

DISERTASI

**KATALIS HETEROGEN ABU TERBANG FRAKSI RINGAN
CANGKANG DAN SERAT DARI LIMBAH PADAT PABRIK
KELAPA SAWIT DAN HASIL UJI PRODUKSI BIODIESEL**



**Oleh:
ANTO SUSANTO
NIM: 1940511310014**

**PROGRAM STUDI DOKTOR (S3) ILMU PERTANIAN
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT
BANJARBARU
2023**

DISERTASI

**KATALIS HETEROGEN ABU TERBANG FRAKSI RINGAN
CANGKANG DAN SERAT DARI LIMBAH PADAT PABRIK
KELAPA SAWIT DAN HASIL UJI PRODUKSI BIODIESEL**

Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Gelar Doktor



**Oleh:
ANTO SUSANTO
NIM: 1940511310014**

**PROGRAM STUDI DOKTOR (S3) ILMU PERTANIAN
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT
BANJARBARU
2023**

DISERTASI

KATALIS HETEROGEN ABU TERBANG FRAKSI RINGAN CANGKANG DAN SERAT DARI LIMBAH PADAT PABRIK KELAPA SAWIT DAN HASIL UJI PRODUKSI BIODIESEL

Oleh:
ANTO SUSANTO
NIM: 1940511310014

Dipertahankan di depan penguji
Pada Tanggal 05 Januari 2023

Menyetujui:
Ketua,



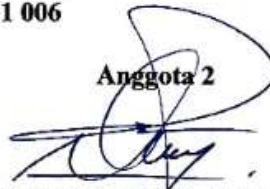
Prof. Dr. Abdullah, S.Si., M.Si.
NIP. 19680807 199403 1 006

Anggota 1



Prof. Muthia Elma, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP. 19740521 200212 2 003

Anggota 2



Prof. Meilana Dharma, P., S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP. 19820501 200604 1 014

Banjarbaru, Januari 2023

Ketua Program Studi,
Doktor Ilmu Pertanian ULM



Prof. Akhmad R. Saidy, SP., M.Ag.Sc., Ph.D.
NIP. 19690425 199512 1 001

Direktur,
Program Pascasarjana ULM



Prof. Drs. H. Ahmad Suriansyah, M.Pd., Ph.D.
NIP. 19591225 198603 1 001

IDENTITAS KOMISI PEMBIMBING DAN KOMISI PENGUJI

JUDUL DISERTASI:

**KATALIS HETEROGEN ABU TERBANG FRAKSI RINGAN
CANGKANG DAN SERAT DARI LIMBAH PADAT PABRIK
KELAPA SAWIT DAN HASIL UJI PRODUKSI BIODIESEL**

Nama Lengkap Tanpa Gelar : Anto Susanto
NIM : 1940511310014
Program Studi : Doktor (S3) Ilmu Pertanian

KOMISI PEMBIMBING:

Ketua : Prof. Dr. Abdullah, S.Si., M.Si.
Anggota 1 : Prof. Muthia Elma, S.T., M.Sc., Ph.D.
Anggota 2 : Prof. Meilana Dharma, P., S.T., M.Sc., Ph.D.

KOMISI PENGUJI:

Penguji 1 : Prof. Dr. Ir. Hesty Heryani, M.Si.
Penguji 2 : Prof. Agung Nugroho, S.TP., Ph.D.
Penguji 3 : Dr. Eng. Apip Amrullah, S.T., M. Eng.

Tanggal Ujian : 05 Januari 2023
SK Komisi Penguji :

PERNYATAAN ORISINALITAS DISERTASI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam Naskah Disertasi ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip di dalam naskah dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Disertasi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Disertasi ini dibatalkan serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 25 Ayat 2 dan Pasal 70 yang berbunyi: 'Lulusan perguruan tinggi yang karya ilmiahnya digunakan untuk memperoleh gelar akademik, profesi atau vokasi terbukti merupakan jiplakan dicabut gelarnya'. Pasal 70 yang berbunyi: 'Lulusan yang karya ilmiahnya yang digunakan untuk mendapatkan gelar akademik, profesi atau vokasi sebagaimana yang dimaksud dalam Pasal 25 Ayat 2 terbukti merupakan jiplakan dipidana dengan pidana penjara paling lama dua tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp. 200.000.000., (dua ratus juta rupiah).

Banjarbaru, Januari 2023

Anto Susanto
NIM. 1940511310014

BUKTI PLAGIASI



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT
PROGRAM PASCASARJANA**

SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI
NOMOR : 056/UM6.4/SE/2023

Sertifikat ini diberikan kepada:

Anto Susanto

Dengan Judul Disertasi:
Katalis Heterogen Abu Terbang Fraksi Ringan Canggih dan Serat Dari Limbah Padat Pabrik Kelapa Sawit dan Hasil Uji Produksi Bio-diesel

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 20\%$, dan dinyatakan Bebas dari Plagiasi.

