

Pengaruh Variasi Massa Umpan terhadap Hasil Bio-Oil dan Karakterisasi GC-MS pada Sampel Terpilih

Effect of Feed Mass Variation on Bio-Oil Yield and GC-MS Characterization of the Selected Sample

Yully Mulyani^{(1,a)*} Indah Dhamayanthie⁽²⁾ Sunardi⁽³⁾

⁽¹⁾Prodi Diploma-III Teknik Kimia, Institut Teknologi Petroleum Balongan, Indramayu, Indonesia, 45216

⁽²⁾Prodi Diploma-III Teknik Kimia, Institut Teknologi petroleum Balongan, Indonesia, 35141

Email : ^(a*)yullymulyani@gmail.com

Diterima (22 Maret 2026), Direvisi (24 Juni 2026)

Abstract. rice straw has significant potential as a renewable energy feedstock. One of applicable conversion technology is pyrolysis process, which produces bio-oil as the primary product. The purpose of this study is to analyze the effects of different variations in rice straw feed mass bio-oil yield and its physicochemical characteristics. The feed mass variations of 250 g, 500 g, and 1000 g. The parameters analyzed included pH value, density, the bio-oil production output and its chemical properties. The compound composition was analyzed using Gas Chromatography Spectrometry (GC-MS) Instrument. The result showed that highest yield was obtained at a feed mass of 500 g, reaching 17.31%. the highest density was 1.020 g/mL, while the lowest pH of 3.4, indicating that the produced bio-oil acidic. GC-MS analysis identified acetic acid as the dominant compound in the bio-oil, with a percentage of 54.80%, along with the identification of volatile compound such as alcohols and esters that contribute to combination characteristics. Thus, feed mass variation influences the yield as well as the physical and chemical characteristic of the resulting bio-oil.

Keywords: Bio-oil, Feedstock mass, GC-MS, Pyrolysis, Rice Straw

Abstrak.

Jerami padi memiliki prospek signifikan sebagai sumber bahan baku energy terbarukan. Salah satu teknologi konversi yang dapat diterapkan adalah proses pirolisis, yang menghasilkan bio-oil sebagai produk utama. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh perbedaan massa umpan jerami terhadap rendemen (Yield) dan karakteristik fisikokimia bio-oil yang dihasilkan. Variasi massa yang digunakan dalam penelitian ini dengan variasi massa 250 g, 500 g dan 1000 g. parameter yang dianalisis meliputi nilai Ph, densitas, dan persentase yield bio-oil, serta komposisi kimia. Analisis komposisi senyawa dilakukan menggunakan instrument Gas Pengujian senyawa dilakukan melalui metode Gas Chromatography–Mass Spectrometry (GC-MS), dan hasilnya menunjukkan bahwa yield tertinggi diperoleh pada massa umpan 500 g sebesar 17,31%. Densitas tertinggi sebesar 1,020 g/ML, sedangkan nilai pH terendah sebesar 3,4 mengindikasikan bahwa bio-oil yang dihasilkan bersifat asam. Analisis GC-MS mengidentifikasi bahwa senyawa dominan dalam bio-oil Asam asetat dengan persentase 54,80%, disertai keberadaan senyawa volatile seperti alkohol dan ester yang berkontribusi terhadap karakteristik pembakaran. Dengan demikian variasi massa umpan berpengaruh terhadap nilai yield serta karakteristik fisik dan kimia bio-oil yang dihasilkan.

Kata kunci: Bio-oil, GC-MS, Jerami Padi, Massa Umpan, Pirolisis

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara agraris yang memiliki potensi pertanian yang besar, ditunjukkan oleh luas lahan pertanian serta tingginya produksi padi setiap tahun. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik, luas panen padi di Indonesia pada tahun 2024 mencapai sekitar 10,05 juta hektare dengan produksi sebesar 53,14 juta ton gabah kering giling (GKG). Produksi tersebut

menghasilkan limbah jerami padi dalam jumlah yang sangat besar. Namun, pemanfaatan jerami padi di Indonesia masih belum optimal. Sebagian besar jerami padi masih dibakar atau dibiarkan di lahan, sedangkan sebagian kecil dimanfaatkan sebagai kompos, pakan ternak, media tanam, bahan bakar, dan bahan baku industri. Kondisi ini menunjukkan bahwa jerami padi memiliki potensi yang besar untuk dikembangkan menjadi produk bernilai tambah melalui berbagai inovasi teknologi.[1]

