



KARAKTERISTIK *BIOOIL* DARI ECENG GONDOK SEBAGAI BAHAN BAKAR CAIR MELALUI PROSES PIROLISIS

Angga Bahri Pratama^{a,c*}, Erna Juwita^{b,c}

^aProgram Studi Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan, Jl. Almamater No.1, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Medan, Sumatera Utara 20155, Indonesia

^bProgram Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan, Jl. Almamater No.1, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Medan, Sumatera Utara 20155, Indonesia

^cPusat Kajian Energi Baru Terbarukan, Politeknik Negeri Medan, Jl. Almamater No.1, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Medan, Sumatera

*Corresponding authors at: anggabahri@polmed.ac.id Tel.: +62822-8801-1812

INFO ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diajukan pada 04 November 2025

Direvisi pada 23 Januari 2026

Disetujui pada 12 Februari 2026

Tersedia daring pada 28 Februari 2026

Kata kunci:

Pirolisis, Eceng Gondok, *Biooil*, Energi Terbarukan

Keywords:

Pyrolysis, Water Hyacinth, Biooil, Renewable Energy

ABSTRAK

Pirolisis eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) adalah proses termokimia yang mengubah biomassa menjadi *biooil*, arang, dan gas, dengan tujuan menghasilkan bahan bakar alternatif yang lebih ramah lingkungan dibandingkan bahan bakar fosil. Proses ini dilakukan dengan memanaskan eceng gondok pada temperatur 550°C tanpa oksigen, dengan waktu pemanasan sekitar 1 jam. Uap hasil pirolisis dialirkan ke sistem kondensasi untuk didinginkan sehingga mengalami perubahan fase dan menghasilkan *biooil* sebagai produk utama dalam penelitian ini. Proses pirolisis eceng gondok mampu menghasilkan *biooil* dengan karakteristik fisik dan kimia seperti densitas 0,981 g/cm³, viskositas (40°C) sebesar 25 mm²/s, titik nyala 120°C, titik tuang -1°C, stabilitas oksidasi 4 jam, bilangan asam 25 mg KOH/g, dan bilangan iodin 80 g I₂/100 g. Penelitian ini menunjukkan bahwa salah satu produk dari pirolisis eceng gondok yaitu *biooil* memiliki potensi sebagai sumber energi terbarukan yang dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, sekaligus memberikan solusi pengelolaan limbah perairan. Akan tetapi, untuk dapat dimanfaatkan lebih jauh sebagai bahan bakar, *biooil* yang diperoleh dari proses pirolisis ini memerlukan tahapan pemrosesan lanjutan guna meningkatkan kualitasnya sehingga memenuhi standar spesifikasi bahan bakar cair yang berlaku.

ABSTRACT

In an effort to provide a more ecologically friendly alternative fuel than fossil fuels, water hyacinth (Eichhornia crassipes) is thermochemically pyrolysed to yield biooil, char and gas. Water hyacinth is heated to 550°C for about an hour without oxygen in order to accomplish this operation. The char can be used as activated carbon, and the biooil that is produced has a calorific value that is similar to that of fossil fuels. The primary product of this investigation, biooil, was created by cooling and undergoing phase change of the pyrolysis vapours in a condensation system. A density of 0.981 g/cm³, a viscosity of 25 mm²/s at 40°C, a flash point of 120°C, a pour point of -1°C, oxidative stability of 4 hours, an acid value of 25 mg KOH/g, and an iodine value of 80 g I₂/100 g were among the physical and chemical characteristics of the biooil produced by the pyrolysis process. This study shows that biooil, one of the byproducts of water hyacinth pyrolysis, holds promise as a renewable energy source that can lessen reliance on fossil fuels and address aquatic waste management at the same time. However, the biooil generated by this method needs to undergo further upgrading stages to improve its quality and match established liquid fuel criteria in order to enable its future utilisation as a fuel.

1. PENGANTAR

Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) adalah tumbuhan air yang tumbuh cepat dan menyebar luas, termasuk sebagai gulma perairan yang dapat merusak ekosistem air karena pertumbuhannya yang sangat cepat. Namun, eceng gondok juga memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan secara ekonomis dan ramah lingkungan, misalnya sebagai bahan baku kerajinan tangan seperti anyaman, kursi, tas, dan dompet, meskipun saat ini pengolahannya masih sederhana dan kualitas produk masih terbatas (Tobing & Harahap, 2024).

Selain itu, eceng gondok mengandung senyawa selulosa, lignin, dan hemiselulosa yang tinggi, sehingga berpotensi sebagai bahan baku bioenergi, seperti bioetanol dan *biooil* melalui proses pirolisis. Pemanfaatan eceng gondok sebagai bahan bakar alternatif sangat penting mengingat kebutuhan bahan bakar fosil yang semakin menipis dan dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh penggunaan bahan bakar fosil (Kusman dkk., 2024).

Penelitian juga menunjukkan bahwa eceng gondok dapat diolah menjadi asap cair melalui teknologi pirolisis yang dapat dimanfaatkan sebagai pengawet makanan dan sumber energi yang ramah lingkungan. Pengolahan ini diharapkan dapat menjadi solusi pengendalian eceng gondok yang berlebihan sekaligus memberikan nilai tambah ekonomi bagi masyarakat sekitar. Dengan demikian, penelitian tentang teknologi pengolahan eceng gondok, khususnya melalui pirolisis untuk menghasilkan *biooil* atau asap cair, sangat penting untuk mengoptimalkan pemanfaatan eceng gondok sebagai bahan bakar cair dan produk bernilai lainnya, sekaligus memberikan kontribusi pada pelestarian lingkungan dan pengembangan ekonomi hijau.

