



TUGAS AKHIR TF141581

**PENGARUH KONSENTRASI AKTIVATOR
ARANG AKTIF SERBUK KAYU TERHADAP
KARAKTERISTIK *BIODIESEL* MINYAK JELANTAH**

ZUHROTUL AINY
NRP. 2411 100 019

Dosen Pembimbing
Lizda Johar Mawarani, ST, MT
Ir. Zulkifli, MSc

JURUSAN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL PROJECT TF141581

**THE EFFECT OF ACTIVATOR
CONCENTRATION OF ACTIVATED SAWDUST
CHARCOAL ON WASTE COOKING OIL
BIODIESEL CHARACTERISTICS**

ZUHROTUL AINY

NRP. 2411 100 019

Supervisor

Lizda Johar Mawarani, ST, MT

Ir. Zulkifli, MSc

DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS

Faculty of Industrial Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya 2015

**PENGARUH KONSENTRASI AKTIVATOR
ARANG AKTIF SERBUK KAYU TERHADAP
KARAKTERISTIK *BIODIESEL* MINYAK JELANTAH**

TUGAS AKHIR

Oleh :

Zuhrotul Ainy

NRP : 2411 100 019

Surabaya, 28 Juli 2015
Mengetahui/Menyetujui

Pembimbing I,

Pembimbing II,



Lizda Johar Mawarani, ST, MT

NIPN. 19740815 199703 2 001

Ir. Zulkifli, MSc

NIPN. 19581118 198701 1 001

Ketua Jurusan
Teknik Fisika FTI-ITS



Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA

NIPN. 19650309 199002 1 001

**PENGARUH KONSENTRASI AKTIVATOR
ARANG AKTIF SERBUK KAYU TERHADAP
KARAKTERISTIK *BIODIESEL* MINYAK JELANTAH**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Rekayasa Bahan
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

ZUHROTUL AINY

NRP. 2411 100 019

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Lizda Johar Mawarani, ST, MT  (Pembimbing I)
2. Ir. Zulkifli, MSc  (Pembimbing II)
3. Dyah Sawitri, ST, MT  (Penguji I)
4. Dr. Ing. Doty Dewi R., ST, MT  (Penguji II)
5. Andi Rahmadiansah, ST, MT  (Penguji III)

**SURABAYA
JULI 2015**

THE EFFECT OF ACTIVATOR CONCENTRATION OF ACTIVATED SAWDUST CHARCOAL ON WASTE COOKING OIL BIODIESEL CHARACTERISTICS

Name : Zuhrotul Ainy
NRP : 2411 100 019
Department : Teknik Fisika FTI-ITS
Supervisor : Lizda Johar Mawarani, ST, MT
Ir. Zulkifli, MSc

Abstract

Biodiesel as alternative fuel can be made from waste cooking oil. Waste cooking oil has high free fatty acid (FFA) which can possibly affect the quality of biodiesel. To decrease the value of FFA degree, pretreatment process of waste cooking oil was undertaken. In this research, biodiesel made from waste cooking oil by transesterification process with methanol and KOH as catalyst. Pretreatment was done by giving absorbent of sawdust, sawdust charcoal and activated sawdust charcoal. Sawdust was activated by H_3PO_4 and $CaCl_2$ as activator with various concentrations of 5%; 7.5%; 10%; 12.5% and 15%. Pretreatment process which used absorbent of activated sawdust charcoal with 10% $CaCl_2$ as activator has been decreased FFA level of waste cooking oil until 54.1%. The results shows that FFA does not influence the biodiesel characteristics. The use of $CaCl_2$ activator is more effective to increase the quality of waste cooking oil biodiesel than that of H_3PO_4 . The flash point, the cloud point, and the pour point of biodiesel have fulfilled the SNI standard. However, the density and the viscosity of biodiesel do not fulfill the SNI standard. The higher H_3PO_4 concentration, the higher the value of FFA level, the density and the flash point, the lesser value of the cloud point and the pour point. The higher $CaCl_2$ concentration, the higher the value of FFA, the density, the flash point and the cloud point, the lesser value of the pour point. The sample of biodiesel with absorbent of activated sawdust charcoal that is activated by H_3PO_4 15% and $CaCl_2$ 12.5% is the best sample whereas fulfilled SNI standards characteristics have discussed in this research.

Keywords: *sawdust, pretreatment, waste cooking oil biodiesel, characterization*

PENGARUH KONSENTRASI AKTIVATOR ARANG AKTIF SERBUK KAYU TERHADAP KARAKTERISTIK *BIODIESEL* MINYAK JELANTAH

Nama Mahasiswa : Zuhrotul Ainy
NRP : 2411 100 019
Jurusan : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Lizda Johar Mawarani, ST, MT
Ir. Zulkifli, MSc

Abstrak

Biodiesel adalah salah satu jenis bahan bakar alternatif yang dihasilkan dari minyak nabati untuk menggantikan bahan bakar minyak bumi yang semakin lama semakin habis. Salah satu bahan yang dapat dibuat menjadi biodiesel adalah minyak jelantah sebagai limbah dari minyak kelapa sawit yang tidak bisa digunakan lagi. Minyak jelantah mempunyai kadar free fatty acid (FFA) tinggi yang diduga dapat mempengaruhi kualitas biodiesel, untuk mengurangi nilai kadar FFA dilakukan proses pretreatment minyak jelantah. Dalam penelitian ini, dibuat biodiesel dari minyak jelantah yang dilakukan dengan cara transesterifikasi dengan methanol dan KOH sebagai katalis. Untuk meningkatkan kualitas biodiesel, dilakukan pretreatment dengan absorbent berupa serbuk kayu, arang serbuk kayu dan arang aktif serbuk kayu. Untuk mendapatkan arang aktif, serbuk kayu diaktivasi dengan H_3PO_4 dan $CaCl_2$ sebagai aktivator yang konsentrasinya divariasikan menjadi 5%; 7,5%; 10%; 12,5% dan 15%. Setelah dilakukan proses pretreatment, terjadi penurunan kadar FFA dalam minyak jelantah sampai 54,1%, yakni yang menggunakan absorbent arang serbuk kayu aktif dengan $CaCl_2$ berkonsentrasi 10% sebagai aktivatornya. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa FFA tidak berpengaruh terhadap karakteristik biodiesel. Penggunaan aktivator $CaCl_2$ pada arang aktif sebagai absorbent pada proses pretreatment lebih efektif meningkatkan kualitas biodiesel minyak jelantah dibandingkan dengan H_3PO_4 . Titik nyala, titik kabut, dan titik tuang biodiesel telah memenuhi standar SNI yaitu titik nyala $> 179^\circ C$, titik kabut $< 14^\circ C$, dan titik tuang $< 11^\circ C$. Sedangkan untuk massa jenis dan viskositas biodiesel tidak semua memenuhi standar SNI yang ditentukan. Semakin besar konsentrasi H_3PO_4 maka nilai kadar FFA, massa jenis dan titik nyala cenderung semakin besar, tetapi nilai titik kabut dan titik

tuangnya semakin kecil. Semakin besar konsentrasi CaCl_2 , maka nilai FFA, massa jenis, titik nyala dan titik kabut cenderung semakin besar, sementara nilai titik tuang semakin kecil. Sampel biodiesel dengan absorbent arang aktif serbuk kayu yang diaktivasi dengan H_3PO_4 15% dan CaCl_2 12,5% merupakan sampel terbaik karena memenuhi standar SNI yang berlaku pada keseluruhan karakteristik yang dibahas.

Kata kunci: serbuk kayu, pretreatment, biodiesel minyak jelantah, karakterisasi

KATA PENGANTAR

Puji syukur yang sebesar – besarnya penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya serta shalawat dan salam yang sebanyak – banyaknya kepada Nabi Muhammad SAW sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**Pengaruh Konsentrasi Aktivator Arang Aktif Serbuk Kayu Terhadap Karakteristik Biodiesel Minyak Jelantah**”. Penulis telah banyak sekali mendapatkan bantuan dari berbagai pihak dalam menyelesaikan baik proses penelitian maupun penyusunan laporan Tugas Akhir ini. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA, selaku Ketua Jurusan Teknik Fisika ITS dan Bapak Detak Yan Pratama S.T., M.Sc. selaku dosen wali penulis yang telah sabar memberikan petunjuk, bimbingan, serta ilmu yang sangat bermanfaat.
2. Ibu Lizda Johar Mawarani, ST., MT. dan Bapak Ir. Zulkifli, M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah sabar dalam memberikan dukungan, bimbingan dan arahan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Ir. Tutug Dhanardono, MT selaku Kasie Tugas Akhir Jurusan Teknik Fisika FTI-ITS.
4. Bapak Ir. Zulkifli, MSc selaku kepala Laboratorium Rekayasa Bahan yang telah memberikan dukungan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Bapak dan Ibu dosen Teknik Fisika yang telah memberikan ilmu selama kuliah.
6. Bapak Shohibin, Ibu Zuhriyah, adek Jauhar, mas Bustomik, mbak Yessy dan seluruh keluarga tercinta yang selalu memberi motivasi dan mendoakan penulis dimanapun berada.
7. Laboratorium Rekayasa Bahan, dan Laboratorium Lingkungan LPPM ITS yang telah membantu melakukan pengujian dalam Tugas Akhir ini.

8. Laboratorium Pengukuran Fisis, Teknik Fisika ITS yang telah memberikan pinjaman alat untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
9. Teman-teman seperjuangan dalam mengerjakan Tugas Akhir bidang Rekayasa Bahan, Siddiq, Mariesta, Uyun, Albertus, Lugas, Nur ika, dan mas Ilfan.
10. Saudari Sayyida sebagai *partner* terbaik dalam berjuang bersama dan banyak sekali membantu untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
11. Saudara Dahry Yuniar Akbar yang senantiasa memberikan dukungan dan bantuan baik tenaga maupun doa untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
12. Seluruh teman-teman angkatan 2011 yang turut memberikan dukungannya.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini tidaklah sempurna. Oleh karena itu sangat diharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak sehingga mencapai sesuatu yang lebih baik lagi. Penulis juga berharap semoga laporan ini dapat menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembacanya.

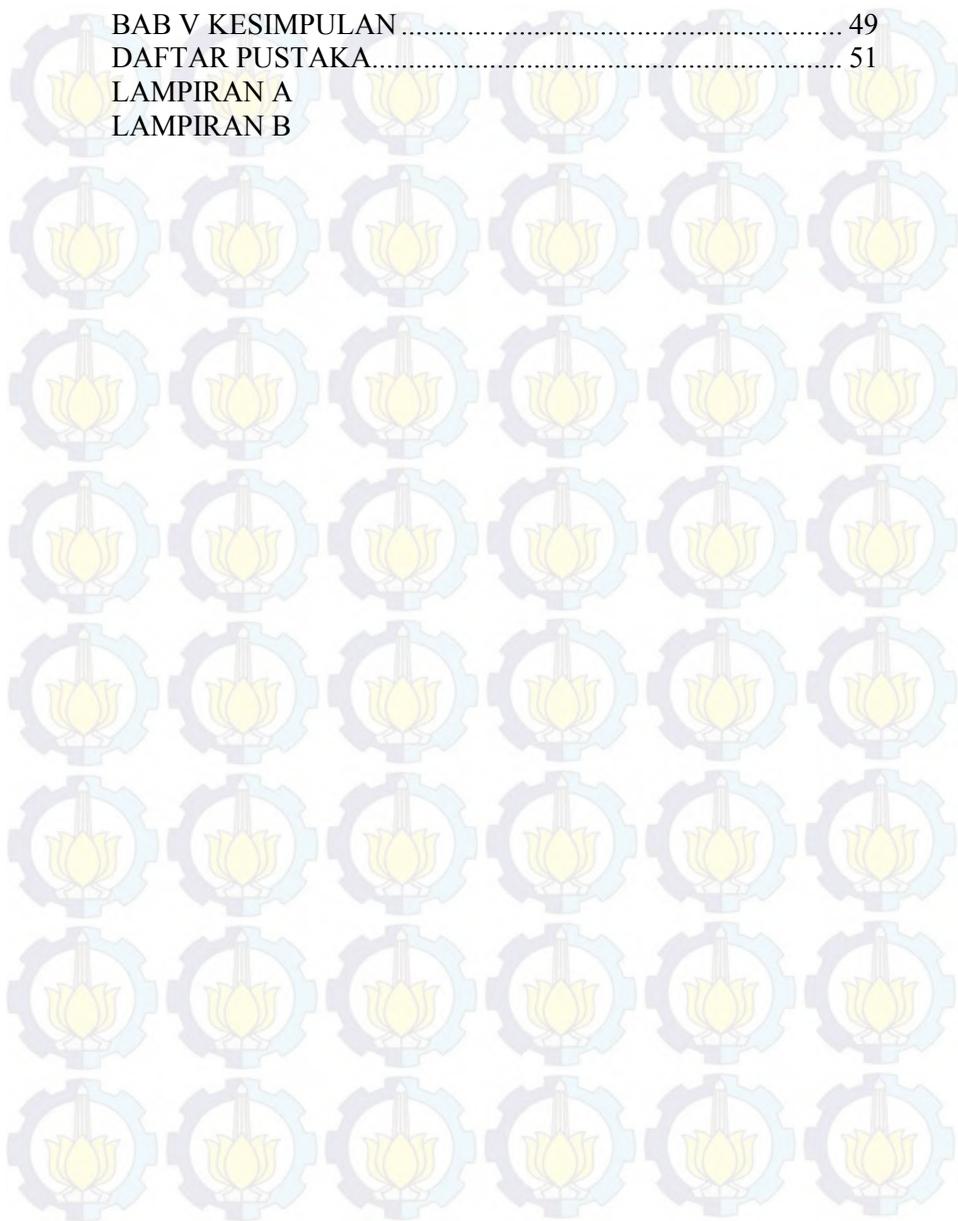
Surabaya, Juli 2015

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
BAB II DASAR TEORI.....	5
2.1 <i>Biodiesel</i>	5
2.2 Minyak Jelantah	9
2.3 Kayu Jati.....	11
2.4 Pembuatan <i>Biodiesel</i>	13
2.5 Aktivasi Karbon	14
2.6 Absorpsi dan Adsorpsi	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Alat dan Bahan	22
3.2 Persiapan Bahan	24
3.3 Pembuatan <i>Biodiesel</i>	28
3.4 Karakterisasi <i>Biodiesel</i>	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1 Validitas Arang Aktif	33
4.2 Pengukuran Kadar FFA.....	34
4.3 Hasil Karakterisasi <i>Biodiesel</i> Minyak Jelantah	35
4.4 Pembahasan.....	38
4.5 Interpretasi Hasil	45

BAB V KESIMPULAN.....	49
DAFTAR PUSTAKA.....	51
LAMPIRAN A	
LAMPIRAN B	



DAFTAR TABEL

	Hal
Tabel 2.1 Perbandingan Karakteristik <i>Biodiesel</i> dengan Solar	5
Tabel 2.2 Perbandingan Sifat antara Minyak <i>Diesel</i> , Minyak Nabati dan <i>Biodiesel</i>	8
Tabel 2.3 Syarat Mutu <i>Biodiesel</i> Ester Alkil	9
Tabel 2.4 Perbandingan Karakteristik antara Minyak Jelantah, <i>Biodiesel</i> Minyak Jelantah, dan Bahan Bakar <i>Diesel</i> Komersil	11
Tabel 3.1 <i>Absorbent</i> untuk Masing-Masing Sampel	26
Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Kadar FFA Minyak Jelantah	34
Tabel 4.2 Hasil Uji Massa Jenis Sampel <i>Biodiesel</i>	35
Tabel 4.3 Hasil Uji Viskositas Sampel <i>Biodiesel</i>	36
Tabel 4.4 Hasil Uji Titik Nyala Sampel <i>Biodiesel</i>	37
Tabel 4.5 Hasil Uji Titik Kabut dan Titik Tuang Sampel <i>Biodiesel</i>	38

DAFTAR GAMBAR

	Hal	
Gambar 2.1	Siklus CO ₂ dan penggunaan <i>biodiesel</i>	7
Gambar 2.2	Reaksi transesterifikasi	13
Gambar 2.3	Reaksi esterifikasi	14
Gambar 2.4	Reaksi interesterifikasi	14
Gambar 2.5	Partikel karbon aktif	15
Gambar 2.6	Grafit, atom-atom karbon mengkristal dalam lapisan-lapisan dengan simetri heksagonal	16
Gambar 2.7	Perbedaan adsorpsi dan absorpsi	18
Gambar 2.8	Mekanisme adsorpsi pada karbon aktif	19
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	21
Gambar 3.2	Proses persiapan bahan untuk satu jenis <i>absorbent</i>	25
Gambar 3.3	Proses <i>pretreatment</i> minyak jelantah	27
Gambar 3.4	Proses pembuatan <i>biodiesel</i>	29
Gambar 3.5	Hasil pengendapan untuk pencucian <i>biodiesel</i>	30
Gambar 3.6	<i>Kinematic viscosity bath</i> Koehler E-100	32
Gambar 4.1	Hasil uji coba (a) air keruh, (b) dengan arang aktif serbuk kayu selama 24 jam	33
Gambar 4.2	Pengaruh konsentrasi aktivator terhadap kadar FFA	39
Gambar 4.3	Pengaruh konsentrasi aktivator terhadap massa jenis <i>biodiesel</i>	40
Gambar 4.4	Pengaruh konsentrasi aktivator terhadap viskositas <i>biodiesel</i>	41
Gambar 4.5	Pengaruh konsentrasi aktivator terhadap titik nyala <i>biodiesel</i>	42
Gambar 4.6	Pengaruh konsentrasi aktivator terhadap titik kabut <i>biodiesel</i>	43
Gambar 4.7	Pengaruh konsentrasi aktivator terhadap titik tuang <i>biodiesel</i>	44

Gambar 4.8 Pengaruh konsentrasi H_3PO_4 terhadap titik nyala, titik kabut dan titik tuang *biodiesel* 46

Gambar 4.9 Pengaruh konsentrasi $CaCl_2$ terhadap titik nyala, titik kabut dan titik tuang *biodiesel* 47

Gambar 4.10 Hubungan kadar FFA dengan karakteristik *biodiesel* 48

Gambar 4.11 Hubungan konsentrasi aktivator dengan kadar FFA, massa jenis, viskositas dan titik nyala *biodiesel* 48

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada tahun 2008 departemen ESDM telah memaparkan bahwa jumlah konsumsi bahan bakar minyak (BBM) di Indonesia mencapai 1,5 juta barel per hari, sedangkan cadangan minyak yang tersedia di Indonesia total sekitar 9 milyar barel. Berdasarkan data tersebut, dalam beberapa tahun yang akan datang dapat dipastikan bahwa jumlah minyak di Indonesia akan terus habis. Meskipun pemerintah sudah melakukan antisipasi dengan cara meng – *import* minyak sebanyak 500 ribu barel per harinya. Hal ini dikarenakan minyak terus dikonsumsi dan jumlah konsumsi terus menerus naik setiap tahunnya. Selain antisipasi tersebut, kementerian ESDM juga telah mengeluarkan peraturan yang tercantum dalam Permen Nomor 25 tahun 2013 tentang penggunaan *biodiesel* pada kendaraan bermotor sebesar 20% pada tahun 2016 dengan tujuan untuk mengurangi konsumsi BBM di Indonesia.

Biodiesel adalah salah satu jenis bahan bakar alternatif yang dihasilkan dari minyak nabati seperti minyak kelapa sawit melalui proses transesterifikasi dan esterifikasi dengan mereaksikan senyawa trigliserida dengan gugus alkohol seperti *methanol* atau *etanol* dengan bantuan katalis basa sehingga terbentuk gugus alkil ester (Musnif,-). Penggunaan minyak kelapa sawit yang semakin meningkat dengan perkiraan pertambahan sekitar 7% pertahun (Yusgiantoro, Kementerian ESDM dalam *SP Forum Quo Vadis Energi Nasional*, Jakarta) dengan konsumsi masyarakat Indonesia yang tercatat pada tahun 2013 sebanyak 9 juta ton (Bangun, Duta Sawit Indonesia dalam *Oilworld Outlook Conference*, Jerman) menyebabkan semakin bertambahnya limbah minyak jelantah yang dihasilkan dari konsumsi tersebut.

Setiap tahunnya, limbah minyak jelantah yang dihasilkan dari penggunaan minyak nabati akan terus meningkat. Oleh sebab itu, kini banyak yang telah melakukan pengolahan mengenai *biodiesel* minyak jelantah bahkan ada juga yang menjadikannya

lahan bisnis dengan tujuan untuk mendapatkan keuntungan. Pada waktu sebelumnya, telah dilakukan penelitian tentang *pretreatment* minyak jelantah dengan menggunakan ampas tebu sebagai *adsorbent* untuk menurunkan kandungan asam lemak bebas (FFA), dengan ukuran partikel dan massa ampas tebu yang divariasikan. Penelitian tersebut menghasilkan penurunan kadar FFA pada *biodiesel* minyak jelantah, tetapi viskositas *biodiesel* yang dihasilkan dari penelitian ini masih belum memenuhi standar SNI (Ratno, 2013).

Potensi sumber daya alam yang dimiliki oleh Indonesia sangat melimpah, diantaranya adalah potensi kehutanan dimana kayu dapat dimanfaatkan sebagai kayu gergajian yang selanjutnya dapat dibuat menjadi barang mebel untuk keperluan properti masyarakat Indonesia. Pembuatan kayu gergajian menghasilkan limbah berupa serbuk kayu yang biasanya hanya dibiarkan atau dibakar yang asapnya dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Pada perkembangannya, serbuk kayu juga telah digunakan untuk proses budidaya jamur yang juga cukup menjanjikan dimasyarakat. Selain itu, serbuk kayu juga dapat dimanfaatkan sebagai serbuk arang aktif karena sifatnya yang mempunyai kandungan karbon cukup tinggi. Bahan-bahan yang mempunyai kandungan karbon cukup tinggi dapat dijadikan sebagai arang aktif, akan tetapi hasil akhir dari arang aktif ini akan tergantung pada faktor-faktor tertentu, diantaranya bahan baku, zat pengaktif dan kondisi dari proses aktivasi. Arang aktif mempunyai pengertian zat dengan daya serap tinggi yang dapat menyerap zat-zat yang tidak diinginkan dalam gas dan larutan (Koleangan, 2011).