Pemanfaatan biomassa sebagai sumber energi terbarukan melalui teknologi pirolisis semakin mendapat perhatian, terutama dalam konversi limbah organik menjadi produk bernilai ekonomi seperti bio-oil [2] Variasi massa umpan yang tidak proporsional dapat memengaruhi laju degradasi termal senyawa lignoselulosa menjadi komponen organik seperti fenol, alkohol, dan ester yang menentukan kualitas produk akhir.[3]

Kebiasaan pembakaran terbuka jerami padi di lahan pertanian menghasilkan emisi gas rumah kaca dan partikel halus yang mencemari udara. Proses pembakaran ini melepaskan berbagai senyawa berbahaya antara seperti karbon dioksida (CO_2) dan karbon monoksida (CO), dan metana (CH_4) yang berperan dalam kenaikan kadar gas rumah kaca di atmosfer serta penurunan kualitas udara di sekitar area pertanian [4]. Oleh karena itu, diperlukan upaya pengelolaan limbah jerami padi yang lebih ramah lingkungan dan bernilai tambah, salah satunya melalui pemanfaatannya sebagai bahan baku energi alternatif.

Ketersediaan limbah jerami padi yang melimpah menunjukkan potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan. Dari sisi komposisi kimia, jerami padi terdiri atas sekitar 32 - 40,56% terdiri dari selulosa, hemiselulosa dengan kisaran 19,7–35,7%, dan lignin 13,5–24,4% [4],[5]. Kandungan selulosa yang relatif tinggi pada jerami menjadikannya berpotensi digunakan sebagai sumber bahan baku pengganti dalam proses produksi cairan bioenergi.

Bio-oil dihasilkan melalui proses pengembunan uap dari bahan kaya lignin, selulosa, dan hemiselulosa, baik melalui pembakaran langsung maupun tidak langsung [7]. Salah satu metode konversi energi untuk memanfaatkan limbah biomassa adalah pirolisis. Pirolisis umumnya diartikan sebagai proses pemecahan termal bahan organik pada limbah biomassa dengan tujuan memperoleh bio-oil, char, serta gas sebagai bahan bakar [8]. Umumnya dilakukan pada suhu $300^\circ\text{C} - 600^\circ\text{C}$ tanpa kehadiran oksigen [9].

Berbagai penelitian mengenai produksi bio-oil melalui Proses pirolisis telah banyak diterapkan dengan menggunakan beragam massa umpan untuk memperoleh hasil yang paling optimal. Sebagai contoh, penelitian yang dilakukan oleh Nasywa dan Sa'ayidah (2022) meneliti pengaruh variasi massa umpan sekam padi terhadap mutu asap cair yang dihasilkan melalui proses penguraian termal. Massa umpan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas 250 g, 500 g, 750 g, dan 1000 g. Seluruh sampel dipanaskan pada suhu sekitar 400°C selama 30 menit, dan hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi umpan 250 g menghasilkan mutu asap cair tertinggi, dengan densitas 1,0638 g/mL, pH 3, dan yield 31%, yang telah mengacu pada standar mutu asap cair di Jepang. Bertambahnya massa umpan menyebabkan penurunan densitas dan yield akibat distribusi panas yang kurang merata di dalam reaktor pirolisis [7].

Temuan tersebut menunjukkan bahwa massa umpan memiliki pengaruh signifikan terhadap karakteristik produk hasil pirolisis. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh variasi massa umpan jerami padi terhadap yield (% berat), karakteristik

fisik dan komposisi kimia bio-oil hasil pirolisis, dengan mengacu pada standar mutu SNI 8985:2021