Banjarmasin, 19 Januari 2023



Direktur,

Prof. Drs. H. Ahmed Suriansyah, M.Pd., Ph.D.
NIP. 195912251986031001

HALAMAN PERUNTUKAN

*****Simbo, Istri, anak-anak, dan saudara semuanya, terimakasih banyak atas pengertian dan penyemangatnya*****

RIWAYAT HIDUP

Anto Susanto, S.ST., M.P. seorang anak transmigrasi di SP 3 Tumbang Titi, Kabupaten Ketapang Propinsi Kalimantan Barat, yang dilahirkan di Bandung, 26 Mei 1983, merupakan anak kedua dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Ujang Sutardi dan Ibu Tuminah. Memulai pendidikan sekolah dasar di SDN 35 Mambuk I Tumbang Titi lulus tahun 1996, SLTP 06 Tumbang Titi lulus tahun 1999 kemudian melanjutkan di SMAN I Ketapang Kalimantan Barat lulus tahun 2002. Pada tahun 2002 penulis melanjutkan pendidikan di Politeknik Negeri Pontianak pada Jurusan Teknologi Pertanian Prodi. Teknologi Pengolahan Hasil Perkebunan. Pada Tahun 2006 Kemudian melalui beasiswa non-gelar Bank Dunia diberikan kesempatan untuk menggali ilmu di bidang Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor Jawa Barat. Tahun 2009 melalui Direktorat Jenderal Pendidikan tinggi (DIKTI) penulis diberikan kesempatan beasiswa pendidikan untuk melanjutkan kuliah pada Manajemen Agroindustri di Politeknik Negeri Jember Jawa Timur, melalui dana Hibah DIKTI dan selesai pada tahun 2010. Pada tahun 2011 melanjutkan pendidikan Pascasarjana melalui beasiswa unggulan (BU) di Prodi. Agronomi Universitas Jenderal Soedirman. Pada tahun 2019 mendapatkan kesempatan untuk studi lanjut di Program Doktor Ilmu Pertanian, Universitas Lambung Mangkurat, Kalimantan Selatan melalui Program Beasiswa Pendidikan Pascasarjana Dalam Negeri Afirmasi Perguruan Tinggi Negeri Baru (BPPDN Afirmasi PTNB). Penulis memulai bekerja pada tahun 2008 sebagai teknisi di Laboratorium Pertanian Politeknik Ketapang, dan saat ini sebagai Dosen Pegawai Negeri Sipil (PNS) di Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan-Pendidikan Tinggi di Satker Politeknik Negeri Ketapang, Kalimantan Barat.

RINGKASAN

ANTO SUSANTO, NIM. 1940511310014. Katalis Heterogen Abu Terbang Fraksi Ringan Cangkang dan Serat Dari Limbah Padat Pabrik Kelapa Sawit dan Hasil Uji Produksi Biodiesel. Ketua Komisi Pembimbing: Prof. Dr. Abdullah, S.Si., M.Si., Komisi Pembimbing 1: Prof. Muthia Elma, S.T., M.Sc., Ph.D., Komisi Pembimbing 2: Prof. Meilana Dharma Putra, S.T., M.Sc., Ph.D.

Limbah pertanian dalam bentuk biomassa di Indonesia sebagai negara tropis sangat berlimpah dan belum dimanfaatkan dengan maksimal, salah satu diantaranya adalah cangkang, dan abu terbang sawit sisa pembakaran fraksi ringan dari sabut dan cangkang pada stasiun boiler. Peningkatan produksi CPO oleh PKS akan berbanding lurus dengan limbah yang dihasilkan, baik limbah dalam bentuk tandan kosong, serat, cangkang, abu maupun limbah cair yang dikenal dengan *palm oil mill effluent*. Dalam mengolah setiap ton tandan buah segar di pabrik kelapa sawit menghasilkan sekitar 120-200kg minyak kelapa sawit mentah, 230-250kg tandan kosong kelapa sawit, 130-150kg serat, 60-65kg cangkang, 55-60kg kernel, dan 0,7m³ air limbah, atau dengan kata lain bahwa setiap adanya produksi kelapa sawit maka akan menghasilkan limbah berupa tandan kosong kelapa sawit 23%, cangkang 8%, serat 12%, dan limbah cair 66%. Khusus limbah padat cangkang, penggunaan cangkang kelapa sawit sebagai karbon aktif merupakan salah satu alternatif metode yang memberikan banyak keuntungan yaitu efektif, murah, polaritas arang cukup baik, ketersediaannya melimpah dan berkelanjutan. Namun untuk memaksimalkan permukaan aktif untuk adsorpsi perlu diaktifkan seperti aktivator kimia yang digunakan yaitu asam fosfat. Sedangkan untuk limbah padat abu terbang fraksi ringan cangkang dan serat sawit yang dihasilkan pada pengolahan minyak kelapa sawit di pabrik kelapa sawit (PKS) dapat dimanfaatkan sebagai alternatif katalis basa heterogen karena terdapat Al, Si dan CaO.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat arang aktif tempurung kelapa sawit dan aplikasinya untuk klarifikasi minyak sawit mentah. Pembuatan arang tempurung kelapa sawit dilakukan dengan aktivasi fisika menggunakan *muffle furnace*, selanjutnya dihaluskan menjadi serbuk dan diayak. Arang tempurung kelapa sawit kemudian diaktivasi secara kimiawi menggunakan H₃PO₄ 10% dengan perbandingan 1:4. Arang aktif tempurung kelapa sawit yang diperoleh dikarakterisasi dengan uji analisis komposisi kimia (XRD), struktur tiga dimensi (SEM), karakterisasi material (FTIR), permukaan dan sifat dasar (BET), dan perubahan berat massa (TGA). Sedangkan untuk katalis yang diproduksi akan diaplikasikan pada pembuatan biodiesel dan dilakukan uji mutu biodiesel dan uji Gas chromatography mass spectroscopy (GCMS) untuk melihat perubahan jenis dan komposisi asam lemak pada minyak dan biodiesel, selain itu juga dilakukan pengujian pada katalis, diantaranya: XRD, SEM, FTIR, BET, dan TGA. Metode penelitian yang digunakan merupakan metode eksperimen, dimana pada penelitian ini dilakukan dengan 3 tahapan; pertama penelitian untuk menentukan uji dan karakteristik bahan baku minyak kelapa sawit kasar, kedua penelitian pada pembuatan katalis abu sawit, dan ketiga penggunaan katalis heterogen basa abu terbang sawit pada pembuatan biodiesel.

