



Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Direktorat Jenderal Riset dan Pengembangan
Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi
Gedung BPPT II Lantai 19, Jl. MH. Thamrin No. 8 Jakarta Pusat
<https://simlitabmas.ristekdikti.go.id/>

PROTEKSI ISI LAPORAN AKHIR PENELITIAN

Dilarang menyalin, menyimpan, memperbanyak sebagian atau seluruh isi laporan ini dalam bentuk apapun kecuali oleh peneliti dan pengelola administrasi penelitian

LAPORAN AKHIR PENELITIAN MULTI TAHUN

ID Proposal: d6f5edce-bccd-453d-a780-167b2a7bed44

laporan akhir Penelitian: tahun ke-3 dari 3 tahun

1. IDENTITAS PENELITIAN

A. JUDUL PENELITIAN

SCALE UP HYDROTREATMENT REACTOR UNTUK PENINGKATAN KUALITAS BIO-OIL BERBASIS BIOMASSA DALAM UPAYA KONSERVASI ENERGI DARI BAHAN ALAM TERBARUKAN

B. BIDANG, TEMA, TOPIK, DAN RUMPUN BIDANG ILMU

Bidang Fokus RIRN / Bidang Unggulan Perguruan Tinggi	Tema	Topik (jika ada)	Rumpun Bidang Ilmu
Energi	-	Konservasi Energi dan Energi Terbarukan	Kimia

C. KATEGORI, SKEMA, SBK, TARGET TKT DAN LAMA PENELITIAN

Kategori (Kompetitif Nasional/ Desentralisasi/ Penugasan)	Skema Penelitian	Strata (Dasar/ Terapan/ Pengembangan)	SBK (Dasar, Terapan, Pengembangan)	Target Akhir TKT	Lama Penelitian (Tahun)
Penelitian Desentralisasi			SBK Riset Dasar	3	3

2. IDENTITAS PENGUSUL

Nama (Peran)	Perguruan Tinggi/ Institusi	Program Studi/ Bagian	Bidang Tugas	ID Sinta	H-Index
SRI KADARWATI - Ketua Pengusul	Universitas Negeri Semarang	Kimia		6091574	11
DEWI SELVIA FARDHYANTI - Anggota	Universitas Negeri Semarang	Teknik Kimia	melakukan analisis data dan pemodelan	6086143	8

Pengusul					
HENY DEWAJANI - Anggota Pengusul	Politeknik Negeri Malang	Teknologi Kimia Industri	perancangan prototype dengan Aspen	6017134	5

3. MITRA KERJASAMA PENELITIAN (JIKA ADA)

Pelaksanaan penelitian dapat melibatkan mitra kerjasama, yaitu mitra kerjasama dalam melaksanakan penelitian, mitra sebagai calon pengguna hasil penelitian, atau mitra investor

Mitra	Nama Mitra
-------	------------

4. LUARAN DAN TARGET CAPAIAN

Luaran Wajib

Tahun Luaran	Jenis Luaran	Status target capaian (<i>accepted, published, terdaftar atau granted, atau status lainnya</i>)	Keterangan (<i>url dan nama jurnal, penerbit, url paten, keterangan sejenis lainnya</i>)
1	Artikel pada Conference/ Seminar Internasional di Pengindeks Bereputasi	Published	Engineering International Conference
1	Artikel pada Conference/ Seminar Internasional di Pengindeks Bereputasi	Published	International Conference on Research, Engineering and Technology
1	Artikel pada Conference/ Seminar Internasional di Pengindeks Bereputasi	Published	International Conference on Mathematical, Science, and Education
2	Artikel di Jurnal Internasional Terindeks di Pengindeks Bereputasi	Accepted	Chinese Journal of Chemical Engineering
3	Monograf (Cetak)	Terbit	UNNES Press

Luaran Tambahan

Tahun Luaran	Jenis Luaran	Status target capaian (<i>accepted, published, terdaftar atau granted, atau status lainnya</i>)	Keterangan (<i>url dan nama jurnal, penerbit, url paten, keterangan sejenis lainnya</i>)
--------------	--------------	--	--

1	Artikel di Jurnal Internasional Terindeks di Pengindeks Bereputasi	Sedang direview	Chinese Journal of Chemical Engineering
2	Artikel pada Conference/ Seminar Internasional di Pengindeks Bereputasi	Published	Engineering International Conference
3	Artikel di Jurnal Nasional terakreditasi peringkat 1-3	Published	Jurnal Bahan Alam Terbarukan

5. ANGGARAN

Rencana anggaran biaya penelitian mengacu pada PMK yang berlaku dengan besaran minimum dan maksimum sebagaimana diatur pada buku Panduan Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat

Total RAB 3 Tahun Rp. 0

Tahun 1 Total Rp. 0

Jenis Pembelanjaan	Komponen	Item	Satuan	Vol.	Biaya Satuan	Total
--------------------	----------	------	--------	------	--------------	-------

Tahun 2 Total Rp. 0

Jenis Pembelanjaan	Komponen	Item	Satuan	Vol.	Biaya Satuan	Total
--------------------	----------	------	--------	------	--------------	-------

Tahun 3 Total Rp. 0

Jenis Pembelanjaan	Komponen	Item	Satuan	Vol.	Biaya Satuan	Total
--------------------	----------	------	--------	------	--------------	-------

6. KEMAJUAN PENELITIAN

A. RINGKASAN

Pemanfaatan biomassa sebagai sumber energi baru dan terbarukan sedang giat dilakukan oleh berbagai pihak. Biomassa merupakan bahan baku yang sangat menjanjikan sebagai sumber energi terbarukan dan bersifat carbon neutral. Biomassa dapat dikonversi menjadi bio- oil melalui proses pirolisis. Bio-oil merupakan cairan hasil kondensasi dari uap hasil pirolisis biomassa seperti tempurung kelapa, cangkang kopi, serbuk kayu, dan bagas tebu. Komposisi biomassa yang terdiri dari hemiselulosa, selulosa dan lignin akan teroksidasi menjadi senyawa-senyawa yang memiliki gugus fungsi beroksigen dalam jumlah besar (30%) dan asam-asam organik dalam jumlah besar (~15%). Komposisi biomassa yang terdiri dari hemiselulosa, selulosa dan lignin akan teroksidasi menjadi senyawa fenol yang merupakan kandungan utama dalam bio- oil. Kandungan senyawa ini dalam bio- oil menyebabkan penggunaan bio- oil secara langsung akan menimbulkan berbagai macam kesulitan pada sistem pembakaran karena viskositas yang tinggi, nilai kalor yang rendah, korosif, dan tidak stabil. Studi pengolahan bio- oil yang pernah dilakukan belum melakukan pemungutan senyawa fenol yang banyak terkandung didalamnya. Senyawa fenol yang memiliki beberapa manfaat di antaranya sebagai salah satu

senyawa pembersih lantai dan desinfektan (Lysol), banyak terdapat dalam bio-oil. Desinfektan saat merupakan salah satu produk yang paling banyak digunakan selama musim Pandemi Covid-19 saat ini. Lysol menjadi kebutuhan penting dalam upaya penanggulangan penyebaran Covid-19.

Oleh karenanya, proses upgrading bio-oil yang mampu menghilangkan sebagian senyawa asam dalam bio-oil sangat penting untuk dikaji. Proses ini akan meningkatkan kualitas bio-oil untuk diproses lebih lanjut menjadi bahan bakar dan/atau platform senyawa-senyawa kimia penting. Upgrading bio-oil melalui teknik hydrotreatment biasanya menggunakan katalis logam yang diimbangkan pada material support berbasis alumina. Hydrotreatment bio-oil yang pernah dilakukan belum menggunakan katalis berbasis material bahan alam. Katalis berbasis zeolite yang akan dipreparasi adalah katalis NiMo-zeolite. Modifikasi zeolite alam Indonesia dengan logam aktif nikel dan molybdenum akan meningkatkan efisiensi proses hydrotreatment bio-oil menghasilkan bio-oil dengan kualitas yang lebih baik dengan pembentukan coke yang rendah. Pemodelan reaksi katalitik dalam proses hydrotreatment untuk upgrading bio-oil yang tepat dapat digunakan untuk optimasi proses, serta scale-up dan perancangan prototype hydrotreatment reactor serta ekstraksi senyawa fenol yang masih banyak terkandung dalam bio-oil sebagai bahan baku intermediate untuk pembuatan pembersih lantai dan desinfektan (Lysol).

Penelitian pada tahun I (TKT 1) catalytic hydrotreatment process terhadap bio-oil, telah mendapatkan data kinetika dan kondisi optimum pada catalytic hydrotreatment process, serta karakterisasi bio-oil serta ekstraksi senyawa fenol yang masih banyak terkandung dalam bio-oil sebagai bahan baku intermediate untuk pembuatan pembersih lantai dan desinfektan (Lysol). Penelitian pada tahun II (TKT 2) telah menghasilkan pemodelan (modelling) reaksi katalitik dan scale-up catalytic hydrotreatment reactor dengan CFD. Penelitian tahun III (TKT 3) telah dilakukan perancangan prototype catalytic hydrotreatment reactor sebagai alat upgrading bio-oil untuk skala komersial dengan ASPEN.

Kegiatan penelitian ini meliputi pengambilan data percobaan skala laboratorium serta analisis fenomenanya serta ekstraksi senyawa fenol yang masih banyak terkandung dalam bio-oil sebagai bahan baku intermediate untuk pembuatan pembersih lantai dan desinfektan (Lysol), pemodelan

hasil penelitian, scale-up dan perancangan prototype catalytic hydrotreatment reactornya dengan Computational Fluid Dynamics (CFD) dan ASPEN. Karakteristik katalis yang meliputi luas permukaan spesifik, jumlah dan jenis situs asam, dan struktur katalis akan dikaji dalam kaitannya dengan aktivitasnya dalam mengkatalisis proses esterifikasi. Proses upgrading bio-oil dalam penelitian ini akan dilakukan pada berbagai kondisi reaksi yang meliputi temperatur (200-600oC), jumlah katalis (5-20 wt. %), waktu reaksi (1-3 jam), dan hydrogen intake (1-5 L/jam). Pengaruh tiap kondisi reaksi pada sifat fisik (viskositas, densitas, HHV) dan kimia (organic yield) bio-oil setelah proses upgrading telah dilakukan evaluasi.

B. KATA KUNCI

hydrotreatment, bio-oil, biomassa, katalis NiMo-zeolit

Pengisian poin C sampai dengan poin H mengikuti template berikut dan tidak dibatasi jumlah kata atau halaman namun disarankan ringkas mungkin. Dilarang menghapus/memodifikasi template ataupun menghapus penjelasan di setiap poin.

C. HASIL PELAKSANAAN PENELITIAN: Tuliskan secara ringkas hasil pelaksanaan penelitian yang telah dicapai sesuai tahun pelaksanaan penelitian. Penyajian dapat berupa data, hasil analisis, dan capaian luaran (wajib dan atau tambahan). Seluruh hasil atau capaian yang dilaporkan harus berkaitan dengan tahapan pelaksanaan penelitian sebagaimana direncanakan pada proposal. Penyajian data dapat berupa gambar, tabel, grafik, dan sejenisnya, serta analisis didukung dengan sumber pustaka primer yang relevan dan terkini.

LATAR BELAKANG

Pertumbuhan ekonomi dunia mendorong meningkatnya kebutuhan akan bahan bakar minyak. Hingga sekarang bahan bakar fosil masih menjadi sumber energi utama, sementara cadangan penggunaan bahan bakar fosil semakin menipis (Garba et al., 2018). Konsumsi bahan bakar fosil diproyeksikan meningkat hingga 78% pada tahun 2040, sejalan dengan ini, emisi gas CO₂ pun meningkat hingga 34% pada tahun 2040 (Singer et al., 2016). Jaelani et al., (2017) menyatakan bahwa sumber energi terbarukan menjadi pilihan paling efisien dan efektif untuk mengatasi masalah lingkungan saat ini dan memiliki potensi jangka panjang untuk pembangunan berkelanjutan. Potensi energi terbarukan di Indonesia adalah 400 GW, dimana 49,81 GW merupakan potensi bioenergi, namun hanya dimanfaatkan sebesar 302,4 MW (Jaelani et al., 2017; Suharmanto et al., 2015). Sebagai salah satu sumber daya alam terbarukan yang dapat dikonversi menjadi bahan bakar cair (*liquid fuel*), biomassa merupakan bahan bakar substitusi yang paling signifikan untuk menggantikan keberadaan minyak bumi dalam banyak aplikasi seperti produksi panas, bahan bakar transportasi, produksi bahan kimia dan biomaterial (Guedes et al., 2018).

Biomassa adalah limbah material organik yang berasal dari serbuk kayu, jerami padi, limbah organik manusia dan hewan (Rabiu et al., 2018). Konversi biomassa menjadi bahan bakar cair dapat dilakukan melalui proses termal, biologi, dan mekanis (Guedes et al., 2018). Beberapa jenis biomassa telah diterapkan dalam pembuatan *bio-oil* yaitu: tempurung kelapa (Kongnum et al., 2014), bonggol jagung (Demiral et al., 2011), kayu pinus dan kulit gandum (Bertero et al., 2012), tandan kosong kelapa sawit (Sembiring et al., 2015), cangkang kopi (Fardhyanti et al., 2018), serta sekam padi (Fardhyanti et al., 2018). Biomassa lain yang berpotensi untuk dikonversi menjadi *bio-oil* adalah bagas tebu. Mengetahui keunggulan potensi pada biomassa tersebut, maka perlu dilakukan perbandingan komposisi lignin, selulosa, dan hemiselulosa. Perbandingan komposisi lignoselulosa pada biomassa disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan Komposisi Lignoselulosa pada Biomassa

Biomassa	Persentase (%)			
	Lignin	Selulosa	Hemiselulosa	Total
Serbuk Pinus	28	35	29	92
Kulit Gandum	40-45	10-15	30	85
Tandan Kosong Kelapa Sawit	29	39	22	90
Bonggol Jagung	15	45	31,9	91,9
Tempurung Kelapa	27	34	21	82
Bagas Tebu	21,1	45,5	27	93,6

(Dewangan et al., 2016)

Berdasarkan Tabel 1 diantara beberapa jenis biomassa, bagas tebu memiliki kandungan lignoselulosa yang tinggi. Selain itu, tebu menjadi salah satu biomassa yang melimpah di Indonesia. Pada produksi gula yang menggunakan satu ton tebu dapat menghasilkan produk samping berupa 3%-5% *pressmud*, 25%-30% bagas, 3,5%-5% *mollases* (Sahu et al., 2018). Ampas tebu (bagas) adalah produk samping dari batang tebu yang telah mengalami ekstraksi nira pada industri pengolahan gula pasir. Secara kimia, bagas tebu tersusun dari 50% senyawa Selulosa, 25% senyawa hemiselulosa, dan 25% senyawa lignin (Hajiha et al., 2014).

Melalui metode gasifikasi bagas tebu dapat dipakai oleh pabrik gula sebagai bahan bakar ketel uap untuk menghasilkan energi yang diperlukan selama proses produksi pembuatan gula (Kazmi et al., 2016). Selain itu, bagas tebu memiliki potensi untuk diolah menjadi bahan bakar cair (Mesa-pérez et al., 2013). Bahan bakar cair yang diperoleh dari konversi biomassa dikenal sebagai bahan bakar yang ramah lingkungan. Hal ini karena menghasilkan emisi gas CO₂, SO_x, dan NO_x dalam jumlah yang kecil dibandingkan bahan bakar fosil (Islam et al.,

2010).

Bio-oil merupakan cairan yang berwarna cokelat gelap, diperoleh melalui proses konversi biomassa dengan bantuan energi panas (*thermal process*) yang mengandung campuran kompleks zat organik seperti hidrokarbon aromatik, fenol, keton, ester, eter, gula, amina, alkohol, furan, dan air (Guedes et al., 2018). *Thermal process* untuk mengkonversi biomassa dapat dilakukan melalui pembakaran, gasifikasi, karbonisasi, pencairan dan pirolisis (Garba et al., 2018). Pirolisis menghasilkan produk utama berupa *bio-oil*, sehingga tepat digunakan pada penelitian ini.

Pirolisis merupakan proses termokimia untuk mengkonversi biomassa menjadi *bio-oil* tanpa menggunakan zat pengoksidasi (Erdogdu et al., 2019). Mekanisme reaksi pirolisis terjadi karena adanya proses degradasi termal bahan yang bersifat *irreversible*, sehingga terjadi penguraian struktur polimer menjadi molekul sederhana. Molekul ini mengarah pada pembentukan *bio-char*, *bio-oil*, dan gas *volatile* (misalnya: CO, CO₂, H₂, CH₄, C₂H₆) (Guran, 2018). Keuntungan penggunaan metode pirolisis adalah metode pengoperasian sederhana dan biaya murah (Guedes et al., 2018).

Berdasarkan laju pemanasan dan waktu tinggal, pirolisis dapat diklasifikasikan mejadi *slow* dan *fast pyrolysis*. *Slow pyrolysis* dilakukan pada suhu operasi rendah berkisar antara 200-400°C, sedangkan *fast pyrolysis* memiliki suhu operasi sekitar 500 °C (Varma and Mondal, 2016 ; Tsai, Lee and Chang, 2006). Variabel Suhu pirolisis pada penelitian ini adalah 300, 400 dan 500 °C. Berdasarkan Penelitian Garba et al., (2018) menyatakan bahwa, *yield bio-oil* maksimum dari proses pirolisis bagas tebu diperoleh pada suhu 500 °C.

Pirolisis merupakan proses konversi termal yang penting untuk merubah biomassa menjadi produk yang lebih berharga. Proses pirolisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah Fast Pyrolysis, dimana terjadi proses dekomposisi termal dari komponen organik tanpa kehadiran oksigen dengan cara mengalirkan N₂ dalam prosesnya untuk menghasilkan cairan, gas dan arang. Cairan yang dihasilkan ini lebih lanjut kita kenal sebagai Bio-oil. Produk yang dihasilkan dalam fast pyrolysis tergantung dari komposisi biomassa yang digunakan sebagai bahan baku, kecepatan serta lama pemanasan. Pada proses fast pyrolysis, semakin tinggi laju pemanasan semakin mempercepat pembentukan produk yang mudah menguap, meningkatkan tekanan, waktu tinggal yang pendek di dalam reaktor, dan hasil produk cair yang lebih tinggi. Dynamotive (Canada) dan BTG (Belanda) juga telah mengembangkan fast pyrolysis reactor, yang menunjukkan hasil produk cair yang tinggi hingga mencapai 80%. Rendemen cairan tertinggi yang dapat dihasilkan dari proses pirolisis cepat berkisar 80% dengan lama pemanasan 0,5 - 2 detik, pada suhu 400 - 600oC dan proses pendinginan yang cepat pada akhir proses. Pendinginan yang cepat sangat penting untuk memperoleh produk dengan berat molekul tinggi sebelum akhirnya terkonversi menjadi senyawa gas yang memiliki berat molekul rendah. Produksi bio-oil sangat menguntungkan karena dengan pengkonversian bio-oil maka akan didapatkan produk berupa bahan bakar minyak bio, misalnya: bio-kerosene, bio-diesel dan lain-lain (Hambali, 2007).

Catalytic Fast Pyrolysis menggunakan reaktor jenis Fluidized Bed memiliki kapasitas paling besar per satuan volume dibandingkan proses lainnya. Selain itu proses ini mampu menangani segala jenis biomassa yang mengandung selulosa dan menghasilkan bio-oil. Gas yang didorong menyebabkan partikel-partikel terpirolisis dengan cepat (\pm 2 detik) sehingga tidak sempat menggumpal (Hambali,2007).

Bio-oil merupakan bakar cair berwarna gelap, beraroma seperti asap, dan merupakan cairan hasil kondensasi dari uap hasil pirolisis dari bahan-bahan yang banyak mengandung lignin, selulosa, hemiselulosa serta senyawa karbon lainnya. Bio-oil terdiri dari karbon, hidrogen, dan oksigen dengan sedikit sekali kandungan nitrogen dan sulfur (tidak begitu berarti). Bio-oil tersusun atas campuran uap organik, seperti asam, alkohol, aldehid, eter, ester, keton, furan, fenol, dan hidrokarbon. Karakteristik tersebut menjadikan bio-oil sebagai bahan bakar yang ramah lingkungan, serta memiliki nilai bakar yang lebih besar dibandingkan dengan bahan bakar oksigen lainnya (seperti metanol) dan lebih rendah sedikit dibandingkan dengan solar dan light fuel oil lainnya (Hambali dkk, 2007).

Pengembangan bio-oil dapat menggantikan posisi bahan bakar hidrokarbon dalam industri, seperti untuk mesin pembakaran, boiler, mesin diesel statis, dan gas turbin. Bio-oil sangat efektif digunakan sebagai pensubstitusi diesel, heavy fuel oil, light fuel oil, dan untuk berbagai macam boiler. Bio-oil bersifat larut sempurna dalam alkohol, seperti dalam metanol dan etanol. Pencampuran bio-oil dalam alkohol dapat meningkatkan stabilitas dan menurunkan nilai viskositas bahan bakar. Bio-oil bersifat tidak larut dalam solar, tetapi dapat diemulsifikasi dengan solar. Emulsifikasi 10-30% bio-oil dalam solar dapat memperbaiki stabilitas bahan bakar, memperbaiki viskositas, mengurangi tingkat korosivitas, dan meningkatkan nilai bilangan setana (Hambali, 2007).

