



PENGOLAHAN LIMBAH ORGANIK RUMAH TANGGA UNTUK PRODUKSI *BIO-OIL* SEDERHANA

PROCESSING MUNICIPAL SOLID WASTE FOR SIMPLE BIO-OIL

Shofwatunnida Septarini¹⁾, Ziadatul Amni²⁾, Wajizatul Amnia³⁾

^{1,2,3}Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Hamzanwadi, Lombok Timur, Indonesia
email: nidaseptarini@hamzanwadi.ac.id¹⁾, ziadamni@student.hamzanwadi.ac.id²⁾* dan
wajizatul.amnia16@gmail.com³⁾

Received:
27 November
2023

Accepted:
20 Desember
2023

Published:
25 Desember
2023



Abstrak

Bio-oil yang diperoleh disintesis dari sampah rumah tangga khususnya limbah sisa makanan dengan metode pirolisis. Produksi *bio-oil* ini bertujuan untuk mengurangi timbunan sampah rumah tangga di lokasi penelitian yang belum teratasi secara maksimal. Limbah organik sampah rumah tangga yang berupa sisa makanan selanjutnya disebut sebagai bahan baku. Penelitian ini bertujuan untuk mengurangi jumlah timbunan sampah rumah tangga berupa limbah sisa makanan menggunakan metode pirolisis dan menghasilkan *bio-oil*. Metode yang digunakan pada penelitian ini yakni metode pirolisis sederhana dengan rentang suhu yakni 250, 300, dan 350 °C. Pada penelitian ini dilakukan beberapa tahapan dimulai dari tahap persiapan berupa survei lokasi penelitian serta survei jumlah timbunan sampah yang terdapat di lokasi penelitian. Selanjutnya sampah rumah tangga yang diperoleh diolah menjadi produk *bio-oil* dengan menggunakan metode pirolisis sederhana. Suhu operasi pirolisis mempengaruhi *yield* produk *bio-oil* yang dihasilkan, semakin tinggi suhu pirolisis maka semakin beragam produk *bio-oil* yang dihasilkan. Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh hasil karakteristik *bio-oil* mengandung lebih banyak senyawa metanol dengan persentase sebesar 64,48%. Hal ini membuktikan bahwa *bio-oil* yang dihasilkan dapat digunakan sebagai bahan baku untuk pengganti bahan bakar.

Kata Kunci: pirolisis, sampah, karakteristik kimia, *bio-oil*

Abstract

The *bio-oil* obtained was synthesized from household waste, especially food waste, using the pyrolysis method. This *bio-oil* production aims to reduce the pile of household waste in the research location that has not been resolved optimally. Municipal solid waste, such as food waste, is referred to as raw materials. In this study, several stages were carried out, starting from the preparation stage in the form of a survey of the research location and a survey of the amount of waste heap in the research location. Furthermore, the obtained municipal solid waste is processed into *bio-oil* products using a simple pyrolysis method with temperature 250, 300, and 350 °C. In addition, the resulting *bio-oil* products are characterized to determine the amount and content of chemical compounds. The objective of this research to determine the effect of various temperature of *bio-oil* production. The pyrolysis temperature

affects the yield of the resulting bio-oil product, and the higher the pyrolysis operating temperature, the more diverse the chemical characteristics of the bio-oil product. Characteristics of bio-oil contain methanol with a percentage of about 64.48%. It means bio-oil can be used for biofuel.

Keywords: *pyrolysis, waste, characteristic, bio-oil*

DOI:10.20527/sjmekinematika.v8i2.281

How to cite: Septarini, S., Amni, Z., dan Amnia, W., "Pengolahan Limbah Organik Rumah Tangga untuk Produksi Bio-oil Sederhana". *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, 8(2), 158-167, 2023.

PENDAHULUAN

Indonesia menjadi salah satu negara penghasil sampah terbanyak di Asia Tenggara. Berdasarkan data dari sistem pengelolaan sampah nasional pada tahun 2022, data timbulan sampah berdasarkan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan di Indonesia sebesar 814.803,95 ton/tahun. Berdasarkan Undang-Undang No. 18 Tahun 2008 tentang pengelolaan sampah, dijelaskan bahwa pengelolaan sampah memiliki hierarki pengelolaan mulai dari tingkat negara hingga pada tingkat daerah. Beberapa tugas dan wewenang pemerintah yakni melakukan pengelolaan sampah dengan meningkatkan kesadaran masyarakat, melakukan penelitian terkait teknologi pengurangan sampah serta memfasilitasi penyediaan prasarana pengelolaan sampah. Meskipun terdapat peraturan terkait pengelolaan sampah, namun peran masyarakat sebagai penghasil sampah memiliki peran utama dalam pengelolaan persampahan.