Pada penelitian sebelumnya, telah dilakukan proses *pretreatment biodiesel* minyak jelantah dengan menggunakan arang aktif ampas tebu sebagai *adsorbent* (Farihah, 2013). Hasil dari penelitian tersebut adalah kandungan FFA dalam *biodiesel* minyak jelantah mengalami penurunan sampai 70%, tetapi belum mampu meningkatkan kualitas *biodiesel* yang dihasilkan secara efektif. Salah satu usaha yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kualitas *biodiesel* minyak jelantah yang dihasilkan

adalah dengan menggunakan *absorbent* lain yang mempunyai daya serap yang baik seperti serbuk kayu. Oleh karena itu, dalam penelitian ini arang aktif serbuk kayu digunakan sebagai *absorbent* yang konsentrasi aktivatornya divariasikan dalam proses *pretreatment biodiesel* minyak jelantah. Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi aktivator arang aktif serbuk kayu terhadap karakteristik *biodiesel* minyak jelantah.

1.2 Permasalahan

Pada penelitian tugas akhir ini, permasalahan yang diangkat adalah bagaimana pengaruh konsentrasi aktivator arang aktif serbuk kayu terhadap karakteristik *biodiesel* minyak jelantah?

1.3 Tujuan

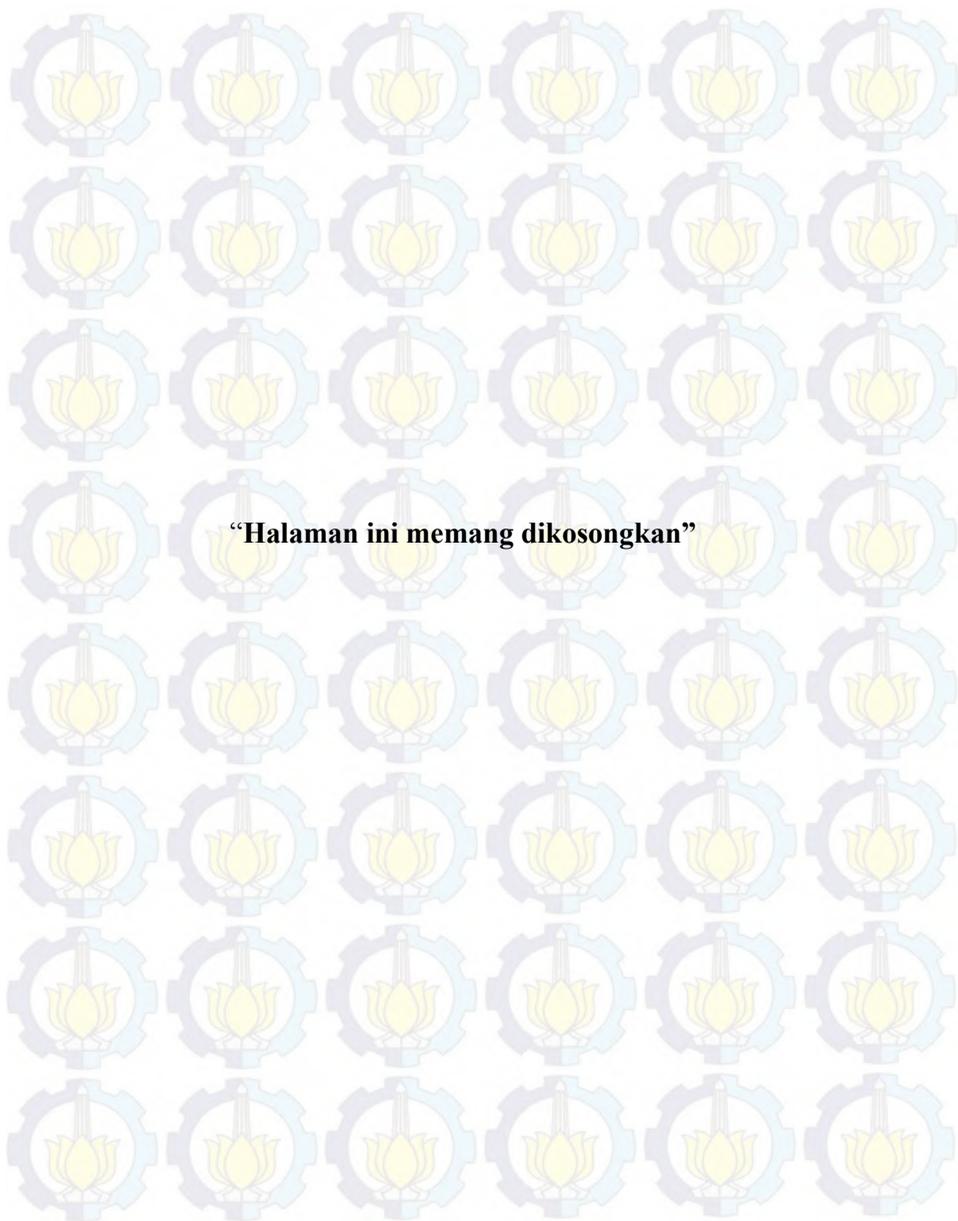
Berdasarkan permasalahan di atas, tujuan dilakukannya penelitian tugas akhir ini adalah untuk mengetahui pengaruh konsentrasi aktivator arang aktif serbuk kayu terhadap karakteristik *biodiesel* minyak jelantah dengan tujuan yang lebih khusus adalah untuk :

- Mengetahui pengaruh FFA terhadap karakteristik *biodiesel* minyak jelantah.
- Mengetahui pengaruh konsentrasi H_3PO_4 dan $CaCl_2$ terhadap karakteristik *biodiesel* minyak jelantah.
- Mendapatkan sampel *biodiesel* minyak jelantah yang memenuhi standar SNI *biodiesel*.

1.4 Batasan masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian tugas akhir ini adalah :

- a. *Volume* minyak jelantah untuk setiap sampel dan waktu perendaman *absorbent* adalah sama.
- b. Ukuran partikel *absorbent* adalah sama.
- c. Karakteristik *biodiesel* yang dibahas adalah massa jenis, viskositas, titik nyala, titik kabut dan titik tuang.



“Halaman ini memang dikosongkan”

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Biodiesel*

Penggunaan minyak nabati sebagai bahan bakar diesel sebenarnya sudah dimulai pada tahun 1900 oleh Rudolf Diesel dengan menggunakan minyak kacang. Akan tetapi dalam perkembangannya, minyak bumi justru menjadi sumber energi utama dan dominan untuk mesin diesel. Meskipun demikian, bahan bakar yang bersumber dari minyak bumi telah mengalami penurunan ketersediaan di alam karena seringnya dieksploitasi, oleh sebab itu, penelitian tentang sumber energi alternatif telah muncul untuk menggantikan bahan bakar minyak bumi. Penelitian tentang energi alternatif pada saat ini adalah penggunaan asam lemak etil atau metil ester, yang didapatkan dari proses transesterifikasi atau disebut juga alkoholisis dari minyak nabati atau esterifikasi asam lemak yang kemudian digabungkan dengan transesterifikasi trigliserida (Arifin, 2009). Berikut ini adalah tabel perbandingan karakteristik antara *biodiesel* dengan solar.

Tabel 2.1 Perbandingan karakteristik *biodiesel* dengan solar (Haryono, 2010)

Karakteristik	<i>Biodiesel</i>	Solar
Komposisi	Metil ester	Campuran hidrokarbon
Bilangan setana	62,4	53
Densitas, g/ml	0,8624	0,8750
Viskositas, cSt	5,55	4,6
Titik kilat, °C	172	98
Energi yang dihasilkan	40,1 MJ/kg	45,3 MJ/kg
Lingkungan	Ramah lingkungan	Bahaya (10x dari <i>biodiesel</i>)
Keberadaan	Terbarukan	Tak terbarukan

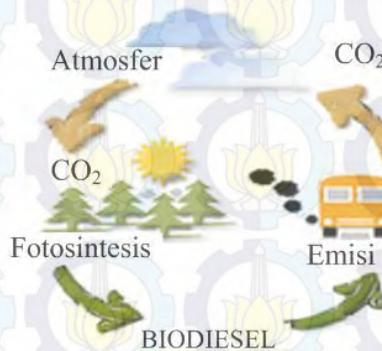
Menurut (Arifin, 2009), *biodiesel* adalah bahan bakar alternatif untuk mesin *diesel* yang dihasilkan melalui reaksi kimia minyak nabati atau lemak hewan dengan alkohol seperti methanol. *Biodiesel* disebut juga metil ester yang masih menjadi perhatian utama sebagai alternatif, tidak beracun, *biodegradable* dan terbarukan sebagai bahan bakar mesin *diesel*. Pada saat *biodiesel* menggantikan solar sebagai bahan bakar, ini dapat mengurangi emisi gas seperti karbondioksida yang dapat menyebabkan pemanasan global. *Biodiesel* juga aromatik, mempunyai kandungan yang hampir tidak ada sulfur dan mengandung 11% oksigen berat. Karakteristik *biodiesel* dapat mengurangi emisi karbon monoksida, hidrokarbon dan partikel – partikel lain dalam gas buang pada bahan bakar *diesel*.

Biodiesel diartikan sebagai ester monoalkil dari rantai panjang asam lemak yang berasal dari bahan terbarukan seperti minyak nabati atau lemak hewan. Sementara itu, sebagian besar sifat yang dimiliki oleh *biodiesel* adalah sebanding dengan bahan bakar *diesel* yang menggunakan minyak bumi. Bahan bakar *biodiesel* yang berasal dari minyak nabati atau lemak hewan dengan jumlah senyawa lemak jenuh karena rantai karbon yang panjang yang besar akan membuat titik kabut dan titik tuangnya menjadi lebih tinggi.

Minyak nabati yang banyak tersedia di alam, dan gliserida yang terkandung dalam minyak dapat digunakan sebagai bahan alternatif untuk bahan bakar mesin *diesel*. *Biodiesel* yang disintesis melalui bio-oil adalah alternatif sebagai pengganti solar yang mungkin dapat digunakan karena merupakan bahan bakar dari sumber daya terbarukan dan juga memiliki emisi yang lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar *diesel*. *Biodiesel* juga *biodegradable* dan juga ramah lingkungan, karena gas rumah kaca yang dibuang ke atmosfer sangat sedikit, *biodiesel* juga dapat meminimalisir jumlah karbon dioksida, hidrokarbon dan partikel lain yang dilepaskan ke lingkungan.

Pembakaran bahan bakar fosil seperti solar menyebabkan terjadinya pencemaran lingkungan karena emisi CO₂ yang berlebihan di atmosfer yang dapat menimbulkan efek rumah kaca.

Pembentukan CO_2 di atmosfer dapat dikurangi atau bahkan dihilangkan dengan digunakannya minyak nabati sebagai bahan bakar alternatif. Tidak adanya gas CO_2 di atmosfer disebabkan oleh hasil pembakaran *biodiesel* berupa CO_2 akan digunakan untuk proses fotosintesis oleh tanaman. Selain itu, penggunaan *biodiesel* sebagai bahan bakar juga mampu meningkatkan kualitas udara dengan mengurangi emisi gas yang berbahaya bagi lingkungan, seperti gas karbon monoksida (CO), ozon (O_3), nitrogen oksida (NO_x), hidrokarbon reaktif lainnya serta partikel dari asap yang dapat terhirup (Suharto, 2012).



Gambar 2.1 Siklus CO_2 dan penggunaan *biodiesel* (Suharto, 2012)

Salah satu sifat yang dimiliki *biodiesel* adalah melarutkan atau disebut juga *solvency*. Sifat ini membuat beberapa permasalahan muncul ketika *biodiesel* digunakan pada mesin diesel yang sudah lama menggunakan solar sebagai bahan bakar. Penggunaan solar sebagai bahan bakar dalam waktu yang lama akan menyebabkan terbentuknya kerak dan sedimen. Pada saat mesin diesel berganti bahan bakar menjadi *biodiesel*, maka kerak dan sedimen yang terdapat di dalam mesin akan larut sehingga dapat membuat saringan dan saluran bahan bakar tersumbat. Oleh sebab itu, sebelum menggunakan *biodiesel* sebaiknya penggantian dilakukan apabila kerak dan sedimen di dalam tanki cukup tinggi kandungannya (Akbar, -). Berikut ini adalah tabel perbandingan

sifat antara bahan bakar *diesel*, minyak nabati biasa, dan *biodiesel*.

Tabel 2.2 Perbandingan sifat antara minyak *diesel*, minyak nabati dan *biodiesel* (K. McDonnell, 1999).

Karakteristik	Minyak diesel	Minyak bunga matahari	<i>Biodiesel</i> bunga matahari	Minyak <i>rapeseed</i>	<i>Biodiesel rapeseed</i>
Massa jenis pada 15°C (kg/l)	0,85	0,92	0,89	0,9	0,883
Titik nyala (°C)	63	215	183	200	153
Viskositas kinematik pada 37,8°C (mm ² /s)	3,2	35	4,2	39	4,8
Bilangan setana	45-50	33	47-51	35-40	52
Panas pembakaran (MJ/kg)	44	39,5	40	-	40
Titik keruh (°C)	0-3	-6,6	3	-	-3
Sulfur (% berat)	0,3	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Residu karbon (% berat)	0,2	0,42	0,05	-	-
Batas awal volatilisasi (°C)	70	280	70	280	70
Batas akhir volatilisasi (°C)	260	520	260	520	250

Sedangkan spesifikasi karakteristik *biodiesel* sesuai dengan standar SNI 7182:2012 dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Syarat mutu *biodiesel* ester alkil (BSN, 2012).

Parameter	Satuan	Nilai
Massa jenis pada 40°C	kg/m ³	850-890
Viskositas kinematic pada 40°C	mm ² /s (cSt)	2,3-6,0
Angka setana		Min 51
Titik nyala (mangkok tertutup)	°C	Min 100
Titik kabut	°C	Maks 18
Korosi lempeng tembaga (3 jam pada 50°C)		No. 1
Residu karbon - Dalam contoh asli, atau - Dalam 10% ampas destilasi	%-massa	Maks 0,05 Maks 0,30
Air dan sedimen	%-vol	Maks 0,05
Temperatur destilasi 90%	°C	Maks 360
Abu tersulfatkan	%-massa	Maks 0,02
Belerang		Maks 100
Fosfor		Maks 10
Angka asam		Maks 0,6
Gliserol bebas	%-massa	Maks 0,02
Gliserol total	%-massa	Maks 0,24
Kadar ester alkil	%-massa	Min 96,5
Angka iodium	%-massa (g-12/100g)	Maks 115
Kestabilan oksidasi - Periode induksi metode rancimat - Periode induksi metode petro oksidasi	menit	360 27

2.2 Minyak Jelantah

Pada penelitian milik (Haryono, 2010), dapat diketahui bahwa Indonesia merupakan negara yang menghasilkan minyak kelapa sawit atau *crude palm oil* (CPO) terbesar kedua di dunia. Minyak sawit yang dapat digunakan untuk bahan bakar terbarukan bisa dalam bentuk *crude palm oil* (CPO) dan bisa juga dalam bentuk *refined palm oil* atau dalam arti lain adalah CPO yang sudah mengalami proses rafinasi.

Minyak goreng akan mengalami perubahan sifat kimia dan juga sifat fisika selama digunakan untuk proses penggorengan. Perubahan secara fisik tersebut meliputi kenaikan indeks bias, penurunan titik cair, terbentuknya busa selama penggorengan, perubahan warna, serta peningkatan viskositas dan berat jenis. Sedangkan perubahan sifat kimia meliputi kenaikan kandungan asam lemak bebas atau *free fatty acid* (FFA), penurunan bilangan iod dan kenaikan bilangan peroksida. Perubahan kimia ini terjadi akibat dari reaksi hidrolisis, oksidasi, serta polimerisasi yang dapat mengakibatkan kerusakan seperti timbulnya asap atau busa pada minyak, terbentuknya warna coklat dan juga rasa yang tidak disukai akibat kenaikan bilangan peroksida.

Minyak jelantah mengandung senyawa yang bersifat karsinogenik yang terjadi selama penggorengan. Oleh karena itu, penggunaan minyak jelantah selama terus menerus akan menimbulkan dampak yang tidak baik bagi kesehatan manusia seperti timbulnya penyakit kanker dan dapat juga mengurangi kecerdasan pada generasi dibawahnya. Salah satu pemanfaatan dari limbah minyak goreng ini adalah dengan mengubahnya menjadi *biodiesel* secara kimia. Untuk membuat *biodiesel* dari minyak jelantah adalah dengan proses transesterifikasi seperti proses pembuatan *biodiesel* pada umumnya dengan sebelumnya dilakukan proses *pretreatment* untuk menurunkan kadar asam lemak bebas dalam minyak jelantah (Akbar, -). Perbandingan karakteristik antara minyak jelantah, *biodiesel* minyak jelantah dan bahan bakar *diesel* komersil ditunjukkan dalam Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Perbandingan karakteristik antara minyak jelantah, *biodiesel* minyak jelantah dan bahan bakar *diesel* komersil (Nada, 2011).

Karakteristik	Satuan	Minyak jelantah	<i>Biodiesel</i> minyak jelantah	Bahan bakar <i>diesel</i> komersil
Viskositas kinematik	Mm ² /s pada 313 K	36,4	5,3	1,9 – 4,1
Densitas	Kg/l pada 288 K	0,924	0,897	0,075 – 0,840
Titik nyala	K	485	469	340 – 358
Titik tuang	K	284	262	254 – 260
Nomor setana		49	54	40 – 46
Kadar abu	%	0,006	0,004	0,008 – 0,010
Kadar sulfur	%	0,09	0,06	0,35 – 0,55
Residu karbon	%	0,46	0,33	0,35 – 0,40
Kadar air	%	0,42	0,04	0,02 – 0,05
<i>Higher heating value</i>	MJ/kg	41,40	42,65	45,62 – 46,48
Asam lemak bebas	Mg KOH/g oil	1,32	0,10	-
Nilai iodine		141,5	-	-

2.3 Kayu Jati

Jati atau dalam nama latin disebut *Tectona grandis L.F* tumbuh di daerah yang mempunyai musim kemarau relatif panjang pada tanah sangat kering sampai ketinggian kurang lebih 650 m dari permukaan laut. Jati sangat mudah ditemui di seluruh pulau Jawa, selain itu jati juga dapat ditemui di Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, Nusa Tenggara Barat (sumbawa), Maluku dan juga Lampung. Pohon jati dapat tumbuh hingga ketinggian mencapai 45 meter dengan diameter 1,8-2,4 meter. Tetapi pohon jati kebanyakan hanya tumbuh dengan ketinggian 9-11 meter dan diameter 0,9-1,5 meter saja (Pasaribu, -).

Pohon jati cocok tumbuh di daerah musim kering yang mempunyai waktu kemarau berkisar 3-6 bulan per tahun. Kebutuhan curah hujan rata-rata 1250-1300 mm/tahun dengan temperatur rata-rata tahunan 22-26°C. Iklim tropis yang ada di Indonesia sangat cocok dengan iklim yang dibutuhkan untuk pertumbuhan pohon jati sehingga pohon jati dapat tumbuh dan berkembang biak dengan baik di Indonesia. Penelitian dan pengembangan tanaman jati sering dilakukan dengan alasan banyak kelebihan yang dimiliki tanaman ini (Ahsana, -).

Jati mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan jenis kayu lain, diantaranya adalah tahan lama dan sangat awet, mudah di olah, mempunyai tekstur yang unik, serta mempunyai kemampuan menahan beban dengan baik. Jati menjadi disukai karena merupakan jenis kayu yang kuat, sehingga mempunyai pola-pola lingkaran tahun yang terlihat jelas dan membuat gambaran unik ketika dipotong. Karena alasan keindahan itulah jati banyak dimanfaatkan sebagai bahan mebel, kerajinan, panel atau anak tangga. Selain itu, sifatnya yang kuat, awet dan tidak mudah berubah bentuk karena perubahan cuaca membuat jati dimanfaatkan juga sebagai bahan dok pelabuhan, bantalan rel kereta api, jembatan, kapal niaga dan kapal perang (Pasaribu, -).

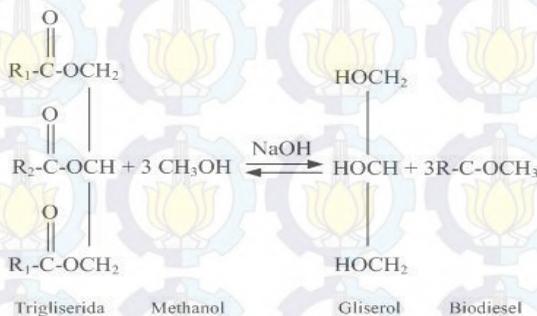
Jati juga dimanfaatkan sebagai kayu gergajian yang selanjutnya akan digunakan sebagai bahan baku mebel, pemanfaatan kayu jati sebagai kayu gergajian tersebut menghasilkan limbah. Limbah yang dihasilkan berupa serbuk kayu yang umumnya tidak diolah dengan baik dan cenderung dibiarkan menumpuk dan membusuk, dibuang ke aliran sungai atau di bakar sehingga dapat menimbulkan pencemaran lingkungan. Saat ini, limbah serbuk kayu sudah banyak dimanfaatkan sebagai bahan baku lain untuk mengurangi dampak pencemaran yang dihasilkan seperti dibentuk menjadi kerajinan lain dengan dicetak, atau dapat juga dimanfaatkan dengan menjadikan serbuk kayu menjadi serbuk arang aktif yang dapat digunakan sebagai bahan penyerap zat yang tidak diinginkan di dalam gas maupun larutan (Koleangan, 2011).

2.4 Pembuatan Biodiesel

Secara umum, pembuatan *biodiesel* terbagi menjadi 3 tahap, yaitu transesterifikasi, esterifikasi dan interesterifikasi (Akbar, -).

a. Transesterifikasi

Reaksi ini disebut juga sebagai reaksi alkoholisis, mempunyai pengertian sebagai reaksi antara minyak nabati atau lemak hewan dengan alkohol dengan tujuan untuk membentuk ester dan gliserol. Reaksi kimia yang terjadi pada reaksi ini ditunjukkan pada Gambar 2.2 berikut,



Gambar 2.2 Reaksi transesterifikasi

Produk yang dihasilkan dalam proses ini terbagi menjadi 2 yaitu *biodiesel* sebagai produk utama dan gliserol sebagai produk sampingan. Dalam reaksi ini, katalis digunakan untuk dapat meningkatkan laju reaksi. Beberapa katalis yang dapat digunakan dalam proses ini antara lain berupa alkali, katalis asam atau bisa juga enzim (Akbar, -).

b. Esterifikasi

Dalam pengertiannya, esterifikasi adalah reaksi konversi dari asam lemak bebas menjadi gugus ester dengan cara mereaksikan minyak lemak dengan alkohol. Reaktan berupa metanol harus ditambahkan dalam jumlah berlebih agar dapat terkonversi secara sempurna. Reaksi esterifikasi secara lengkap ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Reaksi esterifikasi

Kesempurnaan konversi dari asam lemak bebas menjadi metil ester dapat dituntaskan dalam waktu kurang lebih 1 jam dengan syarat adanya kombinasi yang tepat dari kondisi reaksi dan metode pemisahan air dari fasa reaksi berupa minyak. Katalis yang biasanya digunakan dalam reaksi ini adalah zat yang punya karakter asam kuat seperti asam sulfat, asam sulfonat organik atau resin penukar kation asam kuat.

c. Interesterifikasi

Interesterifikasi diilustrasikan sebagai pertukaran antara dua gugus ester yang hanya dapat terjadi jika terdapat katalis. Katalis yang dapat digunakan dalam reaksi ini antara lain katalis kimia seperti NaOH dan NaOCH₃, katalis enzim seperti lipase dan papain atau tanpa katalis. Hasil dari reaksi ini berupa dua fasa yang terpisah dengan metil ester di lapisan atas dan triasetilgliserol pada lapisan bagian bawah. Reaksi interesterifikasi dapat dilihat pada Gambar 2.4.