Arang aktif cangkang kelapa sawit, perlakuan suhu 500°C dengan agen aktivator bahan kimia H₃PO₄ pada pemanasan 5 jam merupakan arang aktif cangkang kelapa sawit terbaik. Karakteristik minyak kelapa sawit kasar setelah dilakukan penjernihan menggunakan arang aktif cangkang 5% terjadi peningkatan kualitas, diantaranya bilangan asam lemak bebas (% b/b), kadar air (%-wb), kadar kotoran (%), dan angka asam (mgKOH/g) masih dalam tandar Standar mutu CPO SNI 01-2901-2006, dengan nilai berturut-turut: 3,8600% b/b; 0,0015%-wb; 0,0485%; dan 13,8400 mgKOH/g. Karakteristik dan morfologi pada arang aktif cangkang kelapa sawit pada pemanasan suhu 500°C selama 5 jam dengan aktivasi bahan kimia H₃PO₄, menunjukkan: arang aktif cangkang kelapa sawit berukuran mikropori karena ukuran pori= 1.69Å dengan surface area= 116.587m²/g dengan tipe hysteresis loop H3, puncak berada di sekitar di sekitar 22° untuk hemiselulose dan lignin pada puncak sekitar 42°, bersifat amorf, pada perbesaran 500 kali lipat berbentuk struktur rectangular monoklinik dengan permukaan yang agak kasar, dan memiliki gugus fungsional arang aktif cangkang kelapa sawit dengan vibrasi tekuk gugus siloksan pada = 432-590cm⁻¹, gugus karbonat pada 1400-1500cm⁻¹, dan H₂O yang diserap pada = 2800-3750cm⁻¹. Katalis abu terbang sawit dengan perlakuan pemanasan suhu 700°C dengan lama waktu 5 jam menunjukkan bahwa katalis berukuran mikropori karena ukuran pori= 7.93 Å dengan surface area= 25.288m²/g, tipe hysteresis loop H3, memiliki CaO berada pada sekitar puncak 36°, pada perbesaran 1000 kali lipat partikel katalis berbentuk bulat dengan permukaan yang mulus, dan memiliki vibrasi tekuk gugus siloksan pada = 432-590cm⁻¹, gugus karbonat pada = 1400-1500cm⁻¹. Pada perlakuan interaksi penambahan konsentrasi katalis dengan rasio minyak: metanol menunjukkan bahwa terdapat dua perlakuan terbaik dan sesuai standar mutu SNI biodiesel, diantaranya yaitu: 1). Perlakuan dengan penambahan katalis 1% dengan rasio minyak: metanol 1:6 memiliki nilai densitas 0,821g/mL; viskositas 2,6CSt; bilangan asam 0,82mgKOH/g; bilangan iod 53; bilangan penyabunan 67 mgKOH/g; kadar air 0,0107%, dan rendemen 92,08%, sedangkan untuk nilai parameter asam lemak bebas belum memenuhi standar mutu SNI dengan nilai 1,17%. 2). Perlakuan dengan penambahan katalis 1% dengan rasio minyak: metanol 1:8 memiliki nilai densitas 0,873 g/mL; viskositas 2,5CSt; bilangan asam 0,83mgKOH/g; bilangan iod 51; bilangan penyabunan 115mgKOH/g, kadar air 0,0005%, dan rendemen 80,15%, sedangkan untuk nilai parameter asam lemak bebas belum memenuhi standar mutu SNI dengan nilai 1,10%.