Biomassa yang digunakan sebagai bahan baku dalam penelitian ini adalah bagas tebu. Hasil analisis terhadap bagas tebu menunjukkan kadar oligosakarida 16,69%, hemiselulosa 25,66%, selulosa 51,27%, dan lignin 6,38% (Megawati, 2014). Kadar selulosa dan kandungan serat yang cukup tinggi menunjukkan bahwa bagas tebu cukup potensial untuk dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan bio-oil. Selama ini limbah bagas tebu banyak

menimbulkan masalah dalam penanganannya karena dibiarkan membusuk, ditumpuk dan dibakar yang akan berdampak negatif terhadap lingkungan sehingga penanggulangannya perlu dipikirkan. Salah satu jalan yang dapat ditempuh adalah memanfaatkannya menjadi produk yang bernilai tambah dengan teknologi aplikatif dan kerakyatan sehingga hasilnya mudah disosialisasikan kepada masyarakat. Pengolahan waste to product merupakan pengolahan limbah menjadi bahan baku atau produk baru yang bernilai ekonomis.

Pada kenyataannya, konversi limbah biomassa menjadi bio-oil umumnya belum mencapai kualitas maksimal setara dengan karakteristik solar. Terdapat kendala yang menyebabkan bio-oil tidak diolah dan digunakan lebih lanjut hingga saat ini. Masalah utama yaitu banyaknya kandungan senyawa oksigenat yang menyebabkan rendahnya heating value, tingginya tingkat keasaman, korosif, tidak stabilnya produk, dan tingginya viskositas bio-oil. Masalah tersebut pada akhirnya mengakibatkan tidak aplikatifnya bio-oil yang dihasilkan.

Penelitian ini mempelajari optimasi data, modelling reaksi katalitik, parameter optimasi proses catalytic fast pyrolysis fluidized bed reactor dan scale up reaktor serta pra-rancangan pabrik pembuatan bio-oil dari biomassa khususnya bagas tebu. Optimasi data, kondisi operasi dan pemodelan reaksi yang tepat selanjutnya digunakan untuk optimasi proses, dan pengembangan ke arah komersialisasi. Inovasi dan scale-up reaktor serta pra-rancangan pabrik dapat dilakukan dengan baik, juga operasi dapat dilakukan secara optimum bila nilai parameter dalam dinamika proses pengolahan yang mengarah komersial itu diketahui dengan tepat.

Tujuan khusus penelitian ini adalah melakukan catalytic fast pyrolysis terhadap bagas tebu untuk mendapatkan produk bio-oil, data kinetika, kondisi optimum proses dan karakterisasi bio-oilnya; didapatkan peningkatan kualitas bio-oil dengan kandungan oksigenat yang lebih rendah sehingga dapat diaplikasikan sebagai bahan bakar dan dibandingkan karakteristik bio-oil dengan solar; didapatkan pemodelan (modelling) reaksi katalitik dan perancangan fluidized bed reactor; didapatkan scale-up fluidized bed reactor; dan didapatkan pra-rancangan pabrik bio-oil lengkap dengan sistem kontrolnya.

HASIL PENELITIAN

1. Karakteristik *Bio-oil* Hasil Pirolisis Bagas Tebu

Proses pirolisis bagas tebu menghasilkan *yield bio-oil* yang ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai *Yield Bio-Oil* Hasil Pirolisis Bagas Tebu

t (min)	Yield (%)		
	T= 300 °C	T= 400 °C	T= 500 °C
30	21,6832	21,312	21,164
45	35,7293	34,1595	32,0883
60	42,1383	38,5425	32,7729

Yield bio-oil yang dihasilkan dari proses pirolisis disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya: Suhu reaksi, bahan baku, laju pemanasan, ukuran partikel, dan tipe reaktor (Fardhyanti et al., 2019).

Bio-oil yang dihasilkan dari proses pirolisis bagas tebu berwarna coklat dan berbau menyengat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Produk Bio-Oil

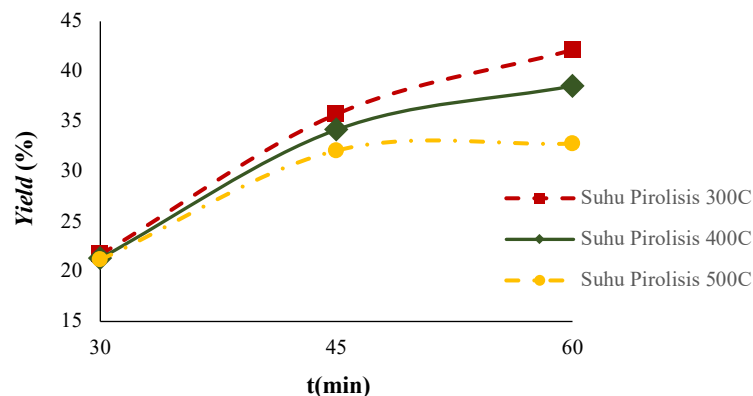
Menurut (Bridgwater et al., 1999) minyak hasil pirolisis dapat langsung digunakan sebagai bahan bakar *boiler*, *furnace*, mesin diesel, dan turbin pembangkit listrik. Karakteristik *bio-oil* dari hasil proses pirolisis dalam penelitian ini dapat dilihat dari nilai densitas *bio-oil* pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai Densitas *Bio-Oil* Hasil Pirolisis Bagas Tebu

T (°C)	Densitas (ρ)	
	(g/ml)	(kg/m ³)
300	0,986	986
400	0,974	974
500	0,978	978

Tabel 3 menunjukkan nilai densitas *bio-oil* yang diperoleh dari proses pirolisis pada waktu interval pengambilan *bio-oil* 60 menit. Nilai densitas *bio-oil* hasil pirolisis dari bagas tebu ini lebih kecil dibandingkan dengan penelitian (Mantilla, Gauthier-maradei, Gil, & Cárdenas, 2014) yang mempunyai nilai densitas 1071,8 kg/m³ - 1083,9 kg/m³. Rendahnya nilai densitas *bio-oil* disebabkan karena masih tingginya kandungan air dalam *bio-oil* (Dewangan et al., 2016). Nilai densitas yang diijinkan sebagai *bio-oil* sesuai dengan ASTM D975-12a adalah 876 kg/m³ sehingga *bio-oil* hasil pirolisis bagas tebu ini memenuhi syarat ASTM D975-12a (Mantilla et al., 2014).

2. Pengaruh Suhu dan Waktu Pirolisis Terhadap *Yield Bio-oil* Hasil Pirolisis Bagas Tebu



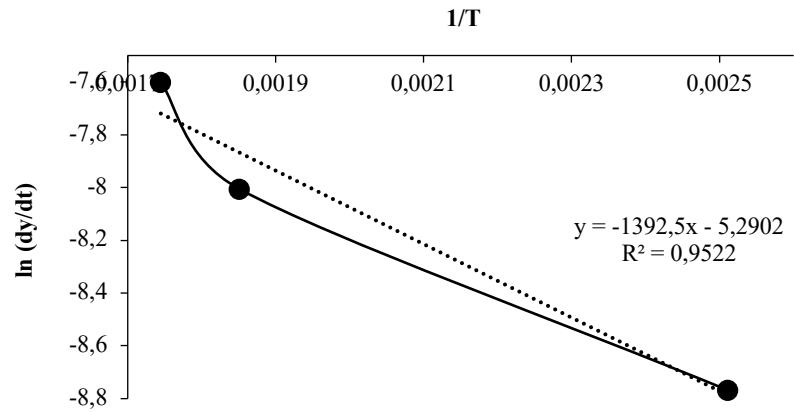
Gambar 2. Pengaruh Waktu Pirolisis (min) dan Suhu Pirolisis (°C) terhadap *Yield Bio-Oil* (%)

Gambar 2 menunjukkan bahwa pada suhu 300, 400, dan 500 °C *yield* produk *bio-oil* meningkat seiring dengan lamanya waktu pirolisis. Pada suhu 300, 400, dan 500 °C untuk waktu pirolisis 60 menit, menghasilkan *yield* yang tinggi, berturut-turut sebagai berikut: 42,1383%; 38,5425%; dan 32,7729%. Nilai *yield* yang dihasilkan pada suhu pirolisis 500 °C sesuai dengan penelitian Rabiou et al., (2018) dengan kisaran 29,84-33,58. Di sisi lain, *yield bio-oil* pada suhu pirolisis 300 dan 400°C masih belum sesuai dengan beberapa penelitian (Gerc et al., 2011; Nor et al., 2012), hal ini diduga karena produk *bio-oil* terdiri atas fase cair, fase *bio-oil*, dan semua senyawa organik yang larut dalam air. Air berasal dari uap air dalam ampas tebu dan reaksi dehidrasi selama proses pirolisis berlangsung. Masih tingginya kandungan air pada ampas tebu dapat menyebabkan tingginya *yield bio-oil*. Selain itu, tingginya *yield bio-oil* dikarenakan adanya senyawa organik yang larut dalam air, diantaranya: asam format, asam asetat, dan senyawa organik teroksidasi yang memiliki berat molekul rendah (alkohol, aldehid keton, dan fenol) (Yorgun et al., 2015).

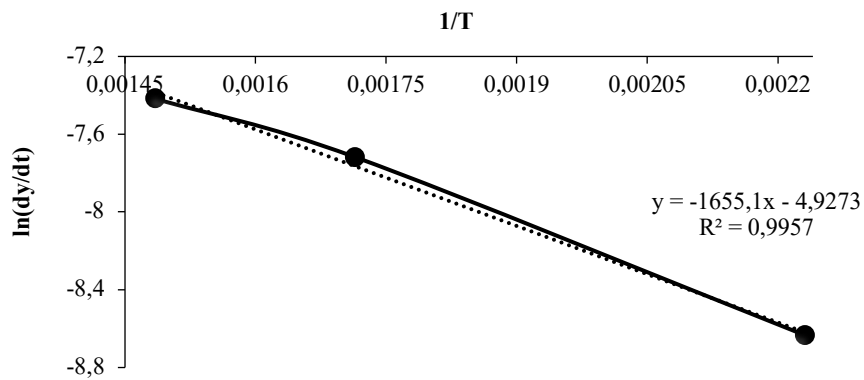
3. Kinetika Kimia

Model I

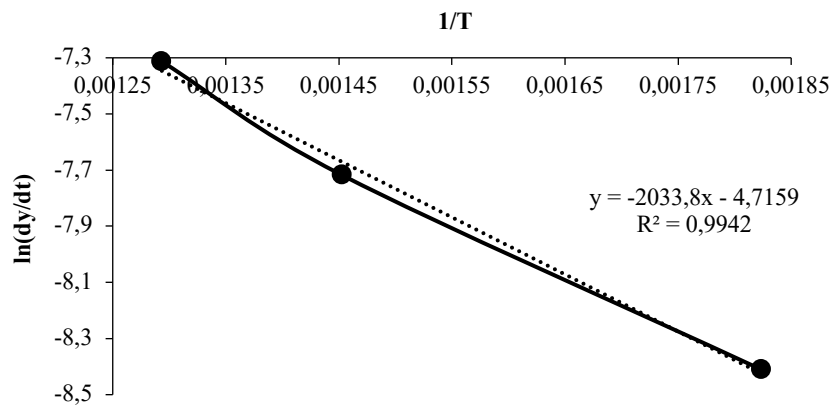
Pada Model I menggunakan hubungan antara data penurunan fraksi massa bagas tebu ($\ln(dy/dt)$) terhadap $1/T$ dengan hasil linearisasi yang ditunjukkan dalam gambar 3 - 5.



Gambar 3. Hubungan antara $\ln = \frac{dy}{dt}$ vs $\frac{1}{T}$ pada Suhu Pirolisis 300 °C

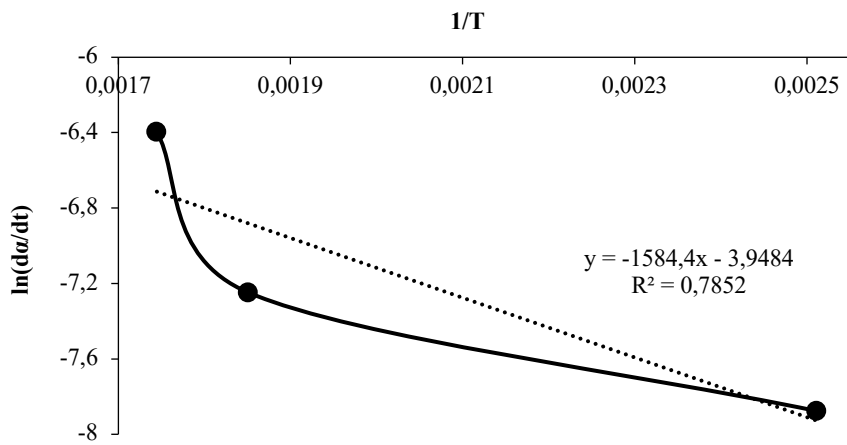


Gambar 4. Hubungan antara $\ln = \frac{dy}{dt}$ vs $\frac{1}{T}$ pada Suhu Pirolisis 400 °C

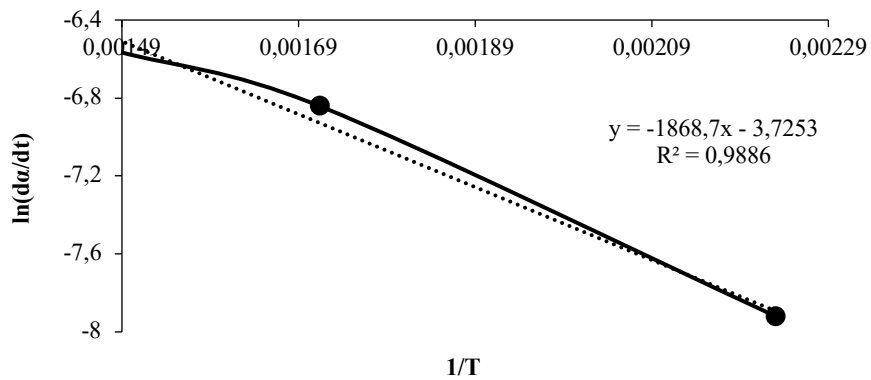


Gambar 5. Hubungan antara $\ln = \frac{dy}{dt}$ vs $\frac{1}{T}$ pada Suhu Pirolisis 500 °C

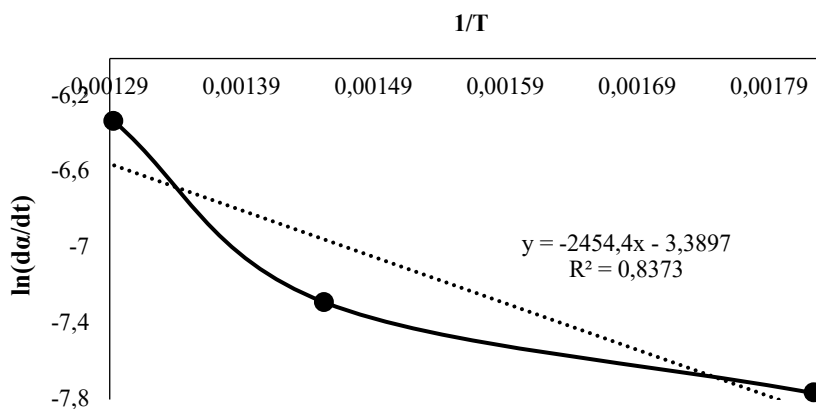
Model II



Gambar 6. Hubungan antara $\ln = \frac{d\alpha}{dt}$ vs $\frac{1}{T}$ pada Suhu Pirolisis 300 °C

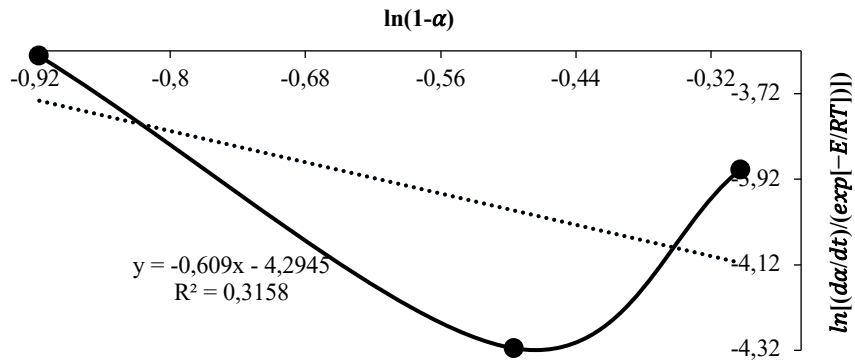


Gambar 7. Hubungan antara $\ln = \frac{d\alpha}{dt}$ vs $\frac{1}{T}$ pada Suhu Pirolisis 400 °C

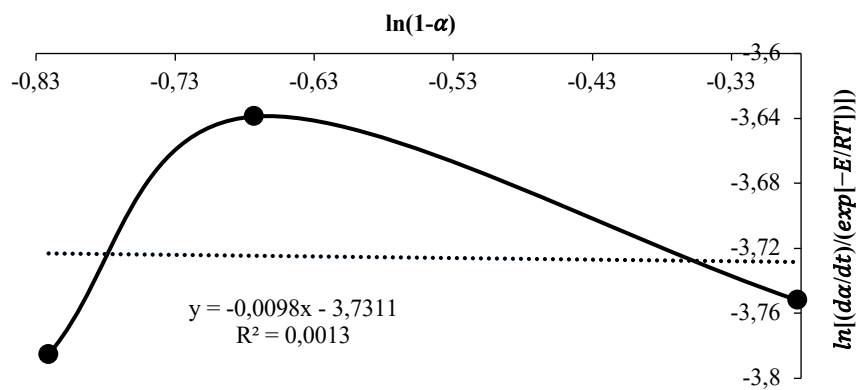


Gambar 8. Hubungan antara $\ln = \frac{d\alpha}{dt}$ vs $\frac{1}{T}$ pada Suhu Pirolisis 500 °C

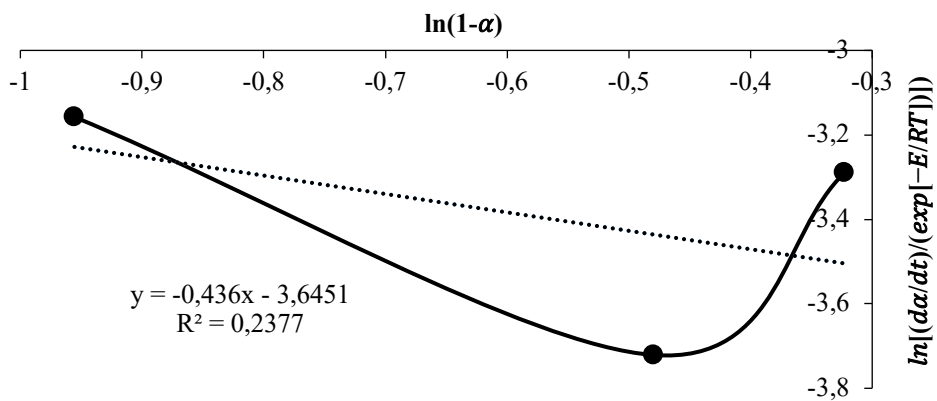
Keterbatasan pada model I yang tidak dapat menentukan orde reaksi, dapat diselesaikan menggunakan model II. Penentuan orde reaksi ditampilkan pada gambar 9 - 11.



Gambar 9. Hubungan antara $\ln\left(\frac{\frac{d\alpha}{dt}}{\exp\left(-\frac{E_a}{R.T}\right)}\right)$ vs $\ln(1 - \alpha)$ pada Suhu Pirolisis 300 °C



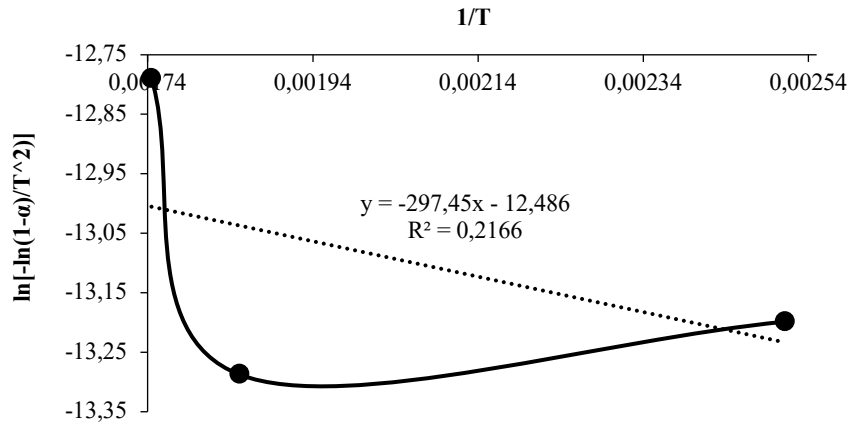
Gambar 10. Hubungan antara $\ln\left(\frac{\frac{d\alpha}{dt}}{\exp\left(-\frac{E_a}{R.T}\right)}\right)$ vs $\ln(1 - \alpha)$ pada Suhu Pirolisis 400 °C



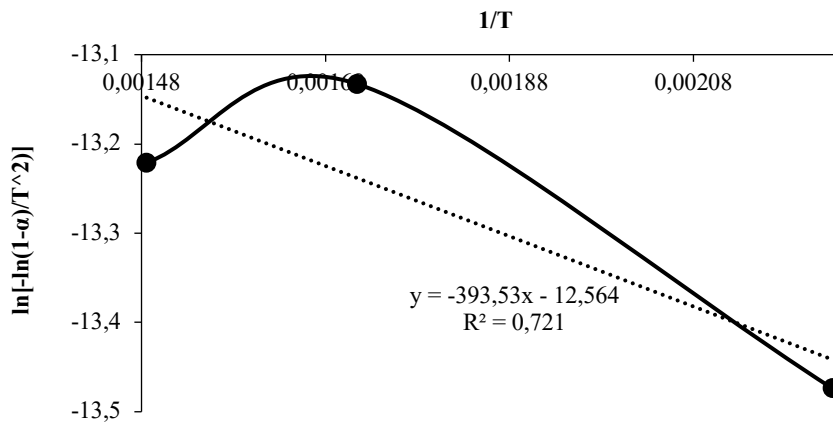
Gambar 11. Hubungan antara $\ln\left(\frac{\frac{d\alpha}{dt}}{\exp\left(-\frac{E_a}{R.T}\right)}\right)$ vs $\ln(1 - \alpha)$ pada Suhu Pirolisis 500 °C

Model III

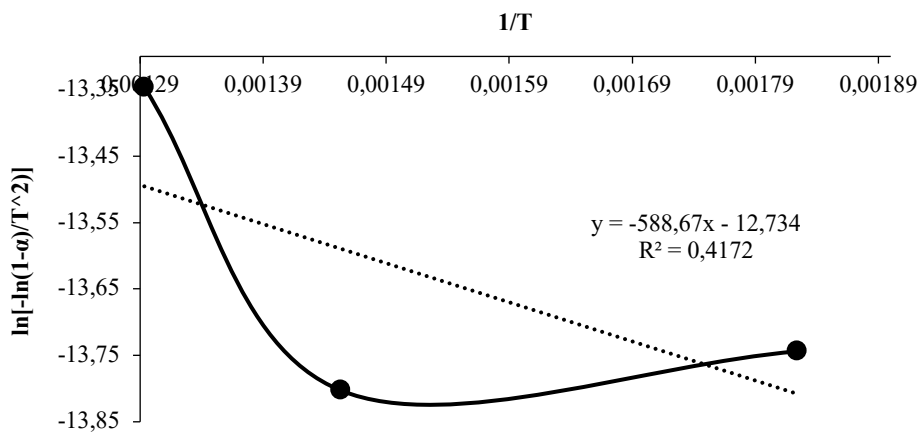
Model III mengadaptasi persamaan dari model II, namun reaksi diasumsikan memiliki orde 1. Asumsi ini didasarkan pada penelitian yang menyatakan bahwa proses pirolisis dengan bahan baku biomassa berlignoselulosa memiliki laju reaksi yang dinyatakan dalam orde 1 (Saddawi et al., 2010).