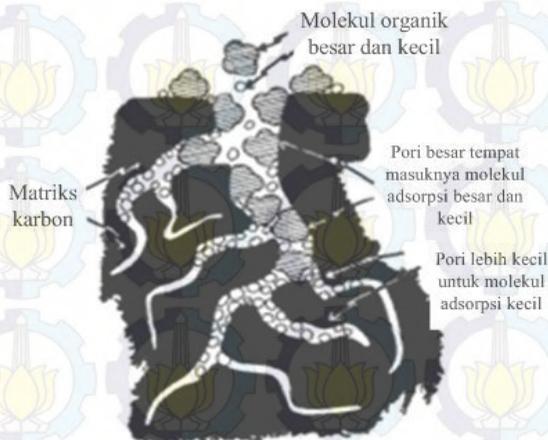


Gambar 2.4 Reaksi interesterifikasi

2.5 Aktivasi Karbon

Karbon aktif (Gambar 2.5) dapat diartikan sebagai senyawa karbon yang daya adsorpsinya telah ditingkatkan dengan cara dikarbonisasi dan aktivasi. Material berupa karbon aktif dapat dijadikan material penyimpan hidrogen karena mempunyai daya adsorpsi yang tinggi, luas permukaan tinggi, mikrostruktur berpori, densitas rendah serta mudah diproduksi dan murah. Karbonisasi merupakan proses yang bertujuan untuk mengembangkan struktur pori, sementara pada proses aktivasi terjadi pembentukan pori yang masih tertutup serta peningkatan

ukuran pori kecil. Kemampuan material karbon aktif pada saat proses adsorpsi didasarkan pada kemampuan molekul yang berdifusi ke dalam *volume* mikropori atau porositas. Ukuran pori terbagi menjadi pori dengan ukuran besar yang berfungsi sebagai tempat transportasi cairan, sedangkan pori dengan ukuran sedang atau kecil berfungsi sebagai tempat terjadinya proses adsorpsi, pori tersebut dapat terbentuk selama proses aktivasi (Chodijah, 2011).

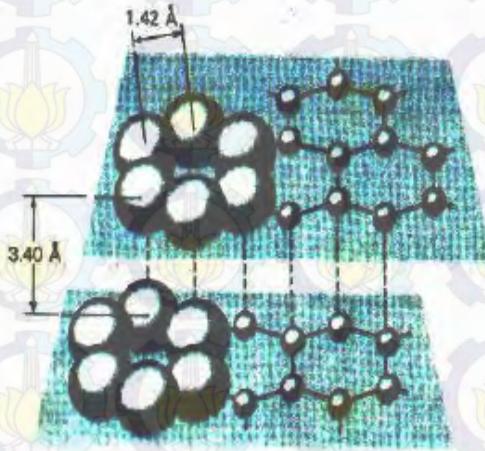


Gambar 2.5 Partikel karbon aktif (Dvorak, 2013)

Menurut (Koleangan, 2011), proses aktivasi digunakan untuk membuat arang aktif. Pada pengertiannya, arang aktif merupakan suatu zat yang mempunyai daya serap tinggi dan digunakan dalam berbagai aplikasi dengan tujuan untuk menyerap zat-zat yang tidak diinginkan di dalam gas dan juga larutan. Bahan baku yang digunakan, jenis zat pengaktif dan kondisi pada saat aktivasi sangat menentukan hasil akhir dari arang yang diaktifkan.

Dalam prosesnya, aktivasi dibagi menjadi dua macam antara lain aktivasi kimia dan aktivasi fisika. Aktivasi secara kimia adalah aktivasi dengan menggunakan zat kimia dan dilakukan pada suhu rendah. Sedangkan aktivasi secara fisika berlangsung

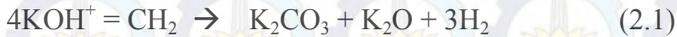
pada suhu yang lebih tinggi, yaitu sekitar 800–1100°C. Pada aktivasi kimia, zat pengaktif akan masuk pada sela-sela lapisan karbon yang berbentuk heksagonal (Gambar 2.6) yang akan membuka permukaan yang tertutup, akibatnya pori-pori akan semakin meluas. Mutu dari arang aktif yang mempunyai hubungan erat dengan zat pengaktifnya adalah dalam hal stabilitas termal dan karakter kovalen.



Gambar 2.6 Grafit, atom-atom karbon mengkristal dalam lapisan-lapisan dengan simetri heksagonal (Kristianing, 2007)

Bahan-bahan yang dapat digunakan sebagai arang aktif adalah bahan yang mempunyai kandungan karbon cukup tinggi. Contoh bahan-bahan yang dapat digunakan sebagai arang aktif antara lain batubara, tempurung kelapa, limbah industri, kayu, biji aprikot, kulit singkong dan kulit kemiri (Suhendra, 2010).

Dalam aktivasi kimia, sebagai contoh reaksi antara karbon dengan KOH pada struktur pori ukuran sedang (*mesoporos*) akan menghancurkan struktur pori tersebut dan akan memperbesar volume pori. Selama proses aktivasi tersebut, berikut adalah reaksi yang terjadi (Chodijah, 2011) :



Persamaan (2.1), (2.2) dan (2.3) menunjukkan bahwa proses aktivasi dengan asam posforik terjadi secara tidak sempurna, sehingga proses tersebut menghasilkan perubahan struktur kimia yang parsial. Dalam reaksi tersebut, fungsi asam fosforik adalah sebagai katalis yakni membantu pembentukan reaksi patahan dan pembentukan *cross-linking*. Dalam proses aktivasi kimia, hal yang paling penting adalah stabilitas yang dimiliki atom karbon dalam kristalinitas dan melibatkan *cross linking* dengan katalisasi asam.

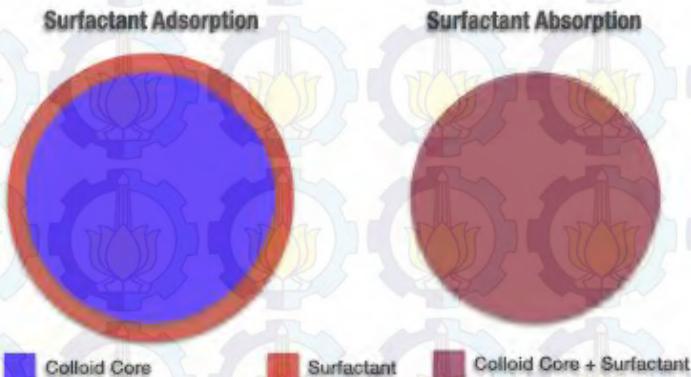
Dalam prakteknya, aktivasi secara kimia mempunyai beberapa keunggulan dibandingkan dengan aktivasi secara fisika, diantaranya adalah (Suhendra, 2010):

- a) Disebut dengan metode aktivasi satu langkah (*one-step activation*) karena dalam penyiapannya sudah terdapat zat pengaktif sehingga proses karbonisasi dan aktivasi karbon terbentuk secara bersamaan.
- b) Mempunyai suhu lebih rendah pada prosesnya.
- c) Efek *dehydrating agent* akan memperbaiki pori di dalam struktur karbon.
- d) Menghasilkan produk yang lebih banyak.

2.6 Absorpsi dan Adsorpsi

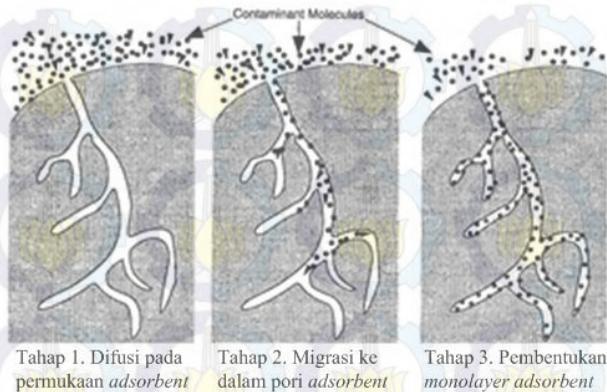
Pada penelitian ini, absorpsi dan adsorpsi terjadi secara bersamaan dalam proses penyerapan zat oleh serbuk kayu. Dimana kedua proses tersebut terjadi pada saat proses *pretreatment*. Hal ini dikarenakan mekanisme yang terjadi pada arang aktif merupakan mekanisme adsorpsi sedangkan absorpsi terjadi karena massa *absorbent* bertambah setelah proses *pretreatment* dan juga terjadi pengurangan *volume* pada *absorbate*.

Perbedaan antara adsorpsi dan absorpsi terdapat pada pori yang dimiliki *absorbent* atau *adsorbent*-nya. Dimana pori yang dimiliki oleh *absorbent* akan menembus dari bagian atas sampai bagian bawahnya, sedangkan pada *adsorbent* lubang porinya tidak menembus sampai bawah. Oleh karena itu, adsorpsi secara umum dapat diartikan sebagai penyerapan suatu zat yang terjadi pada permukaan *adsorbent* saja tanpa mengurangi *volume* larutan. Sementara absorpsi adalah penyerapan suatu zat dimana terjadi juga pengurangan *volume* karena larutan atau gas juga ikut terserap oleh *absorbent*. Menurut (N.Smith, 2015) perbedaan mekanisme adsorpsi dan absorpsi dapat dilihat pada Gambar 2.7 dimana gambar tersebut, menjelaskan tentang apa yang telah disampaikan pada awal paragraf.



Gambar 2.7 Perbedaan adsorpsi dan absorpsi (N. Smith, 2015)

Salah satu sifat yang penting dalam suatu permukaan zat adalah adsorpsi. Adsorpsi dapat diartikan sebagai suatu proses penggumpalan substansi terlarut yang terdapat dalam larutan oleh permukaan zat dimana terjadi suatu ikatan kimia fisika antara substansi dengan penyerapnya (Adli, 2012). Mekanisme adsorpsi dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Mekanisme adsorpsi pada karbon aktif (Adli, 2012)

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi adsorpsi, yaitu :

a) Sifat serapan

Daya adsorpsi akan bertambah besar sesuai dengan bertambahnya ukuran molekul serapan dari struktur yang sama. Adsorpsi juga dipengaruhi oleh gugus fungsi, posisi gugus fungsi, ikatan rangkap, dan struktur rantai dari senyawa serapan.

b) Temperatur

Faktor yang mempengaruhi temperatur pada proses adsorpsi adalah viskositas dan stabilitas senyawa serapan.

c) Derajat keasaman (pH)

Untuk asam organik, adsorpsi akan meningkat jika pH diturunkan dengan penambahan asam-asam mineral. Sebaliknya, adsorpsi akan berkurang jika pH asam organik dinaikkan dengan penambahan alkali akibat dari terbentuknya garam.

d) Waktu singgung

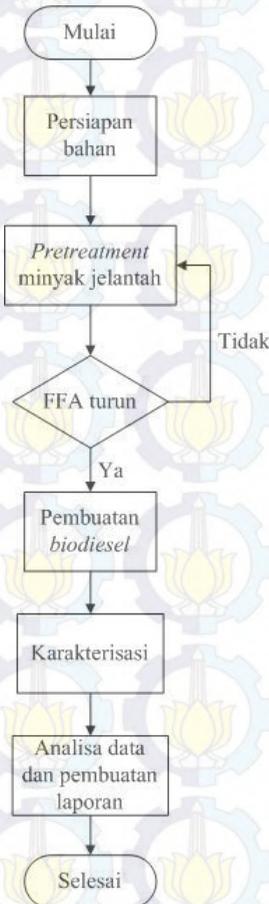
Jika arang aktif dimasukkan dalam suatu cairan, maka dibutuhkan waktu untuk mencapai kesetimbangan. Waktu yang dibutuhkan tersebut berbanding terbalik dengan jumlah arang aktif yang digunakan. Pengadukan juga akan mempengaruhi waktu singgung.



“Halaman ini memang dikosongkan”

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian tugas akhir ini mempunyai tujuan untuk mengetahui pengaruh proses *pretreatment* dengan serbuk kayu terhadap karakteristik *biodiesel* minyak jelantah. Adapun tahapan dari penelitian ini ditunjukkan pada diagram alir berikut.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.1 Alat dan Bahan

Pada penelitian tugas akhir ini, alat dan bahan yang digunakan antara lain,

- *Sieve and Shaker*

Alat ini digunakan pada saat proses pengayakan serbuk kayu, arang serbuk kayu dan arang aktif serbuk kayu untuk memperoleh ukuran *absorbent* yang diinginkan.

- Gelas *beaker* 250 ml dan 500 ml

Kedua gelas tersebut digunakan dalam pengukuran *volume* sampel, pemanasan sampel minyak jelantah, pembuatan larutan *lye*, proses transesterifikasi, pengujian kadar FFA dan pengujian massa jenis *biodiesel*.

- Gelas ukur 10ml

Alat ini digunakan dalam pengukuran *volume* untuk proses titrasi dan juga pengukuran *volume* sampel yang akan diuji.

- Pipet tetes

Alat ini digunakan selama proses penelitian untuk pengambilan sampel.

- Mangkuk keramik

Alat ini digunakan pada proses pengarangan serbuk kayu dan juga pemanasan *absorbent* sebelum proses *pretreatment*.

- *Crucible* 150ml dan 50ml

Alat ini digunakan untuk proses aktivasi secara fisika dan pengujian titik nyala.

- *Mortar*

Alat ini digunakan untuk menghaluskan arang serbuk kayu yang akan diayak.

- Tabung reaksi

Alat ini digunakan untuk proses pengujian titik kabut dan titik tuang.

- Neraca digital

Alat ini digunakan untuk melakukan pengukuran massa pada saat penelitian dengan ketelitian hingga 0,01 gram.

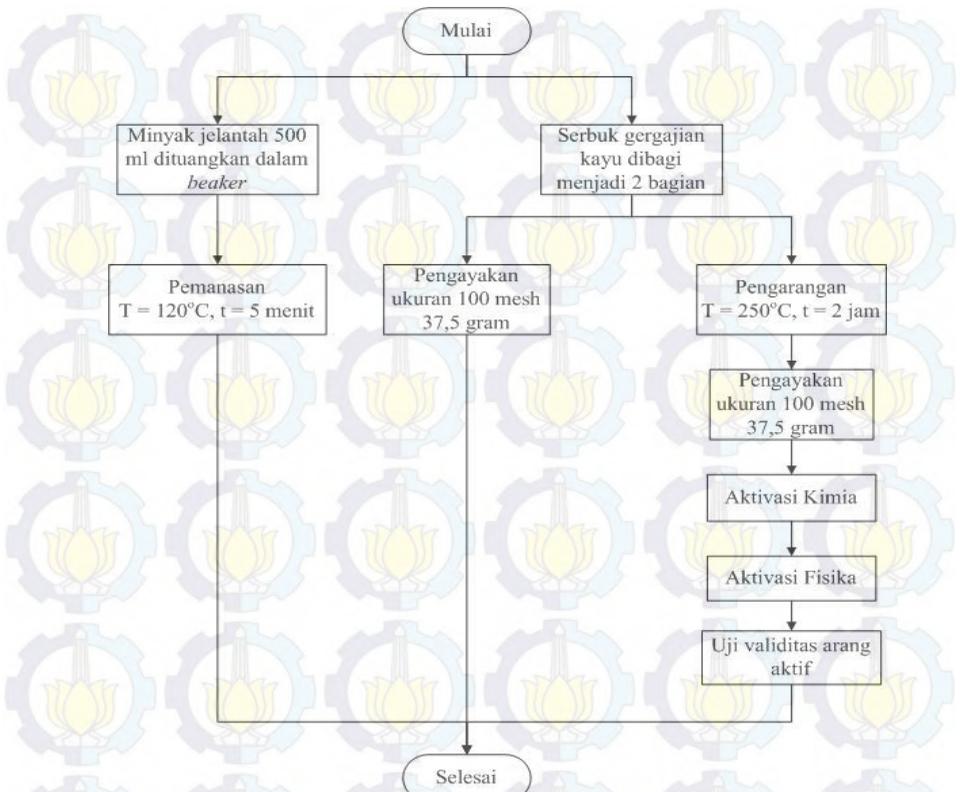
- **Termometer Digital**
Alat ini digunakan dalam proses pengukuran suhu baik selama proses pembuatan sampel maupun selama proses uji dilakukan.
- **Furnace**
Furnace digunakan dalam proses karbonisasi atau pengarangkan dan juga dalam proses aktivasi karbon secara fisika dengan suhu tinggi.
Furnace juga digunakan untuk pemanasan sampel minyak jelantah dan *absorbent* sebelum dilakukan proses *pretreatment*.
- **Hot plate dan magnetic stirrer**
Alat ini berfungsi untuk membantu proses pengadukan dalam mencampur bahan, juga digunakan dalam proses pemanasan dalam proses pembuatan *biodiesel*.
- **Viskometer Koehler E-100**
Alat ini digunakan dalam pengukuran viskositas kinematik *biodiesel* yang berada di Laboratorium Energi LPPM ITS.
- **Serbuk kayu**
Serbuk kayu yang digunakan adalah serbuk kayu sisa gergajian dari kayu jati yang didapatkan dari limbah produksi mebel.
- **Minyak jelantah**
Dalam penelitian ini, minyak jelantah yang digunakan adalah minyak jelantah yang berasal dari sisa penggorengan yang didapatkan dari pedagang gorengan dan tahu. Untuk mendapatkan karakter minyak jelantah yang sama, maka dilakukan pencampuran minyak jelantah terlebih dahulu menjadi satu.
- **Larutan H_3PO_4 dan $CaCl_2$**
Kedua larutan tersebut digunakan sebagai zat pengaktif untuk arang serbuk kayu dengan konsentrasi 5% ; 7,5% ; 10% ; 12,5% ; dan 15% untuk masing-masing zat pengaktif.

- Ethanol
Larutan ini digunakan dalam penghitungan nilai FFA minyak jelantah dengan konsentrasi 95%.
- NaOH 0,05M
Larutan tersebut digunakan untuk menghitung FFA minyak jelantah yang dilakukan dengan metode titrasi.
- Indikator PP (*fenolftalein*)
Larutan ini digunakan dalam penghitungan FFA minyak jelantah dengan memberikan warna *pink* ketika larutan campuran minyak jelantah dan ethanol diberikan tetesan NaOH.
- Methanol
Methanol digunakan untuk campuran dalam membuat larutan *lye* yang akan digunakan dalam pembuatan *biodiesel*.
- KOH
Padatan ini dicampurkan dengan methanol untuk membuat larutan *lye* yang digunakan untuk pembuatan *biodiesel*.
- Es batu
Es batu dibutuhkan untuk proses pengujian titik kabut dan titik tuang *biodiesel*.

3.2 Persiapan Bahan

a. Persiapan *absorbent*

Pada tahap ini, bahan-bahan yang terlebih dahulu disiapkan sebelum dilakukan proses *pretreatment* ditunjukkan dalam diagram alir berikut,



Gambar 3.2 Proses persiapan bahan untuk satu jenis *absorbent*

- Minyak jelantah sebanyak 500 ml yang sebelumnya sudah dicampur menjadi satu dipanaskan pada suhu 120°C selama kurang lebih 5 menit untuk menghilangkan kadar air dalam minyak. Kemudian minyak jelantah tersebut dimasukkan ke dalam botol yang sebelumnya sudah dikeringkan.
- Pengayakan serbuk kayu dengan menggunakan mesin ayakan berukuran 100 mesh atau setara dengan 149 mikrometer untuk memperoleh serbuk kayu sebanyak 37,5 gram untuk satu sampel. Serbuk kayu yang tidak diayak diarangkan di dalam *furnace* dengan suhu 250°C selama 2

jam. Kemudian arang serbuk kayu diayak dengan ukuran 100 mesh sebanyak 37,5 gram sejumlah 11 sampel.

- c. Aktivator H_3PO_4 dan CaCl_2 dengan konsentrasi 5% ; 7,5% ; 10% ; 12,5% ; 15% disiapkan untuk mengaktifkan 10 sampel arang serbuk kayu. *Absorbent* yang dipakai pada masing-masing sampel telah ditunjukkan pada Tabel 3.1.
- d. Aktivasi secara kimia dilakukan dengan cara arang serbuk kayu dengan ukuran 100 mesh sebanyak 37,5 gram ditambahkan dengan larutan zat pengaktif 100 ml, kemudian diaduk dengan *magnetic stirrer* dengan suhu 80°C selama 4 jam. Setelah itu, campuran tersebut didiamkan selama 24 jam dan kemudian ditiriskan untuk selanjutnya diaktivasi secara fisika dengan pemanasan di dalam *furnace* pada suhu 800°C selama 2 jam. Setelah proses aktivasi, arang aktif kemudian diuji validitasnya dengan cara merendam arang aktif dalam air keruh selama 24 jam, jika air keruh dapat menjadi bening kembali, maka arang hasil aktivasi tersebut dinyatakan sudah aktif.

Tabel 3.1 *Absorbent* untuk masing-masing sampel

<i>Pretreatment</i> dengan <i>absorbent</i>		Konsentrasi aktivator (%)	Kode sampel uji	Jumlah sampel
-		-	A0	1
Serbuk kayu		-	A1	1
Arang serbuk kayu		-	A2	1
Arang aktif serbuk kayu	H_3PO_4	5	B1	1
		7,5	B2	1
		10	B3	1
		12,5	B4	1
		15	B5	1
	CaCl_2	5	C1	1
		7,5	C2	1
		10	C3	1
		12,5	C4	1
		15	C5	1
Total sampel				13

b. *Pretreatment* minyak jelantah

Sebelum dilakukan proses *pretreatment*, nilai FFA yang terkandung dalam minyak jelantah terlebih dahulu diukur dengan menggunakan metode titrasi asam basa untuk mengetahui seberapa besar penurunan nilai FFA yang dapat dihasilkan setelah proses *pretreatment* ini. Adapun langkah-langkah untuk melakukan proses *pretreatment* disajikan pada Gambar 3.3 berikut.