SUMMMARY

ANTO SUSANTO, NIM. 1940511310014. Heterogeneous Catalyst Fly Ash Light Fraction Shell and Fiber From Solid Waste Palm Oil Mill and Biodiesel Production Test Results. Ketua Komisi Pembimbing: Prof. Dr. Abdullah, S.Si., M.Si., Komisi Pembimbing 1: Prof. Muthia Elma, S.T., M.T., Ph.D., Komosi Pembimbing 2: Prof. Meilana Dharma Putra, S.T., M.T., Ph.D.

Agricultural waste in the form of biomass in Indonesia as a tropical country is very abundant and has not been utilized optimally, one of which is shells and palm fly ash left over from burning light fractions of coir and shells in boiler stations. The increase in CPO production by PKS will be directly proportional to the waste produced, both waste in the form of empty fruit bunches, fiber, shells, ash and liquid waste known as palm oil mill effluent. Processing each tonne of fresh fruit bunches at the palm oil mill produces approximately 120-200kg of crude palm oil, 230-250kg of empty palm fruit bunches, 130-150kg of fiber, 60-65kg of shells, 55-60kg of kernels and 0.7m³ of waste water, or in other words that every production of palm oil will produce waste in the form of 23% empty palm fruit bunches, 8% shell, 12% fiber, and 66% liquid waste. Specificaly for shell solid waste, the use of oil palm shells as activated carbon is an alternative method that provides many advantages, namely effective, inexpensive, good polarity of charcoal, abundant availability and sustainable. However, to maximize the active surface for adsorption, it needs to be activated, such as the chemical activator used, namely phosphoric acid. As for the fly ash solid waste, the light fraction of palm shells and fiber produced in the processing of palm oil in palm oil mills (PKS) can be used as an alternative to heterogeneous base catalysts because they contain Al, Si and CaO.

This study aims to determine the properties of activated palm shell charcoal and its application for clarification of crude palm oil. Making palm shell charcoal is done by physical activation using a muffle furnace, then pulverized into powder and sifted. Palm shell charcoal is then chemically activated using 10% H₃PO₄ with a ratio of 1:4. The activated palm shell charcoal obtained was characterized by chemical composition analysis (XRD), three-dimensional structure (SEM), material characterization (FTIR), surface and basic properties (BET), and change in mass weight (TGA). As for the catalyst produced, it will be applied to the manufacture of biodiesel and a biodiesel quality test and a Gas chromatography mass spectroscopy (GCMS) test are carried out to see changes in the type and composition of fatty acids in oil and biodiesel. In addition, tests are also carried out on catalysts, including: XRD, SEM, FTIR, BET, and TGA. The research method used is an experimental method, where this research was carried out in 3 stages; the first is research to determine the test and characteristics of crude palm oil raw material, the second is research on the manufacture of palm ash catalysts, and the third is the use of a heterogeneous base catalyst of palm fly ash in the manufacture of biodiesel.

Palm shell activated charcoal, treated at 500°C with the chemical activator agent H₃PO₄ at 5 hours heating is the best activated palm shell charcoal. The characteristics of crude palm oil after clarification using 5% activated shell charcoal

have increased in quality, including the number of fatty acids free (% w/w), water content (%-wb), impurities content (%), and acid number (mgKOH/g) are still within the CPO quality standard SNI 01-2901-2006, with successive values: 3.8600% w/b; 0.0015%-wb; 0.0485%; and 13.8400 mgKOH/g. Characteristics and morphology of activated charcoal of palm shells at heating temperature of 500°C for 5 hours with activation of the chemical H₃PO₄, shows: activated charcoal of palm shells is microporous because pore size = 1.69Å with surface area = 116.587m²/g with hysteresis loop H3 type, the peak is around around 22° for hemicellulose and lignin at a peak of about 42°, is amorphous, at 500-fold magnification in the form of a rectangular monoclinic structure with a rather rough surface, and has a functional group of activated charcoal of oil palm shell with group bending vibrations siloxane at = 432-590cm⁻¹, carbonate groups at 1400-1500cm⁻¹, and absorbed H₂O at = 2800-3750cm⁻¹. Palm fly ash catalyst with a heating temperature of 700°C for 5 hours shows that the catalyst is microporous in size because the pore size = 7.93Å with a surface area = 25.288m²/g, hysteresis loop type H3, has CaO around the peak of 36°, at magnification 1000 times the catalyst particles are spherical in shape with a smooth surface, and have a bending vibration of siloxane groups at = 432-590cm⁻¹, carbonate groups at = 1400-1500cm⁻¹. In the interaction treatment of the addition of catalyst concentration with the ratio of oil: methanol showed that there were two best treatments and according to the SNI biodiesel quality standards, including: 1). Treatment with the addition of 1% catalyst with a ratio of oil: methanol 1:6 has a density value of 0.821g/mL; viscosity 2.6CSt; acid number 0.82mgKOH/g; iodine number 53; saponification number 67 mgKOH/g; water content is 0.0107%, and yield is 92.08%, while the parameter values for free fatty acids do not meet SNI quality standards with a value of 1.17%. 2). Treatment with the addition of 1% catalyst with a ratio of oil: methanol 1:8 has a density value of 0.873 g/mL; viscosity 2.5CSt; acid number 0.83mgKOH/g; iodine number 51; the saponification number is 115mgKOH/g, the water content is 0.0005%, and the yield is 80.15%, while the parameter value for free fatty acids does not meet the SNI quality standard with a value of 1.10%.