Gambar 12. Hubungan Antara $\ln\left(\frac{-\ln(1-\alpha)}{T^2}\right)$ vs $\frac{1}{T}$ Pada Saat Suhu Pirolisis 300 °C



Gambar 13. Hubungan Antara $\ln\left(\frac{-\ln(1-\alpha)}{T^2}\right)$ vs $\frac{1}{T}$ Pada Saat Suhu Pirolisis 400 °C



Gambar 14. Hubungan Antara $\ln\left(\frac{-\ln(1-\alpha)}{T^2}\right)$ vs $\frac{1}{T}$ pada Saat Suhu Pirolisis 500 °C

Gambar 12 - 14 menunjukkan persamaan linear dari setiap model yang digunakan, untuk menentukan beberapa parameter kinetika yaitu: Nilai energi aktivasi (E_a), faktor pre-eksponensial (A) dan orde reaksi (n). Model pertama tidak dapat memberikan informasi tentang nilai orde reaksi. Nilai orde reaksi pada tiap suhu diperoleh dari model kedua yaitu: 0,6 pada suhu 300 °C; 0,009 pada suhu 400 °C; dan 0,436 pada suhu 500 °C. Sedangkan pada model ketiga orde reaksi telah ditentukan yaitu 1. Parameter kinetika yang diperoleh pada masing-masing model disajikan pada Tabel 4 - 6.

Tabel 4. Parameter Kinetika Pada Model I

Parameter Arrhenius	Suhu Pirolisis		
	300 °C	400 °C	500 °C
A (/s)	0,00504	0,00725	0,00895
Ea (kJ/mol)	11,5774	13,7607	16,9086

Tabel 5. Parameter Kinetika Pada Model II

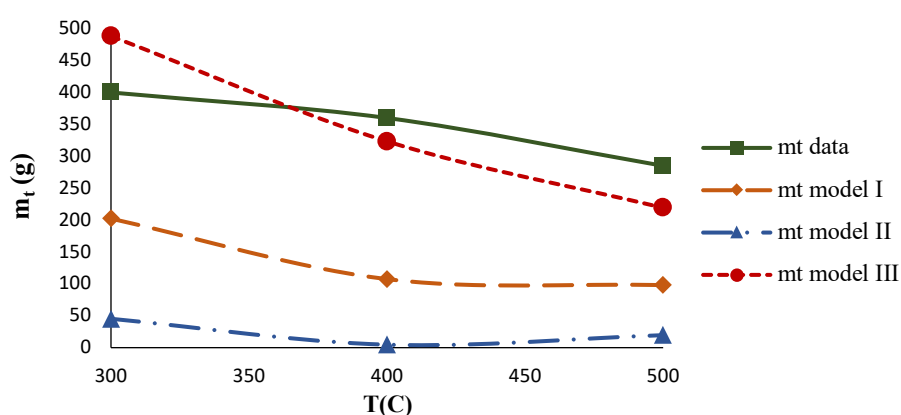
Parameter Arrhenius	Suhu Pirolisis		
	300 °C	400 °C	500 °C
A (/s)	0,01364	0,02397	0,02612
Ea (kJ/mol)	13,1729	15,536	20,4059

Tabel 6. Parameter Kinetika Pada Model III

Parameter Arrhenius	Suhu Pirolisis		
	300 °C	400 °C	500 °C
A (/s)	0,000335	0,000563	0,0009
Ea (kJ/mol)	2,4730	3,2718	4,8942

Parameter kinetika setiap model menunjukkan nilai yang beragam, namun dari ketiga model dapat dilihat bahwa semakin kecil faktor pre-eksponensial (A) maka nilai energi aktivasi (E_a) semakin besar. Faktor pre-eksponensial (A) merupakan besarnya jumlah tumbukan yang terjadi, jika bernilai kecil maka diperlukan energi aktivasi yang besar agar reaksi dapat terjadi (Wijayanti et al., 2018)

Selanjutnya hasil perhitungan parameter kinetika digunakan untuk mencocokkan data hasil perhitungan dengan data percobaan. *Fitting data* dilakukan dengan menghitung kembali massa bagas tebu yang berkurang sesuai peningkatan temperatur menggunakan data kinetika yang telah diperoleh (model) dan membandingkannya dengan massa ampas tebu hasil percobaan laboratorium (data).



Gambar 15. Perbandingan Massa Bagas Tebu Data Percobaan dan Massa Bagas Tebu Model

Gambar 15. menunjukkan bahwa data model III lebih mendekati data laboratorium dibandingkan model I dan model II. Dengan demikian dapat diasumsikan bahwa reaksi pirolisis merupakan mekanisme reaksi orde satu. Berdasarkan model III, konstanta laju reaksi pada tiap suhu pirolisis dapat dirumuskan:

$$k_{T=300^{\circ}C} = 0,000335 \exp\left(\frac{-2,4730}{RT}\right) \quad (37)$$

$$k_{T=400^{\circ}C} = 0,000563 \exp\left(\frac{-3,2718}{RT}\right) \quad (38)$$

$$k_{T=500^{\circ}C} = 0,0009 \exp\left(\frac{-4,8942}{RT}\right) \quad (39)$$

Pengujian sensitivitas terhadap konstanta yang diperoleh melalui data model dan data hasil eksperimen dilakukan dengan membandingkan nilai *sum square relative error* (SSE). Nilai SSE disajikan dalam Tabel 7.

Tabel 7. Perbandingan Nilai SSE.

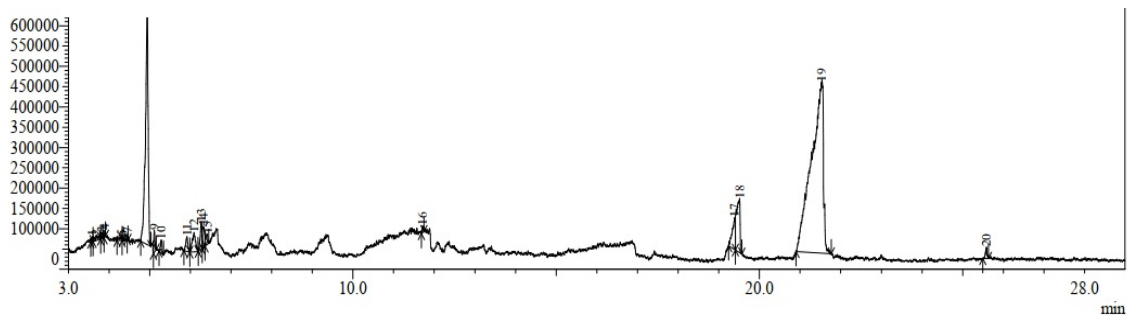
T (°C)	m _t (g)				Nilai SSE		
	Data	Model I	Model II	Model III	Model I	Model II	Model III
300	400	202,263	45,277	488,266	0,431	2,54	0,0395
400	360	107,389	4,635	323,347	1,168	3,8	0,0115
500	285	98,1004	19,615	219,253	0,952	3,04	0,068

Dengan melihat harga SSE yang minimum, maka model yang memiliki parameter kinetika yang baik adalah model III.

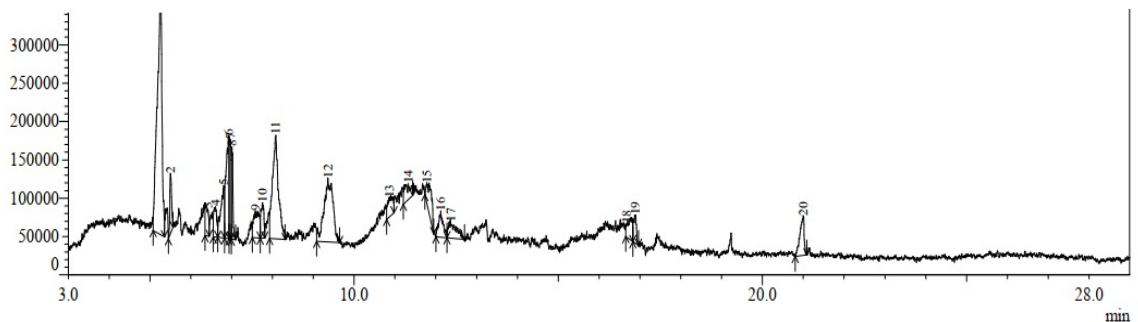
4. Hasil Analisis *Bio-oil* Berdasarkan GC-MS

Bio-oil tersusun dari beberapa komponen yang bergantung pada waktu dan suhu proses pirolisis. Komponen *bio-oil* sangat kompleks karena terdiri dari berbagai jenis hidrokarbon yang memiliki berat molekul tinggi (Fardhyanti et al., 2019).

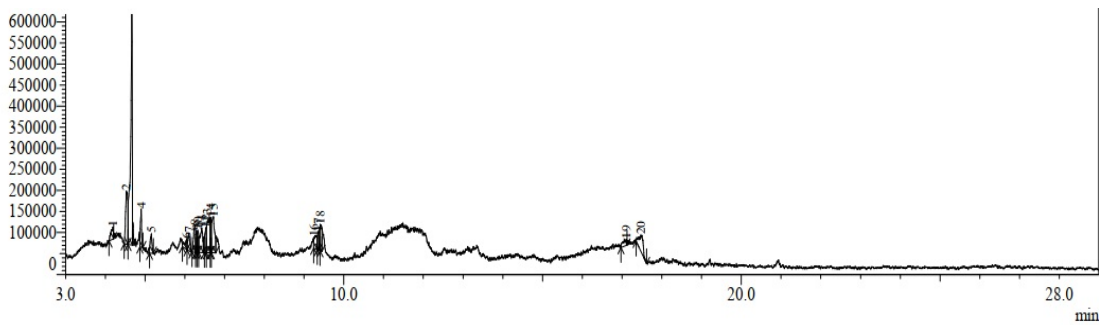
Hasil kromatogram *bio-oil* pada suhu 300, 400, dan 500 °C dapat dilihat pada Gambar 16, 17, dan 18.



Gambar 16. Kromatogram *Bio-oil* Hasil Pirolisis Bagas Tebu Pada Suhu 300 °C



Gambar 17. Kromatogram *Bio-oil* Hasil Pirolisis Bagas Tebu Pada Suhu 400 °C



Gambar 18. Kromatogram *Bio-oil* Hasil Pirolisis Bagas Tebu Suhu 500 °C

Puncak pada kromatogram menunjukkan komponen yang ada dalam *bio-oil*. Puncak tersebut diukur untuk mengetahui konsentrasi masing-masing komponen dalam *bio-oil*.

Tabel 8. Komposisi *Bio-Oil* dari Proses Pirolisis Bagas Tebu Pada Suhu 300 °C

No.	Komponen	Komposisi (%)
1.	Glikoluril	0,27
2.	3-metoksi Propionalalhid	0,56
3.	N-etil hidrazin	0,27
4.	Asam metoksi asetat anhidrat	0,11
5.	3-bromo-2-pentanol	0,3
6.	4-siklohexene-1,2-diol	0,07
7.	Asam asetat	19,43
8.	Piridina	0,75
9.	2-(3,5-Dimetil-1-pyrazolyl)	0,6
10.	5-Metilfurfural	2,44
11.	1-Metoksi-1,4-siklohexadiene	1,88
12.	Fenol	1,32
13.	3,5-dimetil-4-nitroapirazol	0,72
14.	1,4-Dietoksi benzena	0,24
15.	7-Asam octenoic/Asam citronellic	2,79
16.	Asam Tetradecanoic/Asam miristat	5,7
17.	9,12-Asam Octadecadienoic	61,98
18.	10-Undecenal	0,57

Tabel 9. Komposisi *Bio-Oil* dari Proses Pirolisis Bagas Tebu Pada Suhu 400 °C

No.	Komponen	Komposisi (%)
1.	Asam Asetat	24,82
2.	2-Kloro-2-metil- propana	2,3
3.	Furfuril alkohol	2
4.	5-Metil-2-Furfural	1,94
5.	Sikloheptanone	4,22
6.	Asam 4-fenolsulfonik	6,74
7.	Fenol	6,6
8.	1,2-Siklohexanedione	3,21
9.	2-Metil fenol	2,21
10.	4-Metil fenol	13,26
11.	2-Etil fenol	12,12

No.	Komponen	Komposisi (%)
12.	2-Isopropoxy fenol	2,19
13.	Siklohexanone	2,14
14.	Morfolinoasetonitril	3,22
15.	2,6-Dimetoksi fenol	2,61
16.	4-Metilenesiklohexanone	2,88
17.	Siklodecanone	2,23
18.	Dietil pirokarbonat	1,73
19.	9-Asam hexadecenoic	3,58

Tabel 10. Komposisi *Bio-Oil* dari Proses Pirolisis Bagas Tebu Pada Suhu 500 °C

No.	Komponen	Komposisi (%)
1.	Asam format	9,32
2.	Asam Asetat	31,7
3.	2,2-Dimetil-asam propanoic	3,33
4.	2-Siklopentenone	2,46
5.	5-Metil-2-Furancarboxaldehid/Resorcinol	1,7
6.	5-Metil furfural	2,55
7.	Benzyl fluoride	4,09
8.	1,2-Dimetil-2-pirolina	2,05
9.	3-Metil piridazin	7,72
10.	Dimetil disulfida	2,15
11.	Fenol	17,96
12.	3,5-Dimetil fenol	3,01
13.	Metil linolenat	3,01
14.	4-Asam pyridinecarboxylic [1-(2-furanil) etilidin] hydrazide/ Furonazide	3,2
15.	6-Deoxyhexopyranose	1,68
16.	Dietil pirokarbonat	5,34

Adanya senyawa fenolik dalam *bio-oil* disebabkan karena adanya dekomposisi termal dari lignin yang terkandung dalam bagas tebu selama proses pirolisis (Mantilla et al., 2014). Semakin besar jumlah lignin yang terkandung dalam suatu biomassa, maka semakin besar pula nilai *yield* fenol dalam *bio-oil* yang diproduksi dari biomassa tersebut. Menurut Rocha et al., (2012) kandungan lignin dalam bagas tebu sebesar 21,1%. Dari hasil analisis GC-MS diperoleh hasil total komponen senyawa fenol sebesar 1,32% pada suhu pirolisis 300 °C, total komponen senyawa fenol sebesar 38,99% pada suhu pirolisis 400 °C, dan total komponen senyawa fenol sebesar 20,97% pada suhu pirolisis 500 °C.

Zhang et al., (2018) menyatakan bahwa proses dekomposisi lignin menjadi fenol, turunan fenol, dan senyawa aromatik dimulai pada suhu 250 - 600 °C. Sehingga total senyawa fenol pada suhu pirolisis 400 °C lebih besar dibandingkan dengan suhu pirolisis 300 °C. Pada suhu pirolisis 500 °C total senyawa fenol lebih rendah dibandingkan dengan suhu pirolisis 400 °C. Hal ini dapat terjadi karena lama nya waktu penyimpanan *bio-oil*. Semakin lama waktu penyimpanan *bio-oil* menyebabkan terjadinya degradasi komponen dalam *bio-oil* akibat terpapar cahaya matahari. Hal ini sesuai dengan literatur yang mengatakan bahwa degradasi atau perengkahan akibat terpapar cahaya matahari yang berlebih akan mengakibatkan pemecahan ikatan dalam *bio-oil* sehingga berpengaruh terhadap jumlah senyawa teroksidasi, senyawa fenolik, campuran organik, dan asam kompleks (Azeez et al 2010; Galletti et al., 1995).

5. Simpulan

- Kondisi optimum pada proses pirolisis bagas tebu pada suhu 300, 400, dan 500 °C dengan waktu pirolisis 60 menit, didapatkan *yield bio-oil* sebesar 42,1383%; 38,5425%; dan 32,7729%.
- Pemodelan kinetika proses pirolisis bagas tebu mengikuti model III, diperoleh nilai energi aktivasi (E_a) dan faktor pre-eksponensial (A) pada suhu 300 °C adalah 2,4730 kJ/mol dan 0,000335 s⁻¹, pada suhu 400 °C adalah 3,2718 kJ/mol dan 0,000563 s⁻¹, serta pada suhu 500 °C adalah 4,8942 kJ/mol dan 0,0009 s⁻¹.

- c) Jumlah total komponen senyawa fenol pada suhu 300, 400, dan 500 °C berturut-turut adalah 1,32%; 38,99%; dan 20,97%.

D. **STATUS LUARAN:** Tuliskan jenis, identitas dan status ketercapaian setiap luaran wajib dan luaran tambahan (jika ada) yang dijanjikan pada tahun pelaksanaan penelitian. Jenis luaran dapat berupa publikasi, perolehan kekayaan intelektual, hasil pengujian atau luaran lainnya yang telah dijanjikan pada proposal. Uraian status luaran harus didukung dengan bukti kemajuan ketercapaian luaran sesuai dengan luaran yang dijanjikan. Lengkapi isian jenis luaran yang dijanjikan serta unggah bukti dokumen ketercapaian luaran wajib dan luaran tambahan melalui Simlitabmas mengikuti format sebagaimana terlihat pada bagian isian luaran

Luaran wajib yang dicapai:

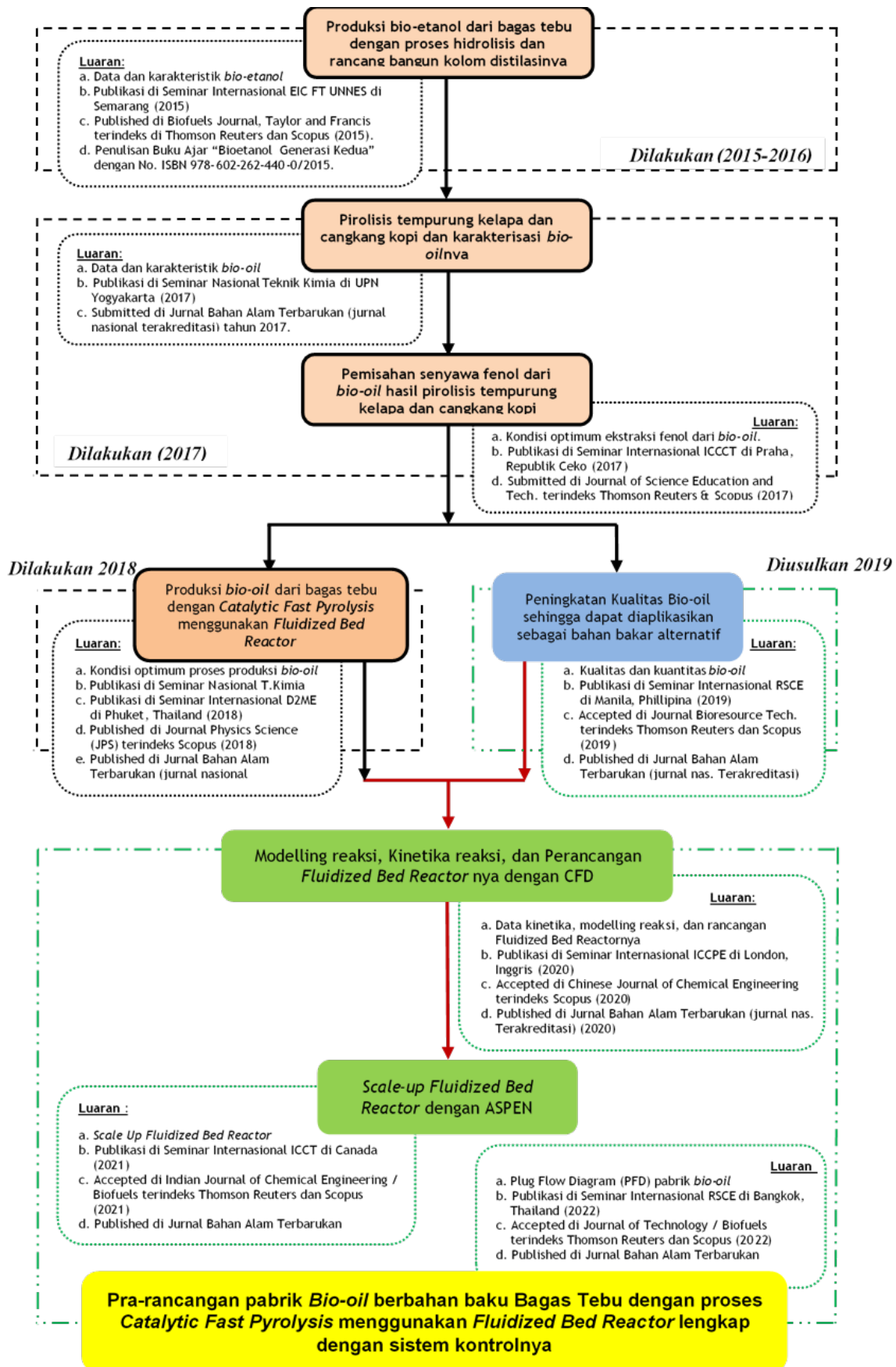
1. Journal **Materials Science Forum** Vol. 1038 hal. 445-450, 2022, dengan judul “Modelling of Liquid-Liquid Equilibria Using NRTL and UNIFAC Equations in the Extraction of Bio-Oil-Based Phenolics Produced from the Pyrolysis of Sugarcane Bagasse”.

