran bahan organik yang kompleks dengan kandungan *nitrogenated compounds* (*amides, amines, pyrroles, indoles, pyridines, pyrazines, imidazoles, and their derivatives*), *oxygenated compounds* (*carboxylic acids, ketones, and phenols*), dan *hydrocarbons* (*benzene, toluene, and xylene*) (Yang et al., 2019).

Dari Gambar IV.7(c) dapat dijelaskan bahwa pada senyawa alifatik semakin tinggi suhu pirolisis (300-600 °C) maka semakin naik (5,76-39,02 wt.%). Senyawa alifatik (alkana dan alkena) dibentuk oleh serangkaian reaksi dari karbohidrat. Tahap pertama adalah (i) reaksi hidrolisis dan *cracking* menghasilkan *anhydrosugars* dan *furfurals*, (ii) reaksi dekarboksilasi dan deoksigenasi menghasilkan keton, aldehida, asam, dan alkohol. Tahap kedua dilanjutkan *cracking* membentuk olefin. Alifatik juga dapat dihasilkan dari protein dengan *cracking* dilanjutkan dengan deoksigenasi (Yang et al., 2019). Semakin tinggi suhu pirolisis maka dekomposisi semakin cepat sehingga

pembentukan alifatik semakin banyak. menghasilkan NH_3 dan olefin rantai panjang (Jafarian and Tavasoli, 2018). Kenaikan aromatis (Gambar IV.7(d)) yang tidak signifikan menandakan bahwa siklisasi pada olefin kurang efektif meskipun suhu pirolisis dinaikkan.

Senyawa oksigenat (Gambar IV.7(a)) turun (85,26-37,55 wt.%) dengan kenaikan suhu (300-600 °C). Hal ini dapat dijelaskan bahwa dengan kenaikan suhu, *cracking* pada senyawa oksigenat (phenol, ketone, aldehida, asam dan alkohol) semakin cepat sehingga senyawa oksigenat terpotong menjadi alifatik dan aromatik dengan melepas gas CO , CO_2 dll. Senyawa nitrogenat (Gambar IV.7(b)) dihasilkan dari *cracking* protein, naiknya jumlah senyawa nitrogenat (7,32-20,93 wt.wt.%) disebabkan reaksi deaminasi dan reaksi Mailard dengan karbohidrat menghasilkan senyawa Amadori.

Dekomposisi juga akan menghasilkan senyawa-senyawa hidrokarbon yang lebih ringan, metana, hidrogen, CO_2 dan CO , hal ini ditandai dengan naiknya *yield* gas. Hal ini terjadi karena pada suhu yang tinggi terjadi ketidakstabilan gugus asam sehingga gugus fungsi oksigenat terdekomposisi membentuk CO dan CO_2 . Penurunan senyawa oksigenat mengindikasikan bahwa kualitas bio-oil semakin baik dengan kenaikan suhu pirolisis yakni optimum pada suhu 600°C (37,55 wt.%).

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

V.1. KESIMPULAN

Penelitian **Karakterisasi Produk Pirolisis Mikroalga *Spirulina platensis* residue (SPR) untuk pengembangan *renewable energy*** dapat memberikan informasi tentang pengaruh suhu pirolisis terhadap karakteristik produk dari pirolisis SPR tanpa katalis. Selanjutnya hasil-hasil penelitian secara khusus dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pirolisis *Spirulina platensis* residue menghasilkan produk bio-oil, *water phase*, *char* dan gas. Bio-oil, *char* dan gas dapat digunakan sebagai bahan bakar, sedangkan *water phase* sebagai *chemicals*. Kandungan senyawa oksigenat dan O/C yang cukup rendah, dan HHV yang cukup tinggi, maka bio-oil mempunyai potensi sebagai bahan bakar energi baru terbarukan (EBT) yang menguntungkan.
2. Pengaruh suhu pirolisis