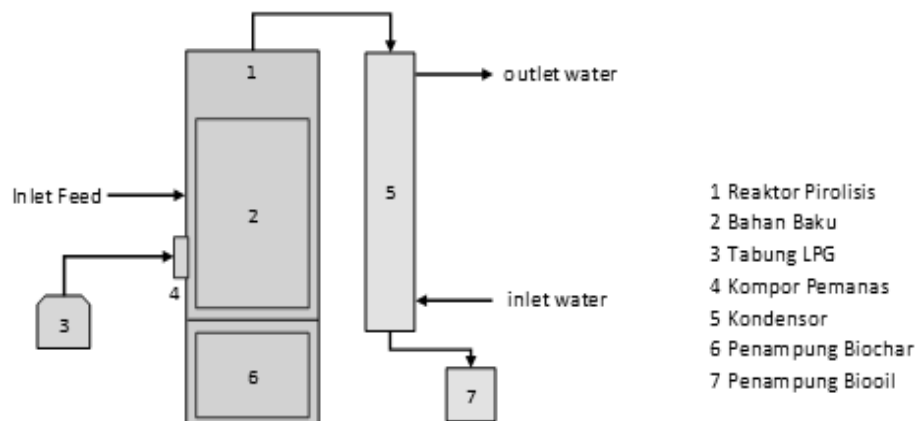
METODE PENELITIAN

Pelaksanaan penelitian di lakukan secara bertahap sesuai dengan rancangan prosedur yang telah disusun sebelumnya, meliputi beberapa tahapan utama sebagai berikut:

2.1. Tahap Persiapan Bahan Baku

Bahan baku Jerami Kering terlebih dahulu dikeringkan di bawah sinar matahari selama ± empat jam, kemudian bahan baku dicacah menjadi potongan berukuran rata-rata 8–10 cm. Selanjutnya, sampel bahan baku berupa jerami padi ditimbang dengan massa 250 gram, 500 gram, serta 1000 gram dan Peralatan yang di gunakan adalah reactor pirolisis

2.2. Tahapan Proses Pirolisis



Gambar 1. Rangkaian Alat Pirolisis

2.3. Tahap Analisis

Bio-oil yang dihasilkan kemudian dianalisis untuk menentukan sifat fisika dan kimianya, meliputi pH, densitas, persentase rendemen (%*yield*), serta komposisi kimia.

a. Analisis pH

Pengukuran pH dilakukan dengan alat pH meter di laboratorium. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan tingkat keasaman *bio-oil*, serta untuk mengkaji sejauh mana bahan baku terurai melalui pirolisis dalam menghasilkan asam organik pada *bio-oil* [7].

b. Analisis Densitas

Densitas atau massa jenis *bio-oil* diukur menggunakan piknometer di laboratorium. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui rasio antara massa dan volume *bio-oil*, yang berguna dalam konversi volume ke massa serta klasifikasi sifat fisik *bio-oil*. Nilai densitas ditentukan menggunakan persamaan berikut [11]:

$$\text{a. Sampel } bio\text{-oil} = (\text{bobot piknometer} + bio\text{-oil}) - (\text{bobot piknometer kosong}) \quad (1)$$

$$\text{Densitas (massa jenis)} = \frac{\text{Sampel } biooil}{\text{Volume piknometer}} \quad (2)$$

c. Analisa *Yield* %

Yield (%) *bio-oil* dihitung secara kuantitatif untuk mengetahui berat produk *bio-oil* dari proses pirolisis terhadap massa awal bahan baku. Dengan menggunakan persamaan berikut [12]:

$$Yield\ Bio-oil = \frac{Massa\ biooil\ (gram)}{Massa\ bahan\ baku\ (gram)} \times 100\% \quad (3)$$