Gambar 3.3 Proses *pretreatment* minyak jelantah

Minyak jelantah dipanaskan pada suhu 120°C selama kurang lebih 5 menit untuk menghilangkan kadar air yang terkandung dalam minyak. Sedangkan *absorbent* berupa serbuk kayu, arang serbuk kayu dan arang aktif serbuk kayu dikeringkan dalam oven dengan suhu 105°C selama 2 jam. Kemudian *absorbent* dengan ukuran 100 mesh dan berat 37,5 gram direndam dalam minyak jelantah selama 10 jam. Setelah itu dilakukan penyaringan untuk memisahkan *absorbent* dan minyak jelantah, kemudian minyak

jelantah dikeringkan untuk menghilangkan kadar air dengan pemanasan pada suhu 120°C selama kurang lebih 2 menit. Kemudian dilakukan pengukuran FFA kembali.

Untuk menghitung nilai FFA dalam minyak, minyak jelantah sebanyak 15 gram dicampur dengan 25 ml ethanol 95% dan 3 tetes *phenolphthalein*, kemudian campuran tersebut diaduk dan pada campuran tersebut diteteskan NaOH 0,05 M sedikit demi sedikit hingga mengalami perubahan warna menjadi merah muda yang dalam 30 detik tidak akan hilang. Untuk menentukan kadar FFA yang terkandung dalam minyak jelantah, digunakan persamaan berikut,

$$\%FFA = \frac{ml\ NaOH \times M\ NaOH \times BM}{m\ sampel \times 1000} \times 100\% \quad (3.1)$$

dengan :

ml NaOH : *volume* NaOH yang diteteskan dalam campuran hingga muncul perubahan warna (ml)

M NaOH : molaritas larutan NaOH (0,05 M)

BM : berat molekul (256 gr/mol)

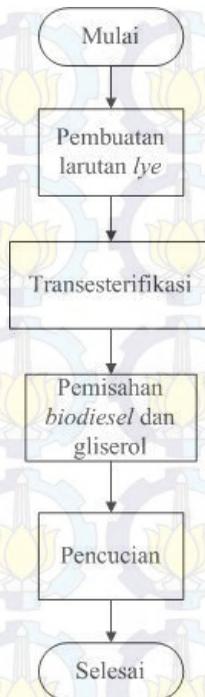
m sampel : massa sampel minyak jelantah (15 gr)

3.3 Pembuatan Biodiesel

Dalam proses pembuatan *biodiesel*, terdapat beberapa tahap yang harus dilakukan, yaitu pembuatan larutan *lye*, transesterifikasi, pemisahan *biodiesel* dengan gliserol dan pencucian. Tahap-tahap dalam proses pembuatan *biodiesel* ditunjukkan pada Gambar 3.4.

i. Pembuatan larutan *lye*

Larutan *lye* dibuat dengan cara mencampur methanol dengan KOH. Jumlah yang dicampurkan sebanyak 15 gram KOH dengan 625 ml methanol sambil diaduk dengan *magnetic stirrer* hingga semua KOH larut larut dalam larutan.



Gambar 3.4 Proses pembuatan *biodiesel*

ii. Transesterifikasi

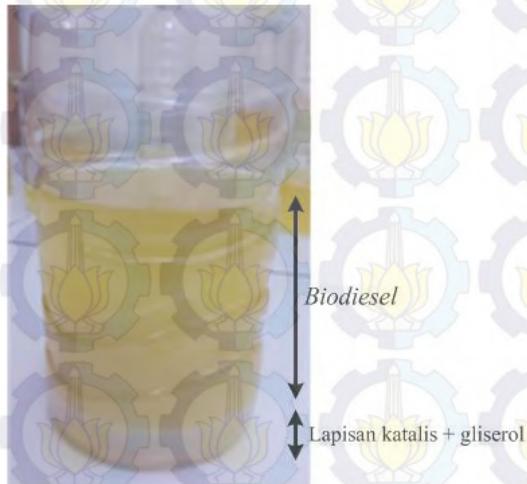
Transesterifikasi adalah tahap pengolahan minyak jelantah menjadi biodiesel. Adapun tahapan dalam proses ini adalah :

- a. Minyak jelantah dicampur dengan larutan *lye* sebanyak 100 ml. Larutan *lye* ditambahkan sedikit demi sedikit ke dalam minyak jelantah dan diaduk dengan *magnetic stirrer* pada suhu 55°C selama 1 jam.
- b. Setelah 1 jam proses pengadukan, campuran kemudian dibiarkan selama 8 jam agar terbentuk dua lapisan hasil dari proses transesterifikasi. Kedua lapisan tersebut merupakan *biodiesel* yang diinginkan dan berada di lapisan atas berwarna coklat terang, pada lapisan bawah merupakan gliserol sebagai produk sampingan dengan warna yang lebih gelap.

iii. Pemisahan *biodiesel* dengan gliserol dan pencucian

Setelah kedua lapisan antara *biodiesel* dan gliserol terbentuk, maka keduanya harus dipisahkan untuk mendapatkan *biodiesel* sebagai produk utama dengan cara penyaringan menggunakan kertas saring. Proses pemisahan *biodiesel* dengan gliserol dapat dilihat pada Gambar 3.6. Setelah kedua lapisan tersebut dipisahkan dan *biodiesel* telah didapatkan, maka proses selanjutnya adalah pencucian *biodiesel* dengan tujuan untuk membersihkan sisa-sisa katalis yang terkandung dalam *biodiesel* atau gliserol yang lolos dalam penyaringan sebelumnya.

Proses pencucian dilakukan dengan menambahkan air ke dalam *biodiesel* dan kemudian diaduk, air berfungsi sebagai pengikat sisa-sisa katalis dan gliserol yang terkandung dalam *biodiesel*. Setelah diaduk, kemudian campuran dibiarkan selama 4 jam untuk memisahkan lapisan air dengan *biodiesel* (terdapat lapisan gumpalan berwarna putih susu di bagian bawah (Gambar 3.5)). Setelah 4 jam, lapisan tersebut kembali dipisahkan dengan cara penyaringan untuk mendapatkan *biodiesel* murni. Selanjutnya, *biodiesel* dipanaskan pada suhu 120°C selama 5 menit untuk menguapkan air yang terkandung dalam *biodiesel*.



Gambar 3.5 Hasil pengendapan untuk pencucian *biodiesel*

3.4 Karakterisasi *Biodiesel*

Karakterisasi *biodiesel* dilakukan untuk mengetahui apakah *biodiesel* tersebut sudah memenuhi standar yang ada atau belum. Dalam penelitian ini, karakterisasi yang dilakukan adalah uji titik nyala, titik kabut, titik tuang, massa jenis dan viskositas.

a. Uji titik nyala

Pengujian titik nyala pada penelitian ini mengacu pada standar ASTM D 93-80 dengan cara mengamati suhu terendah yang dimiliki *biodiesel* untuk dapat menyala ketika disulut api. Sampel *biodiesel* sebanyak 5 ml disiapkan pada cawan pembakaran, kemudian dipanaskan hingga suhu tertentu sambil diamati suhunya. Setelah suhu *biodiesel* mencapai suhu 100°C, sampel kemudian disulut api hingga sampel mampu terbakar dalam suhu tertentu. Pada suhu sampel dapat terbakar itulah yang kemudian dicatat sebagai titik nyala.

b. Uji titik kabut dan titik tuang

Pengujian titik kabut dan titik tuang mengacu pada standar SNI 7182:2012 yang dilakukan dengan cara sampel *biodiesel* sebanyak 5 ml didinginkan di dalam air es sambil diamati suhu dan perubahan pada penampilan sampel *biodiesel*. Ketika sampel sudah menunjukkan warna keruh seperti kabut, maka suhu pada saat sampel menjadi keruh itulah yang tercatat sebagai titik kabut. Sedangkan pada saat suhu *biodiesel* diturunkan dengan cara merendamnya pada air es lebih lama hingga terbentuk kristal parafin pada bagian bawah *biodiesel*, maka suhu pada keadaan yang menunjukkan terbentuknya kristal parafin itulah yang tercatat sebagai titik tuang *biodiesel*.

c. Uji massa jenis (densitas)

Pengujian massa jenis dalam penelitian ini mengacu pada standar ASTM D 1298 dengan cara sampel *biodiesel* sebanyak 10 ml diukur massanya, kemudian sampel

dipanaskan pada suhu 40°C dan kemudian dicatat perubahan *volume* yang terjadi. Nilai dari massa jenis didapatkan dari perbandingan massa dengan *volume* yang tercatat dan memiliki satuan kg/m³.

d. Uji viskositas

Pada pengujian viskositas dalam penelitian ini mengacu pada standar ASTM D 445-97 dengan pengukuran yang dilakukan di Laboratorium Energi LPPM ITS dengan menggunakan alat yang bernama *kinematic viscosity bath* yang ditunjukkan pada Gambar 3.6. Data yang diperoleh saat pengukuran berupa waktu selama fluida mengalir dalam pipa dari batas pertama sampai batas kedua pipa.



Gambar 3.6 *Kinematic viscosity bath* Koehler E-100

Setelah didapatkan hasil pengukuran berupa waktu, viskositas kinematik dihitung melalui persamaan (3.2) berikut,

$$cSt = C \cdot t \quad (3.2)$$

dengan :

cSt : viskositas kinematik

C : konstanta viskometer (0,00874 mm²/s² atau cSt/s)

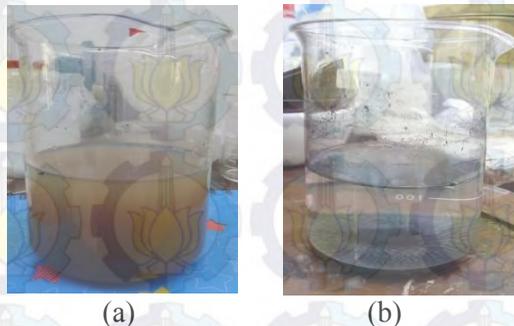
t : waktu alir (s)

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Sampel *biodiesel* yang telah dibuat dan diuji kemudian hasil dan pembahasannya dijelaskan pada bab ini.

4.1 Validitas Arang Aktif

Telah didapatkan arang aktif serbuk kayu yang diaktivasi dengan larutan H_3PO_4 dan $CaCl_2$ dengan masing-masing konsentrasinya divariasikan menjadi 5%; 7,5%; 10%; 12,5% dan 15%. Untuk mengetahui apakah arang serbuk kayu yang telah diaktivasi secara kimia dan fisika tersebut sudah aktif atau belum, arang aktif diujicobakan pada air keruh untuk melihat bagaimana kemampuan arang aktif tersebut dalam menjernihkan air. Gambar 4.1 menunjukkan bahwa arang serbuk kayu yang diaktivasi telah teruji mampu menjernihkan air yang keruh saat didiamkan selama 24 jam.



Gambar 4.1 Hasil uji coba (a) air keruh, (b) dengan arang aktif serbuk kayu selama 24 jam

Selain itu, arang aktif yang digunakan memiliki sifat absorpsi sekaligus adsorpsi. Sifat absorpsi terlihat dari kondisi setelah arang aktif digunakan dalam proses *pretreatment*, yakni terjadi pengurangan volume sebesar 0,81% (95ml dari 500ml) dan bertambah beratnya arang aktif sebesar 297% (111,35 gram dari

37,5 gram). Adapun sifat adsorpsi ditunjukkan oleh pengurangan nilai FFA yang mencapai 54,1% yang berarti bahwa arang aktif juga menyerap zat-zat tertentu seperti kadar FFA dalam minyak jelantah.

4.2 Pengukuran Kadar FFA

Dengan menggunakan metode titrasi dan persamaan (3.1) untuk menghitung kadar FFA yang terkandung dalam minyak jelantah, diperoleh nilai kadar FFA yang disajikan pada Tabel 4.1. Berdasarkan tabel tersebut, dapat diketahui bahwa *pretreatment* dengan menggunakan arang aktif dengan aktivator CaCl_2 sebagai *absorbent* dapat lebih efektif menurunkan kadar FFA dalam minyak jelantah.

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Kadar FFA Minyak Jelantah

<i>Pretreatment</i> dengan <i>absorbent</i>		Konsentrasi aktivator (%)	Volume NaOH (ml)	FFA (%)
-		-	7,4	0,63
Serbuk kayu		-	4,0	0,34
Arang serbuk kayu		-	4,4	0,38
Arang aktif serbuk kayu	H_3PO_4	5	5,4	0,46
		7,5	5,6	0,48
		10	5,6	0,48
		12,5	5,8	0,49
		15	5,8	0,49
	CaCl_2	5	3,8	0,32
		7,5	3,8	0,32
		10	3,4	0,29
		12,5	4,2	0,36
		15	5,0	0,43

4.3 Hasil Karakterisasi *Biodiesel* Minyak Jelantah

Dalam penelitian ini, karakteristik *biodiesel* yang dibahas adalah massa jenis, viskositas, titik nyala, titik kabut, dan titik tuang.

4.3.1 Massa jenis

Hasil uji massa jenis untuk masing-masing *biodiesel* telah disajikan pada Tabel 4.2. Hasil tersebut menunjukkan bahwa massa jenis yang diperoleh berada diantara 828-856,84 kg/m³ sementara standar yang telah ditetapkan oleh SNI berada pada range 850-890 kg/m³. Hal ini berarti hanya terdapat 5 sampel *biodiesel* yang memenuhi standar SNI untuk massa jenis, yaitu sampel *biodiesel* dengan menggunakan arang aktif serbuk kayu sebagai *absorbent* yang diaktivasi dengan H₃PO₄ 15%, CaCl₂ 10%, CaCl₂ 12,5% dan CaCl₂ 15%.

Tabel 4.2 Hasil Uji Massa Jenis Sampel *Biodiesel*

<i>Pretreatment</i> dengan <i>absorbent</i>		Konsentrasi aktivator (%)	Massa (gr)	<i>Volume</i> (40°C)	Massa Jenis (kg/m ³)
-		-	8,28	10	828,00
Serbuk kayu		-	8,26	9,8	842,86
Arang serbuk kayu		-	8,20	9,8	836,73
Arang aktif serbuk kayu	H ₃ PO ₄	5	8,06	9,5	848,89
		7,5	8,23	9,8	839,80
		10	8,19	9,7	844,33
		12,5	8,19	9,7	844,33
		15	8,09	9,5	851,58
	CaCl ₂	5	8,23	9,8	839,80
		7,5	8,02	9,6	835,42
		10	8,18	9,6	852,08
		12,5	8,13	9,5	855,79
		15	8,14	9,5	856,84

4.3.2 Viskositas

Nilai dari uji viskositas ditunjukkan pada Tabel 4.3. Berdasarkan tabel tersebut, nilai viskositas *biodiesel* cenderung acak dan terdapat beberapa sampel yang tidak memenuhi standar SNI yang berlaku yaitu antara 2,3-6,0 cSt. Sampel uji yang tidak memenuhi standar SNI yang berlaku adalah sampel dengan *absorbent* arang aktif serbuk kayu dengan aktivator CaCl_2 10% dan CaCl_2 15%.

Tabel 4.3 Hasil Uji Viskositas Sampel *Biodiesel*

<i>Pretreatment</i> dengan <i>absorbent</i>		Konsentrasi aktivator (%)	Viskositas (cSt)
-		-	5,75
Serbuk kayu		-	5,94
Arang serbuk kayu		-	5,18
Arang aktif serbuk kayu	H_3PO_4	5	5,93
		7,5	5,77
		10	5,86
		12,5	5,77
		15	5,89
	CaCl_2	5	5,82
		7,5	5,54
		10	6,71
		12,5	5,91
		15	6,91

4.3.3 Titik nyala

Titik nyala dari sampel *biodiesel* yang telah diuji dapat dilihat pada Tabel 4.4. Hasil tersebut menunjukkan bahwa titik nyala yang dimiliki semua sampel berkisar antara 179,5-189,3°C. Semua nilai yang didapatkan tersebut telah memenuhi standar SNI yang ditetapkan untuk *biodiesel* yaitu minimal 100°C.

Tabel 4.4 Hasil Uji Titik Nyala Sampel *Biodiesel*

<i>Pretreatment dengan absorbent</i>		Konsentrasi aktivator (%)	Titik nyala (°C)
-		-	184,6
Serbuk kayu		-	189,3
Arang serbuk kayu		-	183,0
Arang aktif serbuk kayu	H ₃ PO ₄	5	181,5
		7,5	181,9
		10	182,4
		12,5	184,2
		15	183,0
	CaCl ₂	5	179,5
		7,5	182,8
		10	183,9
		12,5	184,0
		15	187,2

4.3.4 Titik kabut dan titik tuang

Hasil pengujian titik kabut dan titik tuang dijabarkan dalam Tabel 4.5. Berdasarkan hasil tersebut, diketahui bahwa titik kabut yang dimiliki semua sampel berada dalam rentang 10,2-13,7°C. Sedangkan nilai titik tuang pada keseluruhan sampel berada di dalam daerah standar SNI yang berlaku (maksimal 18°C) yaitu dengan *range* nilai 8,6-10,7°C.

Tabel 4.5 Hasil Uji Titik Kabut dan Titik Tuang Sampel *Biodiesel*

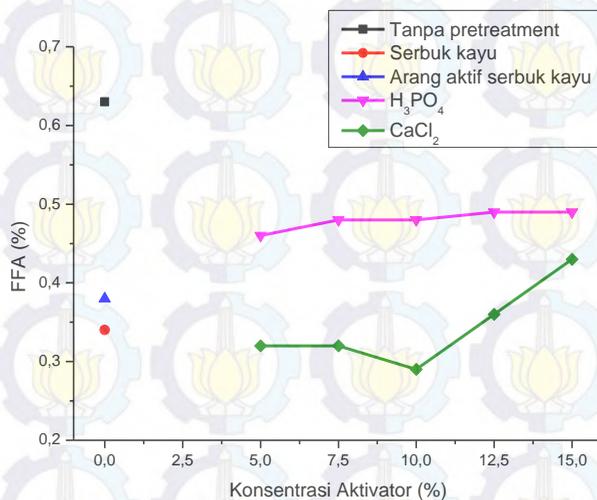
<i>Pretreatment</i> dengan <i>absorbent</i>		Konsentrasi aktivator (%)	Titik kabut (°C)	Titik tuang (°C)
-		-	11,0	8,9
Serbuk kayu		-	13,7	10,7
Arang serbuk kayu		-	11,8	10,6
Arang aktif serbuk kayu	H ₃ PO ₄	5	11,6	9,9
		7,5	11,8	10,6
		10	12,0	10,2
		12,5	11,2	9,5
		15	11,1	9,5
	CaCl ₂	5	10,7	9,0
		7,5	10,5	9,2
		10	10,2	8,8
		12,5	10,8	8,6
		15	10,7	8,6

4.4 Pembahasan

Setelah didapatkan hasil yang telah ditunjukkan pada sub bab sebelumnya. Dilakukan pembahasan pada masing-masing hasil yang telah didapatkan.

4.4.1 Pengaruh konsentrasi aktivator terhadap kadar FFA

Berdasarkan Gambar 4.1 dapat diketahui bahwa telah terjadi penurunan kadar FFA pada minyak jelantah setelah dilakukan *pretreatment* dengan menggunakan serbuk kayu sebagai *absorbent*. Hal ini berarti serbuk kayu dapat digunakan sebagai *absorbent* pada proses *pretreatment* dengan tujuan untuk mengurangi kadar FFA yang terkandung dalam minyak jelantah.

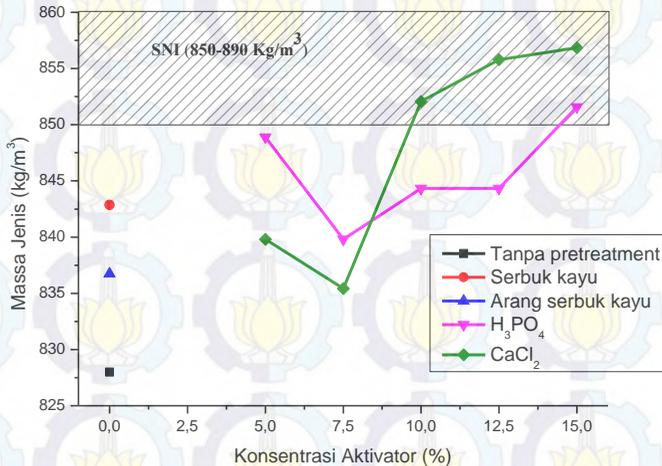


Gambar 4.2 Pengaruh konsentrasi aktivator terhadap kadar FFA

Pada Gambar 4.2 dapat diketahui bahwa sampel dengan *absorbent* arang serbuk kayu aktif dengan aktivator CaCl₂ 10% dapat secara efektif menurunkan kadar FFA sampai 54,1%. Hal ini dapat disebabkan oleh jenis kayu yang digunakan sebagai *absorbent* dengan aktivator CaCl₂ berkonsentrasi 10% mempunyai komposisi yang optimal dalam proses aktivasi dibandingkan dengan sampel yang lain dalam minyak jelantah sehingga lebih efektif dalam penyerapan kadar FFA. Selain itu, semakin besar konsentrasi aktivator yang diberikan maka nilai kandungan FFA juga cenderung semakin besar, akan tetapi antara aktivator H₃PO₄ dan CaCl₂ mempunyai nilai kenaikan yang berbeda dimana kenaikan yang dialami H₃PO₄ cenderung tidak signifikan dibandingkan dengan kenaikan yang dimiliki CaCl₂.

4.4.2 Pengaruh konsentrasi aktivator terhadap massa jenis *biodiesel*

Untuk mengetahui pengaruh konsentrasi aktivator terhadap massa jenis *biodiesel*, Tabel 4.2 diplot ke dalam kurva konsentrasi aktivator dan massa jenis (Gambar 4.3).

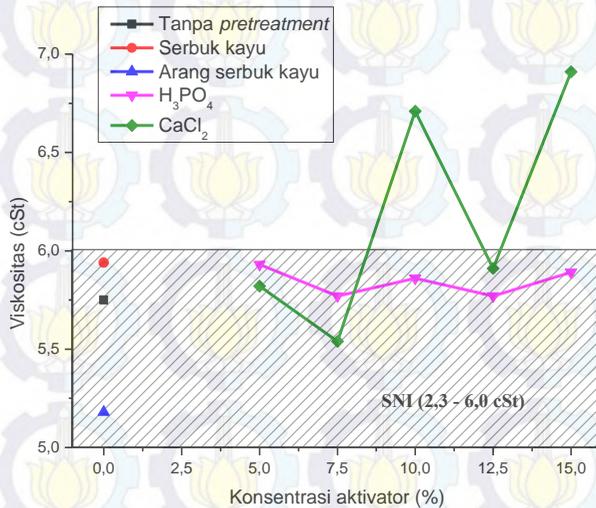


Gambar 4.3 Pengaruh konsentrasi aktivator terhadap massa jenis *biodiesel*

Gambar 4.3 menunjukkan *biodiesel* dengan *absorbent* arang aktif serbuk kayu dengan H₃PO₄ 15% dan CaCl₂ dengan konsentrasi 10%; 12,5% dan 15% sebagai aktivator telah memenuhi standar SNI untuk massa jenis dibanding *absorbent* lainnya. Dimana gambar tersebut menunjukkan suatu tren bahwa semakin besar aktivator maka nilai massa jenis juga cenderung semakin besar dan semakin memenuhi standar SNI yang berlaku. Akan tetapi pada *absorbent* arang aktif serbuk kayu dengan aktivator H₃PO₄ 5% dan CaCl₂ 7,5% mempunyai nilai yang aneh.