PRAKATA

Alhamdulillahirabbil alamiin, segala puji bagi Allah Subhanahu wata'ala yang telah melimpahkan nikmat dan rahmat kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan Disertasi dengan judul “Katalis Heterogen Abu Terbang Fraksi Ringan Cangkang dan Serat dari Limbah Padat Pabrik Kelapa Sawit Lahan Gambut dan Hasil Uji Produksi Biodiesel” dapat diselesaikan dengan baik.

Pada kesempatan ini, penulis juga ingin memberikan penghargaan dan ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya, kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Abdullah, S.Si., M.Si., Ibu Prof. Muthia Elma, S.T., M.Sc., Ph.D., dan Bapak Prof. Meilana Dharma Putra, S.T., M.Sc., Ph.D., atas kesediaannya sebagai komisi tim pembimbing yang telah memberikan ilmu pengetahuan, dan pengalamannya yang sangat berharga;
2. Ibu Prof. Dr. Ir. Hesty Heryani, M.Si., Bapak Prof. Agung Nugroho, S.TP., Ph.D., dan Bapak Dr. Eng. Apip Amrullah, S.T., M. Eng., atas kesediaannya sebagai tim penguji yang telah banyak memberikan saran dan masukan, agar Disertasi dapat menjadi lebih baik.
3. Bapak Prof. Dr. H Ahmad Suriansyah, M.Pd., Ph.D., selaku Direktur Pascasarjana ULM, dan Bapak Prof. Akhmad, R. Saidy, S.P., M.Ag.Sc., Ph.D., selaku Koordinator Program Studi S3 Ilmu Pertanian, ULM. Beserta seluruh pegawai yang ada di Pasacasarjana maupun di Program Studi S3 Ilmu Pertanian, yang tidak dapat kami sebutkan satu-persatu, yang telah membantu penulis dalam kelancaran Administrasi dan membantu kegiatan lainnya.
4. Direktur Politeknik Negeri Ketapang Masa Bakti 2019-2022 Bapak Endang Kusmana, S.E., M.Ak., CA, dan Direktur Politeknik Negeri Ketapang Masa Bakti 2022-2026 Bapak Irianto Sastro, P., S.ST., M.MA., dan Ibu Nenengsih Verawati, S.TP., M.P., atas bantuannya dalam memfasilitasi Studi di S3 Ilmu Pertanian ULM, Kalimantan Selatan.
5. Simbo, Istri, dan anak-anak: Muhammad Ilham Alfatih, Muhammad Sulthan Alfaqih, Dzakiya Rizatunnisa Azzahra, dan Ateefa Balqis Putri, serta semua keluarga dan saudara, terimakasih atas motifasi dan kesabarannya.

6. Kawan-kawan seangkatan di Prodi S3 Ilmu Pertanian semuanya: Bapak Riswan, Bapak Meidy, Bapak Heri, Bapak Melda, Bapak Jaka, Bapak Rokhman, Ibu Lys, Ibu Gusti, Ibu Norhasanah, Ibu Normalina, Ibu Fatimah, dan Ibu Miranda, terimakasih atas kebersamaannya, saling mengisi, memotivasi, dan memberikan semangat juang dalam menyelesaikan studi di S3 Ilmu Pertanian, ULM.
7. Kawan-kawan semuanya di Politeknik Negeri Ketapang yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu, khususnya para Dosen dan Tenaga Kependidikan, Ahmad Yani, SP., Mulyo Hadi S, S.P., Nanang Hartoni, A.Md., terimakasih atas bantuannya selama melakukan kegiatan penelitian di Laboratorium Pertanian.

Penulis menyadari bahwa masih banyak sekali kekurangan dalam penulisan Disertasi, dan tentunya penulis sangat mengharapkan masukan dan saran. Agar penulisan Disertasi dapat lebih baik, sempurna, dan bermanfaat untuk pembaca. Penulis menghaturkan banyak terimakasih sebesar-besarnya kepada semuanya, semoga kedepannya penulis tetap istiqomah dalam menulis untuk kemajuan ilmu pengetahuan, dan bisa ikut serta dalam memajukan negeri tercinta, sesuai dengan peran dan kemampuannya.

DAFTAR ISI

HALAMAN <i>COVER</i>	i
HALAMAN JUDUL.....	iii
IDENTITAS KOMISI PEMBIMBING DAN KOMISI PENGUJI.....	iv
PERNYATAAN ORISINALITAS DISERTASI.....	v
BUKTI PLAGIASI	vi
HALAMAN PERUNTUKAN	vii
RIWAYAT HIDUP.....	viii
RINGKASAN	ix
<i>SUMMMARY</i>	<i>xi</i>
PRAKATA.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xviii
1. PENDAHULUAN	Erro
r! Bookmark not defined.	
1.1. Latar Belakang	Erro
r! Bookmark not defined.	
1.2. Perumusan Masalah.....	Erro
r! Bookmark not defined.	
1.3. Tujuan dan Manfaat.....	Erro
r! Bookmark not defined.	
1.4. Kebaruan Penelitian (<i>Novelty</i>)	Erro
r! Bookmark not defined.	
2. TINJAUAN PUSTAKA	Erro
r! Bookmark not defined.	
2.1. Kelapa Sawit	Erro
r! Bookmark not defined.	