Pada pirolisis tanpa katalis, semakin tinggi suhu pirolisis maka *yield* bio-oil akan semakin naik sampai suhu optimum, kemudian turun. Semakin besar ukuran butir maka *yield* bio-oil, *water phase* dan gas akan semakin turun, sebaliknya *yield char* akan naik. Suhu optimum pirolisis adalah 550 °C (23,99 wt.% bio-oil) dan pada 600 °C (33,28 wt.% gas). Semakin tinggi suhu pirolisis H/C naik, O/C turun. Kondisi optimum dicapai pada suhu 500 °C nilai C, H, O, dan H/C & O/C berturut-turut adalah 37,00; 43,25; 17,34 wt.% dan 1,17 & 0,47. Adapun HHV mengalami peningkatan dari 11,64 MJ/kg menjadi 20,63 MJ/kg dengan kenaikan suhu dari 300 sampai 600 °C. Senyawa oksigenat mengalami penurunan dengan kenaikan suhu, yakni dari rata-rata 85,26 (300 °C) menjadi 37,55 wt.% (600 °C), terjadi penurunan senyawa oksigenat sekitar 55,96 %. Adapun alifatik dan aromatik mengalami peningkatan dari 300-600 °C, masing-masing adalah dari 5,76 sampai 36,72 wt.% dan 1,67 sampai 6,67 wt.%.

V.2. SARAN

1. Pirolisis SPR untuk menghasilkan bahan bakar cair sebaiknya dilakukan dalam kapasitas yang lebih besar agar diperoleh produk bio-oil yang lebih banyak untuk dianalisis karakteristiknya, kemudian dibandingkan dengan bahan bakar dari fosil.
2. Produk bio-oil sebaiknya dicoba diaplikasikan pada mesin otomotif agar dapat diketahui kekurangannya, sehingga dapat dicarikan solusinya.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan pengkajian dan Penerapan Teknologi–Outlook Energi Indonesia 2018. (BPPT–OEI, 2018).
- Basu P. 2010, Biomass gasification and pyrolysis. Practical design and theory. Elsevier Inc.
- Chaiwong, K., Kiatsiriroat, T., Vorayos, N., and Thararax, C., 2013, “Study of bio-oil and bio-*char* production from algae by slow pyrolysis”, *Biomass Bioenerg.*,56,600-606.
- Dragone, G., Fernandes, B., Vicente, A., and Teixeira, J.A., 2010, “Third generation biofuels from microalgae”, In: Vilas AM, editor. Current research, technology and education topics in Appl. Microbiol. Biot., Badajoz: Formatex Research Center;. pp.1355-1366.
- Dickerson T, Soria J. 2013, Catalytic fast pyrolysis: a review. *Energies*, 6, 514–38.
- Demirbas A. Biodiesel production from vegetable oils via catalytic and non-catalytic supercritical methanol transesterification methods. *Pror Energy Combust Sci* 2005;31(5–6):466–87.
- De Wild, P.J., Reith, H., and Heeres, H.J., 2011, “Biomass pyrolysis for chemicals”, *Biofuels*, 2 (2), 185 – 208.
- Du Z, Hu B, Ma X, Cheng Y, Liu Y, Lin X, et al. Catalytic pyrolysis of microalgae and their three major components: carbohydrates, proteins, and *lipids*. *Bioresour Technol* 2013;130:777–82.
- Edwards, J., 2008, “Pyrolysis of biomass to produce bio-oil, bio-*char* and combustible gas”, Palmerston North: Energy Postgraduate Conference 2008 School of Engineering and Advanced Technology Massey University.