d. Analisis kandungan kimia

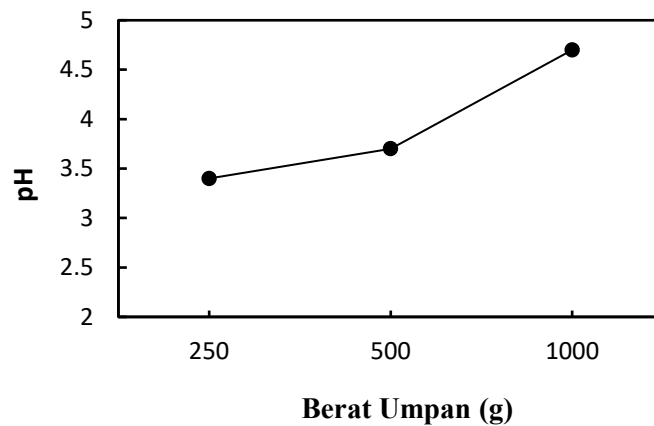
Analisis kandungan kimia dalam produk dilakukan dengan GC-MS untuk mengidentifikasi berbagai komponennya[8]. Sebelum analisis, sampel *bio-oil* disentrifugasi untuk memisahkan fraksi padatan yang dapat mengganggu proses injeksi pada kromatografi, dan hanya fase cair jernih yang digunakan sebagai sampel. Pengujian GC-MS dilakukan pada satu sampel hasil pirolisis, yaitu *bio-oil* dari variasi massa umpan tertentu yang dianggap mewakili dua variasi massa lainnya. Pemilihan satu sampel ini bertujuan untuk memperoleh gambaran umum mengenai komposisi kimia *bio-oil* yang dihasilkan, sehingga dapat dijadikan parameter dalam menilai kandungan senyawa pada produk hasil pirolisis jerami padi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bio-oil dihasilkan melalui proses kondensasi uap yang terbentuk dari pembakaran biomassa. Baik secara langsung maupun tidak langsung, terhadap biomassa dengan kandungan lignin, selulosa, serta hemiselulosa [12]. Karakteristik *bio-oil* memegang peranan krusial dalam menentukan potensi aplikasinya, baik ditinjau dari aspek fisik maupun kimia, karena kedua aspek tersebut saling berkaitan dan memengaruhi satu sama lain. Parameter fisik yang umum dianalisis dalam produksi *bio oil* meliputi pH, densitas, viskositas kinematik, nilai kalor (*heating value*), titik nyala (*flash point*), bilangan asam, serta kadar air merupakan parameter penting yang perlu dianalisis dalam proses pembuatan *bio-oil*. Karakteristik fisik dapat dipengaruhi oleh kandungan senyawa yang terkandung [13]. Pada penelitian ini, biomassa yang digunakan berupa limbah jerami. Analisis dilakukan untuk menentukan *yield* dan komposisi *bio-oil* melalui pengukuran nilai pH, densitas, *yield* (% berat), serta analisis komposisi kimia menggunakan uji GC-MS.

3.1. Pengaruh Variasi Massa Bahan Umpan Terhadap pH *Bio-oil*

Nilai pH menjadi salah satu parameter penting dalam mengevaluasi kualitas *bio-oil* yang dihasilkan. Pengujian pH dilakukan untuk mengetahui tingkat keberhasilan proses dekomposisi bahan baku selama proses pirolisis, terutama dalam pembentukan senyawa asam organik yang terkandung dalam *bio-oil*. [7].



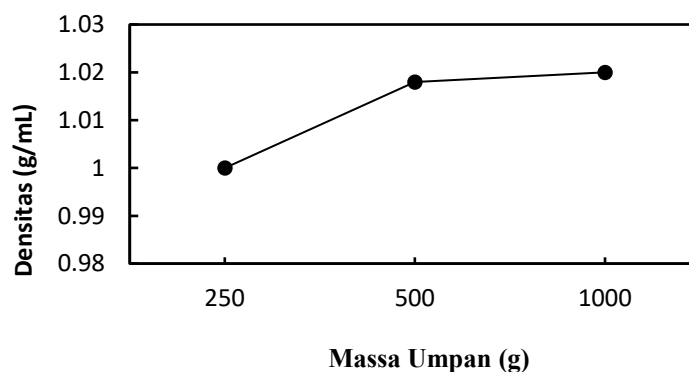
Gambar 2. Hubungan antara Massa Umpan dan pH Bio-oil

Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2, nilai pH terendah *bio-oil* diperoleh massa pada variasi massa umpan 250 g, dengan nilai pH sebesar 3,4. Pada massa umpan 500 g dan 1000 g, nilai pH bio oil berada dalam rentang 3,7-4,7. Data tersebut menunjukkan bahwa *bio-oil* yang dihasilkan bersifat asam dan secara umum telah memenuhi Ketentuan SNI 8985:2021, yaitu pada rentang pH 2,76-4,5 [10]. Namun demikian, *bio-oil* yang di hasilkan pada massa umpan 1000 g menunjukkan nilai pH di luar batas standar yang di tetapkan. Sejalan dengan penelitian Wang, C., et al. (2020) bahwa karakteristik bio-oil dipengaruhi oleh jenis biomassa, perpindahan panas, dan optimasi kondisi pirolisis. Temuan penelitian dari Wulandari (2023), yang melaporkan nilai pH bio-oil berkisar antara 3,48-4,25 [5].