Penelitian yang dilakukan oleh Kusman dkk. (2024) membahas tentang, penggunaan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) sebagai bahan bakar alternatif biobriket di danau Galela, hasilnya menunjukkan bahwa proses pembuatan briket arang dari eceng gondok dengan penambahan tapung tapioka sebagai lem untuk perekat, telah berhasil dibuat. Selain itu hasil pengujian juga menunjukkan bahwa hasil terbaik ditinjau dari laju pembakaran rendah, densitas tinggi dan nilai kalor tertinggi diperoleh briket yang mengandung campuran eceng gondok dan arang kelapa dengan kadar perekat 12,5% untuk sampel B3.

Rahmatullah dkk. (2023) juga telah melakukan riset tentang pembuatan biobriket dari eceng gondok dan ampas kopi dengan metode pirolisis sebagai bahan bakar alternatif, dimana hasilnya menunjukkan bahwa nilai kalor tertinggi diperoleh dengan rasio campuran 25,75% arang eceng gondok dan ampas kopi pada kondisi pirolisis temperatur 400°C dan waktu 60 menit. Ini membuktikan bahwa eceng gondok memang memiliki potensi besar untuk dijadikan sebagai sumber energi terbarukan.

Penelitian oleh Arinanda (2019) yang mengkaji konversi campuran eceng gondok dan minyak kelapa sawit menjadi bahan bakar cair menggunakan pirolisis dengan katalis zeolit-A. Hasilnya menunjukkan kandungan hidrokarbon *biooil* mencapai 99,12% dan fraksi ringan golongan biogasolin 100%, menandakan *biooil* eceng gondok berpotensi sebagai bahan bakar cair berkualitas. Studi oleh Mitikie dkk., (2025) tentang pengaruh *fly ash* sebagai katalis pada pirolisis eceng gondok yang menghasilkan rendemen *biooil* tertinggi sebesar 39,142% pada temperatur 500°C selama 1 jam. Penelitian ini memperkuat potensi eceng gondok sebagai biomassa untuk *biooil* melalui pirolisis dengan katalis. Selain itu, penelitian oleh Puspitasari (2015) tentang kinetika reaksi co-pirolisis eceng gondok dan limbah ban bekas untuk menghasilkan *biooil* yang menunjukkan eceng gondok sebagai bahan baku biomassa yang sangat potensial dan ramah lingkungan. Studi ini juga membahas model kinetika reaksi pembentukan *biooil* dari proses tersebut. Kajian oleh Ramadan tentang pemanfaatan eceng gondok sebagai bahan baku asap cair hasil pirolisis yang mengkaji pengaruh temperatur dan waktu pirolisis terhadap rendemen dan kualitas produk, termasuk aplikasi asap cair sebagai pengawet ikan. Penelitian ini menyoroti variabel proses pirolisis yang memengaruhi karakteristik produk cair dari eceng gondok (Ramadan, 2022).

Meskipun berbagai penelitian telah menunjukkan potensi eceng gondok sebagai bahan baku bioenergi dan produk bernilai tambah melalui proses pirolisis, sebagian besar kajian masih berfokus pada pemanfaatannya sebagai biobriket atau asap cair, serta penggunaan campuran bahan dan katalis tertentu. Sementara itu, kajian yang secara khusus menitikberatkan pada produksi *biooil* dari eceng gondok dengan pengendalian dan evaluasi karakteristik fisikokimia produk sebagai indikator kelayakan energi masih terbatas. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengkaji proses pirolisis eceng gondok secara optimal guna menghasilkan *biooil* dengan karakteristik yang sesuai sebagai bahan bakar cair alternatif serta sebagai solusi pengelolaan gulma perairan yang berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk memproduksi *biooil* dari eceng gondok melalui proses pirolisis dengan karakteristik fisikokimia yang sesuai, sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan guna mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil yang ketersediaannya semakin menurun, sekaligus menjadi solusi alternatif dalam pengelolaan limbah perairan.

1.1. Pirolisis Biomassa

Pirolisis adalah proses termokimia yang melibatkan pemanasan biomassa dalam kondisi tanpa oksigen sehingga bahan organik terdekomposisi menjadi produk utama berupa *biooil* (cairan), arang (padatan), dan gas (Nurulita dkk., 2021). Proses ini bertujuan mengubah biomassa menjadi bahan bakar alternatif yang lebih ramah lingkungan dibandingkan bahan bakar fosil (Pratiwi, 2022).

1.2. Karakteristik Eceng Gondok sebagai Biomassa

Ada banyak eceng gondok di danau dan sungai, selain tidak menguntungkan, jenis ini menghambat perkembangbiakan ikan dan transportasi air. Untuk mencegah eceng gondok menumpuk dan menjadi limbah biomassa, maka dapat diproduksi sebagai sumber energi terbarukan (Ahzan dkk., 2021). Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) adalah tanaman air yang memiliki kandungan lignoselulosa tinggi, yaitu selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang merupakan sumber karbon utama dalam proses pirolisis (Kusman dkk., 2024). Biomassa ini juga mengandung kadar air dan abu yang mempengaruhi hasil pirolisis. Eceng gondok dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pirolisis untuk menghasilkan *biooil* dan arang dengan nilai kalor yang cukup baik (Ahzan dkk., 2021).

