IPB University
Bogor Indonesia
@Hak cipta milik IPB University
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
IPB University
Perpustakaan IPB University

EFEKTIVITAS *BIO-OIL* BERBAHAN BAKU LIMBAH TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT DALAM PENGHAMBATAN PERTUMBUHAN BAKTERI *Staphylococcus aureus* DAN *Escherichia coli*

AMELIA MARDHOTILLAH

TEKNIK INDUSTRI PERTANIAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026

@Hak cipta milik IPB University

IPB University

IPB University
Bogor Indonesia

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
   a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
   b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University

IPB University
Bogor Indonesia

PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul "Efektivitas *Bio-Oil* Berbahan Baku Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit dalam Penghambatan Pertumbuhan Bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*" adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Januari 2026

Amelia Mardhotillah
F3501232027

@Hak cipta milik IPB University
IPB University
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
Perpustakaan IPB University

IPB University
Bogor Indonesia

RINGKASAN

AMELIA MARDHOTILLAH. Efektivitas *Bio-Oil* Berbahan Baku Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit dalam Penghambatan Pertumbuhan Bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*. Dibimbing oleh NASTITI SISWI INDRASTI dan DWI SETYANINGSIH.

Kelapa sawit merupakan salah satu komoditas perkebunan utama dan paling berpengaruh di Indonesia. Dua produk utama yang dihasilkan adalah crude palm oil (CPO) dan palm kernel oil (PKO), yang keduanya memiliki nilai ekonomi tinggi dibandingkan komoditas perkebunan lainnya. Peran kelapa sawit sangat fundamental bagi Indonesia, di mana industri kelapa sawit bukan hanya menopang pembangunan perkebunan nasional, tetapi juga membuka lapangan kerja dengan serapan tenaga kerja sekitar 16,5 juta orang pada tahun 2025 dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat di sekitarnya. Produksi industri sawit pada tahun 2025 diperkirakan mencapai 53,6 juta ton dengan konsumsi CPO dan turunannya berkisar 11,45 juta ton pada tahun 2024. Industri kelapa sawit berkontribusi besar terhadap perekonomian nasional, di mana pada tahun 2025, industri kelapa sawit mampu menghasilkan devisa negara sekitar USD 20-25 miliar. Sejalan dengan kontribusinya, industri kelapa sawit berpotensi menghasilkan limbah biomassa bervolume besar yang akan mencemari lingkungan jika tidak diolah dengan tepat. Limbah industri sawit yang dihasilkan berupa limbah cair (39,10%), emisi udara, cangkang inti (5,47%), tandan kosong kelapa sawit (17,98%), dan serat (8,62%). Pada penelitian ini, dilakukan pendekatan metode pirolisis guna mengolah, optimalisasi pemanfaatan limbah TKKS, mengurangi dampak pencemaran lingkungan, dan meningkatkan nilai tambah dari limbah padat kelapa sawit.

Pirolisis merupakan suatu proses konversi termokimia di mana biomassa yang terdiri dari bahan organik C, H, dan O terurai pada temperatur tinggi dalam kondisi *inert*, sehingga tidak terjadi pembakaran. Pada proses pemanasannya, terjadi pemecahan selulosa, lignin, dan hemiselulosa sehingga dihasilkan tiga fraksi produk utama yakni bio-oil, biochar, dan biogas. Pirolisis menawarkan metode yang lebih efisien dan tidak menghasilkan emisi pembakaran langsung dalam mengeliminasi limbah padat, serta tidak menimbulkan bau yang tidak sedap dibandingkan dengan metode lain.

Bio-oil merupakan cairan kental berwarna coklat kehitaman yang dihasilkan dari proses kondensasi uap terutama uap volatil yang terbentuk dari degradasi biomassa pada suhu tinggi pirolisis. Bio-oil mengandung senyawa dominan berupa senyawa fenolik dengan gugus hirdoksil (OH-) yang diketahui memiliki sifat antibakteri. Sifat antibakteri bio-oil ini dianalisis dengan uji daya hambat bakteri terhadap pertumbuhan bakteri *Staphylococcus aureus* (Gram positif) dan *Escherichia coli* (Gram negatif) dengan menggunakan konsentrasi fenol dalam bio-oil untuk basis pengenceran.