Variasi nilai pH *bio-oil* dipengaruhi oleh komposisi biomassa, Khususnya akibat adanya proses degradasi selulosa dan hemiselulosa selama pirolisis. Perbedaan massa umpan berkontribusi terhadap besarnya nilai pH *bio-oil* yang dihasilkan [7]. *Bio-oil* yang bersifat asam (memiliki pH rendah) umumnya menunjukkan kualitas lebih baik serta kestabilan yang lebih tinggi selama penyimpanan. Selain itu, tingkat Keasaman yang tinggi mencerminkan potensi sifat antimikroba bio-oil dan kemampuan untuk dimanfaatkan sebagai agen sterilisasi [14].

3.2. Pengaruh Perbedaan Berat Umpan pada Densitas Bio-oil

Densitas mengacu pada rasio massa terhadap volume suatu sampel. Pengukuran densitas pada asap cair bertujuan untuk menilai karakteristik produk yang diperoleh. telah memenuhi standar mutu yang ditetapkan.



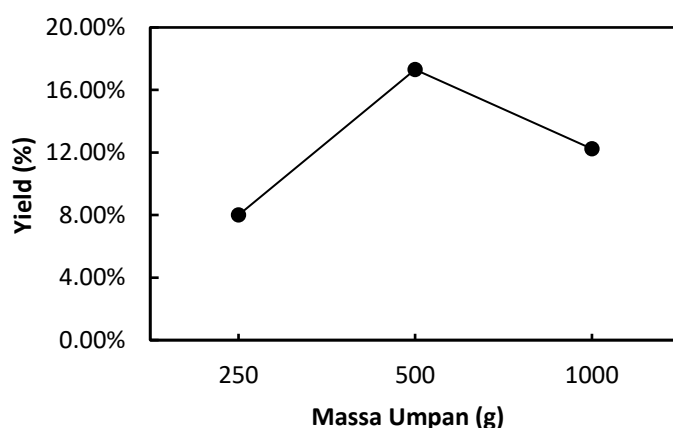
Gambar 3. Hubungan antara Massa Umpan Terhadap Densitas Bio-oil

Berdasarkan Gambar 3, densitas bio-oil tertinggi diperoleh pada variasi massa umpan 1000 g, yaitu sebesar 1,020 g/mL. Sementara itu, bio-oil yang dihasilkan dari massa umpan 250 g dan 500 g memiliki densitas masing-masing sebesar 1,000 g/mL dan 1,018 g/mL. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan massa umpan cenderung meningkatkan densitas bio-oil yang dihasilkan. Namun demikian, seluruh nilai densitas yang diperoleh masih berada di bawah nilai minimum yang dipersyaratkan dalam SNI 8985:2021, yaitu $\geq 1,0500$ g/mL. Oleh karena itu, berdasarkan parameter densitas, bio-oil yang dihasilkan.

Nilai Densitas yang bersifat relatif rendah umumnya karena dipengaruhi kandungan air dan senyawa ringan dalam *bio-oil* [15]. Tar merupakan fraksi tidak larut yang terbentuk akibat degradasi lignin pada suhu tinggi dan termasuk produk samping pirolisis yang tidak diinginkan [16]. Hasil ini sejalan dengan penelitian (Rosyidah dan Sa'diyah 2023), yang menyatakan bahwa variasi jenis biomassa dapat memengaruhi mutu bio-oil yang dihasilkan [14]. Oleh karena itu, salah satu upaya untuk meningkatkan kualitas bio-oil adalah melakukan pretreatment.

3.3. Hubungan antara Massa Umpan dan Yield (% Berat) Bio-oil

Yield merupakan perhitungan rasio dari massa produk yang dihasilkan dengan massa bahan baku awal [7].