1.3. Pengaruh Temperatur dan Waktu Pirolisis

Temperatur pirolisis yang umum digunakan untuk eceng gondok berkisar antara 400°C hingga 500°C dengan waktu pemanasan sekitar 1 jam (Ardianti dkk., 2019; Santhiarsa, 2022). Temperatur ini optimal untuk menghasilkan *biooil* dengan kualitas baik dan arang dengan kadar karbon tinggi serta kadar abu rendah. Waktu pirolisis yang lebih lama dapat meningkatkan kadar karbon terikat pada arang, tetapi jika terlalu lama dapat menyebabkan oksidasi berlebihan yang merusak struktur karbon (Pratiwi, 2022).

1.4. Penggunaan Katalis dalam Pirolisis

Katalis seperti zeolit-A dan *fly ash* dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi pirolisis dan kualitas *biooil* yang dihasilkan. Katalis ini membantu meningkatkan rendemen *biooil* dengan kandungan hidrokarbon yang lebih tinggi, serta mempengaruhi komposisi kimia *biooil* agar lebih sesuai sebagai bahan bakar cair. Zeolit-A yang disintesis dengan metode hidrotermal menunjukkan aktivitas katalitik terbaik dengan kadar hidrokarbon mencapai 99,12% (Kadarwati dkk., 2022).

1.5. Produk Pirolisis Eceng Gondok

Produk utama pirolisis eceng gondok adalah *biooil*, arang, dan gas. *Biooil* dapat digunakan sebagai bahan bakar cair alternatif dengan nilai kalor yang mendekati bahan bakar fosil. Arang hasil pirolisis dapat dimanfaatkan sebagai karbon aktif dengan sifat adsorben yang baik, meskipun kualitas karbon aktif sangat tergantung pada temperatur dan durasi pirolisis (Yanti, 2023).

2. METODE

2.1. Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui 3 tahap, yaitu persiapan bahan baku, proses pirolisis, dan pengumpulan dan pemisahan produk. Proses persiapan bahan baku meliputi pembersihan eceng gondok dari kotoran dan bahan asing, lalu eceng gondok yang telah bersih

tersebut dikeringkan dengan tujuan untuk mengurangi kadar air dalam eceng gondok. Eceng gondok yang telah dikeringkan kemudian dihaluskan agar mudah diproses dalam reaktor pirolisis.

Tahap selanjutnya adalah proses pirolisis, dimana eceng gondok yang telah dihaluskan dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis. Proses pirolisis dilakukan dengan pemanasan pada temperatur tinggi tanpa oksigen, pada rentang temperatur sekitar 550°C selama 1 jam. Uap hasil pirolisis didinginkan menggunakan kondensor untuk mengumpulkan *biooil* sebagai produk utama. Tahapan terakhir adalah proses pengumpulan dan pemisahan produk. Produk hasil pirolisis terdiri dari *biooil* (cair), arang (*char*), dan gas. *Biooil* ditampung dalam wadah penampung setelah kondensasi dan arang diambil setelah reaktor mendingin dan dipisahkan dari residu padat. Pada tahap pirolisis menggunakan alat pirolisis yang dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1: Alat yang digunakan dalam proses pirolisis

Reaktor pirolisis pada gambar 1 merupakan reaktor tipe *batch fixed bed* untuk pirolisis biomassa dalam kondisi tertutup. Reaktor terbuat dari *stainless steel* yang tahan temperatur tinggi dan korosi, sehingga aman dioperasikan hingga 600 °C. Reaktor ini memiliki kapasitas biomassa sekitar 5–10 kg per *batch*, tergantung jenis biomassa. Alat pirolisis ini dilengkapi dengan sensor temperatur yang berfungsi untuk pembacaan temperatur yang lebih akurat, selain itu alat ini juga dilengkapi elemen pemanas yang sangat berguna untuk menjaga temperatur panas dalam kondisi optimal. Alat ini juga dilengkapi dengan pengontrol temperatur, sehingga lebih mudah untuk mengontrol temperatur yang diinginkan (Santhiarsa, 2022).

Proses kerja dari pirolisis adalah proses penguraian bahan organik dengan cara memanaskannya di dalam reaktor tertutup yang bebas oksigen. Pada awalnya, eceng gondok yang sudah dalam bentuk bubuk dipersiapkan dan dimasukkan ke dalam reaktor kedap udara. Reaktor kemudian dipanaskan hingga mencapai temperatur sekitar 350°C sampai 600°C (Ardianti dkk., 2019). Temperatur pirolisis berpengaruh terhadap hasil produk *biooil* yang dihasilkan pada proses pirolisis eceng gondok (Indriana dkk., 2025). Karena tidak ada oksigen, bahan tidak terbakar, melainkan mengalami dekomposisi termal yang memecah molekul besar menjadi molekul yang lebih kecil. Selama proses berlangsung, bahan akan menghasilkan gas panas yang kemudian dialirkan menuju kondensor untuk didinginkan. Gas yang mendingin akan berubah menjadi minyak pirolisis, sementara gas yang tidak mengembun dapat digunakan kembali sebagai bahan bakar pemanas atau dibuang melalui *flare*. Sisa padatan yang tertinggal di dalam reaktor menjadi arang atau *char*. Setelah proses selesai, reaktor didinginkan sebelum minyak ditampung dan arang dikeluarkan. Dengan demikian, pirolisis mengubah bahan padat menjadi tiga produk utama: minyak, gas, dan arang melalui pemanasan tanpa oksigen.