2.1.1. Limbah hasil pengolahan pabrik kelapa sawit.....	Erro
r! Bookmark not defined.	
2.1.2. Tandan kosong kelapa sawit.....	Erro
r! Bookmark not defined.	
2.1.3. Abu fiber dan cangkang hasil pembakaran stasiun boiler.....	Erro
r! Bookmark not defined.	
2.1.4. Limbah cair pabrik kelapa sawit.....	Erro
r! Bookmark not defined.	
2.2. Minyak nabati	Erro
r! Bookmark not defined.	
2.3. Minyak Nabati Sawit Mutu Rendah	Erro
r! Bookmark not defined.	
2.4. Biodiesel.....	Erro
r! Bookmark not defined.	
2.5. Kualitas Biodiesel	Erro
r! Bookmark not defined.	
2.6. Reaksi Eksterifikasi.....	Erro
r! Bookmark not defined.	
2.7. Reaksi Transesterifikasi.....	Erro
r! Bookmark not defined.	
2.8. Katalis.....	Erro
r! Bookmark not defined.	
2.9. Katalis Homogen	Erro
r! Bookmark not defined.	
2.10. Katalis Heterogen.....	Erro
r! Bookmark not defined.	
2.11. Katalis Limbah Biomassa Pabrik Kelapa Sawit	Erro
r! Bookmark not defined.	

3. METODE PENELITIAN	Erro
r! Bookmark not defined.	
3.1. Kerangka Pemikiran.....	Erro
r! Bookmark not defined.	
3.2. Tempat dan Waktu.....	Erro
r! Bookmark not defined.	
3.3. Tahapan Penelitian	Erro
r! Bookmark not defined.	
3.3.1. Penelitian pendahuluan pembuatan arang dan arang aktif cangkang sawit.....	Erro
r! Bookmark not defined.	
3.3.2. Penelitian pemurnian minyak kelapa sawit kasar.....	Erro
r! Bookmark not defined.	
3.3.3. Penelitian pembuatan katalis abu terbang sawit.....	Erro
r! Bookmark not defined.	
3.3.4. Penelitian pembuatan biodiesel dengan katalis abu terbang sawit.....	Erro
r! Bookmark not defined.	
3.4. Hipotesis.....	Erro
r! Bookmark not defined.	
3.5. Analisa Data	Erro
r! Bookmark not defined.	
4. HASIL DAN PEMBAHASAN	Erro
r! Bookmark not defined.	
4.1. Karakteristik Minyak Kelapa Sawit Kasar.....	Erro
r! Bookmark not defined.	
4.2. Karakteristik Arang dan Arang Aktif Cangkang Kelapa Sawit.....	Erro
r! Bookmark not defined.	
4.3. Karakteristik Katalis Abu Terbang Fraksi Ringan Serat dan Cangkang Kelapa	

Sawit.....	Erro r! Bookmark not defined.
4.4. Penggunaan Arang Aktif Pada Pemurnian Minyak Kelapa Sawit Kasar.....	Erro r! Bookmark not defined.
4.5. Uji Katalis Abu Terbang Fraksi Ringan Serat dan Cangkang Kelapa Sawit Pada Produksi Biodiesel.....	Erro r! Bookmark not defined.
4.6. Penggunaan Katalis Abu Terbang Fraksi Ringan Serat dan Cangkang Kelapa Sawit dengan Rasio Minyak: Metanol Pada Produksi Biodiesel.....	Erro r! Bookmark not defined.
5. PENUTUP	Erro r! Bookmark not defined.
5.1. Kesimpulan.....	Erro r! Bookmark not defined.
5.2. Saran.....	Erro r! Bookmark not defined.
DAFTAR PUSTAKA	Erro r! Bookmark not defined.
LAMPIRAN.....	Erro r! Bookmark not defined.

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Karakteristik TKS dibandingkan biomassa sawit berdasarkan analisis proksimat dan ultimasi	Erro r! Bookmark not defined.
Tabel 2.2. Komposisi kimia abu terbang sawit	Erro r! Bookmark not defined.
Tabel 2.3. Karakteristik dari minyak kelapa sawit crude palm oil.....	Erro r! Bookmark not defined.