Luaran Tambahan:

1. Draft Paten Sederhana (status terdaftar).
2. Book Chapter Internasional **Functional Materials** (ISBN 978-3-0364-1133-0), Penerbit: Trans Tech Publications Ltd, 2022, dengan judul “Materials Chemistry and Chemical Technologies/Producing Ceria (CeO₂) Nanoparticles Using Ethanol/Water Mixture as Solvent: Effect of Temperature on the Morphology and Crystallite Size”.

E. **PERAN MITRA:** Tuliskan realisasi kerjasama dan kontribusi Mitra baik *in-kind* maupun *in-cash* (jika ada). Bukti pendukung realisasi kerjasama dan realisasi kontribusi mitra dilaporkan sesuai dengan kondisi yang sebenarnya. Bukti dokumen realisasi kerjasama dengan Mitra diunggah melalui Simlitabmas mengikuti format sebagaimana terlihat pada bagian isian mitra

Penelitian ini tidak melibatkan mitra baik di tingkat industri maupun mitra lainnya.



Gambar 10. Peta Jalan (Road Map) Penelitian

H. DAFTAR PUSTAKA: Penyusunan Daftar Pustaka berdasarkan sistem nomor sesuai dengan urutan pengutipan. Hanya pustaka yang disitasi pada laporan akhir yang dicantumkan dalam Daftar Pustaka.

1. Al-bukhaiti, W. Q., Noman, A., Qasim, A. S., & Al-farga, A. (2017). *Gas Chromatography : Principles , Advantages and Applications in Food Analysis*. 6(1), 123–128.
2. Bertero, M., Puente, G. De, & Sedran, U. (2012). Fuels from bio-oils : Bio-oil production from different residual sources , characterization and thermal conditioning. *Fuel*, 95, 263–271. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.08.041>
3. BPS RI. (2018). *Statistik Tebu Indonesia 2018*. Jakarta.
4. Bridgwater, A. V. (1999). *Principles and practice of biomass fast pyrolysis processes for liquids*. 51, 3–22.
5. Carrier, M., Hugo, T., Gorgens, J., & Knoetze, H. (2011). Journal of Analytical and Applied Pyrolysis Comparison of slow and vacuum pyrolysis of sugar cane bagasse. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 90(1), 18–26. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2010.10.001>
6. Chaiya, C. (2011). *Production of Bio Oil from Coffee Residue using Pyrolysis Process*. II, 19–22.
7. Chauhan, A. (2014). *Analytical & Bioanalytical Techniques GC-MS Technique and its Analytical Applications in Science and Technology*. 5(6). <https://doi.org/10.4172/2155-9872.1000222>
8. Demiral, I., & Eryaz, A. (2011). *Bio-oil production from pyrolysis of corncob (Zea mays L .)*. 6, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.10.045>
9. Dewangan, A., Pradhan, D., & Singh, R. K. (2016). Co-pyrolysis of sugarcane bagasse and low-density polyethylene : Influence of plastic on pyrolysis product yield Co-pyrolysis of sugarcane bagasse and low-density polyethylene : Influence of plastic on pyrolysis product yield. *Fuel*, 185(December), 508–516. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.08.011>
10. Erawati, Emi; Wahyudi, S; and Panut, M. (2013). Karakteristik Bio-oil Hasil Pirolysis Ampas Tebu (Baggase). *Jurnal Kimia Terapan Indonesia*, 15,2, 47–55.
11. Erdogdu, A. E., Polat, R., & Ozbay, G. (2019). Pyrolysis of goat manure to produce bio-oil. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 22(2), 452–457. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jestch.2018.11.002>
12. Fardhyanti, D. S., Triwibowo, B., Istanto, H., Anajib, M. K., Larasati, A., & Oktaviani, W. (2018). PT SC. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, #pagerange#. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2018.08.011>
13. Fardhyanti, D. S., Triwibowo, B., Prasetiawan, H., & Chafidz, A. (2019). Terbaru Improving the Quality of Bio-Oil Produced from Rice Husk Pyrolysis by Extraction of its Phenolic Compounds. *Jurnal Bahan Alam*, 8(2), 90–100.
14. Garba, M. U., Musa, U., Olugbenga, A. G., Mohammad, Y. S., Yahaya, M., & Ibrahim, A. A. (2018). Catalytic upgrading of bio-oil from bagasse : Thermogravimetric analysis and fi xed bed pyrolysis. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 7(4), 776–781. <https://doi.org/10.1016/j.bjbas.2018.11.004>
15. Gerc, H. F. (2011). *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis Bio-oil production from Onopordum acanthium L . by slow pyrolysis*. 92, 233–238. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2011.06.002>
16. Guedes, R. E., Luna, A. S., & Torres, A. R. (2018). Journal of Analytical and Applied Pyrolysis Operating parameters for bio-oil production in biomass pyrolysis : A review. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 129(November 2017), 134–149. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2017.11.019>
17. Guran, S. (2018). Sustainable Waste-to-Energy Technologies : Gasification and Pyrolysis. In *Sustainable Food Waste-to-Energy Systems*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811157-4.00008-5>
18. Hajiha, H., & Sain, M. (2014). The use of sugarcane bagasse fibres as reinforcements in composites. *Biofiber Reinforcements in Composite Materials*, 525–549. <https://doi.org/10.1533/9781782421276.4.525>
19. Hugo, T. J. (2010). *PYROLYSIS OF SUGARCANE*. University of Stellenbosch.
20. Hussain, S. Z., & Maqbool, K. (2014). *GC-MS : Principle , Technique and its application in Food Science*. University of Agricultural Science and Technology of Kashmir.
21. Islam, M. R., Haniu, H., & Islam, M. N. (2010). *Thermochemical Conversion of Sugarcane Bagasse into Bio-Crude Oils by Fluidized-Bed Pyrolysis Technology **. 5(1), 11–23. <https://doi.org/10.1299/jtst.5.11>
22. Jaelani, A., Firdaus, S., & Jumena, J. (2017). *Renewable Energy Policy in Indonesia : The Qur ' anic Scientific Signals in Islamic Economics Perspective*. 7(4), 193–204.
23. Kazmi, S. M. S., Abbas, S., Saleem, M. A., Munir, M. J., & Khitab, A. (2016). Manufacturing of sustainable clay bricks: Utilization of waste sugarcane bagasse and rice husk ashes. *Construction and Building Materials*, 120, 29–41. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.084>
24. Kongnum, P., & Ratanawilai, S. (2014). *Catalytic Pyrolysis of Coconut Shell for Bio-oil*. 1(1), 5–8.

25. Lu, Y., Li, G., Lu, Y., Fan, X., & Wei, X. (2017). Analytical Strategies Involved in the Detailed Componential Characterization of Biooil Produced from Lignocellulosic Biomass. *International Journal of Analytical Chemistry*, 2017, 1–19.
26. Mantilla, S. V., Gauthier-maradei, P., Gil, P. Á., & Cárdenas, S. T. (2014). Comparative study of bio-oil production from sugarcane bagasse and palm empty fruit bunch: Yield optimization and bio-oil characterization. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2014.04.003>
27. Mesa-pérez, J. M., Dilcio, J., Barbosa-cortez, L. A., Penedo-medina, M., Alberto, C., & Cascarosa, E. (2013). Fast oxidative pyrolysis of sugar cane straw in a fluidized bed reactor. *Applied Thermal Engineering*, 56(1–2), 167–175. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2013.03.017>
28. Mokhena, T. C., Mochane, M. J., Tshwafo, C., Motaung, E., Liganiso, L. Z., Mochane, J., ... Liganiso, L. Z. (2018). Sugarcane Bagasse and Cellulose Polymer Composites. In *Sugarcane - Technology and Research* (pp. 225–240). <https://doi.org/10.5772/intechopen.71497>
29. Nor, W., Wan, R., Hisham, M. W. M., Ambar, M., & Hin, T. Y. (2012). A review on bio-oil production from biomass by using pyrolysis method. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(8), 5910–5923. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.05.039>
30. Oasmaa, A., Kuoppala, E., & Solantausta, Y. (2003). Fast Pyrolysis of Forestry Residue . 2 . Physicochemical Composition of Product Liquid. *Energy and Fuels*, 17(7), 433–443.
31. Purwanto, W. W., Supramono, D., Muthia, R., & Annisa, G. (2012). *Konversi Limbah Kelapa Sawit Menjadi Bio-Oil melalui Proses Catalytic Fast Pyrolysis dan Upgrading-nya*.
32. Rabiou, S. D., Auta, M., & Kovo, A. S. (2018). An upgraded bio-oil produced from sugarcane bagasse via the use of HZSM-5 zeolite catalyst. *Egyptian Journal of Petroleum*, 27(4), 589–594. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2017.09.001>
33. Rocha, G. J. M., Gonc, A. R., Oliveira, B. R., Olivares, E. G., & Rossell, C. E. V. (2012). Steam explosion pretreatment reproduction and alkaline delignification reactions performed on a pilot scale with sugarcane bagasse for bioethanol production. *Industrial Crops & Products*, 35, 274–279. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.07.010>
34. Saddawi, A., Jones, J. M., & Williams, A. (2010). *Kinetics of the Thermal Decomposition of Biomass*. 37(9), 1274–1282. <https://doi.org/10.1021/ef900933k>
35. Sahu, O. (2018). Assessment of sugarcane industry: Suitability for production, consumption, and utilization. *Annals of Agrarian Science*, 16(4), 389–395. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aasci.2018.08.001>
36. Sembiring, K. C., Rinaldi, N., & Simanungkalit, S. P. (2015). Bio-oil from Fast Pyrolysis of Empty Fruit Bunch at Various Temperature. *Energy Procedia*, 65, 162–169. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.01.052>
37. Singer, L. E., & Peterson, D. (2016). *International Energy Outlook 2016* (Vol. 0484).
38. Suharmanto, P., Fitria, A. N., & Ghaliyah, S. (2015). *Indonesian Geothermal Energy Potential as Source of Alternative Energy Power Plant*. 1, 119–124.
39. Suyitno, S., & Maret, U. S. (2014). Perumusan Laju Reaksi dan Sifat-Sifat Pirolisis Lambat Sekam Padi Menggunakan Metode Analisis Termogravimetri Perumusan Laju Reaksi dan Sifat-Sifat Pirolisis Lambat Sekam Padi Menggunakan Metode Analisis Termogravimetri. *Jurnal Teknik Mesin*, 11(1)(January 2009), 12–18.
40. Treedet, W., & Suntivarakorn, R. (2017). ScienceDirect ScienceDirect Fast Pyrolysis of International Sugarcane Bagasse Circulating Bed District Heating and Fluidized Reactor - Part A: Effect of Hydrodynamics Performance to Bio-Oil Assessing the feasibility of using the heat demand-outdoor Produ. *Energy Procedia*, 138, 801–805. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.10.072>
41. Tsai, W. T., Lee, M. K., & Chang, Y. M. (2006). *Fast pyrolysis of rice straw , sugarcane bagasse and coconut shell in an induction-heating reactor*. 76, 230–237. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2005.11.007>
42. Urban, P. L. (2016). *Quantitative mass spectrometry : an overview Subject Areas :*
43. Varma, A. K., & Mondal, P. (2016). Pyrolysis of sugarcane bagasse in semi batch reactor: Effects of process parameters on product yields and characterization of products. *Industrial Crops & Products*. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.11.039>
44. Wang, X., Chen, H., Yang, H., Wang, J., & Xin, F. (2011). The influence of alkali and alkaline earth metal compounds on pyrolysis of peanut shell. *Asia Pacific Journal Of Chemical Engineering*, 10(1002). <https://doi.org/10.1002/apj>
45. Wijayanti, H. (2018). The Kinetics Study Of Rice Husk Pyrolysis : Studi Kinetika Pirolisis Sekam Padi : Perbandingan Model. *Konversi*, 7(2), 35–40.

Pengisian poin C sampai dengan poin H mengikuti template berikut dan tidak dibatasi jumlah kata atau halaman namun disarankan ringkas mungkin. Dilarang menghapus/memodifikasi template ataupun menghapus penjelasan di setiap poin.

C. HASIL PELAKSANAAN PENELITIAN: Tuliskan secara ringkas hasil pelaksanaan penelitian yang telah dicapai sesuai tahun pelaksanaan penelitian. Penyajian dapat berupa data, hasil analisis, dan capaian luaran (wajib dan atau tambahan). Seluruh hasil atau capaian yang dilaporkan harus berkaitan dengan tahapan pelaksanaan penelitian sebagaimana direncanakan pada proposal. Penyajian data dapat berupa gambar, tabel, grafik, dan sejenisnya, serta analisis didukung dengan sumber pustaka primer yang relevan dan terkini.

LATAR BELAKANG

Pertumbuhan ekonomi dunia mendorong meningkatnya kebutuhan akan bahan bakar minyak. Hingga sekarang bahan bakar fosil masih menjadi sumber energi utama, sementara cadangan penggunaan bahan bakar fosil semakin menipis (Garba et al., 2018). Konsumsi bahan bakar fosil diproyeksikan meningkat hingga 78% pada tahun 2040, sejalan dengan ini, emisi gas CO₂ pun meningkat hingga 34% pada tahun 2040 (Singer et al., 2016). Jaelani et al., (2017) menyatakan bahwa sumber energi terbarukan menjadi pilihan paling efisien dan efektif untuk mengatasi masalah lingkungan saat ini dan memiliki potensi jangka panjang untuk pembangunan berkelanjutan. Potensi energi terbarukan di Indonesia adalah 400 GW, dimana 49,81 GW merupakan potensi bioenergi, namun hanya dimanfaatkan sebesar 302,4 MW (Jaelani et al., 2017; Suharmanto et al., 2015). Sebagai salah satu sumber daya alam terbarukan yang dapat dikonversi menjadi bahan bakar cair (*liquid fuel*), biomassa merupakan bahan bakar substitusi yang paling signifikan untuk menggantikan keberadaan minyak bumi dalam banyak aplikasi seperti produksi panas, bahan bakar transportasi, produksi bahan kimia dan biomaterial (Guedes et al., 2018).

Biomassa adalah limbah material organik yang berasal dari serbuk kayu, jerami padi, limbah organik manusia dan hewan (Rabiu et al., 2018). Konversi biomassa menjadi bahan bakar cair dapat dilakukan melalui proses termal, biologi, dan mekanis (Guedes et al., 2018). Beberapa jenis biomassa telah diterapkan dalam pembuatan *bio-oil* yaitu: tempurung kelapa (Kongnum et al., 2014), bonggol jagung (Demiral et al., 2011), kayu pinus dan kulit gandum (Bertero et al., 2012), tandan kosong kelapa sawit (Sembiring et al., 2015), cangkang kopi (Fardhyanti et al., 2018), serta sekam padi (Fardhyanti et al., 2018). Biomassa lain yang berpotensi untuk dikonversi menjadi *bio-oil* adalah bagas tebu. Mengetahui keunggulan potensi pada biomassa tersebut, maka perlu dilakukan perbandingan komposisi lignin, selulosa, dan hemiselulosa. Perbandingan komposisi lignoselulosa pada biomassa disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan Komposisi Lignoselulosa pada Biomassa

Biomassa	Persentase (%)			
	Lignin	Selulosa	Hemiselulosa	Total
Serbuk Pinus	28	35	29	92
Kulit Gandum	40-45	10-15	30	85
Tandan Kosong Kelapa Sawit	29	39	22	90
Bonggol Jagung	15	45	31,9	91,9
Tempurung Kelapa	27	34	21	82
Bagas Tebu	21,1	45,5	27	93,6

(Dewangan et al., 2016)

Berdasarkan Tabel 1 diantara beberapa jenis biomassa, bagas tebu memiliki kandungan lignoselulosa yang tinggi. Selain itu, tebu menjadi salah satu biomassa yang melimpah di Indonesia. Pada produksi gula yang menggunakan satu ton tebu dapat menghasilkan produk samping berupa 3%-5% *pressmud*, 25%-30% bagas, 3,5%-5% *mollases* (Sahu et al., 2018). Ampas tebu (bagas) adalah produk samping dari batang tebu yang telah mengalami ekstraksi nira pada industri pengolahan gula pasir. Secara kimia, bagas tebu tersusun dari 50% senyawa Selulosa, 25% senyawa hemiselulosa, dan 25% senyawa lignin (Hajiha et al., 2014).

Melalui metode gasifikasi bagas tebu dapat dipakai oleh pabrik gula sebagai bahan bakar ketel uap untuk menghasilkan energi yang diperlukan selama proses produksi pembuatan gula (Kazmi et al., 2016). Selain itu, bagas tebu memiliki potensi untuk diolah menjadi bahan bakar cair (Mesa-pérez et al., 2013). Bahan bakar cair yang diperoleh dari konversi biomassa dikenal sebagai bahan bakar yang ramah lingkungan. Hal ini karena menghasilkan emisi gas CO₂, SO_x, dan NO_x dalam jumlah yang kecil dibandingkan bahan bakar fosil (Islam et al.,

2010).

Bio-oil merupakan cairan yang berwarna cokelat gelap, diperoleh melalui proses konversi biomassa dengan bantuan energi panas (*thermal process*) yang mengandung campuran kompleks zat organik seperti hidrokarbon aromatik, fenol, keton, ester, eter, gula, amina, alkohol, furan, dan air (Guedes et al., 2018). *Thermal process* untuk mengkonversi biomassa dapat dilakukan melalui pembakaran, gasifikasi, karbonisasi, pencairan dan pirolisis (Garba et al., 2018). Pirolisis menghasilkan produk utama berupa *bio-oil*, sehingga tepat digunakan pada penelitian ini.

Pirolisis merupakan proses termokimia untuk mengkonversi biomassa menjadi *bio-oil* tanpa menggunakan zat pengoksidasi (Erdogdu et al., 2019). Mekanisme reaksi pirolisis terjadi karena adanya proses degradasi termal bahan yang bersifat *irreversible*, sehingga terjadi penguraian struktur polimer menjadi molekul sederhana. Molekul ini mengarah pada pembentukan *bio-char*, *bio-oil*, dan gas *volatile* (misalnya: CO, CO₂, H₂, CH₄, C₂H₆) (Guran, 2018). Keuntungan penggunaan metode pirolisis adalah metode pengoperasian sederhana dan biaya murah (Guedes et al., 2018).

Berdasarkan laju pemanasan dan waktu tinggal, pirolisis dapat diklasifikasikan mejadi *slow* dan *fast pyrolysis*. *Slow pyrolysis* dilakukan pada suhu operasi rendah berkisar antara 200-400°C, sedangkan *fast pyrolysis* memiliki suhu operasi sekitar 500 °C (Varma and Mondal, 2016 ; Tsai, Lee and Chang, 2006). Variabel Suhu pirolisis pada penelitian ini adalah 300, 400 dan 500 °C. Berdasarkan Penelitian Garba et al., (2018) menyatakan bahwa, *yield bio-oil* maksimum dari proses pirolisis bagas tebu diperoleh pada suhu 500 °C.

Pirolisis merupakan proses konversi termal yang penting untuk merubah biomassa menjadi produk yang lebih berharga. Proses pirolisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah Fast Pyrolysis, dimana terjadi proses dekomposisi termal dari komponen organik tanpa kehadiran oksigen dengan cara mengalirkan N₂ dalam prosesnya untuk menghasilkan cairan, gas dan arang. Cairan yang dihasilkan ini lebih lanjut kita kenal sebagai Bio-oil. Produk yang dihasilkan dalam fast pyrolysis tergantung dari komposisi biomassa yang digunakan sebagai bahan baku, kecepatan serta lama pemanasan. Pada proses fast pyrolysis, semakin tinggi laju pemanasan semakin mempercepat pembentukan produk yang mudah menguap, meningkatkan tekanan, waktu tinggal yang pendek di dalam reaktor, dan hasil produk cair yang lebih tinggi. Dynamotive (Canada) dan BTG (Belanda) juga telah mengembangkan fast pyrolysis reactor, yang menunjukkan hasil produk cair yang tinggi hingga mencapai 80%. Rendemen cairan tertinggi yang dapat dihasilkan dari proses pirolisis cepat berkisar 80% dengan lama pemanasan 0,5 - 2 detik, pada suhu 400 - 600oC dan proses pendinginan yang cepat pada akhir proses. Pendinginan yang cepat sangat penting untuk memperoleh produk dengan berat molekul tinggi sebelum akhirnya terkonversi menjadi senyawa gas yang memiliki berat molekul rendah. Produksi bio-oil sangat menguntungkan karena dengan pengkonversian bio-oil maka akan didapatkan produk berupa bahan bakar minyak bio, misalnya: bio-kerosene, bio-diesel dan lain-lain (Hambali, 2007).