2.2. Model Penelitian

Model penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah penelitian eksperimen dimana data hasil penelitian diperoleh dari hasil pengujian alat pirolisis dari biomassa eceng gondok menjadi *biooil* dan pengujian karakteristik dari *biooil* yang diperoleh.

2.3. Teknik Pengumpulan dan Analisis Data

Adapun pengumpulan data dan analisis data pengujian sebagaimana berikut: Penelitian biomassa eceng gondok menjadi *biooil* sebagai pengganti bahan bakar cair dilakukan pengecekan sifat fisiokimia pada *biooil* yang telah diproduksi sebelumnya. Pengujian sifat fisik dan kimia *biooil* bertujuan untuk menilai kualitas bahan bakar cair yang dihasilkan, seperti densitas, viskositas, *flash point*, *pour point*, stabilitas oksidasi, bilangan asam, bilangan *iodine*, dan kandungan senyawa dari *biooil* eceng gondok melalui proses pirolisis sebagai pengembangan bahan menggunakan GC-MS.

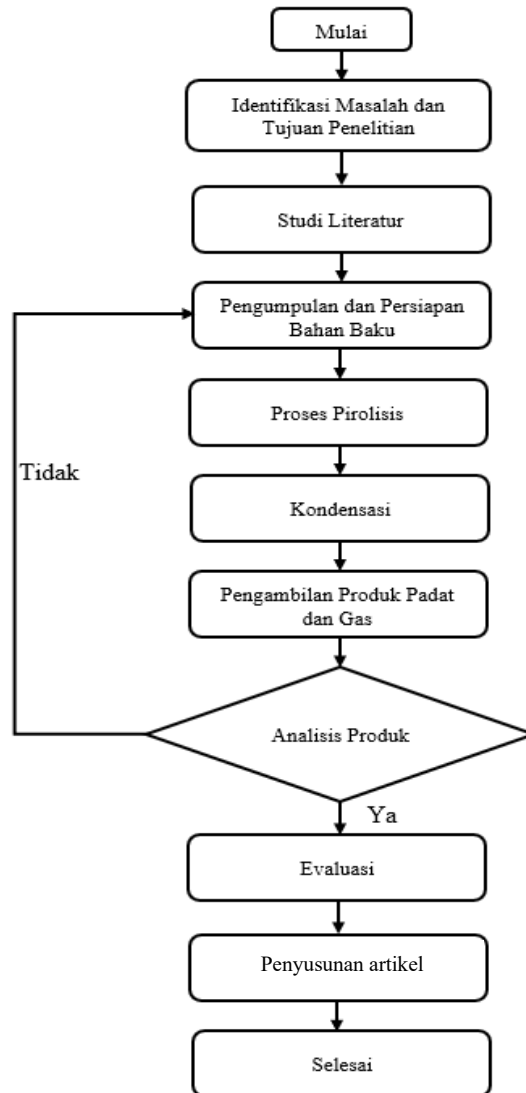
Densitas merupakan karakteristik suatu zat yang menggambarkan massa material dalam setiap satuan volume. Nilai densitas ini biasanya berhubungan dengan kandungan energi yang dimiliki oleh suatu bahan bakar. Viskositas pada suatu cairan menggambarkan tingkat hambatan internal yang menahan atau memperlambat aliran fluida tersebut. *Flash point* merupakan temperatur minimum pada suatu cairan ketika uap yang terbentuk di sekitar permukaannya dapat menyala dan menghasilkan nyala singkat saat terkena sumber api terbuka. Parameter ini digunakan sebagai indikator utama tingkat kemudahan terbakar atau karakteristik potensi penyalanya pada suatu bahan bakar. *Pour point* merupakan temperatur paling rendah ketika suatu cairan tidak lagi mampu mengalir dan mulai mengalami pembekuan. Parameter ini sangat penting karena memberikan gambaran mengenai perilaku aliran minyak pada kondisi temperatur tertentu.

Stabilitas Oksidasi merupakan parameter yang menggambarkan sejauh mana minyak mampu mempertahankan stabilitasnya terhadap oksidasi selama masa penyimpanan yang lama. Bilangan asam berfungsi untuk menentukan konsentrasi asam mineral dan asam lemak bebas yang terdapat dalam sampel minyak. Bilangan iodin pada minyak menyatakan jumlah iodin (g) yang bereaksi dengan setiap 100 g sampel. Parameter ini digunakan untuk menilai tingkat ketidakjenuhan (jumlah ikatan rangkap) pada minyak karena nilainya sebanding dengan derajat ketidakjenuhan tersebut (Wauton & Ogbeide, 2020; Komariyah, 2022; Umeh & Okonkwo, 2025). Selain itu, analisis GC-MS digunakan untuk mengidentifikasi kandungan senyawa yang terdapat pada sampel.

2.4. Diagram Penelitian

Rancangan penelitian dijelaskan dalam diagram alir pada Gambar 2. Diagram alir ini menunjukkan tahapan penelitian produksi *biooil* melalui proses pirolisis. Penelitian diawali dengan identifikasi masalah dan penetapan tujuan, kemudian dilanjutkan dengan studi literatur sebagai dasar teoritis (Pratama dkk., 2025). Tahap berikutnya adalah pengumpulan dan persiapan bahan baku sebelum dilakukan proses pirolisis. Hasil pirolisis kemudian melalui tahap kondensasi untuk memperoleh produk cair (*biooil*).