Penelitian ini memiliki tiga tujuan utama: (1) mengetahui dan mengidentifikasi pengaruh suhu pirolisis (300°C, 350°C, dan 400°C) dan waktu pirolisis selama 45 dan 60 menit dari limbah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) terhadap rendemen dan kualitas bio-oil meliputi warna dan total padatan, (2) mengevaluasi efektivitas bio-oil pada berbagai konsentrasi fenol terhadap bakteri

@Hak cipta milik IPB University
IPB University
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
Perpustakaan IPB University

IPB University
Bogor Indonesia

Staphylococcus aureus dan *Escherichia coli*, (3) mengidentifikasi dan menganalisis senyawa aktif dalam bio-oil dari perlakuan terbaik menggunakan analisis GC–MS. Kebaruan penelitian ini terletak pada pendekatan terintegrasi antara komposisi kimia dan aktivitas biologis bio-oil. Penelitian ini tidak hanya mengukur total fenol, tetapi juga menghubungkan senyawa fenolik spesifik hasil identifikasi GC–MS dengan daya hambat antibakteri terhadap *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*. Pendekatan ini berbeda dari penelitian sebelumnya, yang berfokus pada rendemen serta karakterisasi fisikokimia bio-oil tanpa menilai aktivitas biologisnya.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa: (1) suhu dan waktu paling efektif untuk menghasilkan bio-oil dengan hasil dan kualitas terbaik adalah pada suhu pirolisis 400°C selama 45 menit, (2) aktivitas antimikroba bio-oil limbah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) antibakteri terhadap *Escherichia coli* nilai zona penghambatan 8,08 mm dan *Staphylococcus aureus* 8,50 mm, (3) senyawa bioaktif utama bio-oil hasil GC-MS dari perlakuan terbaik berupa fenol dan turunannya, yang didukung oleh keberadaan senyawa lain seperti keton, alkohol, asam karboksilat, aldehida, ester, dan eter. Senyawa-senyawa tersebut bersinergi dalam memberikan aktivitas antibakteri**,** sehingga mengonfirmasi bahwa aktivitas biologis bio-oil berkaitan erat dengan komposisi kimianya.

Penelitian lanjutan disarankan dilakukan pada skala lebih besar atau pilot plant untuk menilai kelayakan proses pirolisis dalam menghasilkan bio-oil. Studi berikutnya juga dapat memfokuskan pada pemisahan senyawa dominan dari hasil GC–MS dan menguji daya inhibisi tiap fraksi. Formulasi fenol yang lebih efektif (2%) berpotensi dikembangkan sebagai antiseptik alami, menawarkan alternatif yang lebih ramah lingkungan dan tidak mudah menguap dibanding alkohol 70%. Selain itu, diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai pemisahan senyawa fenolik serta evaluasi efektivitas antibakterinya secara in vivo. Temuan ini menunjukkan bahwa bio-oil dari limbah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) memiliki nilai praktis sebagai bahan dasar antiseptik alami untuk bioproduk skala industri. Kandungan fenolik aktif memiliki aktivitas antibakteri akan memperkuat peluang pemanfaatannya sebagai antiseptik, disinfektan, atau pengawet alami berbasis biomassa terbarukan.

Kata kunci: bio-oil, fenol, gc-ms, pirolisis, tandan kosong kelapa sawit

@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

IPB University

Perpustakaan IPB University

IPB University
Bogor Indonesia
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
@Hak cipta milik IPB University
IPB University
Perpustakaan IPB University

SUMMARY

AMELIA MARDHOTILLAH. Effectiveness of Bio-Oil Based on Palm Oil Empty Bunch Waste in Inhibition of *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* Bacterial Growth. Supervised by NASTITI SISWI INDRASTI and DWI SETYANINGSIH.

Oil palm is one of the most important and influential plantation commodities in Indonesia. The two main products derived from oil palm are crude palm oil (CPO) and palm kernel oil (PKO), both of which possess high economic value compared with other plantation commodities. The oil palm industry plays a fundamental role in Indonesia, as it not only supports national plantation development but also generates employment for approximately 16.5 million people in 2025, contributing to the improvement of the welfare of surrounding communities. In 2025, palm oil production is projected to reach 53.6 million tons, with domestic consumption of CPO and its derivatives estimated at approximately 11.45 million tons in 2024. Furthermore, the palm oil industry makes a significant contribution to the national economy, generating foreign exchange earnings of approximately USD 20–25 billion in 2025.