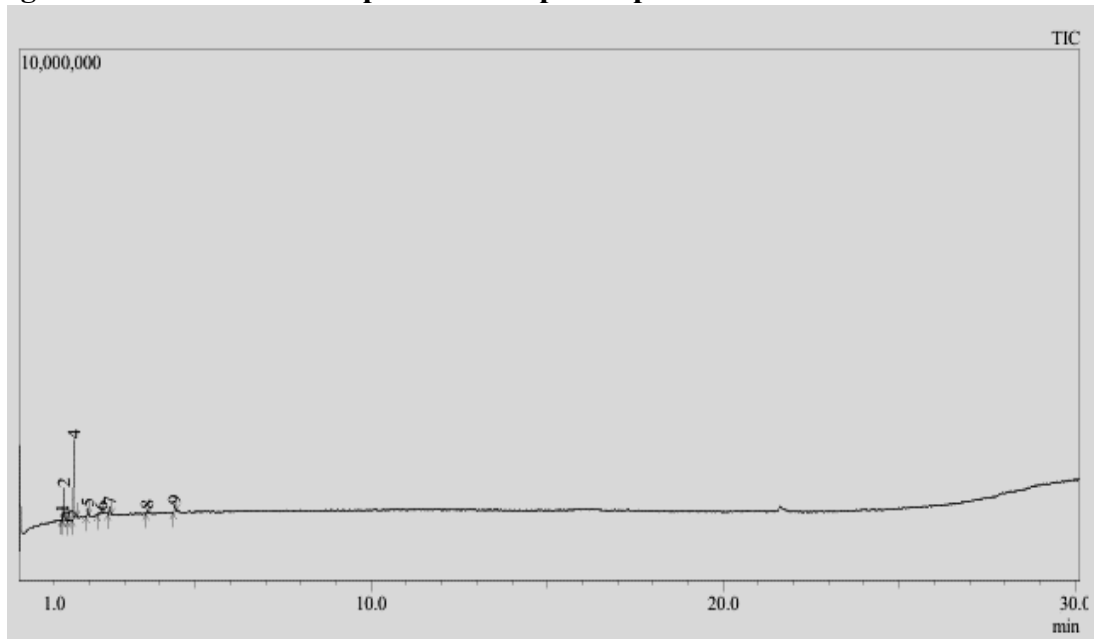


Gambar 4. Pengaruh Variasi Massa Umpan Terhadap Yield (%) Bio-oil

Berdasarkan Gambar 4, *yield bio-oil* tertinggi diperoleh pada massa umpan 500 g dengan nilai sebesar 17,31%, sedangkan pada massa umpan 250 g dan 1000 g masing-masing menghasilkan *yield* sebesar 8% dan 12,24%. Peningkatan *yield* hingga massa 500 g menunjukkan bahwa pada kondisi tersebut proses pirolisis berlangsung lebih optimal, di mana konversi bahan organik menjadi fase cair mencapai titik maksimum. Namun, saat massa umpan ditingkatkan menjadi 1000 g, *yield* mengalami penurunan. Menurut Nasywa dan Sa'diyah (2022) Hal ini disebabkan oleh distribusi panas yang kurang merata di dalam reaktor, sehingga sebagian bahan tidak terpirolisis sempurna dan menghasilkan lebih banyak fraksi padat (*char*) serta gas [7].

Penelitian ini menunjukkan tren yang serupa dengan penelitian [17] yang menggunakan biomassa *duckweed*. Pada penelitian tersebut, *yield bio-oil* tertinggi sebesar 17,22% diperoleh pada massa umpan 500 g, sedangkan *yield* terendah sebesar 14,21% diperoleh pada massa 1100 g [17]. Pernyataan ini selaras dengan hasil penelitian Haji, dkk. (2006), menjelaskan *yield bio-oil* sangat dipengaruhi oleh jumlah massa umpan, serta jenis bahan baku yang digunakan [18].

3.4. Pengaruh Variasi Massa Umpan Terhadap Komposisi Kimia Bio-oil



Gambar 5. Qualitative Analysis GC-MS Jerami Padi

Tabel 1. Hasil Pengujian GC-MS Umpan Jerami Padi

R. Time	% Area	Senyawa Kimia
1,563	54,80	Acetic acid (CAS), yang merupakan asam etilat
1,266	19,17	1,2-Propanediol (CAS) Propylene glycol
4,421	5,71	2(3H)-Furanone, dihydro- (CAS) atau Butyrolactone
2,568	5,53	Acetic acid, methyl ester (CAS), dikenal sebagai methyl acetate
1,948	4,58	Propanoic acid (CAS) Propionic acid
2,355	4,43	Ethene, methoxy- (CAS) Vinyl methyl ether
1,234	2,78	Carbamic acid, monoammonium salt (CAS), Ammonium carbamate
3,637	2,40	1,2-Ethenediol, diacetate (CAS) Ethylene diacetate
1,414	0,61	3(2H)-Furanone, dihydro-2-methyl- (CAS) 2-Methyl-3-oxotetrahydrofuran