4.4.3 Pengaruh konsentrasi aktivator terhadap viskositas *biodiesel*

Hasil uji viskositas yang telah ditunjukkan pada Tabel 4.3 kemudian diplot ke dalam kurva yang menunjukkan pengaruh konsentrasi aktivator terhadap viskositas *biodiesel* pada Gambar 4.4



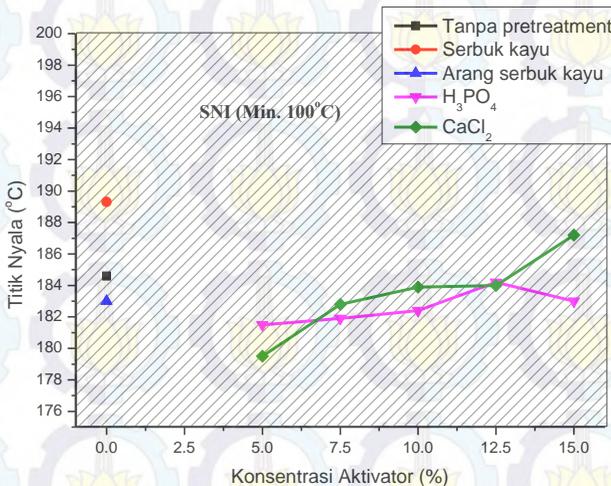
Gambar 4.4 Pengaruh konsentrasi aktivator terhadap viskositas *biodiesel*

Berdasarkan Gambar 4.4, sampel dengan *absorbent* arang aktif serbuk kayu menggunakan H₃PO₄ sebagai aktivator semuanya memenuhi standar SNI yang berlaku dibandingkan dengan *absorbent* arang aktif serbuk kayu menggunakan CaCl₂ sebagai aktivator. Pada H₃PO₄, hasil yang didapatkan cenderung datar atau tidak terdapat tren naik atau turun, hal ini berarti konsentrasi H₃PO₄ tidak terlalu berpengaruh pada nilai viskositas *biodiesel*. Sementara pada CaCl₂ tren yang didapatkan adalah semakin tinggi konsentrasi aktivator maka nilai viskositas cenderung meningkat. Berdasarkan gambar tersebut, konsentrasi CaCl₂ mempunyai pengaruh yang lebih besar dibandingkan

dengan H_3PO_4 yang cenderung mempunyai nilai tidak berbeda jauh antara konsentrasi satu dengan lainnya. Selain itu, kenaikan nilai viskositas yang dimiliki $CaCl_2$ menunjukkan hubungan yang sama dengan nilai FFA $CaCl_2$ yang juga konsentrasinya mempunyai pengaruh lebih besar dibanding H_3PO_4 .

4.4.4 Pengaruh konsentrasi aktivator terhadap titik nyala *biodiesel*

Titik nyala diperoleh dengan cara menyulut permukaan sampel *biodiesel* dengan api sampai permukaan tersebut dapat tersulut, suhu dimana permukaan sampel *biodiesel* mampu tersulut merupakan suhu titik nyala dari sampel. Pengaruh konsentrasi aktivator terhadap titik nyala *biodiesel* dapat dilihat pada Gambar 4.5.



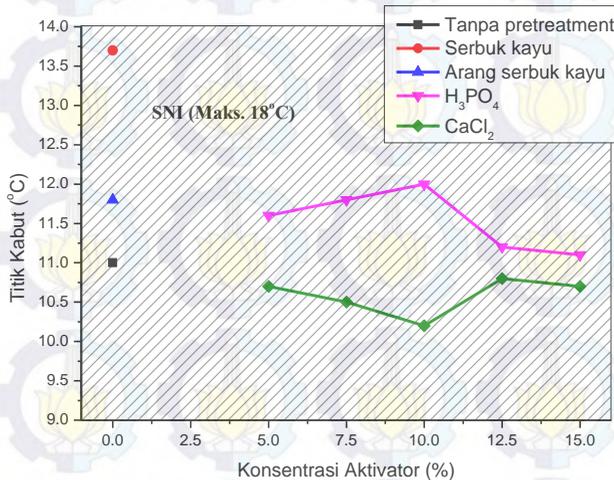
Gambar 4.5 Pengaruh konsentrasi aktivator terhadap titik nyala *biodiesel*

Pada pengujian titik nyala, semakin tinggi titik nyala yang didapatkan dari suatu *biodiesel* akan membuat kualitas suatu *biodiesel* semakin bagus. Pada Gambar 4.5, titik nyala yang

dimiliki oleh *absorbent* arang aktif serbuk kayu dengan CaCl_2 sebagai aktivator mempunyai nilai titik nyala yang lebih tinggi dibanding *absorbent* arang aktif serbuk kayu menggunakan H_3PO_4 sebagai aktivator. Hal tersebut berarti *absorbent* arang aktif serbuk kayu dengan aktivator CaCl_2 lebih efektif dalam meningkatkan kualitas *biodiesel* dalam hal titik nyala.

4.4.5 Pengaruh konsentrasi aktivator terhadap titik kabut dan titik tuang *biodiesel*

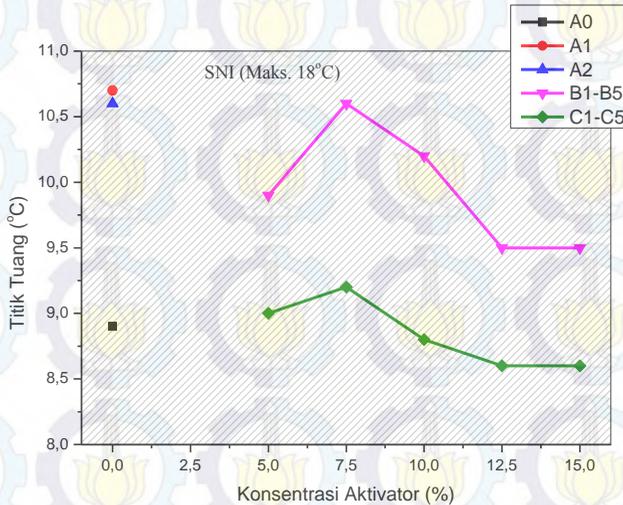
Secara berturut-turut, Gambar 4.6 dan Gambar 4.7 menunjukkan tentang pengaruh konsentrasi aktivator terhadap titik kabut dan titik tuang sampel *biodiesel*.



Gambar 4.6 Pengaruh konsentrasi aktivator terhadap titik kabut *biodiesel*

Gambar 4.6 menyatakan sampel dengan *absorbent* arang aktif serbuk kayu menggunakan CaCl_2 sebagai aktivator mempunyai suhu munculnya titik kabut yang lebih rendah dibandingkan dengan *absorbent* arang aktif serbuk kayu yang diaktivasi dengan H_3PO_4 . Hal ini disebabkan karena nilai kadar

FFA yang dimiliki oleh *absorbent* arang aktif serbuk kayu dengan aktivator CaCl_2 lebih rendah dibandingkan dengan kadar FFA yang dimiliki *absorbent* arang aktif serbuk kayu menggunakan H_3PO_4 sebagai aktivator sehingga kabut yang terbentuk pada *biodiesel* dengan *absorbent* arang aktif serbuk kayu dengan aktivator CaCl_2 mempunyai nilai yang lebih rendah.



Gambar 4.7 Pengaruh konsentrasi aktivator terhadap titik tuang *biodiesel*

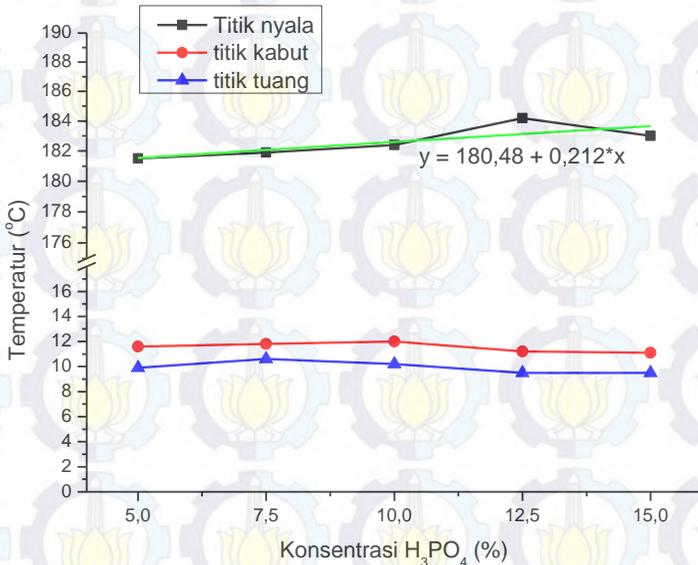
Berdasarkan Gambar 4.7, sama halnya dengan titik kabut, sampel dengan *absorbent* arang aktif serbuk kayu dengan CaCl_2 sebagai aktivator mempunyai nilai munculnya kristal parafin yang lebih rendah dibandingkan dengan *absorbent* arang aktif serbuk kayu dengan H_3PO_4 sebagai aktivator. Hal ini juga dikarenakan nilai kadar FFA yang dimiliki oleh *absorbent* arang aktif serbuk kayu dengan aktivator CaCl_2 lebih rendah dibandingkan dengan kadar FFA yang dimiliki *absorbent* arang aktif serbuk kayu dengan aktivator H_3PO_4 sehingga kristal parafin terbentuk pada suhu yang lebih rendah.

4.5 Interpretasi Hasil

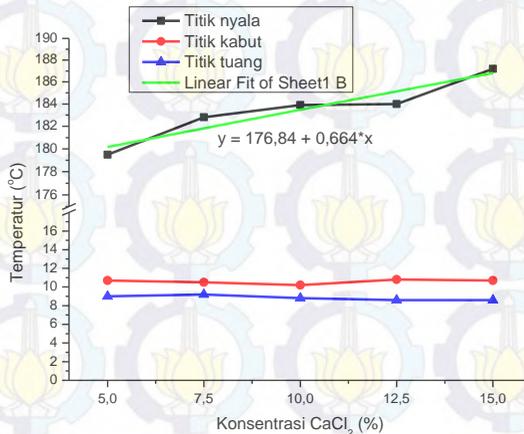
Setelah didapatkan keseluruhan nilai pada masing-masing karakterisasi yang dilakukan, pengujian viskositas dan massa jenis menunjukkan hanya beberapa sampel saja yang memenuhi standar SNI yang berlaku, sedangkan untuk titik nyala, titik kabut dan titik tuang seluruh sampel telah memenuhi standar SNI. Untuk massa jenis, sampel yang memenuhi standar SNI yang berlaku adalah sampel dengan *absorbent* arang aktif serbuk kayu yang diaktivasi dengan H_3PO_4 15% dan $CaCl_2$ 10%, 12,5% dan 15%. Sementara untuk viskositas, sampel yang tidak memenuhi standar adalah sampel dengan *absorbent* arang aktif serbuk kayu yang diaktivasi dengan $CaCl_2$ 10% dan 15%. Dari semua karakterisasi yang dilakukan, terdapat dua sampel yang memenuhi semua standar SNI yang berlaku pada tiap karakteristik yang diamati yaitu sampel dengan *absorbent* arang aktif serbuk kayu yang diaktivasi dengan H_3PO_4 15% dan $CaCl_2$ 12,5%.

Berdasarkan proses *pretreatment* yang telah dilakukan menggunakan arang aktif serbuk kayu yang diaktivasi oleh H_3PO_4 dan $CaCl_2$ dengan konsentrasi yang divariasikan didapatkan karakteristik dari *biodiesel* minyak jelantah yang berbeda. Gambar 4.8 dan Gambar 4.9 menunjukkan tiga jenis karakteristik dari *biodiesel* yaitu titik nyala, titik kabut dan titik tuang. Gambar 4.8 menunjukkan semakin besar konsentrasi H_3PO_4 untuk proses aktivasi, maka titik nyala cenderung semakin besar, sedangkan titik kabut dan titik tuang cenderung semakin kecil. Sementara Gambar 4.9 menunjukkan pengaruh konsentrasi $CaCl_2$ terhadap titik nyala, titik kabut dan titik tuang. Berdasarkan Gambar 4.9 dapat diketahui bahwa semakin besar konsentrasi $CaCl_2$, maka titik nyala dan titik kabut cenderung semakin besar, sedangkan titik tuang cenderung semakin kecil. Berdasarkan kedua gambar tersebut, nilai kemiringan ($y = 180,48 + 0,212*x$) yang dimiliki oleh titik nyala sampel dengan *absorbent* arang aktif yang diaktivasi dengan H_3PO_4 lebih rendah dibandingkan dengan kemiringan ($y = 176,84 + 0,664*x$) titik nyala sampel dengan *absorbent* arang aktif yang diaktivasi dengan $CaCl_2$. Hal ini dapat dihubungkan dengan kadar FFA dari sampel dengan *absorbent*

arang aktif yang diaktivasi dengan CaCl_2 yang mempunyai nilai kemiringan lebih besar dibandingkan dengan H_3PO_4 .

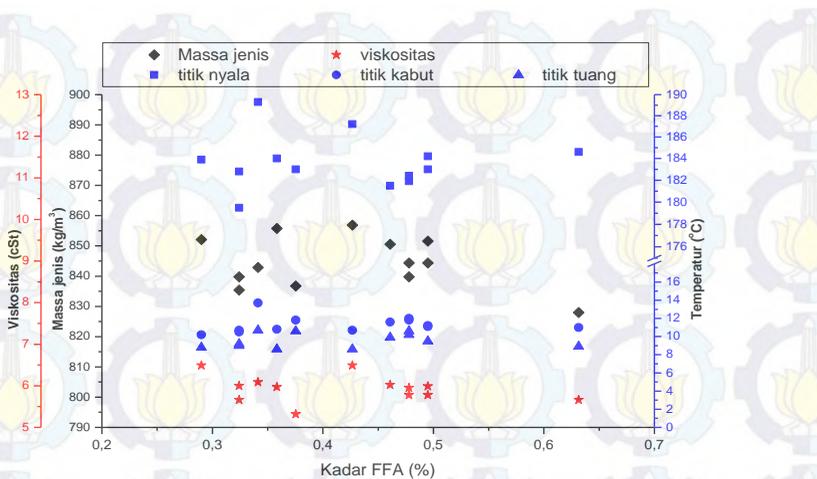


Gambar 4.8 Pengaruh konsentrasi H_3PO_4 terhadap titik nyala, titik kabut dan titik tuang *biodiesel*

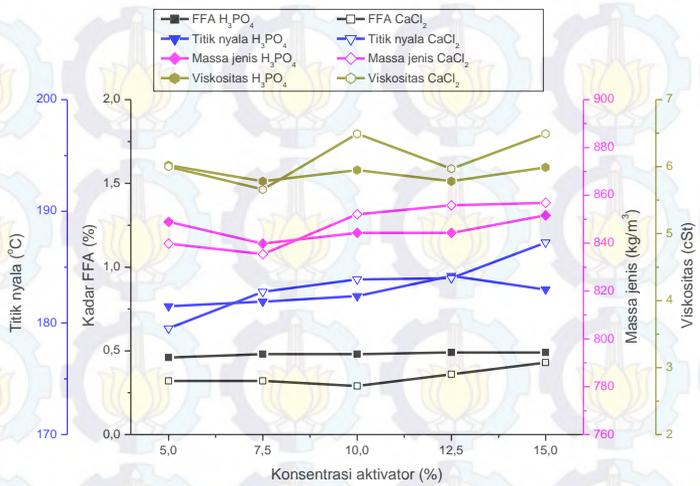


Gambar 4.9 Pengaruh konsentrasi CaCl_2 terhadap titik nyala, titik kabut dan titik tuang *biodiesel*

Selain itu, diplot juga pengaruh kadar FFA terhadap karakteristik *biodiesel*, dan pengaruh konsentrasi aktivator terhadap kadar FFA, massa jenis, viskositas dan titik nyala yang terdapat dalam penelitian ini. Gambar 4.10 menunjukkan pengaruh FFA terhadap massa jenis, viskositas, titik nyala, titik kabut dan titik tuang *biodiesel* dimana tidak terdapat pengaruh dari FFA terhadap keseluruhan karakteristik karena hasil yang diperoleh cenderung acak dan tidak menunjukkan kenaikan atau penurunan. Berdasarkan Gambar 4.11, nilai konsentrasi aktivator berpengaruh pada kadar FFA, terutama pada aktivator CaCl_2 dimana kadar FFA mempunyai pengaruh secara umum terhadap tren yang ditunjukkan oleh nilai dari masing-masing karakteristik *biodiesel* antara aktivator CaCl_2 dan H_3PO_4 . Gambar 4.11 juga menunjukkan semakin besar konsentrasi H_3PO_4 maka kadar FFA dan massa jenis cenderung semakin besar, sedangkan untuk viskositas cenderung datar. Sementara dengan aktivator CaCl_2 semakin besar konsentrasi CaCl_2 maka kadar FFA, massa jenis dan viskositas cenderung semakin naik, meskipun pada viskositas kenaikan yang dihasilkan tidak terlalu signifikan.



Gambar 4.10 Hubungan kadar FFA dengan karakteristik biodiesel



Gambar 4.11 Hubungan konsentrasi aktivator dengan kadar FFA, massa jenis, viskositas dan titik nyala biodiesel

BAB V KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian dan pembahasan yang sudah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- FFA tidak berpengaruh terhadap karakteristik *biodiesel* minyak jelantah.
- Penggunaan aktivator CaCl_2 pada arang aktif sebagai *absorbent* pada proses *pretreatment* lebih efektif meningkatkan kualitas *biodiesel* minyak jelantah dibandingkan dengan H_3PO_4 .
- Untuk kedua aktivator baik CaCl_2 dan H_3PO_4 nilai titik nyala, titik kabut dan titik tuang *biodiesel* telah memenuhi standar SNI yang berlaku yaitu titik nyala lebih dari 179°C , titik kabut kurang dari 14°C dan titik tuang kurang dari 11°C . Sedangkan untuk massa jenis dan viskositas *biodiesel* tidak semua memenuhi standar SNI yang ditentukan.
- Semakin besar konsentrasi H_3PO_4 maka nilai kadar FFA, massa jenis dan titik nyala cenderung semakin besar, tetapi nilai titik kabut dan titik tuangnya semakin kecil. Semakin besar konsentrasi CaCl_2 maka nilai FFA, massa jenis, titik nyala dan titik kabut cenderung semakin besar, sementara nilai titik tuang semakin kecil.
- Sampel *biodiesel* dengan *absorbent* arang aktif serbuk kayu yang diaktivasi dengan H_3PO_4 15% dan CaCl_2 12,5% merupakan sampel terbaik karena memenuhi standar SNI yang berlaku pada keseluruhan karakteristik yang dibahas.