- Fogler, H.S., 2006, Element of Chemical Reaction Engineering, 3rd Edition, Prentice-Hall International, Inc.
- Gronli M.G. 1996, A theoretical and experimental study of the thermal degradation of biomass. The Norwegian University of Science and Technology.
- Goyal, H. B., Seal, D. & Saxena, R. C., 2008, Bio-fuels from Thermochemical Conversion of Renewable Resources: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews
- Gultom, S. O., Zamalloa, C., & Hu, B. 2014. Microalgae Harvest through Fungal Palletization-Co-Culture of *Chlorella Vulgaris* and *Aspergillus niger*. *Energies*. 7(7):4417-442.
- Huber, G.W., Iborra, S., Corma, A., 2006. Synthesis of transportation fuels from biomass: chemistry, catalysts, and engineering. *Chem. Rev.* 106, 4044–4098.
- Hu, Z., Zheng, Y., Yan, F., Xiao, B., and Liu, S., 2013, “Bio-oil production through pyrolysis of blue-green algae blooms (BGAB): Product distribution and bio-oil characterization”, *Energy*, 52, 119–125.
- Jamilatun, S., Budhijanto, Rochmadi and Budiman, A., 2017, Non-catalytic slow pyrolysis of *Spirulina platensis* residue for production of liquid biofuel, *Int. J. Renew. Energy Res.*, 7(4), 1901–1908.
- Jeevan-Kumar S.P., Garlapati, V.K., Dash, A., Scholz, P. , and Banerjee, R., 2017, Sustainable green solvents and techniques for *lipid* extraction from microalgae: A review”, *Algal Res.*, 21, 138–147.
- Jafarian, S. and Tavasoli, A., 2018. A comparative study on the quality of bioproducts derived from catalytic pyrolysis of green microalgae *Spirulina (Arthrospira) plantensis* over transition metals supported on HMS-ZSM5 composite, *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 43, pp. 19902-19917.
- Mohan, D., Singh, K. P., and Singh, V. K., 2005, “Removal of hexavalent chromium

- from aqueous solution using low-cost activated carbons derived from agricultural waste Materials and activated carbon fabric cloth”, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 44(4), 1027–1042.
- Maher, K D. and Bressler, D.C., 2007, “Pyrolysis of triglyceride materials for the production of renewable fuels and chemicals”, *Bioresource Technol.*, 98(12), 2351–68.
- Ojolo, S.J, Oshekub, C.A., and Sobamowoa, M.G., 2013, Analytical investigations of kinetic and heat transfer in slow pyrolysis of a biomass particle, *Int. J. Renew. Energ. Dev.*, 2 (2), 105-115.
- Pan, P., Hu, C., Yang, W., Li, Y., Dong, L., Zhu, L., and Fan, Y., 2010, The direct pyrolysis and catalytic pyrolysis of *nannochloropsis* sp. residue for renewable bio-oils, *Bioresour. Technol.*, 101(12), 4593–4599.
- Silva CSP, ME Silva-Stenico, MF Fiore, HF de Castro & PCM da Rose (2014). Optimization of conditions for *Synechococcus* sp PCC 7942 (cyanobacterium) to be used as feedstock for biodiesel production. *Algal Res* 3, 1-7.
- Spolaore P, Joannis-Cassan C, Duran E, Isambert A. Commercial applications of microalgae. *J Biosci Bioeng* 2006;101:87–96.
- Wang, S., Dai, G., Yang, H., and Luo, Z., 2017, Lignocellulosic biomass pyrolysis mechanism: A state-of-the-art review, *Progress in Energy and Combustion Science*, 62, 33-86.
- Yokoyama, S. 2008. *Buku Panduan Biomassa: Panduan Untuk Produksi dan Pemanfaatan Biomassa*. Translated by Kementerian Indonesia. Japan: The Japan Institute of Energy.
- Yuan, Y., Wang, T. and Li, Q. 2013, “Production of lowcarbon light olefins from catalytic cracking of crude bio-oil”, *Chin. J. Chem. Phys.*, vol. 26, no. 2, pp. 237–244.
- Yang, C., Li, R., Zhang, B., Qiud, Q., Wang, B., Yang, H., Ding, Y., and Wang, C., 2019, Pyrolysis of microalgae: A critical review, *Fuel Processing Technology*, 186, 53–72.