Hasil analisis pada Tabel 1 menunjukkan bahwa komponen utama dalam sampel *bio-oil* adalah senyawa asam asetat (*acetic acid*). Penelitian ini menunjukkan kesesuaian dengan studi yang telah dilakukan oleh [9], yang melaporkan kandungan asam asetat sebesar 49,45% area, serta penelitian [19] dengan hasil sebesar 58,68% area [8],[19]. Kandungan asam asetat yang tinggi dihasilkan dari proses degradasi hemiselulosa dan selulosa yang menghasilkan senyawa asam organik seperti asam asetat [20]. Selain asam asetat, senyawa lain dengan konsentrasi menengah meliputi, 1,2-*Propanediol*, *propanoic acid*, *vinyl methyl ether* dan *furanon* turunan.

Keberadaan senyawa ini menandakan perlunya proses lanjutan dan pemisahan fraksi berbahaya untuk meningkatkan kualitas dan keamanan *bio-oil* jika akan digunakan sebagai bahan bakar. Oleh karena itu, diperlukan proses upgrading seperti distilasi fraksional, esterifikasi, hidredeoksigenasi (hydrodeoxygenation, HDO), maupun catalytic upgrading untuk menurunkan kandungan oksigen, mengurangi keasaman, serta meningkatkan kualitas *bio-oil* sebagai bahan bakar cair.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi massa jerami padi cenderung memengaruhi karakteristik *bio-oil* yang dihasilkan melalui proses pirolisis, terutama pada parameter pH, densitas, dan yield. Dari variasi yang diuji, massa umpan 500 g menghasilkan kinerja yang paling baik dengan yield sebesar 17,31%, pH 3,7, dan densitas 1,018 g/mL. Nilai pH yang relatif rendah mengindikasikan bahwa *bio-oil* yang dihasilkan memiliki tingkat keasaman yang tinggi. Analisis GC-MS pada sampel terpilih menunjukkan bahwa asam asetat merupakan senyawa dominan dengan persentase area sebesar 54,80%, yang diduga berasal dari proses degradasi hemiselulosa dan selulosa selama pirolisis. Temuan ini menunjukkan potensi *bio-oil* yang dihasilkan dari jerami padi sebagai produk bernilai tambah dari limbah biomassa. Namun, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengevaluasi sifat bahan bakar dan stabilitas *bio-oil* secara lebih komprehensif guna menilai potensinya sebagai bahan bakar cair alternatif.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih tim atas kerjasamanya di laboratorium teknik kimia D3 Institut Teknologi Petroleum Balongan, sehingga menghasilkan publikasi yang diinginkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pusat Statistik, "Luas Panen, Produksi, dan Produktivitas Padi Menurut Provinsi, 2024." Tersedia pada : <https://www.bps.go.id/id/pressrelease/2025/02/03/2414/luas-panen-dan-produksi-padi>. [diakses pada : 03 Februari 2025]
- [2] Jamilatun, S., Hakika, D. C., Sarah, D., & Puspitasari, A. (2024). Generation and Characterization of Bio-Oil Obtained From The Slow Pyrolysis of Oil Palm Empty Fruit Bunches at Various Temperatures. *Elkawnie: Journal of Islamic Science and Technology*, 10(1), 103–114. <https://doi.org/10.22373/ekw.v10i1.17844>
- [3] Rahmatullah, R., Putri, R. W., & Nurisman, E. (2019). Produksi *bio-oil* dari limbah kulit durian dengan proses pirolisis lambat. *Jurnal Teknik Kimia*, 25(2), 50–53.
- [4] R. Singh and M. Patel, "Effective utilization of rice straw in value-added by-products: A systematic review of state of art and future perspectives," *Biomass and Bioenergy*, vol. 159, no. February, p. 106411, 2022.
- [5] Y. R. Wulandari, F. F. Silmi, D. Ermaya, N. P. Sari, and D. Teguh, "Pengaruh Suhu Pirolisis Jerami Padi Terhadap Variabel Komposisi Produk Pirolisis Menggunakan Reaktor Batch," vol. 8, pp. 167–172, 2023.
- [6] Widya Fatriasari, *Teknologi Konversi Biomassa Untuk Pengembangan Bioproduk Berbasis Selulosa dan Lignin Sebagai Sumber Energi Terbarukan dan Material Berkelanjutan*, no. November. 2022.