Catalytic Fast Pyrolysis menggunakan reaktor jenis Fluidized Bed memiliki kapasitas paling besar per satuan volume dibandingkan proses lainnya. Selain itu proses ini mampu menangani segala jenis biomassa yang mengandung selulosa dan menghasilkan bio-oil. Gas yang didorong menyebabkan partikel-partikel terpirolisis dengan cepat (\pm 2 detik) sehingga tidak sempat menggumpal (Hambali,2007).

Bio-oil merupakan bakar cair berwarna gelap, beraroma seperti asap, dan merupakan cairan hasil kondensasi dari uap hasil pirolisis dari bahan-bahan yang banyak mengandung lignin, selulosa, hemiselulosa serta senyawa karbon lainnya. Bio-oil terdiri dari karbon, hidrogen, dan oksigen dengan sedikit sekali kandungan nitrogen dan sulfur (tidak begitu berarti). Bio-oil tersusun atas campuran uap organik, seperti asam, alkohol, aldehid, eter, ester, keton, furan, fenol, dan hidrokarbon. Karakteristik tersebut menjadikan bio-oil sebagai bahan bakar yang ramah lingkungan, serta memiliki nilai bakar yang lebih besar dibandingkan dengan bahan bakar oksigen lainnya (seperti metanol) dan lebih rendah sedikit dibandingkan dengan solar dan light fuel oil lainnya (Hambali dkk, 2007).

Pengembangan bio-oil dapat menggantikan posisi bahan bakar hidrokarbon dalam industri, seperti untuk mesin pembakaran, boiler, mesin diesel statis, dan gas turbin. Bio-oil sangat efektif digunakan sebagai pensubstitusi diesel, heavy fuel oil, light fuel oil, dan untuk berbagai macam boiler. Bio-oil bersifat larut sempurna dalam alkohol, seperti dalam metanol dan etanol. Pencampuran bio-oil dalam alkohol dapat meningkatkan stabilitas dan menurunkan nilai viskositas bahan bakar. Bio-oil bersifat tidak larut dalam solar, tetapi dapat diemulsifikasi dengan solar. Emulsifikasi 10-30% bio-oil dalam solar dapat memperbaiki stabilitas bahan bakar, memperbaiki viskositas, mengurangi tingkat korosivitas, dan meningkatkan nilai bilangan setana (Hambali, 2007).

Biomassa yang digunakan sebagai bahan baku dalam penelitian ini adalah bagas tebu. Hasil analisis terhadap bagas tebu menunjukkan kadar oligosakarida 16,69%, hemiselulosa 25,66%, selulosa 51,27%, dan lignin 6,38% (Megawati, 2014). Kadar selulosa dan kandungan serat yang cukup tinggi menunjukkan bahwa bagas tebu cukup potensial untuk dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan bio-oil. Selama ini limbah bagas tebu banyak

menimbulkan masalah dalam penanganannya karena dibiarkan membusuk, ditumpuk dan dibakar yang akan berdampak negatif terhadap lingkungan sehingga penanggulangannya perlu dipikirkan. Salah satu jalan yang dapat ditempuh adalah memanfaatkannya menjadi produk yang bernilai tambah dengan teknologi aplikatif dan kerakyatan sehingga hasilnya mudah disosialisasikan kepada masyarakat. Pengolahan waste to product merupakan pengolahan limbah menjadi bahan baku atau produk baru yang bernilai ekonomis.

Pada kenyataannya, konversi limbah biomassa menjadi bio-oil umumnya belum mencapai kualitas maksimal setara dengan karakteristik solar. Terdapat kendala yang menyebabkan bio-oil tidak diolah dan digunakan lebih lanjut hingga saat ini. Masalah utama yaitu banyaknya kandungan senyawa oksigenat yang menyebabkan rendahnya heating value, tingginya tingkat keasaman, korosif, tidak stabilnya produk, dan tingginya viskositas bio-oil. Masalah tersebut pada akhirnya mengakibatkan tidak aplikatifnya bio-oil yang dihasilkan.

Penelitian ini mempelajari optimasi data, modelling reaksi katalitik, parameter optimasi proses catalytic fast pyrolysis fluidized bed reactor dan scale up reaktor serta pra-rancangan pabrik pembuatan bio-oil dari biomassa khususnya bagas tebu. Optimasi data, kondisi operasi dan pemodelan reaksi yang tepat selanjutnya digunakan untuk optimasi proses, dan pengembangan ke arah komersialisasi. Inovasi dan scale-up reaktor serta pra-rancangan pabrik dapat dilakukan dengan baik, juga operasi dapat dilakukan secara optimum bila nilai parameter dalam dinamika proses pengolahan yang mengarah komersial itu diketahui dengan tepat.

Tujuan khusus penelitian ini adalah melakukan catalytic fast pyrolysis terhadap bagas tebu untuk mendapatkan produk bio-oil, data kinetika, kondisi optimum proses dan karakterisasi bio-oilnya; didapatkan peningkatan kualitas bio-oil dengan kandungan oksigenat yang lebih rendah sehingga dapat diaplikasikan sebagai bahan bakar dan dibandingkan karakteristik bio-oil dengan solar; didapatkan pemodelan (modelling) reaksi katalitik dan perancangan fluidized bed reactor; didapatkan scale-up fluidized bed reactor; dan didapatkan pra-rancangan pabrik bio-oil lengkap dengan sistem kontrolnya.

HASIL PENELITIAN

1. Karakteristik *Bio-oil* Hasil Pirolisis Bagas Tebu

Proses pirolisis bagas tebu menghasilkan *yield bio-oil* yang ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai *Yield Bio-Oil* Hasil Pirolisis Bagas Tebu

t (min)	Yield (%)		
	T= 300 °C	T= 400 °C	T= 500 °C
30	21,6832	21,312	21,164
45	35,7293	34,1595	32,0883
60	42,1383	38,5425	32,7729

Yield bio-oil yang dihasilkan dari proses pirolisis disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya: Suhu reaksi, bahan baku, laju pemanasan, ukuran partikel, dan tipe reaktor (Fardhyanti et al., 2019).

Bio-oil yang dihasilkan dari proses pirolisis bagas tebu berwarna coklat dan berbau menyengat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Produk Bio-Oil

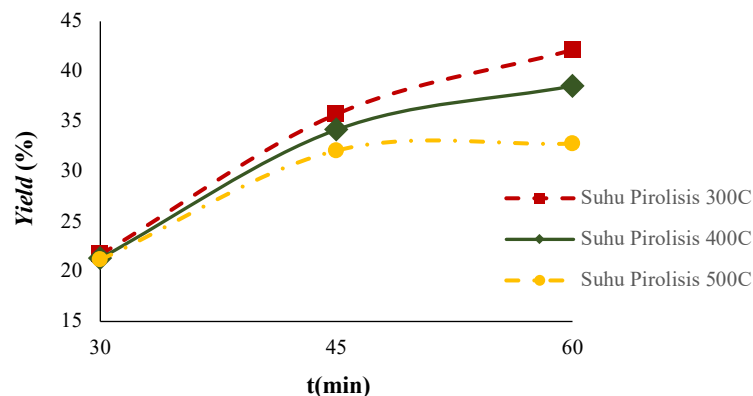
Menurut (Bridgwater et al., 1999) minyak hasil pirolisis dapat langsung digunakan sebagai bahan bakar *boiler*, *furnace*, mesin diesel, dan turbin pembangkit listrik. Karakteristik *bio-oil* dari hasil proses pirolisis dalam penelitian ini dapat dilihat dari nilai densitas *bio-oil* pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai Densitas *Bio-Oil* Hasil Pirolisis Bagas Tebu

T (°C)	Densitas (ρ)	
	(g/ml)	(kg/m ³)
300	0,986	986
400	0,974	974
500	0,978	978

Tabel 3 menunjukkan nilai densitas *bio-oil* yang diperoleh dari proses pirolisis pada waktu interval pengambilan *bio-oil* 60 menit. Nilai densitas *bio-oil* hasil pirolisis dari bagas tebu ini lebih kecil dibandingkan dengan penelitian (Mantilla, Gauthier-maradei, Gil, & Cárdenas, 2014) yang mempunyai nilai densitas 1071,8 kg/m³ - 1083,9 kg/m³. Rendahnya nilai densitas *bio-oil* disebabkan karena masih tingginya kandungan air dalam *bio-oil* (Dewangan et al., 2016). Nilai densitas yang diijinkan sebagai *bio-oil* sesuai dengan ASTM D975-12a adalah 876 kg/m³ sehingga *bio-oil* hasil pirolisis bagas tebu ini memenuhi syarat ASTM D975-12a (Mantilla et al., 2014).

2. Pengaruh Suhu dan Waktu Pirolisis Terhadap *Yield Bio-oil* Hasil Pirolisis Bagas Tebu



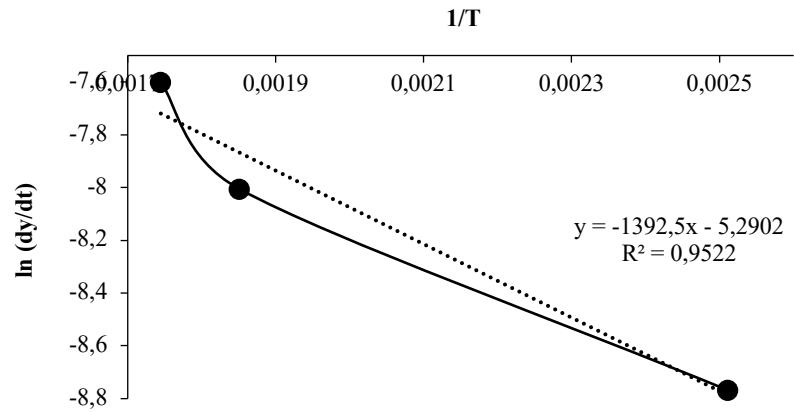
Gambar 2. Pengaruh Waktu Pirolisis (min) dan Suhu Pirolisis (°C) terhadap *Yield Bio-Oil* (%)

Gambar 2 menunjukkan bahwa pada suhu 300, 400, dan 500 °C *yield* produk *bio-oil* meningkat seiring dengan lamanya waktu pirolisis. Pada suhu 300, 400, dan 500 °C untuk waktu pirolisis 60 menit, menghasilkan *yield* yang tinggi, berturut-turut sebagai berikut: 42,1383%; 38,5425%; dan 32,7729%. Nilai *yield* yang dihasilkan pada suhu pirolisis 500 °C sesuai dengan penelitian Rabiou et al., (2018) dengan kisaran 29,84-33,58. Di sisi lain, *yield bio-oil* pada suhu pirolisis 300 dan 400°C masih belum sesuai dengan beberapa penelitian (Gerc et al., 2011; Nor et al., 2012), hal ini diduga karena produk *bio-oil* terdiri atas fase cair, fase *bio-oil*, dan semua senyawa organik yang larut dalam air. Air berasal dari uap air dalam ampas tebu dan reaksi dehidrasi selama proses pirolisis berlangsung. Masih tingginya kandungan air pada ampas tebu dapat menyebabkan tingginya *yield bio-oil*. Selain itu, tingginya *yield bio-oil* dikarenakan adanya senyawa organik yang larut dalam air, diantaranya: asam format, asam asetat, dan senyawa organik teroksidasi yang memiliki berat molekul rendah (alkohol, aldehid keton, dan fenol) (Yorgun et al., 2015).

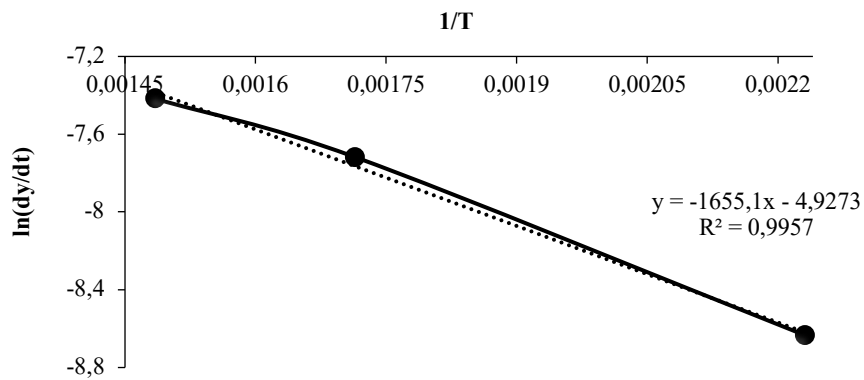
3. Kinetika Kimia

Model I

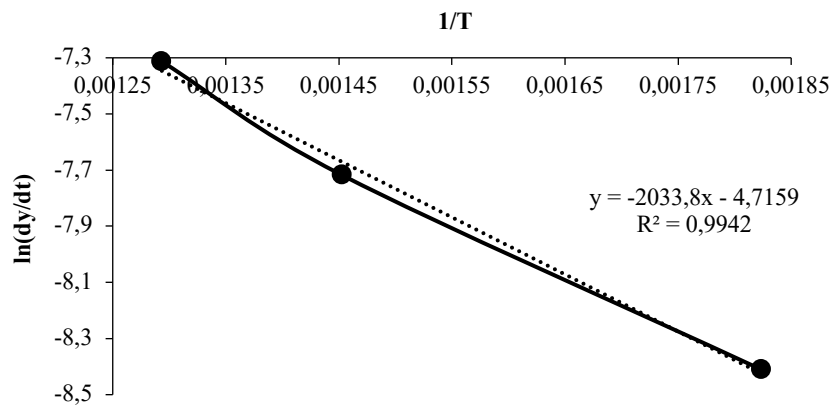
Pada Model I menggunakan hubungan antara data penurunan fraksi massa bagas tebu ($\ln(dy/dt)$) terhadap $1/T$ dengan hasil linearisasi yang ditunjukkan dalam gambar 3 - 5.



Gambar 3. Hubungan antara $\ln = \frac{dy}{dt}$ vs $\frac{1}{T}$ pada Suhu Pirolisis 300 °C

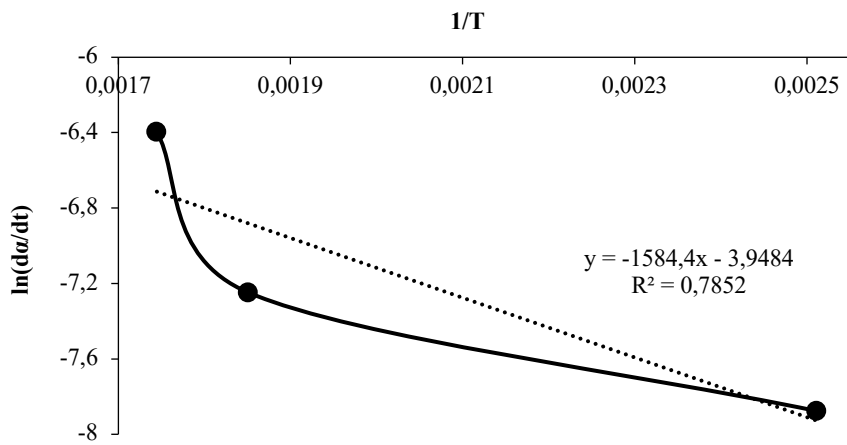


Gambar 4. Hubungan antara $\ln = \frac{dy}{dt}$ vs $\frac{1}{T}$ pada Suhu Pirolisis 400 °C

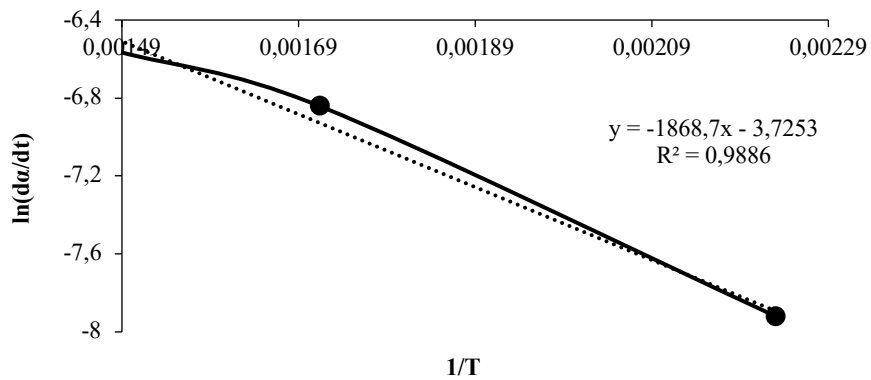


Gambar 5. Hubungan antara $\ln = \frac{dy}{dt}$ vs $\frac{1}{T}$ pada Suhu Pirolisis 500 °C

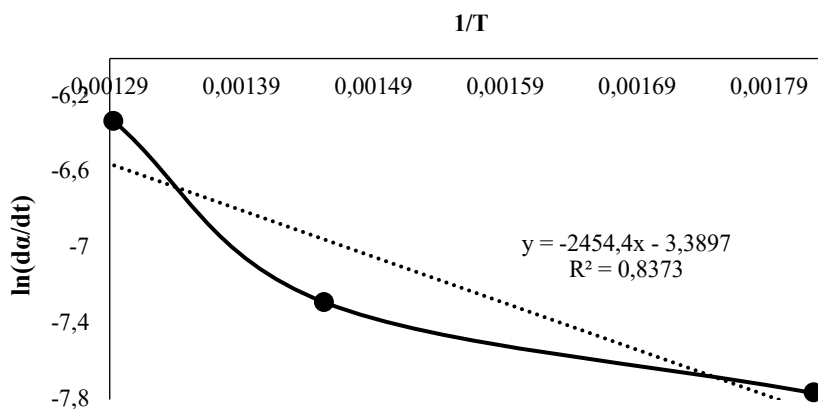
Model II



Gambar 6. Hubungan antara $\ln = \frac{d\alpha}{dt}$ vs $\frac{1}{T}$ pada Suhu Pirolisis 300 °C

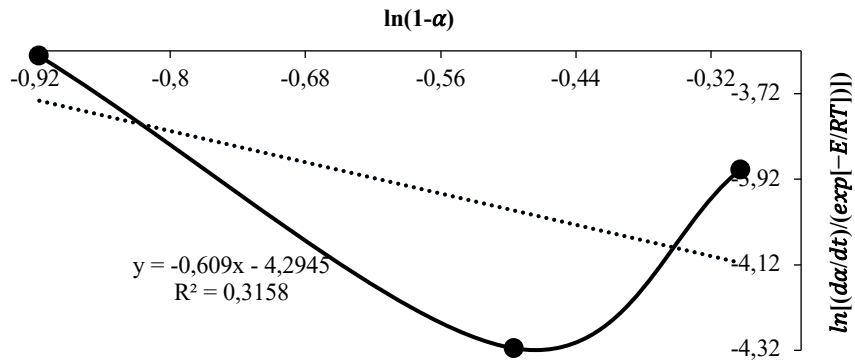


Gambar 7. Hubungan antara $\ln = \frac{d\alpha}{dt}$ vs $\frac{1}{T}$ pada Suhu Pirolisis 400 °C

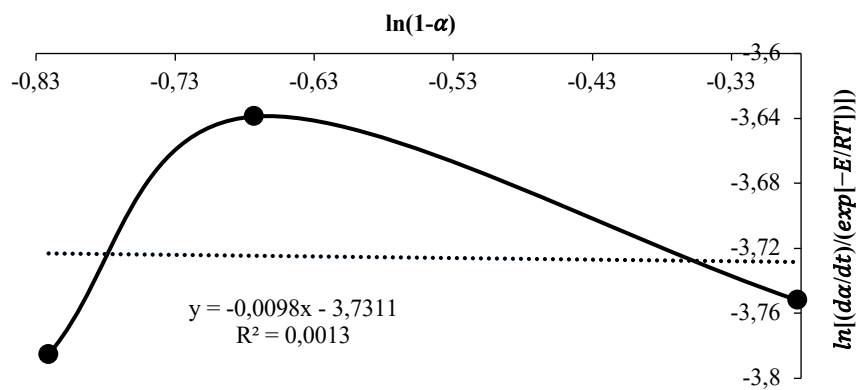


Gambar 8. Hubungan antara $\ln = \frac{d\alpha}{dt}$ vs $\frac{1}{T}$ pada Suhu Pirolisis 500 °C

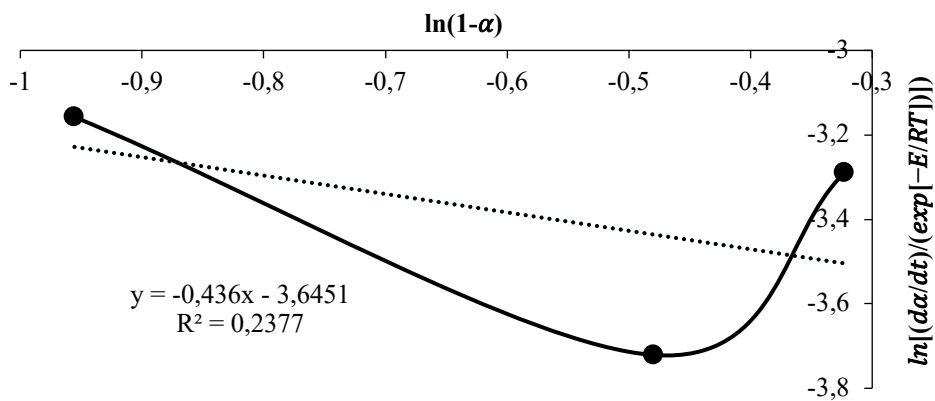
Keterbatasan pada model I yang tidak dapat menentukan orde reaksi, dapat diselesaikan menggunakan model II. Penentuan orde reaksi ditampilkan pada gambar 9 - 11.