Along with its substantial economic contribution, the palm oil industry also generates large volumes of biomass waste that may pose serious environmental problems if not properly managed. Palm oil mill waste consists of liquid effluents (39.10%), air emissions, fiber, palm kernel shells (5.47%), oil palm empty fruit bunches (OPEFB) (17.98%), and additional fiber fractions (8.62%). Therefore, this study employs a pyrolysis-based approach to process and optimize the utilization of oil palm empty fruit bunch (OPEFB) waste, thereby reducing environmental pollution and enhancing the value-added potential of solid palm oil waste.

Pyrolysis is a thermochemical conversion process in which biomass composed of carbon (C), hydrogen (H), and oxygen (O) is decomposed at high temperatures under inert conditions, thereby preventing combustion. During the heating process, cellulose, lignin, and hemicellulose undergo thermal degradation, producing three main product fractions: bio-oil, biochar, and biogas. Pyrolysis offers a more efficient method for solid waste treatment, as it eliminates direct combustion emissions and minimizes unpleasant odors, compared to conventional waste management methods.

Bio-oil is a viscous, dark brown liquid produced through the condensation of volatile vapors generated during high-temperature biomass degradation under pyrolysis conditions. Bio-oil contains dominant phenolic compounds with hydroxyl (–OH) functional groups, which are known to exhibit antibacterial properties. The antibacterial activity of bio-oil was evaluated using bacterial inhibition assays against *Staphylococcus aureus* (a Gram-positive bacterium) and *Escherichia coli* (a Gram-negative bacterium), with the phenol concentration in the bio-oil used as the basis for dilution.

This study has three main objectives: (1) to determine and identify the effects of pyrolysis temperature (300°C, 350°C, and 400°C) and residence time (45 and 60 minutes) on the yield and quality of bio-oil derived from OPEFB waste, including color and total solids; (2) to evaluate the antibacterial effectiveness of bio-oil at various phenol concentrations against *Staphylococcus aureus* and

Escherichia coli; and (3) to identify and analyze the active compounds in bio-oil obtained under optimal conditions using GC–MS analysis.

The novelty of this research lies in its integrated approach, which links the chemical composition and biological activity of bio-oil. This study not only quantifies total phenolic content but also correlates specific phenolic compounds identified by GC–MS with antibacterial inhibition against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*. This approach differs from previous studies that primarily focused on yield and physicochemical characterization without assessing biological activity.

The results indicate that: (1) the most effective pyrolysis condition for producing bio-oil with optimal yield and quality was 400°C for 45 minutes; (2) OPEFB-derived bio-oil exhibited antibacterial activity against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*, with inhibition zone diameters of 8.08 mm and 8.50 mm, respectively; and (3) the main bioactive compounds identified by GC–MS in the bio-oil from the optimal treatment were phenolic compounds and their derivatives, supported by the presence of ketones, alcohols, carboxylic acids, aldehydes, esters, and ethers. These compounds act synergistically to provide antibacterial activity, confirming that the biological activity of bio-oil is closely related to its chemical composition.

Further studies are recommended at a larger or pilot-plant scale to assess the feasibility of the pyrolysis process for bio-oil production. Future research may also focus on the separation of dominant compounds identified by GC–MS and the evaluation of antibacterial inhibition for each fraction. A more effective phenol formulation (2%) shows potential for development as a natural antiseptic, offering a more environmentally friendly and less volatile alternative to 70% alcohol. Furthermore, additional studies are needed to isolate phenolic compounds and assess their antibacterial efficacy *in vivo*. These findings demonstrate that bio-oil derived from oil palm empty fruit bunch waste has practical value as a natural antiseptic precursor for industrial-scale bioproduct development.

Keywords: bio-oil, GC–MS, oil palm empty fruit bunches (OPEFB), phenol, pyrolysis.