Biooil yang dihasilkan selanjutnya dilakukan analisis karakteristik fisikokimia sebagai fokus utama penelitian. Apabila hasil analisis *biooil* belum memenuhi kriteria yang diharapkan, maka proses diulang dari tahap persiapan bahan baku. Jika hasil analisis telah memenuhi kriteria, penelitian dilanjutkan ke tahap evaluasi, penyusunan artikel, dan diakhiri dengan penyelesaian penelitian.



Gambar 2: Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Karakteristik *Biooil Eceng Gondok*

Eceng gondok yang telah melalui proses pengeringan lalu digiling menggunakan alat penghancur hingga diperoleh serbuk. Proses penggilingan bertujuan untuk memperkecil ukuran partikel dan meningkatkan luas permukaan bahan, sehingga proses dekomposisi termal selama pirolisis dapat berlangsung lebih merata. Serbuk eceng gondok yang dihasilkan tampak berwarna coklat kehijauan, memiliki tekstur halus dan relatif homogen, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3. Homogenitas ukuran partikel tersebut memungkinkan terjadinya pemanasan yang lebih seragam sehingga mendukung efisiensi konversi biomassa menjadi produk pirolisis. Serbuk eceng gondok yang telah dihasilkan kemudian disimpan dalam wadah tertutup untuk menghindari penyerapan kembali uap air dari lingkungan sebelum digunakan sebagai bahan baku pada tahap pirolisis.



Gambar 3: Serbuk daun eceng gondok

Biooil merupakan produk cair hasil kondensasi uap pirolisis eceng gondok yang terbentuk selama proses pemanasan tanpa oksigen. *Biooil* yang dihasilkan dikumpulkan dan disimpan dalam wadah tertutup untuk mencegah penguapan serta kontaminasi dari lingkungan yang dapat dilihat pada Gambar 4. Secara umum, *biooil* yang diperoleh menunjukkan karakteristik khas produk pirolisis biomassa. Selanjutnya, *biooil* dianalisis untuk menilai kualitas produk yang dihasilkan, meliputi pengujian densitas, viskositas, *flash point*, *pour point*, stabilitas oksidasi, bilangan asam, bilangan *iodine*, serta kandungan senyawa kimia *bio-oil* tersebut, sebagai dasar evaluasi potensi pemanfaatannya sebagai bahan bakar cair alternatif.



Gambar 4: *Biooil* hasil pirolisis dari daun eceng gondok

Hasil analisis terhadap *biooil* yang dihasilkan dari proses pirolisis eceng gondok menunjukkan beberapa parameter fisik dan kimia yang menggambarkan kualitas serta potensi penggunaannya sebagai bahan bakar cair alternatif. Nilai-nilai karakteristik tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1: Nilai karakteristik *biooil* dari eceng gondok

Parameter	Nilai <i>Biooil</i> Eceng Gondok	Rentang Nilai Solar*	Rentang Nilai Biodiesel*	Satuan
Densitas	0,981	0,84–0,87	0,86–0,90	g/cm ³
Viskositas (40°C)	25	2,0–4,5	3,5–5,0	mm ² /s
Titik Nyala (<i>flash point</i>)	120	60–80	> 120	°C
Titik Tuang (<i>pour point</i>)	-1	-15–5	-5–10	°C
Stabilitas Oksidasi	4	> 16	> 6	jam
Bilangan asam	25	< 0,5	< 0,5	mg KOH/g
Bilangan Iodin	80	< 20	100–130	g I ₂ /100 g

*Keterangan: Nilai acuan diadaptasi dari standar ASTM D975 (Solar) dan ASTM D6751 (Biodiesel)