“Halaman ini memang dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Adli, H. 2012. “**Pengolahan Limbah Cair Laboratorium dengan Metode Presipitasi dan Adsorpsi Untuk Penurunan Kadar Logam Berat**”. Universitas Indonesia : Program Studi Kimia FMIPA
- Ahsana, D. “**Keanekaragaman Varietas dan Hubungan Kekerabatan Pada Tanaman Jati (*Tectona Grandis Linn.*) Melalui Pendekatan Morfologi Di Kebun Bibit Permanen Kecamatan Kedungpring, Lamongan**”. Departemen Biologi. Surabaya : Universitas Airlangga
- Akbar, R. “**Karakteristik Biodiesel Dari Minyak Jelantah Dengan Menggunakan Metil Asetat Sebagai Pensuplai Gugus Metil**”. Teknik Sistem Perkapalan. Surabaya : ITS
- Arifin, S.F. 2009. “**Production of Biodiesel From Waste Cooking Oil And RBD Palm Oil Using Batch Transesterification Process**”. Faculty of Chemical & Natural Resources Engineering. Pahang : University Malaysia
- Bangun, D. “**2020, Kebutuhan Minyak Nabati Dunia Bergantung Kepada CPO Indonesia**”. <sawitindonesia.com/kinerja/2020-kebutuhan-minyak-nabati-dunia-bergantung-kepada-cpo-indonesia>
- Chodijah, S. 2011. “**Pemanfaatan Arang Batok Kelapa Dan Batubara Sebagai Karbon Aktif Untuk Material Penyimpan Hidrogen**”. Program Studi Metalurgi dan Material. Depok : Universitas Indonesia
- Dvorak, B.I. 2013. “**Drinking Water Treatment : Activated Carbon Filtration**”. Lincoln Extension : University of Nebraska

Fariyah, T. 2013. **“Pengaruh Ukuran Arang Aktif Ampas Tebu Sebagai Biomaterial Pretreatment Terhadap Karakteristik Biodiesel Minyak Jelantah”**. Surabaya : Jurnal Teknik POMITS Vol.2 No.2

Haryono, dkk. 2010. **“Pengolahan Minyak Goreng Kelapa Sawit Bekas Menjadi Biodiesel Studi Kasus : Minyak Goreng Bekas Dari KFC Dago Bandung”**. Jurusan Teknik Kimia. Bandung : Institut Teknologi Nasional

Koleangan, H.S.J. 2011. **“Kajian Stabilitas Termal Dan Karakter Kovalen Zat Pengaktif Pada Arang Aktif Limbah Gergajian Kayu Meranti (*Shorea spp*)”**. Manado : Jurnal Ilmiah Sains Vol.11 No.2

Kristianing, Y.M. 2007. **“Analisis Struktur Polikristal Grafit Dengan Metode Difraksi Elektron Menggunakan Tabung Difraksi Teltron 2555”**. Jurusan Fisika FMIPA. Surakarta : Universitas Sebelas Maret

K. McDonnell, et.al. 1999. **“Properties of Rapeseed Oil For Use As a Diesel Fuel Extender”**. JAOCS Vol.76

Musanif, J. **“Biodiesel”**. Subdit Pengelolaan Lingkungan

N. Smith, et.al. 2015. **“Surfactants with Colloids : Adsorption or Absorption?”**. JCIS 449 : 205-214

Nada, E.M. Elsolh. 2011. **“The Manufacture of Biodiesel From The Used Vegetable Oil”**. Kassel and Cairo Universities

Pasaribu, G. **“Peningkatan Mutu Kayu Jati (*Tectona Grandis*) Hasil Penjarangan Asal Kabupaten Cianjur”**. Fakultas Kehutanan. Bogor : Universitas Tanjungpura

Permen ESDM. 2013. **Perubahan Atas Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 32 Tahun 2008 Tentang Penyediaan, Pemanfaatan, Dan Tata Niaga Bahan Bakar Nabati (Biofuel) Sebagai Bahan Bakar Lain**. Menteri ESDM Republik Indonesia

Ratno. 2013. **“Pengaruh Ampas Tebu Sebagai Adsorbent Pada Proses Pretreatment Minyak Jelantah Terhadap Karakteristik Biodiesel”**. Surabaya : Jurnal Teknik POMITS Vol.2 No.2

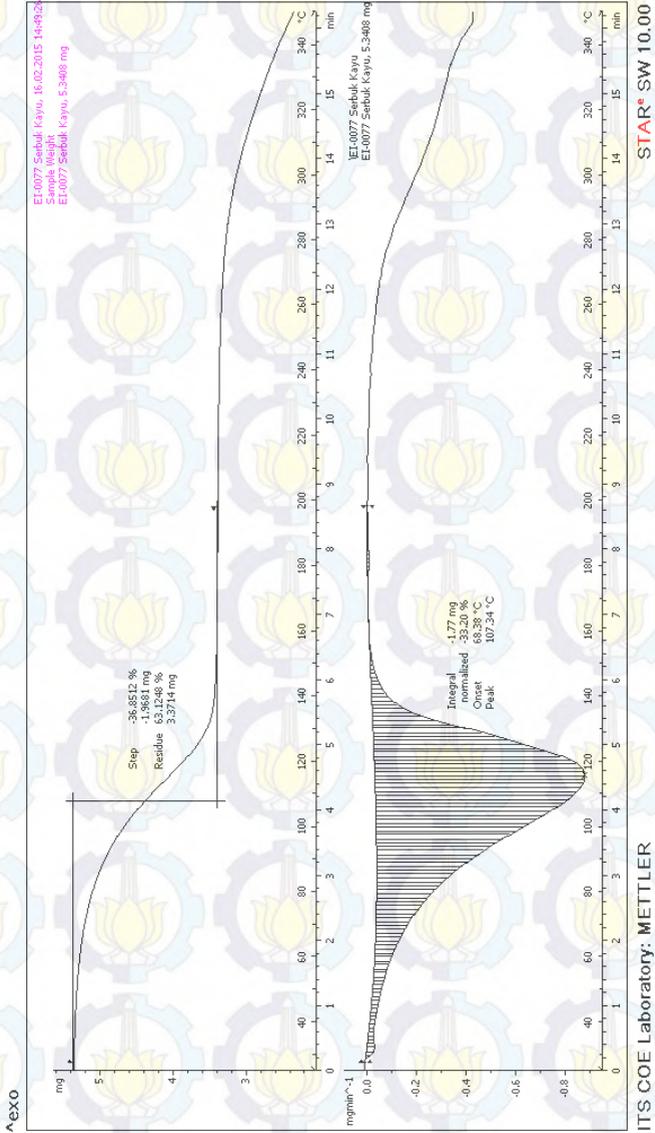
SNI 7182:2012. 2012. **“Biodiesel”**. Badan Standardisasi Nasional

Suharto, R. 2012. **“Pengaruh Biodiesel Terhadap Emisi Gas Buang Mesin Diesel”**. Semarang : Teknis Vol.7 No.1 : 36-40

Suhendra, D. 2010. **“Pembuatan Arang Aktif Dari Batang Jagung Menggunakan Aktivator Asam Sulfat Dan Penggunaannya Pada Penjerapan Ion Tembaga (II)”**. Mataram : MAKARA, SAINS, Vol.14, No.1 : 22-26

Yusgiantoro, P. 2012. **“Indonesia Produsen Utama Biodiesel.”**.
<www.kemenperin.go.id/artikel/1903/profil/71/rencana-strategis-kementerian-perindustrian>

Lampiran A



Gambar A. Hasil uji DSC serbuk kayu



(a)

(b)

Gambar B. Persiapan bahan, (a) sampel minyak jelantah dan (b) *absorbent* serbuk kayu, arang serbuk kayu dan arang aktif serbuk kayu



Gambar C. Pengujian kadar FFA minyak jelantah dengan metode titrasi



Gambar D. Proses penyaringan setelah *pretreatment*



(a)



(b)

Gambar E. Pembuatan *biodiesel*, (a) transesterifikasi, (b) didiamkan untuk mendapatkan 2 lapisan



Gambar F. Pemisahan *biodiesel* (kiri) dengan gliserol (kanan)

BIODATA PENULIS



Penulis mempunyai nama lengkap Zuhrotul Ainy yang lahir di Kota Jombang, Jawa Timur pada tanggal 07 September 1993. Tamat MI Al-Hanafiyah Wringin Pitu Mojowarno Jombang (2005), SMPN 2 Mojowarno Jombang (2008) dan SMAN Mojoagung Jombang (2011). Setelah tamat SMA, penulis melanjutkan pendidikannya ke Program Studi S1 Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Bidang minat yang diambil penulis ketika menempuh perkuliahan adalah Bidang Minat Rekayasa Bahan, serta Bidang Minat Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan. Selama menjadi mahasiswa, penulis bergabung dalam beberapa organisasi kemahasiswaan, yaitu Himpunan Mahasiswa Teknik Fisika, Fusi Ulul Albaab, dan Dewan Perwakilan Angkatan HMTF. Pengalaman kerja praktek yang dimiliki penulis dilakukan di PT. Dirgantara Indonesia Bandung. Penulis dapat dihubungi melalui alamat email ainy.zuhrotul@gmail.com

PENGARUH KONSENTRASI AKTIVATOR ARANG AKTIF SERBUK KAYU TERHADAP KARAKTERISTIK *BIODIESEL* MINYAK JELANTAH

Zuhrotul Ainy, Lizda Johar Mawarani, dan Zulkifli
 Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
 Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111
 e-mail: lizda@ep.its.ac.id

Abstrak—*Biodiesel* adalah salah satu jenis bahan bakar alternatif yang dihasilkan dari minyak nabati untuk menggantikan bahan bakar minyak bumi yang semakin lama semakin habis. Salah satu bahan yang dapat dibuat menjadi *biodiesel* adalah minyak jelantah sebagai limbah dari minyak kelapa sawit yang tidak bisa digunakan lagi. Minyak jelantah mempunyai kadar *free fatty acid* (FFA) tinggi yang diduga dapat mempengaruhi kualitas *biodiesel*, untuk mengurangi nilai kadar FFA dilakukan proses pretreatment minyak jelantah. Dalam penelitian ini, dibuat *biodiesel* dari minyak jelantah yang dilakukan dengan cara transesterifikasi dengan *methanol* dan *KOH* sebagai katalis. Untuk meningkatkan kualitas *biodiesel*, dilakukan pretreatment dengan absorbent berupa serbuk kayu, arang serbuk kayu dan arang aktif serbuk kayu. Untuk mendapatkan arang aktif, serbuk kayu diaktivasi dengan H_3PO_4 dan $CaCl_2$ sebagai aktivator yang konsentrasinya divariasikan menjadi 5%;7,5%;10%;12,5% dan 15%. Setelah dilakukan proses pretreatment, terjadi penurunan kadar FFA dalam minyak jelantah sampai 54,1%, yakni yang menggunakan absorbent arang serbuk kayu aktif dengan $CaCl_2$ berkonsentrasi 10% sebagai aktivatornya. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa FFA tidak berpengaruh terhadap karakteristik *biodiesel*. Penggunaan aktivator $CaCl_2$ pada arang aktif sebagai absorbent pada proses pretreatment lebih efektif meningkatkan kualitas *biodiesel* minyak jelantah dibandingkan dengan H_3PO_4 . Titik nyala, titik kabut, dan titik tuang *biodiesel* telah memenuhi standar SNI yaitu titik nyala $> 179^\circ C$, titik kabut $< 14^\circ C$, dan titik tuang $< 11^\circ C$. Sedangkan untuk massa jenis dan viskositas *biodiesel* tidak semua memenuhi standar SNI yang ditentukan. Semakin besar konsentrasi H_3PO_4 maka nilai kadar FFA, massa jenis dan titik nyala cenderung semakin besar, tetapi nilai titik kabut dan titik tuangnya semakin kecil. Semakin besar konsentrasi $CaCl_2$, maka nilai FFA, massa jenis, titik nyala dan titik kabut cenderung semakin besar, sementara nilai titik tuang semakin kecil. Sampel *biodiesel* dengan absorbent arang aktif serbuk kayu yang diaktivasi dengan H_3PO_4 15% dan $CaCl_2$ 12,5% merupakan sampel terbaik karena memenuhi standar SNI yang berlaku pada keseluruhan karakteristik yang dibahas.

Kata kunci: serbuk kayu, pretreatment, *biodiesel* minyak jelantah, karakteristik

I. PENDAHULUAN

Biodiesel adalah salah satu jenis bahan bakar alternatif yang dihasilkan dari minyak nabati seperti minyak kelapa sawit melalui proses transesterifikasi dan esterifikasi dengan mereaksikan senyawa trigliserida dengan gugus

alkohol seperti *methanol* atau *etanol* dengan bantuan katalis basa sehingga terbentuk gugus alkil ester [1]. Setiap tahunnya, limbah minyak jelantah yang dihasilkan dari penggunaan minyak nabati akan terus meningkat. Oleh sebab itu, kini banyak yang telah melakukan pengolahan mengenai *biodiesel* minyak jelantah bahkan ada juga yang menjadikannya lahan bisnis dengan tujuan untuk mendapatkan keuntungan.

Potensi sumber daya alam yang dimiliki oleh Indonesia sangat melimpah, diantaranya adalah potensi kehutanan dimana kayu dapat dimanfaatkan sebagai kayu gergajian yang selanjutnya dapat dibuat menjadi barang *meuble* untuk keperluan properti masyarakat Indonesia. Pembuatan kayu gergajian menghasilkan limbah berupa serbuk kayu yang biasanya hanya dibiarkan atau dibakar yang asapnya dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Pada perkembangannya, serbuk kayu juga telah digunakan untuk proses budidaya jamur yang juga cukup menjanjikan di masyarakat. Selain itu, serbuk kayu juga dapat dimanfaatkan sebagai serbuk arang aktif karena sifatnya yang mempunyai kandungan karbon cukup tinggi. Bahan-bahan yang mempunyai kandungan karbon cukup tinggi dapat dijadikan sebagai arang aktif, akan tetapi hasil akhir dari arang aktif ini akan tergantung pada faktor-faktor tertentu, diantaranya bahan baku, zat pengaktif dan kondisi dari proses aktivasi. Arang aktif mempunyai pengertian zat dengan daya serap tinggi yang dapat menyerap zat-zat yang tidak diinginkan dalam gas dan larutan [2].

Contoh bahan-bahan yang dapat digunakan sebagai arang aktif antara lain batubara, tempurung kelapa, limbah industri, kayu, biji aprikot, kulit singkong dan kulit kemiri [3]. Aktivasi dibagi menjadi dua macam antara lain aktivasi kimia dan aktivasi fisika. Aktivasi secara kimia adalah aktivasi dengan menggunakan zat kimia dan dilakukan pada suhu rendah. Sedangkan aktivasi secara fisika berlangsung pada suhu yang lebih tinggi, yaitu sekitar $800-1100^\circ C$ [2].

Pada penelitian sebelumnya, telah dilakukan proses *pretreatment biodiesel* minyak jelantah dengan menggunakan arang aktif ampas tebu sebagai *adsorbent* [4]. Hasil dari penelitian tersebut adalah kandungan FFA dalam *biodiesel* minyak jelantah mengalami penurunan sampai 70%, tetapi belum mampu meningkatkan kualitas *biodiesel* yang dihasilkan secara efektif [4]. Salah satu usaha yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kualitas *biodiesel* minyak jelantah yang dihasilkan adalah dengan menggunakan

absorbent lain yang mempunyai daya serap yang baik seperti serbuk kayu. Oleh karena itu, dalam penelitian ini serbuk kayu jati digunakan sebagai *absorbent* yang divariasikan dalam proses *pretreatment biodiesel* minyak jelantah. Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh serbuk kayu dalam proses *pretreatment biodiesel* minyak jelantah terhadap karakteristik *biodiesel*.

II. URAIAN PENELITIAN

Secara umum, proses pengerjaan penelitian ini terbagi menjadi 3 tahapan utama, yaitu proses persiapan bahan, pembuatan *biodiesel* dan tahap yang terakhir adalah karakterisasi *biodiesel*.

A. Persiapan Bahan

Persiapan Absorbent

Minyak jelantah sebanyak 500 ml disiapkan. Serbuk kayu diayak dengan ukuran 100 mesh atau 149 μm sebanyak 37,5 gram untuk satu sampel. Serbuk kayu yang tidak diayak diarangkan di dalam *furnace* dengan suhu 250°C selama 2 jam. Kemudian arang serbuk kayu diayak dengan ukuran 100 mesh sebanyak 37,5 gram sejumlah 11 sampel.

Aktivator H_3PO_4 dan CaCl_2 dengan konsentrasi 5% ; 7,5% ; 10% ; 12,5% ; 15% disiapkan untuk mengaktifkan 10 sampel arang serbuk kayu. *Absorbent* yang dipakai pada masing-masing sampel telah ditunjukkan pada Tabel 1.

Aktivasi secara kimia dilakukan dengan cara arang serbuk kayu dengan ukuran 100 mesh ditambahkan dengan larutan zat pengaktif, dan diaduk dengan *magnetic stirrer* dengan suhu 80°C selama 4 jam. Campuran tersebut didiamkan selama 24 jam dan kemudian diaktivasi secara fisika dengan pemanasan di dalam *furnace* pada suhu 800°C selama 2 jam.

Tabel 1
Absorbent untuk Masing-masing Sampel

<i>Pretreatment</i> dengan <i>absorbent</i>		Konsentrasi aktivator (%)	Jumlah sampel
-		-	1
Serbuk kayu		-	1
Arang serbuk kayu		-	1
Arang aktif serbuk kayu	H_3PO_4	5	1
		7,5	1
		10	1
		12,5	1
		15	1
	CaCl_2	5	1
		7,5	1
		10	1
		12,5	1
		15	1
Total sampel			13

Pretreatment Minyak Jelantah

Sebelum dilakukan proses *pretreatment*, nilai FFA yang terkandung dalam minyak jelantah terlebih dahulu diukur dengan menggunakan metode titrasi asam basa untuk mengetahui seberapa besar penurunan nilai FFA yang dapat dihasilkan setelah proses *pretreatment* ini.

Absorbent dengan ukuran 100 mesh dan berat 37,5 gram direndam dalam minyak jelantah selama 10 jam. Setelah itu dilakukan penyaringan untuk memisahkan *absorbent* dan minyak jelantah, kemudian minyak jelantah dikeringkan untuk menghilangkan kadar air dengan pemanasan pada suhu 120°C selama kurang lebih 2 menit. Kemudian dilakukan pengukuran FFA kembali. Untuk menentukan kadar FFA yang terkandung dalam minyak jelantah, digunakan persamaan (1)

$$\%FFA = \frac{ml \text{ NaOH} \times M \text{ NaOH} \times BM}{m \text{ sampel} \times 1000} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana ml NaOH adalah *volume* NaOH yang diteteskan dalam campuran hingga muncul perubahan warna (ml), M NaOH adalah molaritas larutan NaOH (0,05 M), BM adalah berat molekul (256 gr/mol) dan m sampel adalah massa sampel minyak jelantah (15 gr).

B. Pembuatan Biodiesel

Dalam proses pembuatan *biodiesel*, terdapat beberapa tahap yang harus dilakukan, yaitu pembuatan larutan *lye*, transesterifikasi, pemisahan *biodiesel* dengan gliserol dan pencucian.

Pembuatan Larutan Lye

Larutan *lye* dibuat dengan cara mencampur 625 ml methanol dengan 15 gram KOH sambil diaduk dengan *magnetic stirrer*.

Transesterifikasi

Minyak jelantah dicampur dengan larutan *lye* sebanyak 100 ml. Larutan *lye* ditambahkan sedikit demi sedikit ke dalam minyak jelantah dan diaduk dengan suhu 55°C selama 1 jam. Campuran kemudian didiamkan selama 8 jam agar terbentuk dua lapisan hasil dari proses transesterifikasi. Kedua lapisan tersebut merupakan *biodiesel* yang diinginkan dan berada di lapisan atas berwarna coklat terang, pada lapisan bawah merupakan gliserol sebagai produk sampingan dengan warna coklat yang lebih gelap.

Pemisahan Biodiesel Dengan Gliserol dan Pencucian

Kedua lapisan harus dipisahkan untuk mendapatkan *biodiesel* sebagai produk utama dengan cara penyaringan menggunakan kertas saring. Setelah itu, dilakukan pencucian *biodiesel* untuk membersihkan sisa-sisa katalis yang terkandung dalam *biodiesel* atau gliserol yang lolos dalam penyaringan sebelumnya dengan cara menambahkan air ke dalam *biodiesel* dan kemudian diaduk. Setelah itu, campuran didiamkan selama 4 jam untuk memisahkan lapisan air dengan *biodiesel* (terdapat lapisan gumpalan berwarna putih susu di bagian bawah). Setelah 4 jam, lapisan tersebut kembali dipisahkan dengan cara penyaringan untuk mendapatkan *biodiesel* murni.

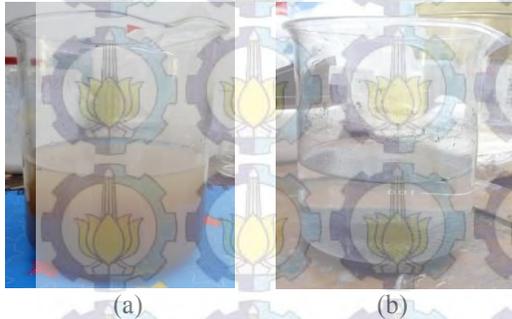
C. Karakterisasi Biodiesel

Karakterisasi *biodiesel* yang dilakukan dalam penelitian ini adalah uji massa jenis, uji viskositas, uji titik nyala, uji titik kabut dan uji titik tuang.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Validasi Arang Aktif

Telah didapatkan arang aktif serbuk kayu yang diaktivasi dengan larutan H_3PO_4 dan $CaCl_2$ dengan masing-masing konsentrasinya divariasikan menjadi 5%; 7,5%; 10%; 12,5% dan 15%. Untuk mengetahui apakah arang serbuk kayu yang telah diaktivasi secara kimia dan fisika tersebut sudah aktif atau belum, arang aktif diujicobakan pada air keruh untuk melihat bagaimana kemampuan arang aktif tersebut dalam menjernihkan air. Gambar 1 menunjukkan bahwa arang serbuk kayu yang diaktivasi telah teruji mampu menjernihkan air yang keruh saat didiamkan selama 24 jam.

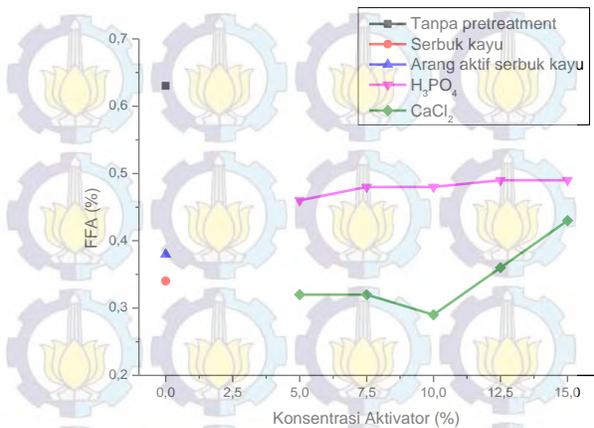


Gambar 1. Hasil uji coba (a) air keruh, (b) dengan arang aktif serbuk kayu selama 24 jam

Selain itu, arang aktif yang digunakan memiliki sifat absorpsi sekaligus adsorpsi. Sifat absorpsi terlihat dari kondisi setelah arang aktif digunakan dalam proses *pretreatment*, yakni terjadi pengurangan volume sebesar 0,81% (95ml dari 500ml) dan bertambah beratnya arang aktif sebesar 297% (111,35 gram dari 37,5 gram). Adapun sifat adsorpsi ditunjukkan oleh pengurangan nilai FFA yang mencapai 54,1% yang berarti bahwa arang aktif juga menyerap zat-zat tertentu seperti kadar FFA dalam minyak jelantah.

B. Pengukuran Kadar FFA

Berdasarkan Gambar 2 dapat diketahui bahwa telah terjadi penurunan kadar FFA pada minyak jelantah setelah dilakukan *pretreatment* dengan menggunakan serbuk kayu sebagai *absorbent*. Hal ini berarti serbuk kayu dapat digunakan sebagai *absorbent* pada proses *pretreatment* dengan tujuan untuk mengurangi kadar FFA yang terkandung dalam minyak jelantah. dapat diketahui juga bahwa sampel dengan *absorbent* arang serbuk kayu aktif dengan aktivator $CaCl_2$ 10% dapat secara efektif menurunkan kadar FFA sampai 54,1%. Hal ini dapat disebabkan oleh jenis kayu yang digunakan sebagai *absorbent* dengan aktivator $CaCl_2$ berkonsentrasi 10% mempunyai komposisi yang optimal dalam proses aktivasi dibandingkan dengan sampel yang lain dalam minyak jelantah sehingga lebih efektif dalam penyerapan kadar FFA. Selain itu, semakin besar konsentrasi aktivator yang diberikan maka nilai kandungan FFA juga cenderung semakin besar, akan tetapi antara aktivator H_3PO_4 dan $CaCl_2$ mempunyai nilai kenaikan yang berbeda dimana kenaikan yang dialami H_3PO_4 cenderung tidak signifikan dibandingkan dengan kenaikan yang dimiliki $CaCl_2$.