Gambar 9. Hubungan antara $\ln\left(\frac{\frac{d\alpha}{dt}}{\exp\left(-\frac{E_a}{R.T}\right)}\right)$ vs $\ln(1 - \alpha)$ pada Suhu Pirolisis 300 °C



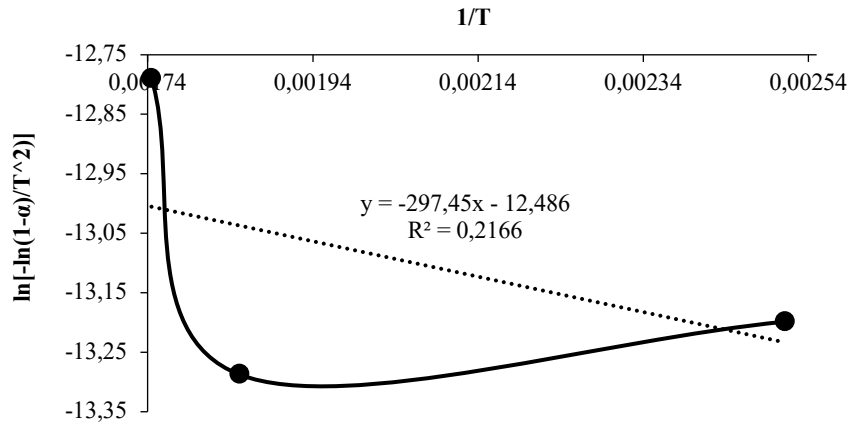
Gambar 10. Hubungan antara $\ln\left(\frac{\frac{d\alpha}{dt}}{\exp\left(-\frac{E_a}{R.T}\right)}\right)$ vs $\ln(1 - \alpha)$ pada Suhu Pirolisis 400 °C



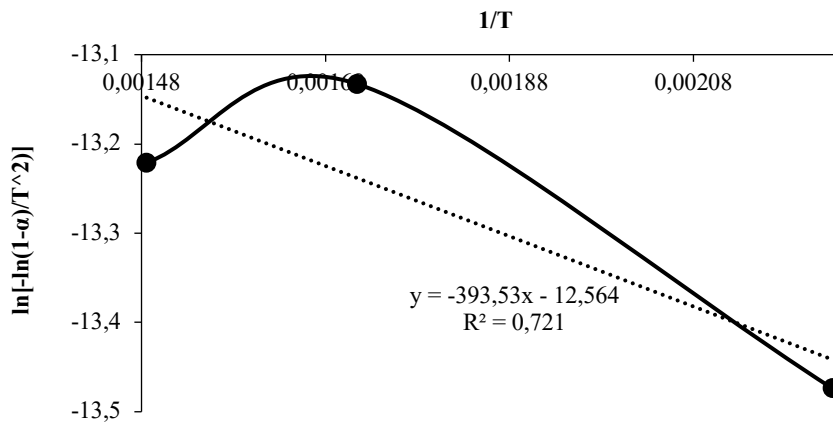
Gambar 11. Hubungan antara $\ln\left(\frac{\frac{d\alpha}{dt}}{\exp\left(-\frac{E_a}{R.T}\right)}\right)$ vs $\ln(1 - \alpha)$ pada Suhu Pirolisis 500 °C

Model III

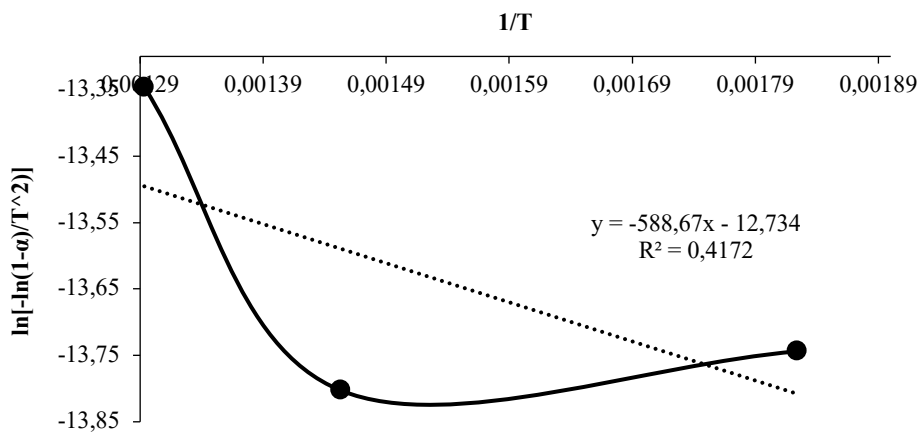
Model III mengadaptasi persamaan dari model II, namun reaksi diasumsikan memiliki orde 1. Asumsi ini didasarkan pada penelitian yang menyatakan bahwa proses pirolisis dengan bahan baku biomassa berlignoselulosa memiliki laju reaksi yang dinyatakan dalam orde 1 (Saddawi et al., 2010).



Gambar 12. Hubungan Antara $\ln\left(\frac{-\ln(1-\alpha)}{T^2}\right)$ vs $\frac{1}{T}$ Pada Saat Suhu Pirolisis 300 °C



Gambar 13. Hubungan Antara $\ln\left(\frac{-\ln(1-\alpha)}{T^2}\right)$ vs $\frac{1}{T}$ Pada Saat Suhu Pirolisis 400 °C



Gambar 14. Hubungan Antara $\ln\left(\frac{-\ln(1-\alpha)}{T^2}\right)$ vs $\frac{1}{T}$ pada Saat Suhu Pirolisis 500 °C

Gambar 12 - 14 menunjukkan persamaan linear dari setiap model yang digunakan, untuk menentukan beberapa parameter kinetika yaitu: Nilai energi aktivasi (E_a), faktor pre-eksponensial (A) dan orde reaksi (n). Model pertama tidak dapat memberikan informasi tentang nilai orde reaksi. Nilai orde reaksi pada tiap suhu diperoleh dari model kedua yaitu: 0,6 pada suhu 300 °C; 0,009 pada suhu 400 °C; dan 0,436 pada suhu 500 °C. Sedangkan pada model ketiga orde reaksi telah ditentukan yaitu 1. Parameter kinetika yang diperoleh pada masing-masing model disajikan pada Tabel 4 - 6.

Tabel 4. Parameter Kinetika Pada Model I

Parameter Arrhenius	Suhu Pirolisis		
	300 °C	400 °C	500 °C
A (/s)	0,00504	0,00725	0,00895
Ea (kJ/mol)	11,5774	13,7607	16,9086

Tabel 5. Parameter Kinetika Pada Model II

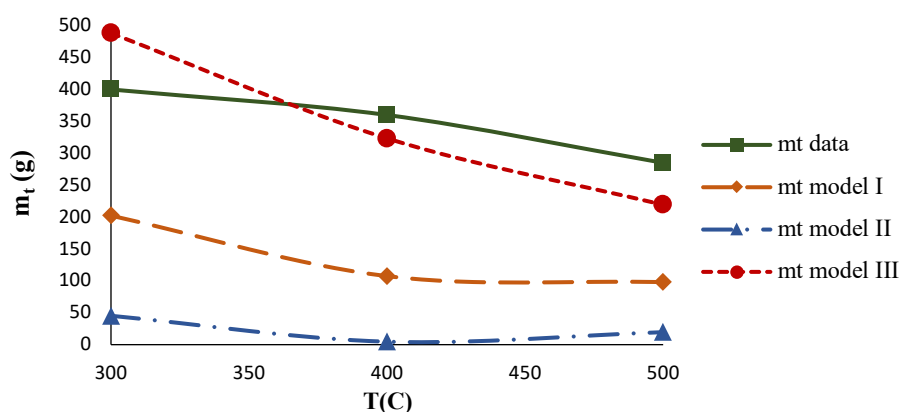
Parameter Arrhenius	Suhu Pirolisis		
	300 °C	400 °C	500 °C
A (/s)	0,01364	0,02397	0,02612
Ea (kJ/mol)	13,1729	15,536	20,4059

Tabel 6. Parameter Kinetika Pada Model III

Parameter Arrhenius	Suhu Pirolisis		
	300 °C	400 °C	500 °C
A (/s)	0,000335	0,000563	0,0009
Ea (kJ/mol)	2,4730	3,2718	4,8942

Parameter kinetika setiap model menunjukkan nilai yang beragam, namun dari ketiga model dapat dilihat bahwa semakin kecil faktor pre-eksponensial (A) maka nilai energi aktivasi (E_a) semakin besar. Faktor pre-eksponensial (A) merupakan besarnya jumlah tumbukan yang terjadi, jika bernilai kecil maka diperlukan energi aktivasi yang besar agar reaksi dapat terjadi (Wijayanti et al., 2018)

Selanjutnya hasil perhitungan parameter kinetika digunakan untuk mencocokkan data hasil perhitungan dengan data percobaan. *Fitting data* dilakukan dengan menghitung kembali massa bagas tebu yang berkurang sesuai peningkatan temperatur menggunakan data kinetika yang telah diperoleh (model) dan membandingkannya dengan massa ampas tebu hasil percobaan laboratorium (data).



Gambar 15. Perbandingan Massa Bagas Tebu Data Percobaan dan Massa Bagas Tebu Model

Gambar 15. menunjukkan bahwa data model III lebih mendekati data laboratorium dibandingkan model I dan model II. Dengan demikian dapat diasumsikan bahwa reaksi pirolisis merupakan mekanisme reaksi orde satu. Berdasarkan model III, konstanta laju reaksi pada tiap suhu pirolisis dapat dirumuskan:

$$k_{T=300^{\circ}C} = 0,000335 \exp\left(\frac{-2,4730}{RT}\right) \quad (37)$$

$$k_{T=400^{\circ}C} = 0,000563 \exp\left(\frac{-3,2718}{RT}\right) \quad (38)$$

$$k_{T=500^{\circ}C} = 0,0009 \exp\left(\frac{-4,8942}{RT}\right) \quad (39)$$

Pengujian sensitivitas terhadap konstanta yang diperoleh melalui data model dan data hasil eksperimen dilakukan dengan membandingkan nilai *sum square relative error* (SSE). Nilai SSE disajikan dalam Tabel 7.

Tabel 7. Perbandingan Nilai SSE.

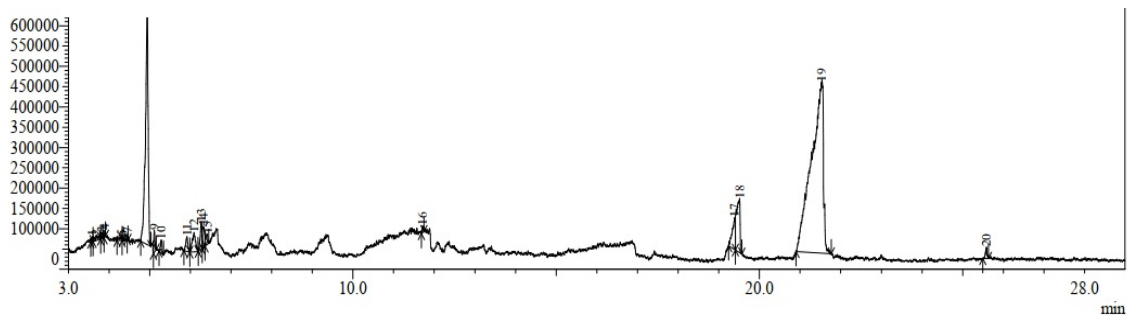
T (°C)	m _t (g)				Nilai SSE		
	Data	Model I	Model II	Model III	Model I	Model II	Model III
300	400	202,263	45,277	488,266	0,431	2,54	0,0395
400	360	107,389	4,635	323,347	1,168	3,8	0,0115
500	285	98,1004	19,615	219,253	0,952	3,04	0,068

Dengan melihat harga SSE yang minimum, maka model yang memiliki parameter kinetika yang baik adalah model III.

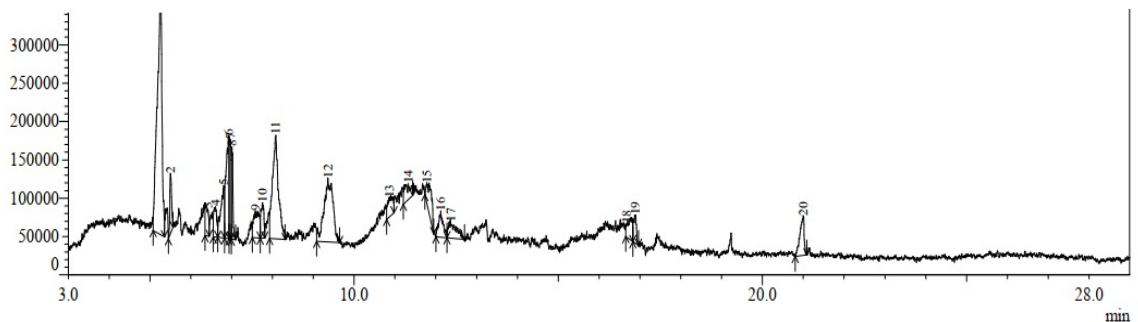
4. Hasil Analisis *Bio-oil* Berdasarkan GC-MS

Bio-oil tersusun dari beberapa komponen yang bergantung pada waktu dan suhu proses pirolisis. Komponen *bio-oil* sangat kompleks karena terdiri dari berbagai jenis hidrokarbon yang memiliki berat molekul tinggi (Fardhyanti et al., 2019).

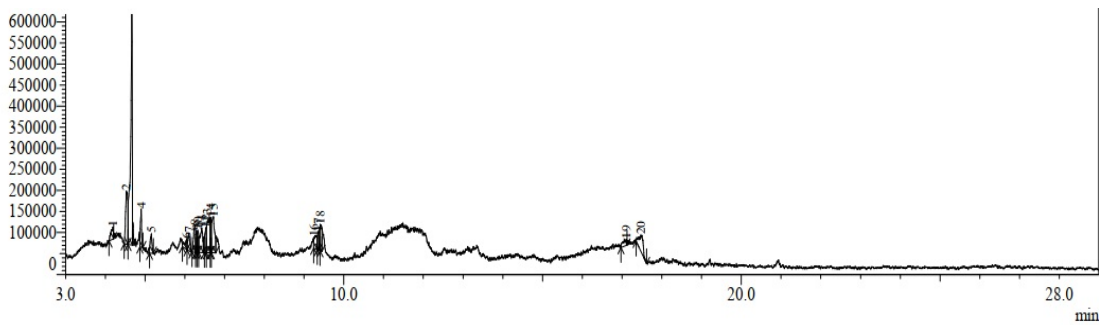
Hasil kromatogram *bio-oil* pada suhu 300, 400, dan 500 °C dapat dilihat pada Gambar 16, 17, dan 18.



Gambar 16. Kromatogram *Bio-oil* Hasil Pirolisis Bagas Tebu Pada Suhu 300 °C



Gambar 17. Kromatogram *Bio-oil* Hasil Pirolisis Bagas Tebu Pada Suhu 400 °C



Gambar 18. Kromatogram *Bio-oil* Hasil Pirolisis Bagas Tebu Suhu 500 °C

Puncak pada kromatogram menunjukkan komponen yang ada dalam *bio-oil*. Puncak tersebut diukur untuk mengetahui konsentrasi masing-masing komponen dalam *bio-oil*.

Tabel 8. Komposisi *Bio-Oil* dari Proses Pirolisis Bagas Tebu Pada Suhu 300 °C

No.	Komponen	Komposisi (%)
1.	Glikoluril	0,27
2.	3-metoksi Propionalalhid	0,56
3.	N-etil hidrazin	0,27
4.	Asam metoksi asetat anhidrat	0,11
5.	3-bromo-2-pentanol	0,3
6.	4-siklohexene-1,2-diol	0,07
7.	Asam asetat	19,43
8.	Piridina	0,75
9.	2-(3,5-Dimetil-1-pyrazolyl)	0,6
10.	5-Metilfurfural	2,44
11.	1-Metoksi-1,4-siklohexadiene	1,88
12.	Fenol	1,32
13.	3,5-dimetil-4-nitroapirazol	0,72
14.	1,4-Dietoksi benzena	0,24
15.	7-Asam octenoic/Asam citronellic	2,79
16.	Asam Tetradecanoic/Asam miristat	5,7
17.	9,12-Asam Octadecadienoic	61,98
18.	10-Undecenal	0,57

Tabel 9. Komposisi *Bio-Oil* dari Proses Pirolisis Bagas Tebu Pada Suhu 400 °C

No.	Komponen	Komposisi (%)
1.	Asam Asetat	24,82
2.	2-Kloro-2-metil- propana	2,3
3.	Furfuril alkohol	2
4.	5-Metil-2-Furfural	1,94
5.	Sikloheptanone	4,22
6.	Asam 4-fenolsulfonik	6,74
7.	Fenol	6,6
8.	1,2-Siklohexanedione	3,21
9.	2-Metil fenol	2,21
10.	4-Metil fenol	13,26
11.	2-Etil fenol	12,12

No.	Komponen	Komposisi (%)
12.	2-Isopropoxy fenol	2,19
13.	Siklohexanone	2,14
14.	Morfolinoasetonitril	3,22
15.	2,6-Dimetoksi fenol	2,61
16.	4-Metilenesiklohexanone	2,88
17.	Siklodecanone	2,23
18.	Dietil pirokarbonat	1,73
19.	9-Asam hexadecenoic	3,58

Tabel 10. Komposisi *Bio-Oil* dari Proses Pirolisis Bagas Tebu Pada Suhu 500 °C

No.	Komponen	Komposisi (%)
1.	Asam format	9,32
2.	Asam Asetat	31,7
3.	2,2-Dimetil-asam propanoic	3,33
4.	2-Siklopentenone	2,46
5.	5-Metil-2-Furancarboxaldehid/Resorcinol	1,7
6.	5-Metil furfural	2,55
7.	Benzyl fluoride	4,09
8.	1,2-Dimetil-2-pirolina	2,05
9.	3-Metil piridazin	7,72
10.	Dimetil disulfida	2,15
11.	Fenol	17,96
12.	3,5-Dimetil fenol	3,01
13.	Metil linolenat	3,01
14.	4-Asam pyridinecarboxylic [1-(2-furanil) etilidin] hydrazide/ Furonazide	3,2
15.	6-Deoxyhexopyranose	1,68
16.	Dietil pirokarbonat	5,34

Adanya senyawa fenolik dalam *bio-oil* disebabkan karena adanya dekomposisi termal dari lignin yang terkandung dalam bagas tebu selama proses pirolisis (Mantilla et al., 2014). Semakin besar jumlah lignin yang terkandung dalam suatu biomassa, maka semakin besar pula nilai *yield* fenol dalam *bio-oil* yang diproduksi dari biomassa tersebut. Menurut Rocha et al., (2012) kandungan lignin dalam bagas tebu sebesar 21,1%. Dari hasil analisis GC-MS diperoleh hasil total komponen senyawa fenol sebesar 1,32% pada suhu pirolisis 300 °C, total komponen senyawa fenol sebesar 38,99% pada suhu pirolisis 400 °C, dan total komponen senyawa fenol sebesar 20,97% pada suhu pirolisis 500 °C.

Zhang et al., (2018) menyatakan bahwa proses dekomposisi lignin menjadi fenol, turunan fenol, dan senyawa aromatik dimulai pada suhu 250 - 600 °C. Sehingga total senyawa fenol pada suhu pirolisis 400 °C lebih besar dibandingkan dengan suhu pirolisis 300 °C. Pada suhu pirolisis 500 °C total senyawa fenol lebih rendah dibandingkan dengan suhu pirolisis 400 °C. Hal ini dapat terjadi karena lama nya waktu penyimpanan *bio-oil*. Semakin lama waktu penyimpanan *bio-oil* menyebabkan terjadinya degradasi komponen dalam *bio-oil* akibat terpapar cahaya matahari. Hal ini sesuai dengan literatur yang mengatakan bahwa degradasi atau perengkahan akibat terpapar cahaya matahari yang berlebihan akan mengakibatkan pemecahan ikatan dalam *bio-oil* sehingga berpengaruh terhadap jumlah senyawa teroksidasi, senyawa fenolik, campuran organik, dan asam kompleks (Azeez et al 2010; Galletti et al., 1995).

5. Simpulan

- Kondisi optimum pada proses pirolisis bagas tebu pada suhu 300, 400, dan 500 °C dengan waktu pirolisis 60 menit, didapatkan *yield bio-oil* sebesar 42,1383%; 38,5425%; dan 32,7729%.
- Pemodelan kinetika proses pirolisis bagas tebu mengikuti model III, diperoleh nilai energi aktivasi (E_a) dan faktor pre-eksponensial (A) pada suhu 300 °C adalah 2,4730 kJ/mol dan 0,000335 s⁻¹, pada suhu 400 °C adalah 3,2718 kJ/mol dan 0,000563 s⁻¹, serta pada suhu 500 °C adalah 4,8942 kJ/mol dan 0,0009 s⁻¹.

- c) Jumlah total komponen senyawa fenol pada suhu 300, 400, dan 500 °C berturut-turut adalah 1,32%; 38,99%; dan 20,97%.