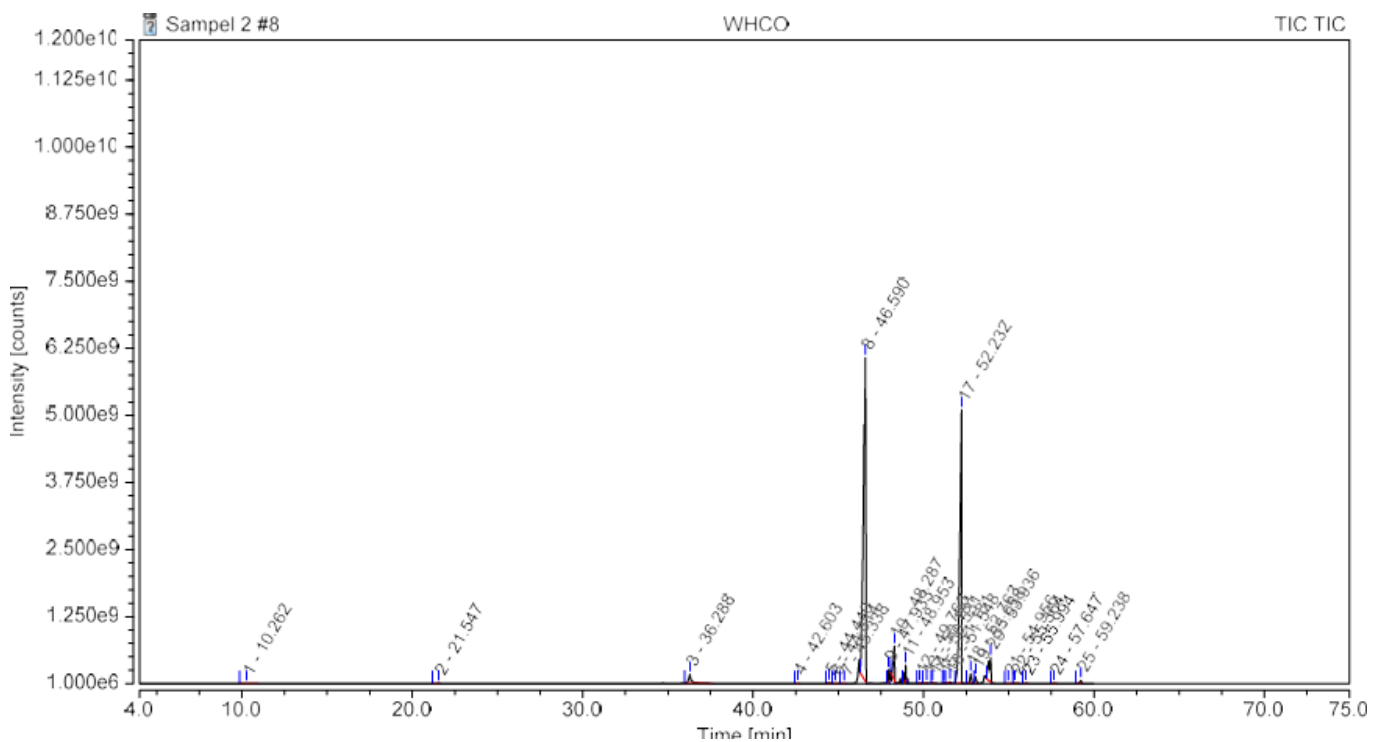
3.2. Pembahasan

Biooil hasil pirolisis eceng gondok memiliki densitas sebesar $0,981 \text{ g/cm}^3$, yang lebih tinggi dibandingkan dengan solar ($0,84\text{--}0,87 \text{ g/cm}^3$) maupun biodiesel ($0,86\text{--}0,90 \text{ g/cm}^3$). Nilai densitas yang tinggi ini menunjukkan bahwa *biooil* mengandung fraksi berat dan senyawa oksigenat dalam jumlah besar. Kandungan senyawa tersebut berkontribusi terhadap tingginya energi spesifik per satuan volume, tetapi juga menyebabkan sifat fisik *biooil* berbeda dari bahan bakar konvensional, khususnya dalam hal aliran dan penguapan. Nilai viskositas pada temperatur 40°C sebesar $25 \text{ mm}^2/\text{s}$ menunjukkan bahwa *biooil* memiliki kekentalan yang jauh lebih tinggi dibandingkan solar ($2,0\text{--}4,5 \text{ mm}^2/\text{s}$) dan biodiesel ($3,5\text{--}5,0 \text{ mm}^2/\text{s}$). Viskositas yang tinggi mengindikasikan adanya senyawa berat seperti fenol, asam karboksilat, dan resin aromatik hasil dekomposisi lignin (Pratama dkk., 2025). Kekentalan yang berlebihan ini dapat menyebabkan masalah dalam proses injeksi bahan bakar dan atomisasi selama pembakaran. Oleh karena itu, proses *upgrading* seperti destilasi fraksional atau pencampuran (*blending*) dengan bahan bakar konvensional diperlukan untuk menurunkan viskositasnya. Titik nyala (*flash point*) *biooil* sebesar 120°C menunjukkan tingkat keamanan penyimpanan yang lebih baik dibandingkan solar yang memiliki titik nyala sekitar $60\text{--}80^\circ\text{C}$. Nilai yang tinggi ini menandakan bahwa *biooil* tidak mudah terbakar pada temperatur rendah, sehingga relatif aman dari risiko kebakaran selama penanganan dan penyimpanan. Titik tuang (*pour point*) sebesar -1°C menunjukkan bahwa *biooil* masih dapat mengalir pada temperatur rendah, meskipun sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan solar (-15 hingga 5°C). Hal ini menunjukkan bahwa *biooil* memiliki kemampuan alir yang cukup baik, namun pada kondisi cuaca dingin mungkin diperlukan perlakuan tambahan untuk mencegah pengentalan (Kurniawan dkk., 2025).

Hasil uji stabilitas oksidasi selama 4 jam menunjukkan bahwa *biooil* memiliki kestabilan yang rendah dibandingkan solar (>16 jam) maupun biodiesel (>6 jam). Hal ini disebabkan oleh tingginya kandungan senyawa oksigenat seperti aldehida, keton, dan asam organik yang mudah teroksidasi. Ketidakstabilan ini dapat menyebabkan perubahan warna, peningkatan viskositas, serta pembentukan endapan selama penyimpanan. Oleh karena itu, penyimpanan *biooil* memerlukan kondisi kedap udara atau penambahan inhibitor oksidasi.

Bilangan asam sebesar 25 mg KOH/g menunjukkan bahwa *biooil* mengandung asam organik dalam jumlah yang signifikan, jauh lebih tinggi dibandingkan bahan bakar konvensional yang biasanya memiliki nilai di bawah $0,5 \text{ mg KOH/g}$. Nilai keasaman yang tinggi ini mengindikasikan potensi korosif terhadap logam dan komponen sistem bahan bakar. Dengan demikian, *biooil* tidak dapat digunakan secara langsung sebagai bahan bakar mesin tanpa proses perbaikan, seperti esterifikasi, deoksigenasi, atau hidrogenasi (Nurulita dkk., 2021).