IPB University
Bogor Indonesia
@Hak cipta milik IPB University
IPB University
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
Perpustakaan IPB University

IPB University
Bogor Indonesia
@Hak cipta milik IPB University
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
Perpustakaan IPB University

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

IPB University

@Hak cipta milik IPB University

IPB University

IPB University
Bogor Indonesia

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
   a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
   b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University

IPB University
Bogor Indonesia
@Hak cipta milik IPB University
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
IPB University
Perpustakaan IPB University

EFEKTIVITAS *BIO-OIL* BERBAHAN BAKU LIMBAH TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT DALAM PENGHAMBATAN PERTUMBUHAN BAKTERI *Staphylococcus aureus* DAN *Escherichia coli*

AMELIA MARDHOTILLAH

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister Teknik pada
Program Studi Teknik Industri Pertanian
.

TEKNIK INDUSTRI PERTANIAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026

IPB University
Bogor Indonesia
@Hak cipta milik IPB University
IPB University
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
Perpustakaan IPB University

Tim Penguji pada Ujian Tesis:

1. Prof. Dr. Farah Fahma, S.TP., M.T.

@Hak cipta milik IPB University

IPB University

IPB University
Bogor Indonesia

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
   a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
   b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University

Judul Tesis : Efektivitas *Bio-Oil* Berbahan Baku Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit dalam Penghambatan Pertumbuhan Bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*

Nama : Amelia Mardhotillah

NIM : F3501232027

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. Nastiti Siswi Indrasti, IPU, ASEAN Eng.

Digitally signed by:
Nastiti Siswi Indrasti
Date: 6 Jan 2026 14.26.03 WIB
Verify at disign.ipb.ac.id

Pembimbing 2:
Dr. Dwi Setyaningsih, S.T.P., M.Si

digitally signed
disign.ipb.ac.id

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Prof. Dr.Eng. Ir. Taufik Djatna, M.Si.
NIP: 197006141995121001

digitally signed
disign.ipb.ac.id

Dekan Fakultas Teknologi Pertanian:
Prof. Dr. Ir. Slamet Budijanto, M.Agr.
NIP: 196105021986031002

digitally signed
disign.ipb.ac.id

Tanggal Ujian:
22 Desember 2025

Tanggal Lulus:

@Hak cipta milik IPB University

IPB University
Bogor Indonesia

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University

IPB University
Bogor Indonesia
@Hak cipta milik IPB University
IPB University
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
Perpustakaan IPB University

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah Subḥānahu wa ta'ālā atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan September 2024 sampai bulan Mei 2025 ini ialah Antiseptik Alami dengan judul "Efektivitas *Bio-Oil* Berbahan Baku Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit dalam Penghambatan Pertumbuhan Bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli*". Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, Prof. Dr. Ir. Nastiti Siswi Indrasti, IPU, ASEAN-Eng dan Dr. Dwi Setyaningsih, S.T.P., M.Si yang telah membimbing dan banyak memberi saran. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada moderator seminar, dan penguji luar komisi pembimbing Prof. Dr. Farah Fahma, S.TP., M.T., serta moderator Prof. Dr. Ir. Moh. Yani, M.Eng.

Penulis juga sampaikan penghargaan kepada BEASISWA UNGGULAN yang telah mendanai Pendidikan saya, beserta staf Laboratorium DIT I/II, BIOIN, Teknik Kimia, Pengemasan, dan Mutu yang telah membantu selama pengumpulan data. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada ibu Sri Supadmi, ayah Udjen Yoyo, serta dan Mas Ahmad, teman kos (Kak Ana) yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih sayangnya.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Januari 2026
Amelia Mardhotillah