Tabel 2.4.	Kualitas biodiesel	Erro r! Bookmark not defined.
Tabel 2.5.	Sumber katalis berbasis abu hasil pembakaran	Erro r! Bookmark not defined.
Tabel 3.1.	Areal lahan dan kondisi limbah pabrik kelapa sawit	Erro r! Bookmark not defined.
Tabel 3.2.	Rancangan penelitian tahap percobaan pembuatan arang	Erro r! Bookmark not defined.
Tabel 3.3.	Rancangan penelitian tahap percobaan pembuatan arang aktif.....	Erro r! Bookmark not defined.
Tabel 3.4.	Rancangan penelitian pemurnian minyak kelapa sawit kasar	Erro r! Bookmark not defined.
Tabel 3.5.	Rancangan penelitian pembuatan katalis abu terbang sawit	Erro r! Bookmark not defined.
Tabel 3.6.	Rancangan penelitian pembuatan biodiesel dengan katalis abu terbang.....	Erro r! Bookmark not defined.
Tabel 4.1.	Karakteristik minyak kelapa sawit kasar	Erro r! Bookmark not defined.
Tabel 4.2.	Hasil analisis mutu arang aktif suhu 500°C dengan aktivator H ₃ PO ₄	Erro r! Bookmark not defined.
Tabel 4.3.	Karakteristik katalis abu terbang sawit hasil kalsinasi.....	Erro r! Bookmark not defined.
Tabel 4.4.	Matrik hasil analisis ragam pengaruh penambahan arang aktif cangkang sawit dengan suhu pemanasan pada kualitas minyak hasil pemurnian.....	Erro r! Bookmark not defined.
Tabel 4.5.	Hasil penelitian pemurnian minyak sawit dengan penggunaan arang aktif cangkang sawit	Erro r! Bookmark not defined.

Tabel 4.6.	Matrik hasil analisis ragam pengaruh perlakuan suhu kalsinasi dengan lama waktu suhu kalsinasi pada kualitas biodiesel	Erro r! Bookmark not defined.
Tabel 4.7.	Hasil analisa penelitian dan standar mutu biodiesel	Erro r! Bookmark not defined.
Tabel 4.8.	Matrik hasil analisa ragam pengaruh penambahan katalis dengan rasio minyak: metanol pada kualitas biodiesel	Erro r! Bookmark not defined.
Tabel 4.9.	Hasil analisa penelitian dan standar mutu biodiesel	Erro r! Bookmark not defined.

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Skema kerangka pikir rencana penelitian	Erro r! Bookmark not defined.
Gambar 3.2	Proses alur rencana pembuatan arang aktif cangkang sawit.....	Erro r! Bookmark not defined.
Gambar 3.3	Proses alur rencana pembuatan katalis abu terbang	Erro r! Bookmark not defined.
Gambar 3.4	Proses alur rencana pembuatan biodiesel.....	Erro r! Bookmark not defined.
Gambar 3.5	Rangkaian alat untuk proses pemurnian minyak kasar sawit.....	Erro r! Bookmark not defined.
Gambar 3.6	Proses rangkaian pembentukan biodiesel.....	Erro r! Bookmark not defined.

Gambar 4.1	Grafik hasil analisis minyak kasar kelapa sawit.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.2	Grafik nilai kadar air arang aktif cangkang kelapa sawit.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.3	Grafik nilai kadar abu arang aktif cangkang kelapa sawit.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.4	Grafik nilai kadar zat menguap arang aktif cangkang kelapa sawit.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.5	Grafik nilai kadar karbon terikat arang aktif cangkang kelapa sawit.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.6	Grafik nilai bilangan iod arang aktif cangkang kelapa sawit.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.7	a. Grafik analisis uji brunauer-emmet-teller pada arang cangkang kelapa sawit, dan b. dengan aktivasi kimia H_3PO_4	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.8	a. Grafik analisis uji x-ray diffraction pada arang cangkang kelapa sawit, dan b. dengan aktivasi kimia H_3PO_4	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.9	a. Grafik analisis uji scanning electron microscopy pada arang cangkang kelapa sawit, dan b. dengan aktivasi kimia H_3PO_4	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.10	Grafik analisis uji termografimetrik analisis pada arang cangkang kelapa sawit	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.11	Grafik analisis uji termografimetrik analisis pada arang aktif cangkang kelapa sawit dengan aktivasi kimia H_3PO_4	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.12	Grafik analisis uji fourier transform infra-red pada arang cangkang kelapa sawit	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.13	Grafik analisis uji fourier transform infra-red pada arang aktif cangkang sawit dengan aktivasi kimia H_3PO_4	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.14	a. Grafik analisis uji brunauer-emmet-teller abu terbang sawit hasil pembakaran di stasiun boiler, dan b. dengan perlakuan	