Sementara itu, bilangan iodin sebesar $80 \text{ g I}_2/100 \text{ g}$ menunjukkan tingkat ketidakjenuhan yang sedang. Nilai ini berada di antara solar ($<20 \text{ g I}_2/100 \text{ g}$) dan biodiesel ($100\text{--}130 \text{ g I}_2/100 \text{ g}$). Kandungan senyawa tak jenuh ini berpengaruh terhadap stabilitas kimia *biooil* karena dapat mempercepat reaksi oksidasi selama penyimpanan. Analisis GC-MS digunakan untuk mengidentifikasi dan menentukan komposisi senyawa yang terdapat dalam *biooil*. Hasil analisis GC-MS dari *biooil* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5: Pengujian Chromatogram GC-MS *biooil* dari daun eceng gondok

Gambar 5 merupakan hasil uji gas *chromatograph mass spectrometer* dari *biooil* hasil pirolisis eceng gondok. Sampel yang diujikan merupakan produk hasil pirolisis pada temperatur 550°C . Sebelum dilakukannya pengujian sampel, dilakukan preparasi pada *biooil* dengan mengeringkan bubuk eceng gondok yang bertujuan untuk mengurangi kadar air yang terdapat pada *biooil*, selain itu preparasi dilakukan karena sampel *biooil* hasil pirolisis eceng gondok bersifat diantara polar dan non polar. Sampel yang sudah terpisahkan dari kandungan air diambil sebanyak 100 mikroliter untuk di-*inject* kedalam alat GC-MS. Pada Gambar 5 sumbu-x yang terdapat pada hasil uji merupakan *retention time (RT)* yang menandakan waktu sebuah sampel senyawa yang berada pada *column* hingga menuju *mass spectrometer* pada alat GC-MS. Sumbu-y yang terdapat pada hasil pengujian menandakan intensitas dari senyawa yang terdeteksi oleh *mass spectrometer*.

Berdasarkan uji GC-MS menunjukkan ada banyak kandungan senyawa yang terdeteksi. Beberapa senyawa yang memiliki kandungan cukup tinggi diantaranya *Adlupulone*; *2'-(Trimethylsilyl) oxy-3,4,4',5 tetramethoxychalcone (isomer 2)*; *9-Acetyl-4a,6a,7-trimethyl 4,4a,4b,5,6,6a,9,10,10a,10b,11,12 dodecahydro-3H-8,9-diaza-pentaleno [2,1 a] phenanthren-2-one*, *2,6-Di-tert-butyl-4-methoxyphenol*, *trifluoroacetate*; dan *oleic acid*.

Secara keseluruhan, karakteristik yang diperoleh menunjukkan bahwa *biooil* eceng gondok memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai bahan bakar cair terbarukan, terutama setelah melalui proses pemurnian atau modifikasi kimia (Kurniawan dkk., 2025). Meskipun demikian, tingginya viskositas, bilangan asam, dan rendahnya stabilitas oksidasi menjadi faktor pembatas utama dalam pemanfaatannya secara langsung (Akbar dkk., 2024). Dengan dilakukan proses *upgrading* yang tepat, *biooil* ini dapat dijadikan bahan campuran atau sumber bahan baku untuk produksi bahan bakar cair sintesis yang lebih stabil dan sesuai dengan standar bahan bakar komersial.

4. KESIMPULAN

Proses pirolisis eceng gondok pada temperatur tinggi dalam kondisi tanpa oksigen mampu menghasilkan *biooil* dengan karakteristik fisikokimia yang mencerminkan sifat khas bahan bakar cair hasil konversi biomassa. Parameter densitas, viskositas, titik nyala, titik tuang, stabilitas oksidasi, bilangan asam, dan bilangan iodin menunjukkan bahwa *biooil* yang dihasilkan masih mengandung fraksi senyawa oksigenat yang cukup tinggi, sehingga sifatnya berbeda dari bahan bakar cair konvensional seperti solar maupun biodiesel.