D. **STATUS LUARAN:** Tuliskan jenis, identitas dan status ketercapaian setiap luaran wajib dan luaran tambahan (jika ada) yang dijanjikan pada tahun pelaksanaan penelitian. Jenis luaran dapat berupa publikasi, perolehan kekayaan intelektual, hasil pengujian atau luaran lainnya yang telah dijanjikan pada proposal. Uraian status luaran harus didukung dengan bukti kemajuan ketercapaian luaran sesuai dengan luaran yang dijanjikan. Lengkapi isian jenis luaran yang dijanjikan serta unggah bukti dokumen ketercapaian luaran wajib dan luaran tambahan melalui Simlitabmas mengikuti format sebagaimana terlihat pada bagian isian luaran

Luaran wajib yang dicapai:

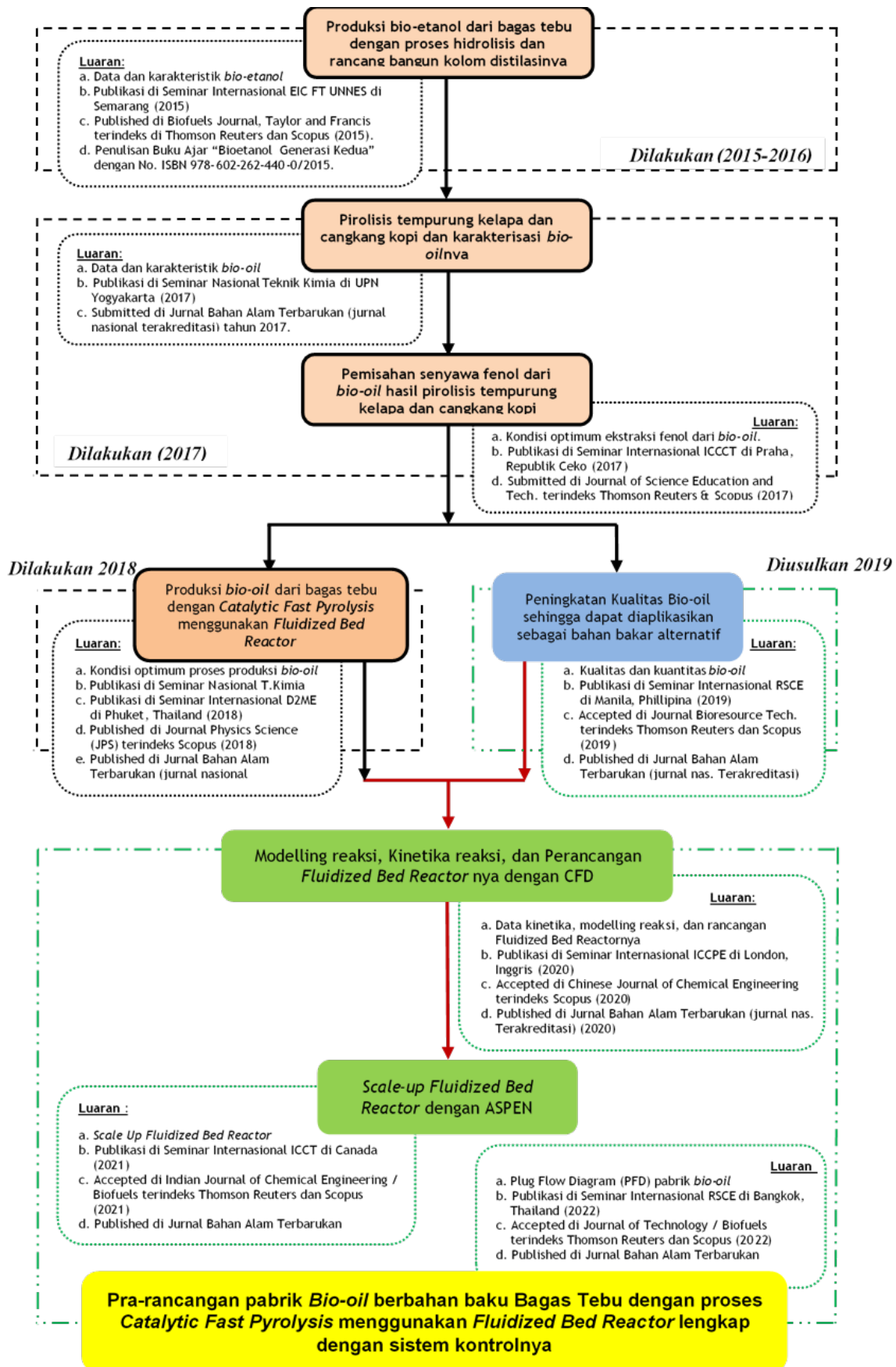
1. Journal **Materials Science Forum** Vol. 1038 hal. 445-450, 2022, dengan judul “Modelling of Liquid-Liquid Equilibria Using NRTL and UNIFAC Equations in the Extraction of Bio-Oil-Based Phenolics Produced from the Pyrolysis of Sugarcane Bagasse”.

Luaran Tambahan:

1. Draft Paten Sederhana (status terdaftar).
2. Book Chapter Internasional **Functional Materials** (ISBN 978-3-0364-1133-0), Penerbit: Trans Tech Publications Ltd, 2022, dengan judul “Materials Chemistry and Chemical Technologies/Producing Ceria (CeO₂) Nanoparticles Using Ethanol/Water Mixture as Solvent: Effect of Temperature on the Morphology and Crystallite Size”.

E. **PERAN MITRA:** Tuliskan realisasi kerjasama dan kontribusi Mitra baik *in-kind* maupun *in-cash* (jika ada). Bukti pendukung realisasi kerjasama dan realisasi kontribusi mitra dilaporkan sesuai dengan kondisi yang sebenarnya. Bukti dokumen realisasi kerjasama dengan Mitra diunggah melalui Simlitabmas mengikuti format sebagaimana terlihat pada bagian isian mitra

Penelitian ini tidak melibatkan mitra baik di tingkat industri maupun mitra lainnya.



Gambar 10. Peta Jalan (Road Map) Penelitian

H. DAFTAR PUSTAKA: Penyusunan Daftar Pustaka berdasarkan sistem nomor sesuai dengan urutan pengutipan. Hanya pustaka yang disitasi pada laporan akhir yang dicantumkan dalam Daftar Pustaka.

1. Al-bukhaiti, W. Q., Noman, A., Qasim, A. S., & Al-farga, A. (2017). *Gas Chromatography : Principles , Advantages and Applications in Food Analysis*. 6(1), 123–128.
2. Bertero, M., Puente, G. De, & Sedran, U. (2012). Fuels from bio-oils : Bio-oil production from different residual sources , characterization and thermal conditioning. *Fuel*, 95, 263–271. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.08.041>
3. BPS RI. (2018). *Statistik Tebu Indonesia 2018*. Jakarta.
4. Bridgwater, A. V. (1999). *Principles and practice of biomass fast pyrolysis processes for liquids*. 51, 3–22.
5. Carrier, M., Hugo, T., Gorgens, J., & Knoetze, H. (2011). Journal of Analytical and Applied Pyrolysis Comparison of slow and vacuum pyrolysis of sugar cane bagasse. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 90(1), 18–26. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2010.10.001>
6. Chaiya, C. (2011). *Production of Bio Oil from Coffee Residue using Pyrolysis Process*. II, 19–22.
7. Chauhan, A. (2014). *Analytical & Bioanalytical Techniques GC-MS Technique and its Analytical Applications in Science and Technology*. 5(6). <https://doi.org/10.4172/2155-9872.1000222>
8. Demiral, I., & Eryaz, A. (2011). *Bio-oil production from pyrolysis of corncob (Zea mays L .)*. 6, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.10.045>
9. Dewangan, A., Pradhan, D., & Singh, R. K. (2016). Co-pyrolysis of sugarcane bagasse and low-density polyethylene : Influence of plastic on pyrolysis product yield Co-pyrolysis of sugarcane bagasse and low-density polyethylene : Influence of plastic on pyrolysis product yield. *Fuel*, 185(December), 508–516. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.08.011>
10. Erawati, Emi; Wahyudi, S; and Panut, M. (2013). Karakteristik Bio-oil Hasil Pirolysis Ampas Tebu (Baggase). *Jurnal Kimia Terapan Indonesia*, 15,2, 47–55.
11. Erdogdu, A. E., Polat, R., & Ozbay, G. (2019). Pyrolysis of goat manure to produce bio-oil. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 22(2), 452–457. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jestch.2018.11.002>
12. Fardhyanti, D. S., Triwibowo, B., Istanto, H., Anajib, M. K., Larasati, A., & Oktaviani, W. (2018). PT SC. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, #pagerange#. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2018.08.011>
13. Fardhyanti, D. S., Triwibowo, B., Prasetiawan, H., & Chafidz, A. (2019). Terbarukan Improving the Quality of Bio-Oil Produced from Rice Husk Pyrolysis by Extraction of its Phenolic Compounds. *Jurnal Bahan Alam*, 8(2), 90–100.
14. Garba, M. U., Musa, U., Olugbenga, A. G., Mohammad, Y. S., Yahaya, M., & Ibrahim, A. A. (2018). Catalytic upgrading of bio-oil from bagasse : Thermogravimetric analysis and fi xed bed pyrolysis. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 7(4), 776–781. <https://doi.org/10.1016/j.bjbas.2018.11.004>
15. Gerc, H. F. (2011). *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis Bio-oil production from Onopordum acanthium L . by slow pyrolysis*. 92, 233–238. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2011.06.002>
16. Guedes, R. E., Luna, A. S., & Torres, A. R. (2018). Journal of Analytical and Applied Pyrolysis Operating parameters for bio-oil production in biomass pyrolysis : A review. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 129(November 2017), 134–149. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2017.11.019>
17. Guran, S. (2018). Sustainable Waste-to-Energy Technologies : Gasification and Pyrolysis. In *Sustainable Food Waste-to-Energy Systems*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811157-4.00008-5>
18. Hajiha, H., & Sain, M. (2014). The use of sugarcane bagasse fibres as reinforcements in composites. *Biofiber Reinforcements in Composite Materials*, 525–549. <https://doi.org/10.1533/9781782421276.4.525>
19. Hugo, T. J. (2010). *PYROLYSIS OF SUGARCANE*. University of Stellenbosch.
20. Hussain, S. Z., & Maqbool, K. (2014). *GC-MS : Principle , Technique and its application in Food Science*. University of Agricultural Science and Technology of Kashmir.
21. Islam, M. R., Haniu, H., & Islam, M. N. (2010). *Thermochemical Conversion of Sugarcane Bagasse into Bio-Crude Oils by Fluidized-Bed Pyrolysis Technology **. 5(1), 11–23. <https://doi.org/10.1299/jtst.5.11>
22. Jaelani, A., Firdaus, S., & Jumena, J. (2017). *Renewable Energy Policy in Indonesia : The Qur ' anic Scientific Signals in Islamic Economics Perspective*. 7(4), 193–204.
23. Kazmi, S. M. S., Abbas, S., Saleem, M. A., Munir, M. J., & Khitab, A. (2016). Manufacturing of sustainable clay bricks: Utilization of waste sugarcane bagasse and rice husk ashes. *Construction and Building Materials*, 120, 29–41. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.084>
24. Kongnum, P., & Ratanawilai, S. (2014). *Catalytic Pyrolysis of Coconut Shell for Bio-oil*. 1(1), 5–8.

25. Lu, Y., Li, G., Lu, Y., Fan, X., & Wei, X. (2017). Analytical Strategies Involved in the Detailed Componential Characterization of Biooil Produced from Lignocellulosic Biomass. *International Journal of Analytical Chemistry*, 2017, 1–19.
26. Mantilla, S. V., Gauthier-maradei, P., Gil, P. Á., & Cárdenas, S. T. (2014). Comparative study of bio-oil production from sugarcane bagasse and palm empty fruit bunch: Yield optimization and bio-oil characterization. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2014.04.003>
27. Mesa-pérez, J. M., Dilcio, J., Barbosa-cortez, L. A., Penedo-medina, M., Alberto, C., & Cascarosa, E. (2013). Fast oxidative pyrolysis of sugar cane straw in a fluidized bed reactor. *Applied Thermal Engineering*, 56(1–2), 167–175. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2013.03.017>
28. Mokhena, T. C., Mochane, M. J., Tshwafo, C., Motaung, E., Liganiso, L. Z., Mochane, J., ... Liganiso, L. Z. (2018). Sugarcane Bagasse and Cellulose Polymer Composites. In *Sugarcane - Technology and Research* (pp. 225–240). <https://doi.org/10.5772/intechopen.71497>
29. Nor, W., Wan, R., Hisham, M. W. M., Ambar, M., & Hin, T. Y. (2012). A review on bio-oil production from biomass by using pyrolysis method. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(8), 5910–5923. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.05.039>
30. Oasmaa, A., Kuoppala, E., & Solantausta, Y. (2003). Fast Pyrolysis of Forestry Residue . 2 . Physicochemical Composition of Product Liquid. *Energy and Fuels*, 17(7), 433–443.
31. Purwanto, W. W., Supramono, D., Muthia, R., & Annisa, G. (2012). *Konversi Limbah Kelapa Sawit Menjadi Bio-Oil melalui Proses Catalytic Fast Pyrolysis dan Upgrading-nya*.
32. Rabiou, S. D., Auta, M., & Kovo, A. S. (2018). An upgraded bio-oil produced from sugarcane bagasse via the use of HZSM-5 zeolite catalyst. *Egyptian Journal of Petroleum*, 27(4), 589–594. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2017.09.001>
33. Rocha, G. J. M., Gonc, A. R., Oliveira, B. R., Olivares, E. G., & Rossell, C. E. V. (2012). Steam explosion pretreatment reproduction and alkaline delignification reactions performed on a pilot scale with sugarcane bagasse for bioethanol production. *Industrial Crops & Products*, 35, 274–279. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.07.010>
34. Saddawi, A., Jones, J. M., & Williams, A. (2010). *Kinetics of the Thermal Decomposition of Biomass*. 37(9), 1274–1282. <https://doi.org/10.1021/ef900933k>
35. Sahu, O. (2018). Assessment of sugarcane industry: Suitability for production, consumption, and utilization. *Annals of Agrarian Science*, 16(4), 389–395. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aasci.2018.08.001>
36. Sembiring, K. C., Rinaldi, N., & Simanungkalit, S. P. (2015). Bio-oil from Fast Pyrolysis of Empty Fruit Bunch at Various Temperature. *Energy Procedia*, 65, 162–169. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.01.052>
37. Singer, L. E., & Peterson, D. (2016). *International Energy Outlook 2016* (Vol. 0484).
38. Suharmanto, P., Fitria, A. N., & Ghaliyah, S. (2015). *Indonesian Geothermal Energy Potential as Source of Alternative Energy Power Plant*. 1, 119–124.
39. Suyitno, S., & Maret, U. S. (2014). Perumusan Laju Reaksi dan Sifat-Sifat Pirolisis Lambat Sekam Padi Menggunakan Metode Analisis Termogravimetri Perumusan Laju Reaksi dan Sifat-Sifat Pirolisis Lambat Sekam Padi Menggunakan Metode Analisis Termogravimetri. *Jurnal Teknik Mesin*, 11(1)(January 2009), 12–18.
40. Treedet, W., & Suntivarakorn, R. (2017). ScienceDirect ScienceDirect Fast Pyrolysis of International Sugarcane Bagasse Circulating Bed District Heating and Fluidized Reactor - Part A: Effect of Hydrodynamics Performance to Bio-Oil Assessing the feasibility of using the heat demand-outdoor Produ. *Energy Procedia*, 138, 801–805. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.10.072>
41. Tsai, W. T., Lee, M. K., & Chang, Y. M. (2006). *Fast pyrolysis of rice straw , sugarcane bagasse and coconut shell in an induction-heating reactor*. 76, 230–237. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2005.11.007>
42. Urban, P. L. (2016). *Quantitative mass spectrometry : an overview Subject Areas :*
43. Varma, A. K., & Mondal, P. (2016). Pyrolysis of sugarcane bagasse in semi batch reactor: Effects of process parameters on product yields and characterization of products. *Industrial Crops & Products*. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.11.039>
44. Wang, X., Chen, H., Yang, H., Wang, J., & Xin, F. (2011). The influence of alkali and alkaline earth metal compounds on pyrolysis of peanut shell. *Asia Pacific Journal Of Chemical Engineering*, 10(1002). <https://doi.org/10.1002/apj>
45. Wijayanti, H. (2018). The Kinetics Study Of Rice Husk Pyrolysis : Studi Kinetika Pirolisis Sekam Padi : Perbandingan Model. *Konversi*, 7(2), 35–40.

LEMBAR
HASIL PENILAIAN SEJAWAT SEBIDANG ATAU PEER REVIEW
KARYA ILMIAH : BUKU

Judul Buku : Bio-Oil Berbasis Biomassa
 Jumlah Penulis : 1 orang (satu)
 Status Pengusul : Dosen

Identitas Buku : a. ISBN : 978-623-02-1925-2
 b. Tahun terbit : 2020
 c. Penerbit : Deepublish
 d. Jumlah halaman : 65
 e. Nomor pencatatan ciptaan :

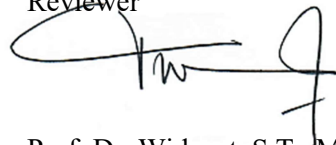
Kategori Publikasi Karya Ilmiah : Buku Referensi
 Buku (beri ✓ pada kategori yang tepat) Buku Monograf
 Book Chapter

Hasil Penilaian *Peer Review* :

Komponen Yang Dinilai	Nilai Maksimal Buku :		Nilai Akhir Yang Diperoleh
	Internasional <input type="checkbox"/>	Nasional <input checked="" type="checkbox"/>	
a. Kelengkapan unsur isi buku (10%)		2	1,0
b. Ruang lingkup dan kedalaman pembahasan (30%)		6	5,5
c. Kecukupan dan kemutakhiran data/informasi dan metodologi (30%)		6	5,5
d. Kelengkapan unsur dan kualitas penerbit (30%)		6	5,5
Total = (100%)		20	16,5
Nilai Pengusul =			

Catatan Penilai Jurnal oleh Reviewer:
Buku terdiri dari: Judul/Cover, Prakata, Daftar Isi, Daftar Tabel, Daftar Gambar, meliputi 5 bab yang terkait dengan Bio Oil diakhiri Kesimpulan, Daftar Pustaka Jumlah halaman khusus untuk isi 49 halaman.
Buku membahas tentang Biomassa yang berpotensi, bagaimana bio oil diproduksi dan bio oil sendiri. Analisis dengan GCMS juga, sifat sifat fisik biooil. Buku merupakan rangkuman dari berbagai hasil penelitian yang penulis lakukan seperti Laporan penelitian, bukan merupakan rangkaian review dari hasil publikasi jurnal penulis maupun orang lain.
Jumlah referensi dalam 10 tahun terakhir lebih dari 85.7%. Tingkat kebaruan sangat baik.
Buku diterbitkan oleh Penerbit Deepublish (CV Budi Utama) yang merupakan anggota IKAPI

Semarang, 11 Januari 2021
 Reviewer



Prof. Dr. Widayat, S.T., M.T.
 NIP. 197206091998031001
 Unit kerja : Fakultas Teknik UNDIP
 Bidang Ilmu : Teknik Kimia

Modelling of Liquid-Liquid Equilibria Using NRTL and UNIFAC Equations in the Extraction of Bio-Oil-Based Phenolics Produced from the Pyrolysis of Sugarcane Bagasse

Dewi Selvia Fardhyanti^{1,a*}, Sri Kadarwati^{2,b}, Heny Dewayani^{3,c},
Ahmad Rosadi^{1,d} and Wengki Muhammad Alfriansyah^{1,e}

¹Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Negeri Semarang, Central Java, Indonesia

²Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Negeri Semarang, Central Java, Indonesia

³Department of Chemical Engineering, Politeknik Negeri Malang, East Java, Indonesia

^{a,*}dewiselvia@mail.unnes.ac.id, ^bsrika@mail.unnes.ac.id, ^chenyhp@yahoo.com,
^darosadi997@gmail.com, ^ealfriansyah.wm@gmail.com

Keywords: bio-oil; sugarcane bagasse; liquid-liquid equilibria; NRTL; UNIFAC.

Abstract. An exploration on renewable energy resources has been paid more attention due to the depletion of the fossil-based energy resource. In addition, their safe and environmentally friendly properties have attracted experts' interest. One of the renewable energy resources is the bio-oil produced from sugarcane bagasse. The bio-oil was produced through a pyrolysis at 500 °C. However, the produced bio-oil showed a high content of phenolics, c.a. 40-60%. A liquid-liquid extraction to remove the phenolics using methanol-chloroform solvents would be beneficial to improve the stability of the bio-oil as well as to obtain high purity phenolics. Modelling of the liquid-liquid equilibria in the extraction was then developed using Non-Random Two-Liquid (NRTL) and UNIQUAC Functional-Group Activity Coefficients (UNIFAC) equations. The empirical quantitative data of phase equilibrium system were calculated on both the extract and raffinate phases. The lowest RMSD value of NRTL was 0.043160 and UNIFAC was 0.049950. Thus, the most suitable model was achieved using NRTL equation.

Introduction

The depletion of the petroleum reserved has been attracting the exploration of new renewable energy resources. This effort is extremely important to keep the world's energy demand fulfilled. Biomass is one of promising renewable energy resources to produce liquid transportation fuels [1].

Sugarcane bagasse is one of biomass that could be thermally converted through a pyrolysis technique to produce liquid bio-oil at 500 °C [2] with a high yield of bio-oil [3]. This biomass is widely available in Indonesia and a by-product of the extraction (milking) of liquid sugarcane.

Phenol is one of main GC-detectable compounds in pyrolysis bio-oil [4]. It has been used for antiseptic industry, as a starting material in drugs manufacturing and as an herbicide. During combustion in an engine, phenol has been considered as an impurity due to its high viscosity, low calorific value, and corrosive property in the combustion engine [5]. The separation of phenolic compounds in the bio-oil would improve the calorific value and thus the compatibility of the bio-oil as a transportation fuel.

The separation of phenolic compounds could be performed through a liquid-liquid extraction using methanol-chloroform solvents. Phase equilibrium data would be obtained from this separation technique. The liquid-liquid extraction could provide the data of equilibria that correlate to equilibrium models to design separating columns [4]. Nonrandom two-liquid (NRTL) and UNIQUAC functional-group activity coefficients (UNIFAC) models were reported to be suitable for liquid-liquid equilibria of mixture systems with molecular interactions between the existing components [6]. The interactions could be transformed to a mathematics model in the form of binary interaction parameters with a certain value [6]. This transformation could support a highly competitive technology development in

processing the bio-oil produced from the pyrolysis of sugarcane bagasse into liquid fuels substitutes for fossil fuels.