- pemanasan suhu 700°C dengan lama waktu 5 jam **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.15 a. Grafik analisis uji x-ray diffraction abu terbang sawit hasil pembakaran di stasiun boiler, dan b. dengan perlakuan pemanasan suhu 700°C dengan lama waktu 5 jam **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.16 a. Grafik analisis uji scanning electron microscopy abu terbang sawit hasil pembakaran di stasiun boiler, dan b. dengan perlakuan pemanasan suhu 700°C dengan lama waktu 5 jam **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.17 Grafik analisis uji thermografimetrik analisis (TGA) dan dTGA abu terbang sawit hasil pembakaran di stasiun boiler **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.18 Grafik analisis uji b thermografimetrik analisis (TGA) dan dTGA abu terbang sawit dengan perlakuan pemanasan suhu 700°C lama waktu 5 jam **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.19 Grafik analisis uji fourier transform infra-red abu terbang sawit hasil pembakaran di stasiun boiler **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.20 Grafik analisis uji fourier transform infra-red katalis abu terbang sawit dengan perlakuan pemanasan suhu 700°C dengan lama waktu 5 jam **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.21 Grafik hubungan interaksi antara perlakuan konsentrasi arang aktif dengan suhu pemanasan terhadap nilai asam lemak bebas **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.22 Grafik nilai angka asam lemak bebas minyak kelapa sawit kasar hasil pemurnian **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.23 Grafik hubungan interaksi antara perlakuan konsentrasi arang aktif dengan suhu pemanasan terhadap nilai angka asam **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.24 Grafik nilai angka asam minyak kelapa sawit kasar hasil pemurnian **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.25 Grafik nilai kadar air minyak kelapa sawit kasar hasil pemurnian **Error! Bookmark not defined.**

- Gambar 4.26 Grafik nilai bilangan penyabunan minyak kelapa sawit kasar hasil pemurnian **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.27 Grafik nilai densitas biodiesel dengan katalis abu terbang sawit..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.28 Grafik nilai viskositas kinematik biodiesel dengan katalis abu terbang sawit **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.29 Grafik hubungan interaksi antara perlakuan suhu kalsinasi dengan lama waktu terhadap nilai kadar air **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.30 Grafik nilai kadar air biodiesel dengan katalis abu terbang sawit..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.31 Grafik hubungan interaksi antara perlakuan suhu kalsinasi dengan lama waktu terhadap nilai bilangan iod **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.32 Grafik nilai bilangan iod biodiesel dengan katalis abu terbang sawit..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.33 Grafik hubungan interaksi antara perlakuan suhu kalsinasi dengan lama waktu terhadap nilai bilangan penyabunan..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.34 Grafik nilai bilangan penyabunan biodiesel dengan katalis abu terbang sawit **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.35 Grafik hubungan interaksi antara perlakuan suhu kalsinasi dengan lama waktu terhadap nilai bilangan asam **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.36 Grafik nilai angka asam biodiesel dengan katalis abu terbang sawit..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.37 Grafik hubungan interaksi antara perlakuan suhu kalsinasi dengan lama waktu terhadap nilai angka asam lemak bebas **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.38 Grafik nilai asam lemak bebas biodiesel katalis abu terbang sawit..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.39 Grafik hasil analisis biodiesel minyak kelapa sawit kasar berbasis katalis abu terbang

	sawit.....	Erro r! Bookmark not defined.
Gambar 4.40	Grafik hubungan interaksi antara perlakuan penambahan katalis dengan rasio minyak: metanol terhadap nilai densitas	Erro r! Bookmark not defined.
Gambar 4.41	Grafik nilai densitas biodiesel dengan perlakuan katalis dan rasio minyak: metanol	Erro r! Bookmark not defined.
Gambar 4.42	Grafik hubungan interaksi antara perlakuan penambahan katalis dengan rasio minyak: metanol terhadap nilai viskositas	Erro r! Bookmark not defined.
Gambar 4.43	Grafik nilai viskositas biodiesel dengan perlakuan katalis dan rasio minyak: metanol	Erro r! Bookmark not defined.
Gambar 4.44	Grafik hubungan interaksi antara perlakuan penambahan katalis dengan rasio minyak: metanol terhadap nilai bilangan iod	Erro r! Bookmark not defined.
Gambar 4.45	Grafik nilai bilangan iod biodiesel dengan perlakuan katalis dan rasio minyak: metanol	Erro r! Bookmark not defined.
Gambar 4.46	Grafik hubungan interaksi antara perlakuan penambahan katalis dengan rasio minyak: metanol terhadap nilai bilangan penyabunan.....	Erro r! Bookmark not defined.
Gambar 4.47	Grafik nilai bilangan penyabunan biodiesel dengan perlakuan katalis dan rasio minyak: metanol	Erro r! Bookmark not defined.
Gambar 4.48	Grafik hubungan interaksi antara perlakuan penambahan katalis dengan rasio minyak: metanol terhadap nilai bilangan asam	Erro r! Bookmark not defined.
Gambar 4.49	Grafik nilai bilangan asam biodiesel dengan perlakuan katalis dan rasio minyak: metanol	Erro r! Bookmark not defined.

- Gambar 4.50 Grafik nilai rendemen biodiesel dengan perlakuan katalis dan rasio minyak: metanol **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.51 Grafik hasil analisis biodiesel dengan katalis abu terbang sawit dengan perlakuan penambahan katalis 1% dengan rasio minyak: metanol 1:6 **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.52 Grafik hasil analisis biodiesel dengan katalis abu terbang sawit dengan perlakuan penambahan katalis 3% dengan rasio minyak: metanol 1:6 **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.53 Grafik hasil analisis biodiesel dengan katalis abu terbang sawit dengan perlakuan penambahan katalis 3% dengan rasio minyak: metanol 1:10 **Error! Bookmark not defined.**