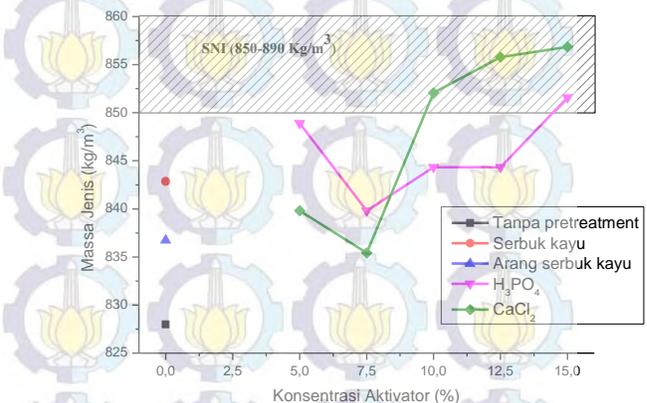


Gambar 2. Pengaruh konsentrasi aktivator terhadap kadar FFA

C. Karakterisasi Biodiesel Minyak Jelantah

Massa Jenis

Gambar 3 menunjukkan bahwa massa jenis yang diperoleh berada diantara 828-856,84 kg/m^3 sementara standar yang telah ditetapkan oleh SNI berada pada *range* 850-890 kg/m^3 . Biodiesel dengan *absorbent* arang aktif serbuk kayu dengan H_3PO_4 15% dan $CaCl_2$ dengan konsentrasi 10%; 12,5% dan 15% sebagai aktivator telah memenuhi standar SNI untuk massa jenis dibanding *absorbent* lainnya. Dimana gambar tersebut menunjukkan suatu tren bahwa semakin besar aktivator maka nilai massa jenis juga cenderung semakin besar dan semakin memenuhi standar SNI yang berlaku. Akan tetapi pada *absorbent* arang aktif serbuk kayu dengan aktivator H_3PO_4 5% dan $CaCl_2$ 7,5% mempunyai nilai yang aneh.

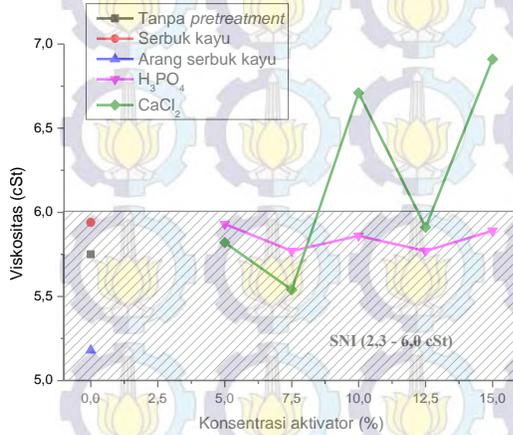


Gambar 3. Pengaruh konsentrasi aktivator terhadap massa jenis biodiesel

Viskositas

Berdasarkan Gambar 4, nilai viskositas *biodiesel* cenderung acak dan terdapat beberapa sampel yang tidak memenuhi standar SNI yang berlaku yaitu antara 2,3-6,0 cSt. Sampel uji yang tidak memenuhi standar SNI yang berlaku adalah sampel dengan *absorbent* arang aktif serbuk kayu dengan aktivator $CaCl_2$ 10% dan $CaCl_2$ 15%. Sampel dengan *absorbent* arang aktif serbuk kayu menggunakan H_3PO_4 sebagai aktivator semuanya memenuhi standar SNI yang berlaku dibandingkan dengan *absorbent* arang aktif serbuk kayu menggunakan $CaCl_2$ sebagai aktivator. Pada H_3PO_4 ,

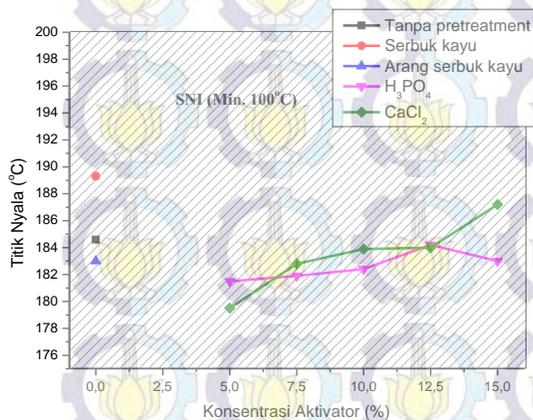
hasil yang didapatkan cenderung datar atau tidak terdapat tren naik atau turun, hal ini berarti konsentrasi H_3PO_4 tidak terlalu berpengaruh pada nilai viskositas *biodiesel*. Sementara pada $CaCl_2$ tren yang didapatkan adalah semakin tinggi konsentrasi aktivator maka nilai viskositas cenderung meningkat. Berdasarkan gambar tersebut, konsentrasi $CaCl_2$ mempunyai pengaruh yang lebih besar dibandingkan dengan H_3PO_4 yang cenderung mempunyai nilai tidak berbeda jauh antara konsentrasi satu dengan lainnya. Selain itu, kenaikan nilai viskositas yang dimiliki $CaCl_2$ menunjukkan hubungan yang sama dengan nilai FFA $CaCl_2$ yang juga konsentrasinya mempunyai pengaruh lebih besar dibanding H_3PO_4 .



Gambar 4. Pengaruh konsentrasi aktivator terhadap viskositas *biodiesel*

Titik Nyala

Titik nyala diperoleh dengan cara menyulut permukaan sampel *biodiesel* dengan api sampai permukaan tersebut dapat tersulut, suhu dimana permukaan sampel *biodiesel* mampu tersulut merupakan suhu titik nyala dari sampel. Pengaruh konsentrasi aktivator terhadap titik nyala *biodiesel* dapat dilihat pada Gambar 5. Titik nyala yang dimiliki semua sampel berkisar antara 179,5-189,3°C. Semua nilai yang didapatkan tersebut telah memenuhi standar SNI yang ditetapkan untuk *biodiesel* yaitu minimal 100°C.



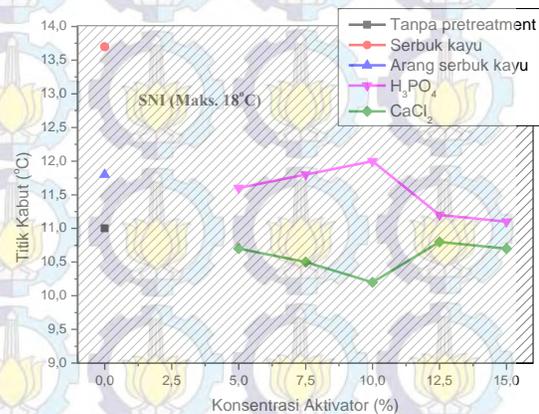
Gambar 5. Pengaruh konsentrasi aktivator terhadap titik nyala *biodiesel*

Pada pengujian titik nyala, semakin tinggi titik nyala yang didapatkan dari suatu *biodiesel* akan membuat kualitas suatu *biodiesel* semakin bagus. Pada Gambar 5, titik nyala yang

dimiliki oleh *absorbent* arang aktif serbuk kayu dengan $CaCl_2$ sebagai aktivator mempunyai nilai titik nyala yang lebih tinggi dibanding *absorbent* arang aktif serbuk kayu menggunakan H_3PO_4 sebagai aktivator. Hal tersebut berarti *absorbent* arang aktif serbuk kayu dengan aktivator $CaCl_2$ lebih efektif dalam meningkatkan kualitas *biodiesel* dalam hal titik nyala.

Titik Kabut dan Titik Tuang

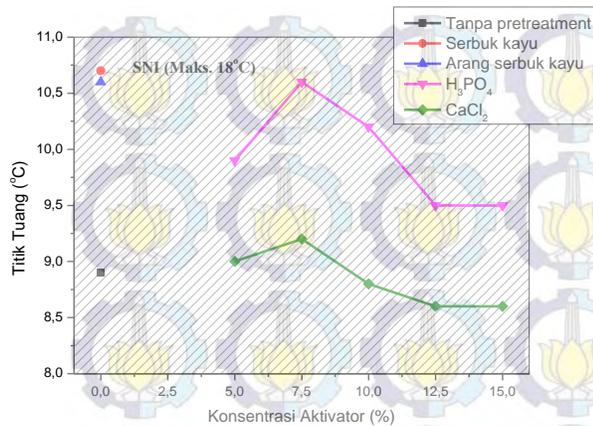
Gambar 6 menjelaskan pengaruh konsentrasi aktivator terhadap titik kabut *biodiesel* dan Gambar 7 menjabarkan tentang pengaruh konsentrasi aktivator terhadap titik tuang *biodiesel*. Berdasarkan hasil tersebut, diketahui bahwa titik kabut yang dimiliki semua sampel berada dalam rentang 10,2-13,7°C. Sedangkan nilai titik tuang pada keseluruhan sampel berada di dalam *range* nilai 8,6-10,7°C. Hal ini berarti nilai titik kabut dan titik tuang pada keseluruhan sampel berada di daerah standar SNI yang berlaku (maksimal 18°C).



Gambar 6. Pengaruh konsentrasi aktivator terhadap titik kabut *biodiesel*

Gambar 6 menyatakan sampel dengan *absorbent* arang aktif serbuk kayu menggunakan $CaCl_2$ sebagai aktivator mempunyai suhu munculnya titik kabut yang lebih rendah dibandingkan dengan *absorbent* arang aktif serbuk kayu yang diaktivasi dengan H_3PO_4 . Hal ini disebabkan karena nilai kadar FFA yang dimiliki oleh *absorbent* arang aktif serbuk kayu dengan aktivator $CaCl_2$ lebih rendah dibandingkan dengan kadar FFA yang dimiliki *absorbent* arang aktif serbuk kayu menggunakan H_3PO_4 sebagai aktivator sehingga kabut yang terbentuk pada *biodiesel* dengan *absorbent* arang aktif serbuk kayu dengan aktivator $CaCl_2$ mempunyai nilai yang lebih rendah.

Berdasarkan Gambar 7, sama hanya dengan titik kabut, sampel dengan *absorbent* arang aktif serbuk kayu dengan $CaCl_2$ sebagai aktivator mempunyai nilai munculnya kristal parafin yang lebih rendah dibandingkan dengan *absorbent* arang aktif serbuk kayu dengan H_3PO_4 sebagai aktivator. Hal ini juga dikarenakan nilai kadar FFA yang dimiliki oleh *absorbent* arang aktif serbuk kayu dengan aktivator $CaCl_2$ lebih rendah dibandingkan dengan kadar FFA yang dimiliki *absorbent* arang aktif serbuk kayu dengan aktivator H_3PO_4 sehingga kristal parafin terbentuk pada suhu yang lebih rendah.



Gambar 7. Pengaruh konsentrasi aktivator terhadap titik tuang biodiesel

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian dan pembahasan yang sudah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- FFA tidak berpengaruh terhadap karakteristik biodiesel minyak jelantah.
- Penggunaan aktivator CaCl₂ pada arang aktif sebagai *absorbent* pada proses *pretreatment* lebih efektif meningkatkan kualitas biodiesel minyak jelantah dibandingkan dengan H₃PO₄.
- Untuk kedua aktivator baik CaCl₂ dan H₃PO₄ nilai titik nyala, titik kabut dan titik tuang biodiesel telah memenuhi standar SNI yang berlaku yaitu titik nyala lebih dari 179°C, titik kabut kurang dari 14°C dan titik tuang kurang dari 11°C. Sedangkan untuk massa jenis dan viskositas biodiesel tidak semua memenuhi standar SNI yang ditentukan.
- Semakin besar konsentrasi H₃PO₄ maka nilai kadar FFA, massa jenis dan titik nyala cenderung semakin besar, tetapi nilai titik kabut dan titik tuangnya semakin kecil. Semakin besar konsentrasi CaCl₂ maka nilai FFA, massa jenis, titik nyala dan titik kabut cenderung semakin besar, sementara nilai titik tuang semakin kecil.
- Sampel biodiesel dengan *absorbent* arang aktif serbuk kayu yang diaktivasi dengan H₃PO₄ 15% dan CaCl₂ 12,5% merupakan sampel terbaik karena memenuhi standar SNI yang berlaku pada keseluruhan karakteristik yang dibahas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Musanif, J. "Biodiesel". Subdit Pengelolaan Lingkungan
- [2]. Koleangan, H.S.J. 2011. "Kajian Stabilitas Termal Dan Karakter Kovalen Zat Pengaktif Pada Arang Aktif Limbah Gergajian Kayu Meranti (*Shorea spp*)". Manado : Jurnal Ilmiah Sains Vol.11 No.2
- [3]. Dedy S. dan Erin R. 2010. "Pembuatan Arang Aktif Dari Batang Jagung Menggunakan Aktivator Asam Sulfat Dan Penggunaannya Pada Penjerapan Ion Tembaga (II)". Mataram : MAKARA, SAINS, Vol.14, No.1 : 22-26
- [4]. Tatik, F. 2013. "Pengaruh Ukuran Arang Aktif Ampas Tebu Sebagai Biomaterial Pretreatment Terhadap Karakteristik Biodiesel Minyak Jelantah". Surabaya : Jurnal Teknik POMITS Vol.2 No.2

BIODATA PENULIS



Penulis mempunyai nama lengkap Zuhrotul Ainy yang lahir di Kota Jombang, Jawa Timur pada tanggal 07 September 1993. Tamat MI Al-Hanafiyah Wringin Pitu Mojowarno Jombang (2005), SMPN 2 Mojowarno Jombang (2008) dan SMAN Mojoagung Jombang (2011). Setelah tamat SMA, penulis melanjutkan pendidikannya ke Program Studi S1 Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Bidang minat yang diambil penulis ketika

menempuh perkuliahan adalah Bidang Minat Rekayasa Bahan, serta Bidang Minat Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan. Selama menjadi mahasiswa, penulis bergabung dalam beberapa organisasi kemahasiswaan, yaitu Himpunan Mahasiswa Teknik Fisika, Fusi Ulul Albaab, dan Dewan Perwakilan Angkatan HMTF. Pengalaman kerja praktek yang dimiliki penulis dilakukan di PT. Dirgantara Indonesia Bandung. Penulis dapat dihubungi melalui alamat email ainy.zuhrotul@gmail.com

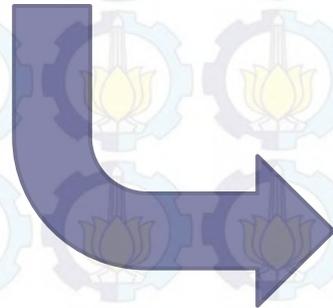


Pengaruh Konsentrasi Aktivator Arang Aktif Serbuk Kayu Terhadap Karakteristik *Biodiesel* Minyak Jelantah

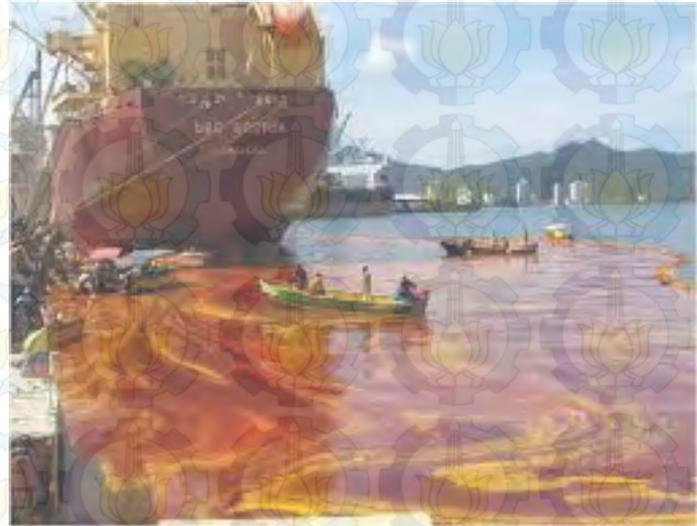
Disusun Oleh :
Zuhrotul Ainy

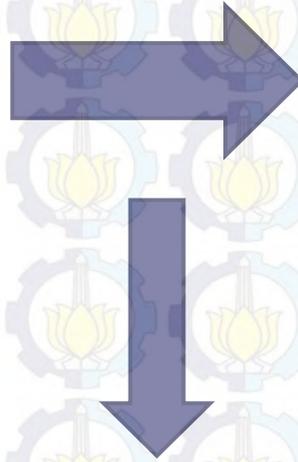
NRP. 2411100019

Dosen Pembimbing :
Lizda Johar Mawarani, ST., MT.
Ir. Zulkifli, MSc.



Berbahaya bagi
kesehatan





RUMUSAN MASALAH

- Bagaimana pengaruh konsentrasi aktivator arang aktif serbuk kayu terhadap karakteristik *biodiesel* minyak jelantah?

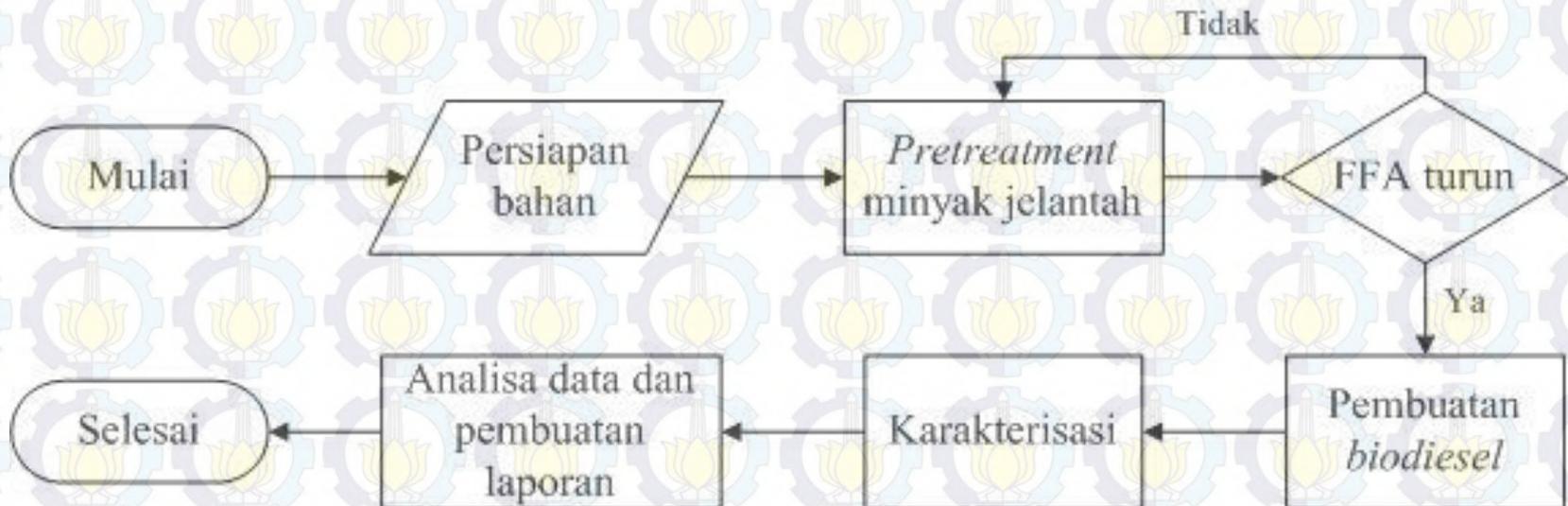


BATASAN MASALAH

- ❑ *Volume* minyak jelantah untuk setiap sampel dan waktu perendaman *absorbent* adalah sama.
- ❑ Ukuran partikel *absorbent* adalah sama.
- ❑ Karakteristik *biodiesel* yang ditinjau adalah kadar FFA, massa jenis, viskositas, titik nyala, titik kabut, dan titik tuang.



METODOLOGI PENELITIAN



Persiapan Bahan



Persiapan Bahan



Pretreatment dengan absorbent	Konsentrasi aktivator (%)	Kode sampel uji	Jumlah sampel
-	-	A0	1
Serbuk kayu	-	A1	1
Arang serbuk kayu	-	A2	1
H_3PO_4	5	B1	1
	7,5	B2	1
	10	B3	1
	12,5	B4	1
	15	B5	1
Arang aktif serbuk kayu	5	C1	1
	7,5	C2	1
	10	C3	1
	12,5	C4	1
	15	C5	1
Total sampel			13



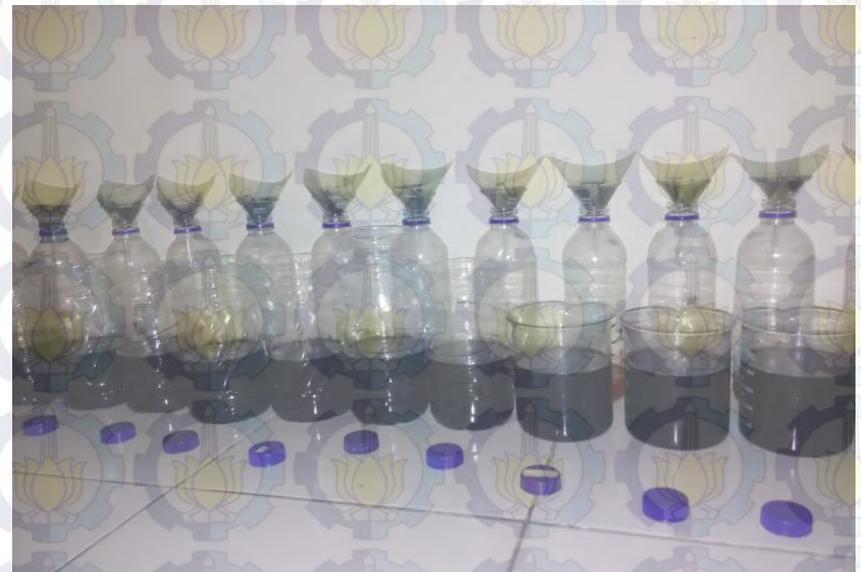
Persiapan Bahan

Pengukuran FFA

Pretreatment

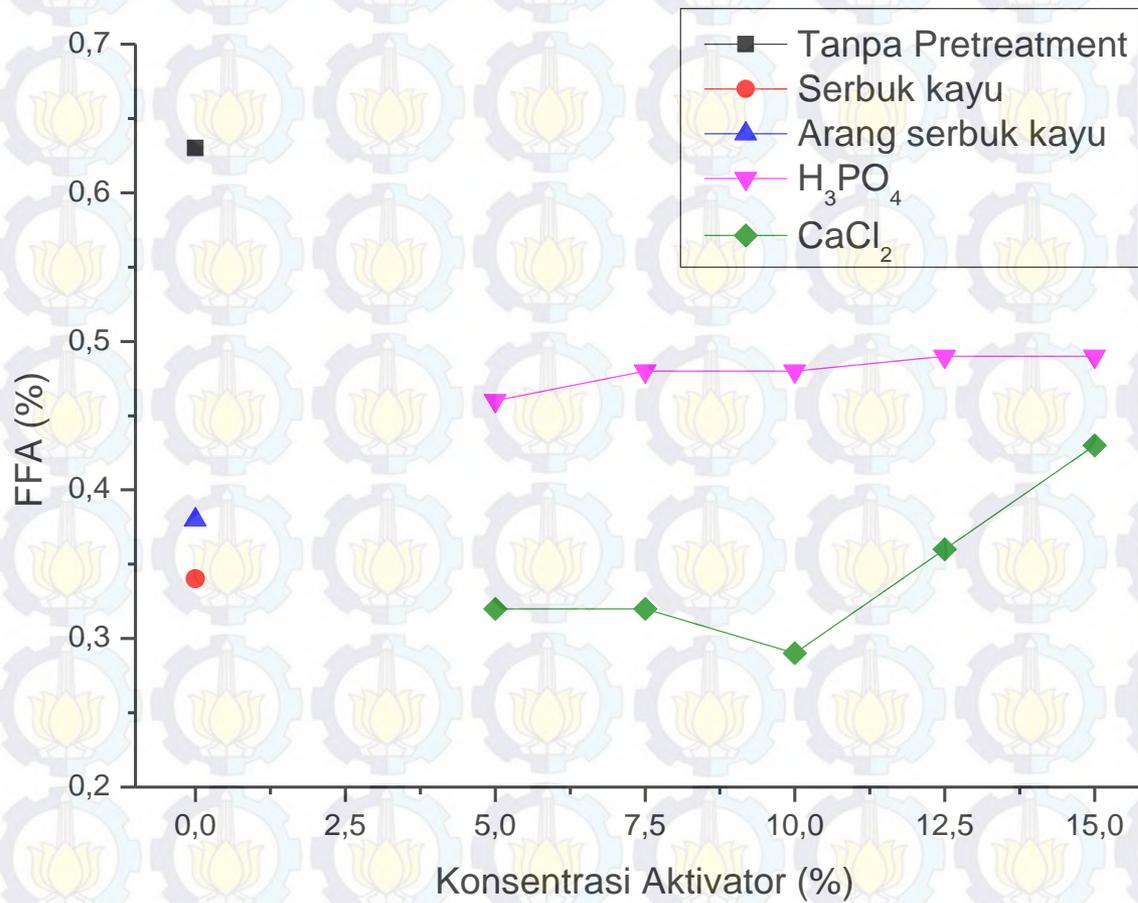
Pengukuran FFA

Pretreatment
minyak
jelantah



$$\%FFA = \frac{ml\ NaOH \times M\ NaOH \times BM}{m\ sampel \times 1000} \times 100\%$$