IPB University
Bogor Indonesia

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL xiii
DAFTAR GAMBAR xiii
DAFTAR LAMPIRAN xiv
I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan 3
1.4 Manfaat 3
1.5 Ruang Lingkup 3
1.6 Hipotesis 4
II TINJAUAN PUSTAKA 5
2.1 Kelapa Sawit Indonesia 5
2.2 Pirolisis 7
2.3 Bio-Oil 11
III METODE 13
3.1 Waktu Penelitian 13
3.2 Alat dan Bahan 13
3.3 Sumber Data 13
3.4 Desain Percobaan 13
3.5 Prosedur Kerja 15
3.6 Analisis Data 17
IV HASIL DAN PEMBAHASAN 20
4.1 Karakterisasi Tandan Kosong Kelapa Sawit 20
4.2 Pengaruh Suhu dan Waktu Pirolisis terhadap Rendemen Bio-Oil 20
4.3 Pengaruh Suhu dan Waktu Pirolisis terhadap Rendemen Total Fenol Bio-Oil 23
4.4 Uji Daya Hambat Bakteri terhadap Konsentrasi Fenol 25
4.5 Identifikasi Senyawa Golongan Hasil Analisis GC-MS 34
4.6 Analisis PCA 45
V SIMPULAN DAN SARAN 48
5.1 Simpulan 48
5.2 Saran 48
DAFTAR PUSTAKA 49
LAMPIRAN 54
RIWAYAT HIDUP 65

© Hak cipta milik IPB University
IPB University
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
Perpustakaan IPB University

IPB University
Bogor Indonesia
@Hak cipta milik IPB University
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
IPB University
Perpustakaan IPB University

DAFTAR TABEL

1	Komponen kimia dalam limbah TKKS	7
2	Produk dan mekanisme pirolisis dari komponen utama biomassa	11
3	Komposisi proksimat tandan kosong kelapa sawit	20
4	Pengaruh suhu dan waktu pirolisis terhadap rendemen bio-oil dan biochar	22
5	Uji Bonferonni pengaruh suhu dan waktu terhadap yield bio-oil	22
6	Rendemen kadar total fenol bio-oil hasil pirolisis	24
7	Hasil uji daya hambat bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Escherichia coli* terhadap konsentrasi fenol (%)	27
8	Nilai uji daya hambat bakteri terhadap empat sampel perlakuan terbaik	33
9	Senyawa yang berpotensi memiliki aktivitas antimikroba berdasarkan hasil GC-MS	36
10	Literatur aktivitas mikroba berdasarkan golongan senyawa	41
11	Golongan senyawa yang berpotensi mengurangi efektivitas antimikroba	44
12	Nilai varian hasil PCA	45
13	Matriks korelasi antar golongan senyawa	46

DAFTAR GAMBAR

1	Perkembangan luas areal dan produksi	5
2	Tandan kosong kelapa sawit	6
3	Mesin pirolisis	8
4	Mekanisme degradasi termal lignoselulosa pada proses pirolisis	10
5	Diagram alir proses pirolisis limbah TKKS	15
6	Bio-oil dari hasil pirolisis TKKS	21
7	Reaksi senyawa fenol dengan reagen Folin-Ciocalteu	24
8	Zona hambat bio-oil TKKS terhadap *Staphylococcus aureus* dan *Escherichiacoli* serta kontrol positif (alkohol 70%) dan kontrol negatif (akuades)	28
9	Korelasi zona hambat bakteri *Staphylococcus aureus*	31
10	Korelasi zona hambat bakteri *Escherichia coli*	31
11	Lapisan sel Gram-positif dan Gram-negatif	33
12	Profil golongan senyawa hasil analisis GC-MS	35
13	Biplot PCA sampel perlakuan terbaik hasil GC-MS	46

IPB University
Bogor Indonesia

DAFTAR LAMPIRAN

1	Perbandingan perlakuan suhu dan waktu terhadap yield bio-oil	55
2	ANOVA daya hambat *Escherichia coli, Staphylococcus aureus*, dan koordinat PCA sampel bio-oil terbaik	57
3	ANOVA uji kadar total fenol bio-oil metode spektrofotometri	58
4	Grafik kromatogram sampel perlakuan terbaik A1, A2 (400℃ selama 45 menit) dan B1, B2 (400℃ selama 60 menit)	59
5	Uji kadar total fenol sampel bio-oil dengan metode Folin-Ciocalteu	61
6	Kontrol positif daya hambat bakteri *Staphylococcus aureus* dengan alkohol 70%	61
7	Kontrol positif daya hambat bakteri *Escherichia coli* dengan alkohol 70%	61
8	ANOVA rendemen bio-oil hasil pirolisis TKKS	62
9	Prosedur kerja proksimat sampel TKKS	62
10	Kurva Standar Asam Galat Analisis Kadar Total Fenol	64

@Hak cipta milik IPB University
IPB University
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
Perpustakaan IPB University