Secara komparatif, *biooil* eceng gondok memiliki potensi sebagai sumber energi terbarukan, namun belum dapat digunakan secara langsung sebagai bahan bakar komersial karena keterbatasan pada viskositas, keasaman, dan stabilitas oksidasi. Oleh karena itu, diperlukan proses peningkatan mutu (*upgrading*) seperti deoksigenasi, esterifikasi, atau blending untuk meningkatkan kualitas dan kesesuaiannya terhadap standar bahan bakar cair yang berlaku. Pemanfaatan eceng gondok melalui proses pirolisis tidak hanya berpotensi menghasilkan energi alternatif, tetapi juga memberikan solusi pengendalian gulma perairan yang berkelanjutan. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengoptimalkan variabel proses pirolisis serta melakukan evaluasi performa pembakaran dan analisis emisi secara kuantitatif guna meningkatkan kelayakan aplikasi *biooil* sebagai bahan bakar terbarukan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Politeknik Negeri Medan atas pendanaan yang diberikan melalui Nomor Kontrak: B/287/PL5/PT.01.05/2025 yang berasal dari dana DIPA POLMED tahun 2025.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahzan, S., Pangga, D., Prasetya, D. S. B., & Wijaya, A. H. P. (2021). Pengembangan Briket Berbahan Dasar Eceng Gondok Dan Abu Sekam Padi Sebagai Alternatif Bahan Bakar Oven Tembakau. *ORBITA: Jurnal Kajian, Inovasi Dan Aplikasi Pendidikan Fisika*, 7(1), 98.
- Akbar, F. R., Febrian, A. D., Pasaribu, J. M., & Prasetyo, D. (2024). Konversi Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak Melalui Metode Pirolisis Dengan Pemanasan Induksi Menjadi Bio-Oil Sebagai Solusi Energi Alternatif Di Indonesia. *Journal of Manifesto Brawijaya*, 2.
- Ardianti, D. A., Najib, A. A., Hakim, F. N., Setiorini, U., & Suryaningsih, S. (2019). Rancang Bangun Alat Pengkonversi Sampah Plastik Menggunakan Metode Pirolisis Menjadi Bahan Bakar Minyak dalam Upaya Penanganan Masalah Lingkungan. *03(02)*, 91–96.
- Arinanda, A. G. (2019). Konversi Campuran Eceng Gondok dan Minyak Kelapa Sawit Menjadi Bahan Bakar Cair dengan Metode Pirolisis Menggunakan Zeolit-A Sebagai Katalis.
- Indriana, Y. E., Majedi, F., & Puspitasari, I. (2025). Pengaruh Variasi Temperatur dan Katalis Zeolit Terhadap Karakteristik Biooil dari Pirolisis Limbah LDPE, Ban, Bambu. *11(2)*, 92–98.
- Wauton, I., & Ogbeide, S. E., (2020). Characterization of pyrolytic bio-oil from water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) pyrolysis in a fixed bed reactor. *Biofuels*, 0(0), 1–6.
- Kadarwati, S., Annisa, R. N., & Apriliani, E. (2022). Zeolit Alam Indonesia sebagai Kandidat Katalis Asam Padat yang Unggul untuk Proses Upgrading Biooil melalui Teknik Esterifikasi. 88–118.
- Komariyah, N. (2022). Perbandingan Hasil Pengujian Pour Point pada Crude Oil Menggunakan Metode Uji ASTM D 97 dan ASTM D 5853. *Majalah Ilmiah Swara Patra*, 12(1), 11–16.
- Kurniawan, B. D., Abidin, A., & Kosjoko, K. (2025). Pengaruh Variasi Temperatur Pirolisis terhadap Karakteristik Bio-Oil dari Limbah Batang Tembakau sebagai Bahan Bakar Alternatif. *Journal of Applied Mechanical Engineering and Renewable Energy*, 5(2), 83–87.
- Kusman, M. R., Faruk, F., & Sibua, S. (2024). Penggunaan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) sebagai bahan bakar alternatif biobriket di danau Galela. *Jurnal Serambi Engineering*, IX(4), 11320–11325.
- Mitikie, B. B., Ayalewu, W. Z., & Cherkos, F. D. (2025). Effect of water hyacinth ash on properties of concrete containing superplasticizer. *Discover Civil Engineering*, 2(1).
- Nurulita, B., Daulay, S. H., Saputra, A., Gunawan, F. A., Rizka, V. F., Sutrisno, J., & Silitonga, A. S. (2021). Rancang Bangun Alat Konversi Limbah Plastik- Batok Kelapa Menjadi Bahan Bakar Alternatif Dengan Metode Pirolisis. *Sinerji Polmed: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 2(2), 28–36.

- Pratama, A. B., Benu, S. M., Boangmanalu, E. P. D., Siahaan, S., & Ibrahim, H. (2025). Laju Korosi Baja Karbon Ringan Pada Biopelumas Dari Limbah Minyak Goreng. *Sinerji Polmed: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 06(01), 07–18.
- Pratiwi, I. (2022). Rancang Bangun Alat Konversi Limbah Plastik Menjadi Bahan Bakar Melalui Pirolisis. *Jurnal Multidisiplin Dehasen (MUDE)*, 1(3), 425–430.
- Rahmatullah, M., Muhammad Wahyudin, G., & Bakar, A. (2023). Pembuatan Biobriket dari Eceng Gondok dan Ampas Kopi dengan Metode Pirolisis Sebagai Bahan Bakar Alternatif. *Jurnal Inovasi Ramah Lingkungan (JIRL)*, 4(3), 6–15.
- Ramadan, A. (2022). Pemanfaatan Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes*) dan Sampah Plastik Low Density Polyethylene sebagai Bahan Baku Briket.
- Santhiarsa, I. G. N. N. (2022). Rancang Bangun Alat Konversi Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak Dengan Metode Pirolisis Untuk Penanganan Sampah Plastik. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 13(1), 189–196.
- Sartika Tobing, N., & Hayati Harahap, R. (2024). Dampak Adanya Pertumbuhan Eceng Gondok dalam Skala Besar Terhadap Ekosistem di Kawasan Danau Toba. *Jurnal Ilmu Sosial Dan Ilmu Politik*, 5(2), 225–234.
- Umeh, S. I., & Okonkwo, P. A. (2025). The Essential Properties of Oils for Biodiesel Production. In *Biodiesel Plant-Fueling the Sustainable Outlooks* (pp. 1–27).
- Yanti, R. N. (2023). Pemanfaatan Limbah Perkebunan Kelapa Sawit Sebagai Sumber Energi Terbarukan. *Dinamika Lingkungan Indonesia*, 10(1), 7.