- [7] J. Nasywa and K. Sa'diyah, "Pengaruh Jumlah Massa Umpan Sekam Padi Terhadap Kualitas Asap Cair Pada Proses Pirolisis," *DISTILAT J. Teknol. Separasi*, vol. 8, no. 3, pp. 559–566, 2023.
- [8] N. Prasetio, D. Pranita, and A. S. Sanjaya, "Pembuatan Bio Oil Dari Sekam Padi Dengan Proses Pirolisis Lambat," *J. Sains dan Terap. Kim.*, pp. 36–42, 2020.
- [9] Y. Wulandari, F. Silmi, D. Ermaya, and N. Sari, "Efek Suhu Pirolisis Jerami Padi Untuk Produksi Bio-Oil Menggunakan Reaktor Batch," *Inov. Tek. Kim.*, vol. 8, no. 3, pp. 167–172, 2023.
- [10] Badan Standardisasi Nasional, "Crude Asap Cair Lignoselulosa sebagai Bahan Baku (SNI 8985 : 2021)," *Badan Stand. Nas.*, pp. 1–24, 2021.
- [11] Musrafiah and N. Jafar, "Pemanfaatan Asap Cair Dari Blending Limbah Biomassa Cangkang Sawit Dan Tempurung Kelapa Dalam Secara Pirolisis Menjadi Insektisida Organik," *J. Chem. Process Eng.*, vol. 02, no. 01, pp. 36–45, 2017.
- [12] A. S. C. Pratama and K. Sa'diyah, "Pengaruh Jenis Biomassa Terhadap Karakteristik Asap Cair Melalui Metode Pirolisis," *DISTILAT J. Teknol. Separasi*, vol. 8, no. 1, pp. 36–44, 2023.
- [13] D. S. Fardhyanti, *Monograf - Bio-oil Berbasis Biomassa*, vol. 16, no. 2. 2020.
- [14] N. Rosyidah and K. Sa'diyah, "Pengaruh Berbagai Jenis Biomassa Terhadap Hasil Asap Cair Pada Proses Pirolisis," *DISTILAT J. Teknol. Separasi*, vol. 8, no. 4, pp. 900–908, 2023.
- [15] S. M. Rusydi, *Prinsip Dasar Teknologi Pirolisis Biomassa*. 2019.
- [16] A. S. C. Pratama and K. Sa'diyah, "Pengaruh Jenis Biomassa terhadap Karakteristik," *J. Teknol. Separasi*, vol. 8, no. 1, pp. 36–44, 2022.
- [17] M. A. Harits, A. Syuriadi, and I. Nurikasari, "Analisis Pengaruh Variasi Massa Terhadap Yield dan Kualitas Bio Oil Menggunakan Biomassa Duckweed Pada Proses Pirolisis," pp. 1–5, 2024.
- [18] A. G. Haji, Z. A. Mas'ud, B. W. Lay, S. H. Sutjahjo, and G. Pari, "KARAKTERISASI ASAP CAIR HASIL PIROLISIS SAMPAH ORGANIK PADAT," pp. 1–8, 2012.
- [19] D. Ariyani, D. R. Mujiyanti, D. Umaningrum, and Y. A. Harlianto, "Studi kajian kandungan senyawa asap cair dari sekam padi," *Pros. Semin. Nas. Kim.*, pp. 128–133, 2015.
- [20] F. Abnisa, A. Arami-Niya, W. M. A. W. Daud, and J. N. Sahu, "Characterization of Bio-oil and Bio-char from Pyrolysis of Palm Oil Wastes," *Bioenergy Res.*, vol. 6, no. 2, pp. 830–840, 2013.
- [21] Wang, C., et al. "Recent Advances in Improving Lignocellulosic Biomass-Based Bio-Oil Production" *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 149, 2020.