Methods

Materials and Apparatus. In this study, the bio-oil produced from the pyrolysis of sugarcane bagasse at 500 °C was used. A high purity methanol and chloroform was used in the extraction to obtain the empirical data. A 250-mL three-neck boiling flask equipped with a thermometer was used during the extraction. A gas chromatograph equipped with a mass detector was used to determine the total phenolic compounds in the bio-oil. A UV-visible spectrophotometer was used to quantify the phenolic content in the extract and raffinate after each extraction experiment.

Experimental procedures.

Liquid-liquid Extraction. The total phenolic compounds were quantitatively determined by using a gas chromatograph equipped with a mass detector as presented in Table 1. The bio-oil was extracted using two solvents with different polarity to remove the phenolic compounds and thus reduce the content of oxygen-containing compounds in the bio-oil. A methanol-chloroform mixture containing 80% methanol and chloroform with a volume ratio of 1:1 was used as a solvent in the extraction. This solvent would allow the removal of phenolics from aqueous phase of the bio-oil by methanol and that from the non-aqueous (oil) phase by chloroform. The bio-oil was first neutralized using a 2.5 M NaOH solution until a bio-oil with a pH of 5 was obtained. The neutralized bio-oil was extracted using the mixed solvent for 50 min at a temperature and stirring rate suitable for extraction variables. After each extraction experiment, the formed phases were separated using a separating funnel to obtain the extract and raffinate. The content of phenol in both phases was quantified by using a UV-visible spectrophotometer with Follin Ciocalteu method. Quantification of phenol in both phases was conducted by using a calibration curve of gallic acid based on the absorbance of the sample.

Modelling Using NRTL Equation. The first modelling was done using NRTL equation. The mole fraction of phenol, methanol, chloroform and phase medium in the both (extract and raffinate) phases were determined. The mole fraction of the four compounds in the extract was assigned as x_a , x_b , x_c and x_d , respectively. While, that in the raffinate was assigned as y_a , y_b , y_c , and bio-oil (y_d). An α value of 0.3 was used for each parameter and assigned as α_{12} , α_{21} , α_{13} , α_{31} , α_{14} , α_{41} , α_{23} , α_{32} , α_{24} , α_{42} , α_{21} , α_{34} , α_{43} to obtain the τ_{ij} value using NRTL equation. The mole fraction of the four components as mentioned above in the extract and raffinate x_a , x_b , x_c , x_d , y_a , y_b , y_c , y_d in the equation. A universal gas constant R of 8.214 J.mole⁻¹.K⁻¹ and temperatures of 30, 40, and 50 °C were used. The value of g_{ij} and g_{ji} was trialed based on the previous study with an α value of 0.3 [7]. The g_{ij} and g_{ji} values are a parameter of an intercomponent interaction in the liquid-liquid equilibria. The data was used to determine the activity coefficient. The value of τ_{ij} , τ_{ij} , G_{ij} , and G_{ji} was calculated by using the available NRTL equation to determine $\ln \gamma_i$ value and then the suitable activity coefficient for the mole fractions x_i and y_i at a liquid-liquid equilibrium system. The γ_i value was used to calculate x_i and y_i . The deviation occurred between the experimental/empirical data and calculated data (using NRTL equation) was justified from the value of RMSD.

Modelling using UNIFAC equation. The second modelling was done using UNIFAC equation. The mole fraction of phenol, methanol, chloroform and phase medium in the both (extract and raffinate) phases were determined. The mole fraction of the four compounds in the extract was assigned as x_a , x_b , x_c and x_d , respectively. While, that in the raffinate was assigned as y_a , y_b , y_c , and bio-oil (y_d). An α value of 0.3 was used for each parameter and assigned as α_{12} , α_{21} , α_{13} , α_{31} , α_{14} , α_{41} , α_{23} , α_{32} , α_{24} , α_{42} , α_{21} , α_{34} , α_{43} to obtain the τ_{ij} value using NRTL equation. The mole fraction of the four components as mentioned above in the extract and raffinate x_a , x_b , x_c , x_d , y_a , y_b , y_c , y_d was substituted in the equation to obtain the combined P_{sat} . A universal gas constant R of 8.214 J.mole⁻¹.K⁻¹ and temperatures of 30, 40, and 50 °C were used. The value of R_k and Q_k was obtained from literature. R_k is the relative volume and Q_k is the relative surface area of each sub-group. The value of $\ln \gamma_i^C$ and $\ln \gamma_i^R$ was used to obtain the value of γ_i and then was used to calculate x_i and y_i . The

deviation occurred between the experimental/empirical data and calculated data (using NRTL equation) was justified from the value of RMSD.

Results and Discussion

The bio-oil produced from the pyrolysis of sugarcane bagasse at 500°C contained more than 10 major GC-detectable compounds such as acetic acid, phenol, and p-cresol as listed in Table 1. Table 1 showed that the relative concentration of the phenolics (the highlighted compounds in Table 1) in the bio-oil was 62.65 %. It indicated that the GC-detectable components in the bio-oil were dominated by the phenolic compounds. The thermal decomposition of lignin during the pyrolysis might produce organic acids, phenolics and carbonyl compounds [8]. The stable increase in the pyrolysis temperature promoted the increase in the production of phenolic compounds. Hemicellulose, cellulose, and lignin would decompose at 200-260 °C, 240-350 °C and 280-500 °C, respectively, allowing the production of the GC-detectable compounds typical for sugarcane bagasse [9].

Table 1. The relative concentration of the GC-detectable compounds in the bio-oil produced from the pyrolysis of sugarcane bagasse.

Compound	Relative concentration [%]
Furfural	4.41
Acetic acid	8.09
2-cyclopentene	1.68
Ethenone	1.86
5-methyl-2-furaldehyde	4.66
4-ethyl-5-methyl-hexenone	4.11
Phenol	31.66
6-hexena	9.49
p-cresol	14.74
2,5-dimethyl phenol	1.86
3-ethyl phenol	9.09
3-cyclopentyl propionic acid	3.05
2,6-dimethoxy-phenol/ syringol	5.30

Table 2. Mole Fractions of Four Components in the Extract and the Raffinate Phase.

Temperature	Data	Mole Fraction in the Extract Phase				Mole Fraction in the Raffinate Phase			
		x_a	x_b	x_c	x_d	y_a	y_b	y_c	y_d
30 °C	experimental	0.0677	0.4251	0.2683	0.2389	0.0786	0.5255	0.3317	0.0642
	NRTL	0.0686	0.4255	0.2817	0.2342	0.0784	0.5617	0.2939	0.0660
	UNIFAC	0.0686	0.4255	0.2617	0.2342	0.0712	0.5101	0.3306	0.0862
40 °C	experimental	0.0678	0.4251	0.2683	0.2388	0.0787	0.5255	0.3317	0.0642
	NRTL	0.0787	0.4255	0.2817	0.2342	0.0785	0.5117	0.3238	0.0660
	UNIFAC	0.0687	0.4255	0.2617	0.2342	0.0713	0.5101	0.3306	0.0861
50 °C	experimental	0.0679	0.4250	0.2682	0.2388	0.0800	0.5248	0.3312	0.0641
	NRTL	0.0700	0.4248	0.2662	0.2341	0.0791	0.5214	0.3336	0.0658
	UNIFAC	0.0700	0.4248	0.2612	0.2341	0.0726	0.5104	0.3303	0.0658

Where, x_a : mole fraction of phenol in the extract phase
 x_b : mole fraction of methanol in the extract phase
 x_c : mole fraction of chloroform in the extract phase
 x_d : mole fraction of water in the extract phase
 y_a : mole fraction of phenol in the raffinate phase
 y_b : mole fraction of methanol in the raffinate phase
 y_c : mole fraction of chloroform in the raffinate phase
 y_d : mole fraction of bio-oil in the raffinate phase

Figure 1 (A-C) presents the mole fractions of the four components i.e., phenol, methanol, chloroform, and water (or bio-oil) in the extract and raffinate obtained from the experimental/empirical data (showed in Table 2) compared to those from the calculation using NRTL equation. The equilibrium correlation could be predicted based on the binary interaction obtained from the liquid-liquid equilibria [10]. Those two data showed a good correlation. The correlation results in Figure 1 (A-C) showed that the extraction data at 50 °C gave a most nearly linear curve. It indicated that the calculation using NRTL equation could give the closest numbers to the experimental data. This might indicate that NRTL equation predominated in the data correlation for ternary systems [6]. In addition, it was shown that the correlation result of NRTL model was well-fitted with the data of the liquid-liquid equilibria from the experiments.

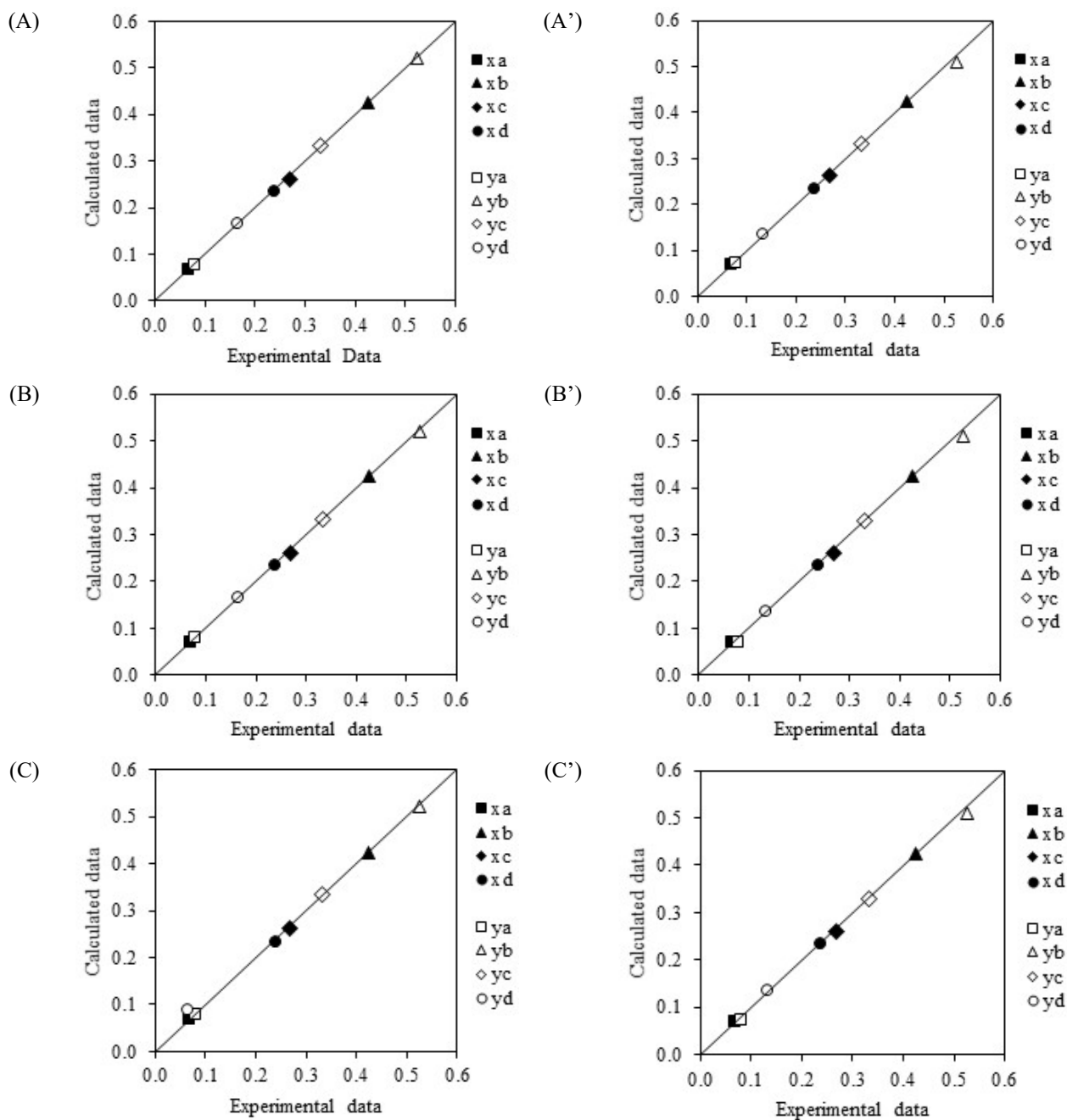


Fig. 1. Correlation between the experimental and calculated data in the extraction at (A-A') 30 °C, (B-B') 40 °C, and (C-C') 50 °C using NRTL (left) and UNIFAC equation (right), respectively.

Figure 1 (A'-C') presents the mole fractions of the four components i.e. phenol, methanol, chloroform, and water (or bio-oil) in the extract and raffinate obtained from the experimental/empirical data (showed in Table 2) compared to those from the calculation using UNIFAC equation. The equilibrium correlation could be predicted based on the parameter of binary interaction obtained from the liquid-liquid equilibrium. Those two data gave a good correlation between the data from the experiments and those from the calculation using UNIFAC equation. The correlation results in Figure 1 (A'-C') showed that the extraction data at 50 °C gave a most nearly linear curve. It indicated that the data correlation of liquid-liquid equilibria using UNIFAC modeling gave a good correlation between the experimental and calculated (using UNIFAC equation) data.

Table 2. The root-mean-square deviation (RMSD) values of the modeling of the liquid-liquid equilibria using NRTL and UNIFAC equations.

Extraction temperature (C)	RMSD (%)	
	NRTL	UNIFAC
30	0.043300	0.050270
40	0.043289	0.050268
50	0.043160	0.049950

Table 2 presents the correlation results between the experimental/empirical data and the calculated data using both NRTL and UNIFAC equations. It clearly showed that the NRTL and UNIFAC modeling for equilibrium could be used to predict the liquid-liquid equilibria in the extraction of phenol from the bio-oil produced from the pyrolysis of sugarcane bagasse at 500 °C using methanol-chloroform solvents. Low RMSD values of less than 1% were obtained. These low RMSD values indicated a good correlation between the experimental/empirical data and the calculation using the two equations [11]. The lowest RMSD value was achieved by the extraction at 50 °C, with 0.32% and 0.64% difference for NRTL and UNIFAC equations, respectively. Despite of this narrow difference of RMSD values between temperatures employed, this result did indicate that the most suitable condition for the phenol extraction from the bio-oil using methanol-chloroform solvents was at 50 °C. At this temperature, an increase in the kinetic energy of solution promoting the increase in the solvent diffusion towards solutes [12].

The correlation results visualized in Figure 1 as well as the RMSD values in Table 2 showed that the RMSD values obtained using NRTL model was much lower (~13%) that those obtained using UNIFAC model. It indicated that the NRTL model was a better model for liquid-liquid equilibria in the extraction of phenolics at 50 °C from the bio-oil produced from the pyrolysis of sugarcane bagasse at 500°C. The NRTL equation showed a randomness parameter (α) thus could be applied for various kinds of mixtures and liquid-liquid equilibria by selecting the most suitable value of α [10]. The NRTL equation could well and superiorly represent the vapor-liquid and liquid-liquid equilibria for dilute binary and multicomponent systems compared to other equations [6]. Moreover, the formula of the NRTL equation was quite simpler than that of UNIFAC equation [13].

The pyrolysis temperature seemed not affect the liquid-liquid equilibrium modeling in the extraction of phenols from the bio-oil produced from the pyrolysis of sugarcane at 500 °C using NRTL and UNIFAC models. It was indicated by the similar correlation results given by those two equations. At the other hand, the extraction temperature did affect the liquid-liquid equilibrium modeling in the extraction of phenols from the bio-oil using NRTL and UNIFAC models. It was indicated by the significant difference of the correlation results given by the extraction temperatures (30, 40, and 50 °C) with the highest temperature (50 °C) gave the best correlation result.

Conclusions

This study showed that the extraction temperature affected the liquid-liquid equilibrium modeling in the extraction of phenols from the bio-oil produced from the pyrolysis of sugarcane at 500 °C using NRTL and UNIFAC models. This was indicated by the decrease in the RMSD value by increasing

the extraction temperatures. The lowest RMSD value was achieved in the extraction of phenols at 50°C using the NRTL model with a deviation of 0.043160. It suggested that the most suitable model for the phenol extraction from the bio-oil produced from the pyrolysis of sugarcane bagasse at 500 °C was the NRTL model.

Acknowledgement

We would like to thank the Ministry of Research, Technology and Higher Education of the Republic of Indonesia for the financial support through the research grant of “Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi” Universitas Negeri Semarang No: 192/SP2H/LT/DRPM/2020.

References

- [1] Y. Kurniawan, H. Santoso, Listrik sebagai ko-produk potensial pabrik gula, *Jurnal Litbang Pertanian* 28 (2009) 23–28.
- [2] W. Treedet, S. Taechajedcadarungsri, R. Suntivaracorn, Fast pyrolysis of sugarcane bagasse in circulating fluidized bed reactor-part B: modelling of bio-oil production, *Energy Procedia* 138 (2017) 806-810.
- [3] A. Dewangan, D. Pradhan, R.K. Singh, Co-pyrolysis of sugarcane bagasse and low-density polyethylene: influence of plastic on pyrolysis product yield, *Fuel* 185 (2016) 508–516.
- [4] D.S. Fardhyanti, B. Triwibowo, H. Istanto, M.K. Anajib, A. Larasati, W. Oktaviani, Liquid phase equilibrium of phenol extraction from bio-oil produced by biomass pyrolysis using thermodynamic models, *Chin. J. Chem. Eng.* 27 (2019) 391–399.
- [5] D.S. Fardhyanti, A. Damayanti, Analysis of bio-oil produced by pyrolysis of coconut shell. *Int. J. Chem. Molec. Eng.* 11 (2017) 651-654.
- [6] D. Hartanto, B. Triwibowo, Review model dan parameter interaksi pada korelasi kesetimbangan uap-cair dan cair-cair sistem etanol (1) + air (2) + ionic liquids (3) dalam pemurnian bioetanol, *Jurnal Rekayasa Proses* 8 (2014) 1-11.
- [7] J.W. Prausnitz, *Molecular thermodynamics of fluid phase equilibria*, second ed., Elsevier Publishing Company, London, 1959.
- [8] E. Himawati, Pengaruh penambahan asap cair tempurung kelapa destilasi dan redistilasi terhadap sifat kimia, mikrobiologi dan sensoris ikan pindang layang (*Decapterus Spp*) selama penyimpanan, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, 2010.
- [9] A. Ramakrishna, G.A. Ravishankar, Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants, *Plant Signal. Behav.* 6 (2011) 1720-1731.
- [10] J.M. Smith, H.C. Van Ness, M.M. Abbott, *Introduction to chemical engineering thermodynamics*, fifth ed., Mc Graw Hill International Book Company, New York, 1996.
- [11] R. Rosmaysari, D.E. Septiyana, Kuswandi, Kesetimbangan uap-cair sistem biner n-butanol + air dan isobutanol + air pada 101,3 kPa, *Jurnal Sains dan Seni Pomits* 1 (2012) 1-6.
- [12] D.S. Fardhyanti, W.B. Sediawan, P. Mulyono, Complex extraction of phenol, o-cresol and p-cresol from model coal tar using methanol and acetone solutions, *Br. J. Appl. Sci. Technol.* 8 (2015) 427-436.
- [13] A. Rasmito, Y. Wulandari, The use of Wilson equation, NRTL and uniquac in predicting VLE of ternary systems, *Jurnal Teknik Kimia* 4 (2010) 304-308.

SURAT PERNYATAAN TANGGUNG JAWAB BELANJA

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : SRI KADARWATI S.Si, M.Si, Ph.D

Alamat : Kp. Muntal RT.02 RW.04 Mangunsari Gunungpati

berdasarkan Surat Keputusan Nomor 038/E5/PG.02.00.PT/2022 dan Perjanjian / Kontrak Nomor 7.17.3/UN37/PPK.6.8/2022 mendapatkan Anggaran Penelitian SCALE UP HYDROTREATMENT REACTOR UNTUK PENINGKATAN KUALITAS BIO-OIL BERBASIS BIOMASSA DALAM UPAYA KONSERVASI ENERGI DARI BAHAN ALAM TERBARUKAN Sebesar 83,036,000

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Biaya kegiatan Penelitian di bawah ini meliputi :

No	Uraian	Jumlah
01	Bahan BiomassaCartridge HitamCartridge WarnaExternal HarddiskFlash DiskInternetKertas HVSMaskerNitrogen	1,700,000
02	Pengumpulan Data Biaya perjalanan Dalam NegeriBiaya perjalanan Luar NegeriPengiriman BiomasaTransport Luar KotaTransport Luar KotaUang Harian Luar KotaUang Harian Luar Kota	35,086,000
03	Analisis Data(Termasuk Sewa Peralatan Sewa CFD Analisis DensitasAnalisis EDXAnalisis GC- MSAnalisis Heating ValueAnalisis pHAnalisis SEMANalisis ViskositasAnalisis XRDBanalisis XRF	26,300,000
04	Pelaporan, Luaran Wajib dan Luaran Tambahan Publikasi Jurnal NasionalRegistrasi Seminar InternasionalRegistrasi Seminar InternasionalRegistrasi Seminar NasionalRegistrasi Seminar Nasional	20,000,000
05	Lain-lain	0
	Jumlah	83,086,000

2. Jumlah uang tersebut pada angka 1, benar-benar dikeluarkan untuk pelaksanaan

kegiatan Penelitian dimaksud.

Demikian surat pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya.

Semarang, 12-12-2022

Ketua,



(SRI KADARWATI S.Si, M.Si, Ph.D)

NIP/NIK 200614111981