Pembuatan *Biodiesel*

Pembuatan larutan *lye*

Transesterifikasi

Pemisahan *biodiesel* dengan gliserol dan pencucian



Pembuatan *Biodiesel*

Pembuatan larutan *lye*

15 gram
KOH



625 ml
methanol

Larutan
lye



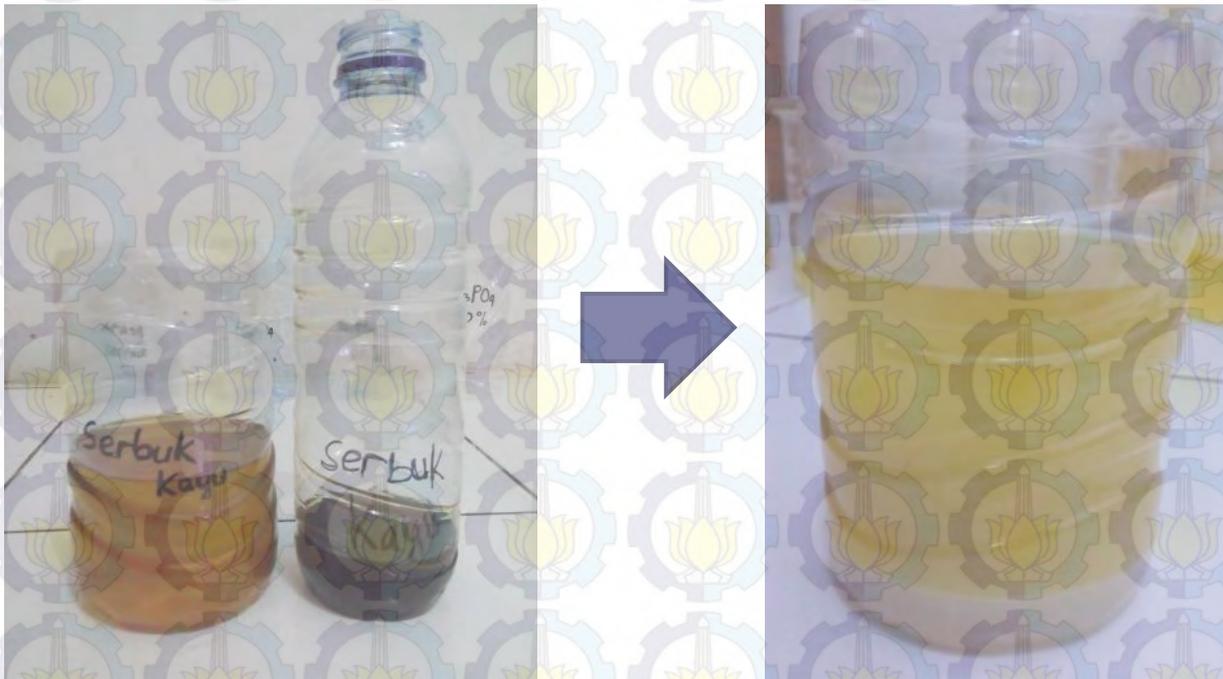
Pembuatan *Biodiesel*

Transesterifikasi



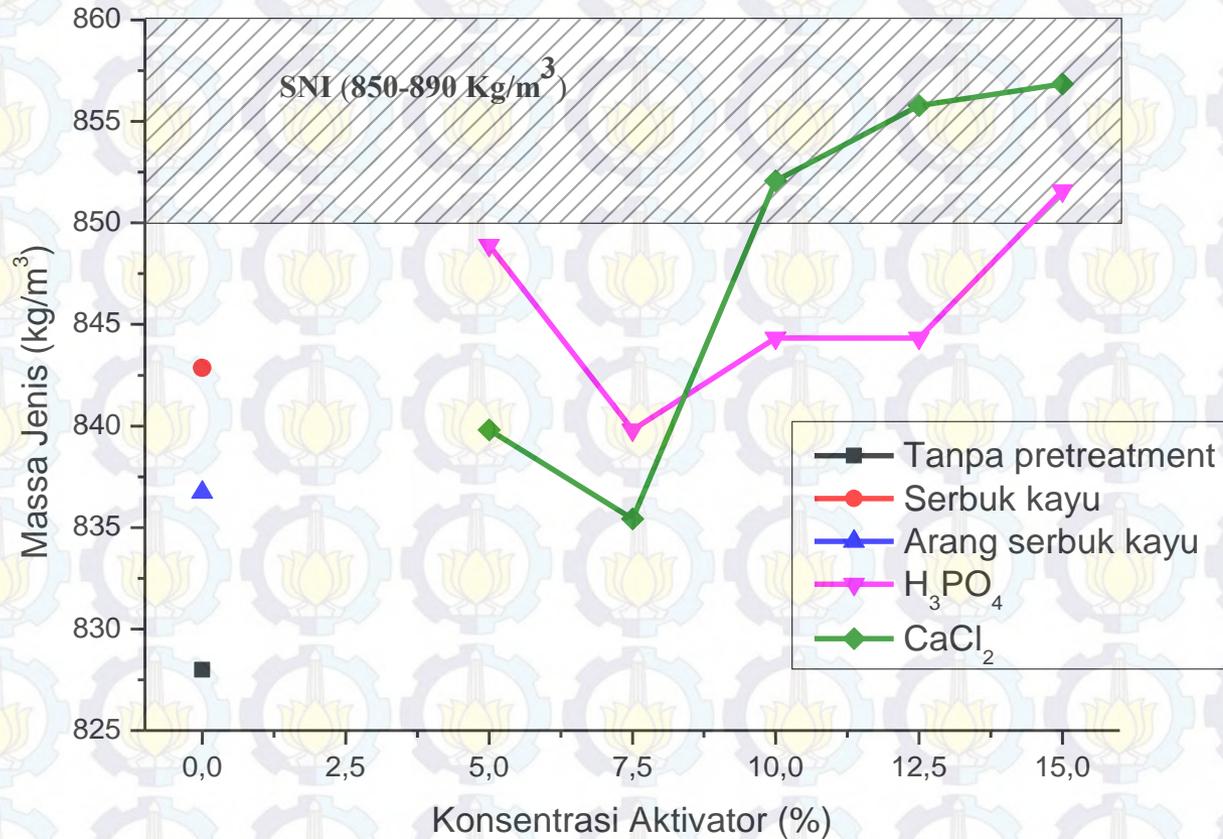
Pembuatan *Biodiesel*

Pemisahan *biodiesel* dengan gliserol dan pencucian



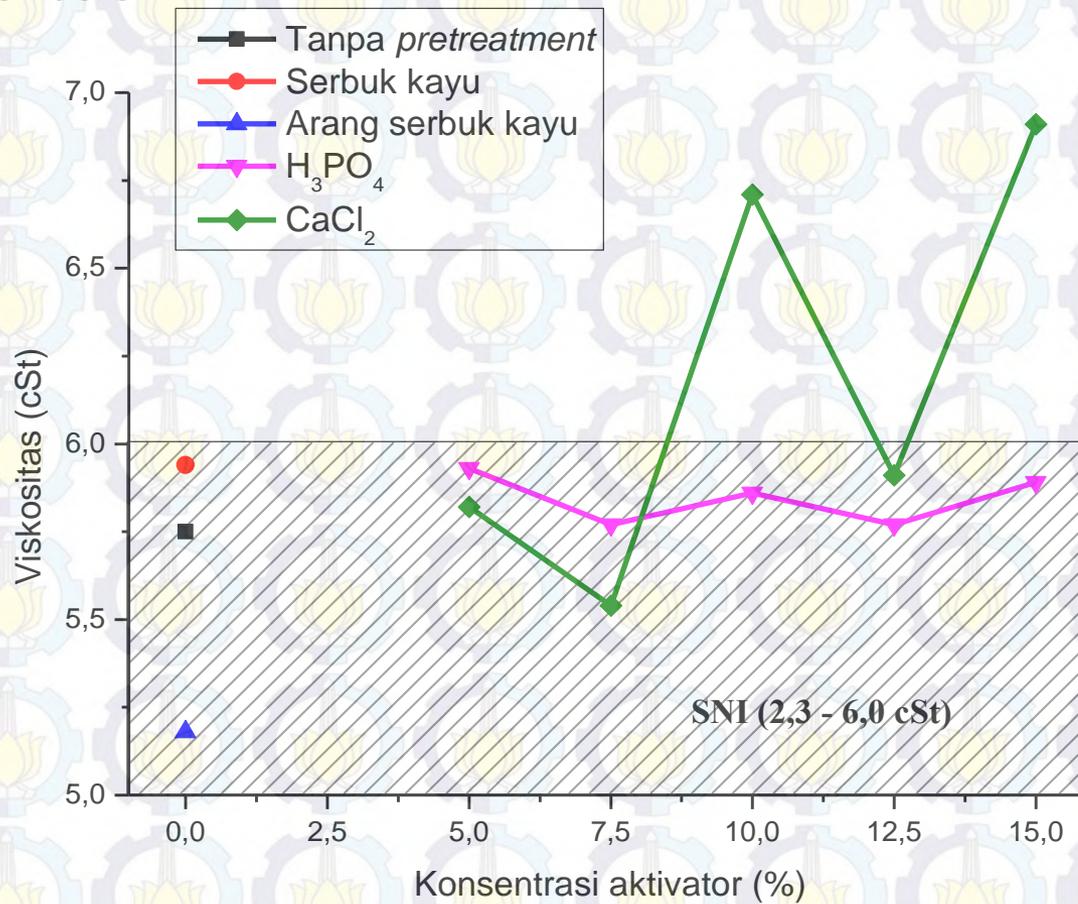
KARAKTERISTIK *BIODIESEL*

- Massa Jenis



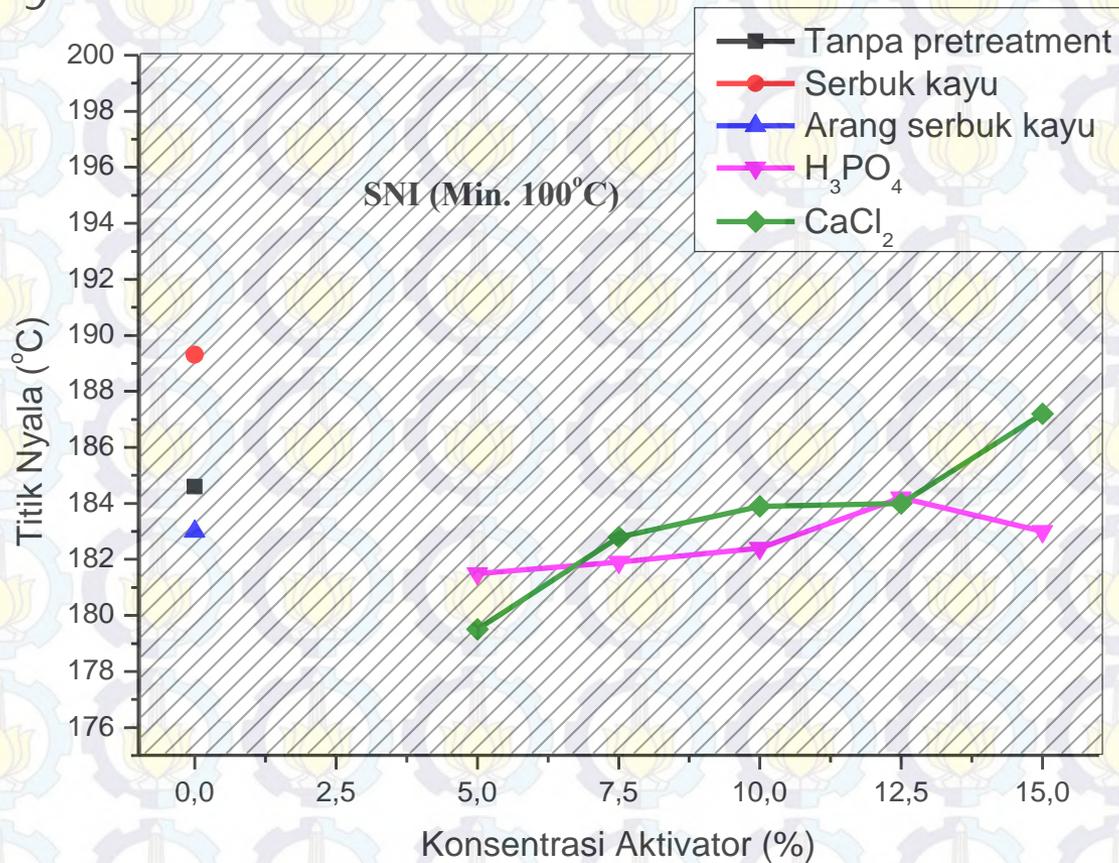
KARAKTERISTIK *BIODIESEL*

• Viskositas



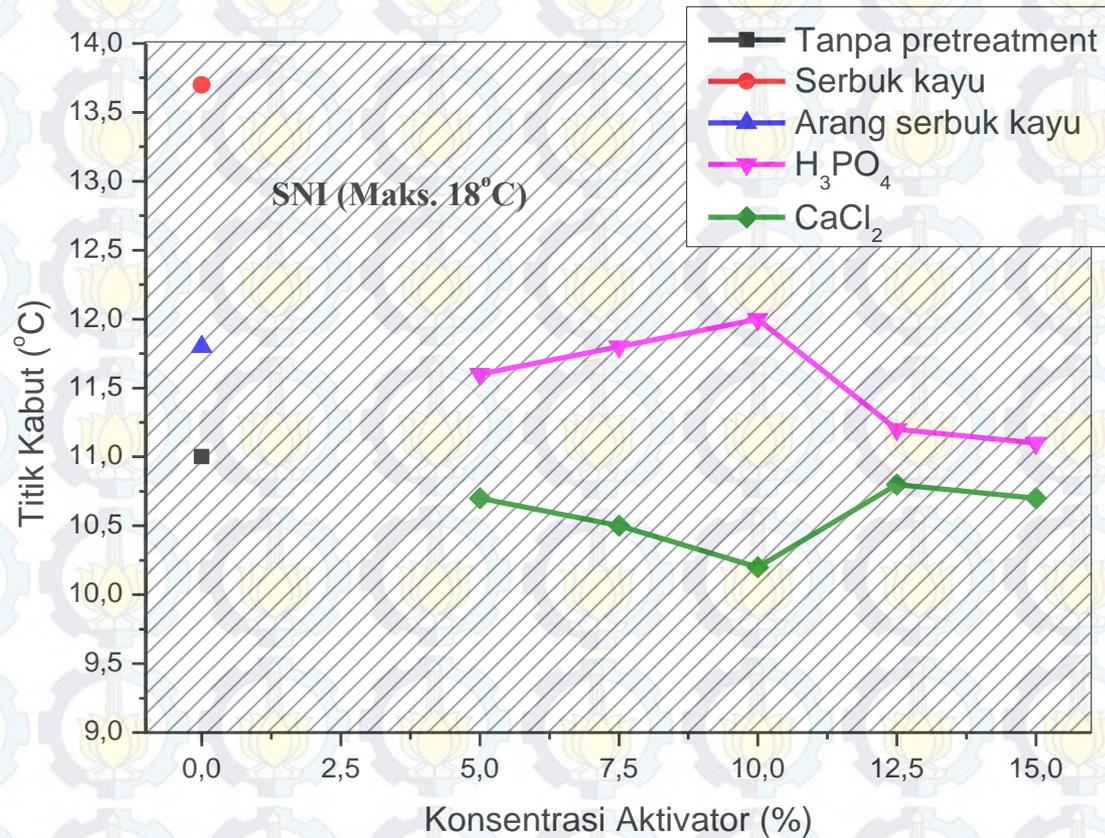
KARAKTERISTIK *BIODIESEL*

- Titik Nyala



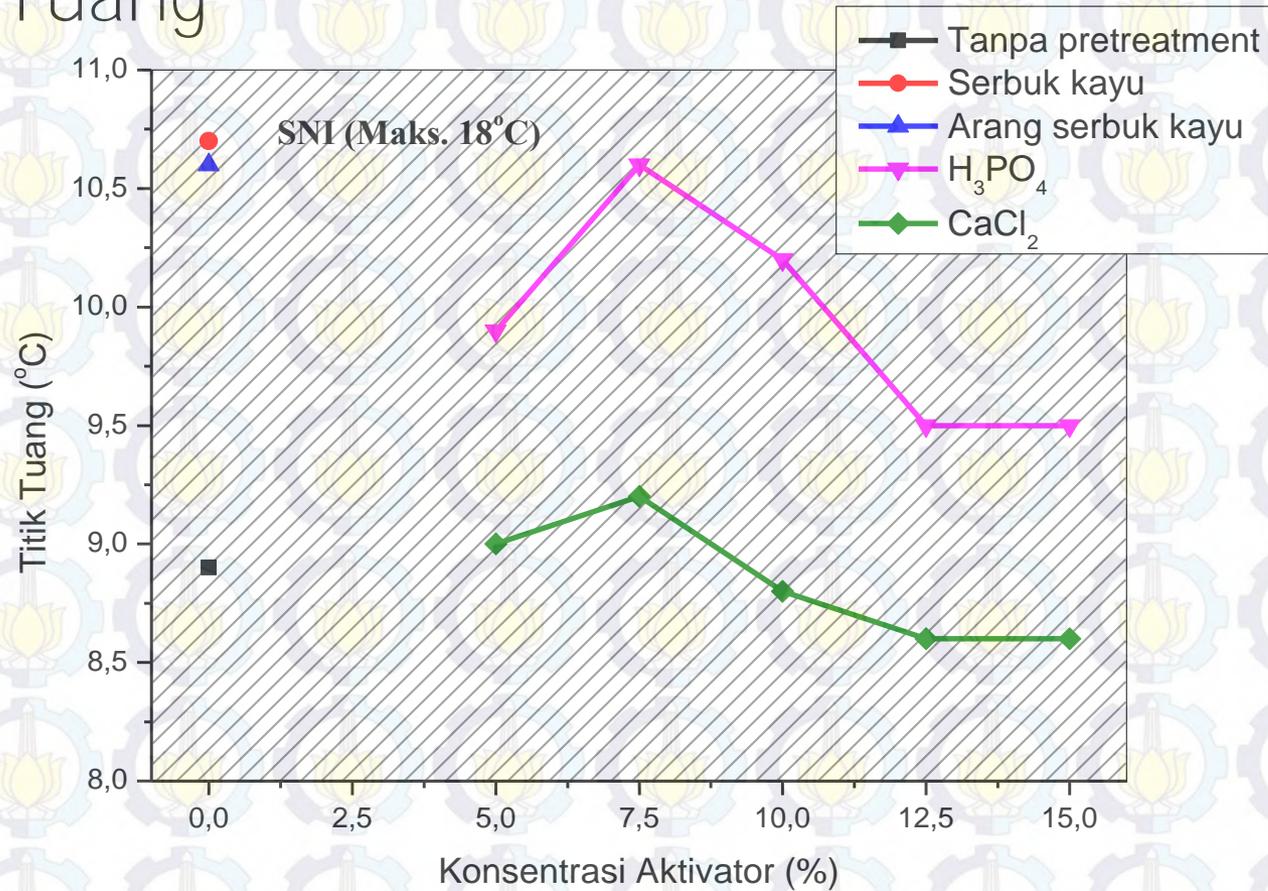
KARAKTERISTIK *BIODIESEL*

- Titik Kabut



KARAKTERISTIK *BIODIESEL*

• Titik Tuang



KESIMPULAN

- FFA tidak berpengaruh terhadap karakteristik *biodiesel* minyak jelantah.
- Penggunaan aktivator CaCl_2 pada arang aktif sebagai *absorbent* pada proses *pretreatment* lebih efektif meningkatkan kualitas *biodiesel* minyak jelantah dibandingkan dengan H_3PO_4 .
- Untuk kedua aktivator baik CaCl_2 dan H_3PO_4 nilai titik nyala, titik kabut dan titik tuang *biodiesel* telah memenuhi standar SNI yang berlaku yaitu titik nyala lebih dari 179°C , titik kabut kurang dari 14°C dan titik tuang kurang dari 11°C . Sedangkan untuk massa jenis dan viskositas *biodiesel* tidak semua memenuhi standar SNI yang ditentukan.
- Semakin besar konsentrasi H_3PO_4 maka nilai kadar FFA, massa jenis dan titik nyala cenderung semakin besar, tetapi nilai titik kabut dan titik tuangnya semakin kecil. Semakin besar konsentrasi CaCl_2 maka nilai FFA, massa jenis, titik nyala dan titik kabut cenderung semakin besar, sementara nilai titik tuang semakin kecil.
- Sampel *biodiesel* dengan *absorbent* arang aktif serbuk kayu yang diaktivasi dengan H_3PO_4 15% dan CaCl_2 12,5% merupakan sampel terbaik karena memenuhi standar SNI yang berlaku pada keseluruhan karakteristik yang dibahas.



TERIMA KASIH