Salah satu daerah yang memiliki permasalahan sampah yang cukup mengkhawatirkan yakni daerah Nusa Tenggara Barat (NTB). Berdasarkan data timbulan sampah pada tahun 2022 yakni sebesar 101.850,50 ton, sampah tersebut terdiri dari sampah rumah tangga berupa sisa makanan sebanyak 39,04% dan sampah plastik sebesar 14,9%. Berdasarkan data tersebut diperoleh data bahwa sebagian besar sampah berasal dari kegiatan manusia yang menghasilkan sampah berupa sisa makanan. Sehingga pemerintah setempat mencanangkan program *zero waste* guna mengurangi jumlah timbulan sampah di NTB. Namun masih perlu adanya penelitian terkait teknologi yang tepat dalam mengelola sampah yang ada.

Penanganan sampah yang kurang optimal dapat memberikan dampak yang buruk dan berbagai permasalahan lingkungan seperti timbulnya banjir, sanitasi lingkungan memburuk, turunnya kandungan organik pada lingkungan, dan mempercepat terjadinya pemanasan global. Sampah rumah tangga dikelola dengan dijadikan kompos untuk sampah rumah tangga organik sedangkan sampah anorganik langsung dibawa ke bank ramah lingkungan untuk didaur ulang kembali menjadi bahan yang dapat digunakan lagi[1]. Pemanfaatan limbah rumah tangga pada kawasan perumahan dan perkampungan masih rendah terlihat dari pemanfaatan sampah organik menjadi kompos, pemanfaatan limbah menjadi energi masih rendah.

Teknologi pengolahan sampah sudah cukup banyak, namun tidak banyak yang dapat bersentuhan secara langsung dengan masyarakat. Hal ini dapat disebabkan karena banyak faktor, seperti pengaplikasiannya yang sulit dan biaya yang dibutuhkan sangat mahal. Pada faktanya masyarakat membutuhkan teknologi yang murah, efektif dan efisien sehingga manfaatnya dapat diperoleh dan dirasakan secara nyata. Dengan meningkatnya produksi sampah makanan dan sampah plastik, penting dilakukan pengelolaan limbah ini secara praktis dan jangka panjang[2]. Terdapat dua tipe teknologi pengelolaan sampah secara kimiawi yakni *thermochemical technology* dan *biochemical technology*[3]. Teknologi termokimia digunakan untuk mengubah sampah menjadi energi dengan melalui proses pembakaran (*combustion*), pirolisis, gasifikasi dan reaksi bertekanan tinggi (*high-pressure liquefaction*)[4-5].

Konsumsi cadangan bahan bakar yang mengkhawatirkan mengakibatkan menipisnya sumber daya minyak bumi dan oleh karena itu kebutuhan akan bahan bakar cair alternatif yang berkelanjutan mulai muncul baru-baru ini[6]. Biomassa sisa kegiatan pertanian dan sampah plastik dalam jumlah besar dapat dimanfaatkan menjadi sumber daya terbarukan. Selain itu, sampah yang tidak terkelola akan terbawa ke tempat pembuangan sampah tanpa ada pengolahan lebih lanjut. Sehingga diperlukan teknologi pengolahan sampah khususnya sampah perkotaan sisa kegiatan rumah tangga menjadi produk tertentu salah satunya yakni berupa *bio-oil*.

Salah satu teknologi berbasis termokimia yang dapat mengkonversi sampah menjadi energi adalah pirolisis. Pirolisis adalah proses di mana degradasi termal biomassa terjadi secara anaerob yang menghasilkan biochar, *bio-oil*, dan gas serta rasio bahan bakar terhadap umpan yang tinggi menjadikannya proses yang menjanjikan dan efisien[7]. Penelitian terkait teknologi ini sudah dilakukan oleh beberapa peneliti, konversi mikroalga dengan bahan baku berupa limbah[8], menggunakan lumpur sisa pengolahan air limbah[9] dan penelitian menggunakan bahan baku berupa limbah sisa pengolahan makanan[10]. Semua penelitian ini melakukan pengkonversian menjadi *bio-oil* atau minyak mentah dengan metode *hydrothermal*. Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilakukan pengolahan limbah organik dan anorganik merupakan bahan baku yang dapat dikonversi menjadi *bio-oil* dengan menggunakan metode pirolisis[11]. Minyak yang diperoleh dari pirolisis cepat biomassa memiliki bilangan asam total (TAN) pada kisaran 100–200, kadar air tinggi (15–25% berat), viskositas tinggi (25–1000 m²/s), nilai kalor rendah (22–30 MJ/kg), oksigen tinggi (20–30% berat) dan ketidakstabilan tinggi[12].

Limbah organik ataupun anorganik merupakan salah satu bahan baku yang memiliki potensi untuk bisa dikonversi menjadi bahan bakar *bio-oil* pengganti bahan bakar gas. Pada penelitian ini berfokus pada penelitian menggunakan bahan baku limbah sisa makanan dan plastik. Beberapa studi membahas pengolahan limbah makanan menjadi *bio-oil*. *Bio-oil* tertinggi yang diperoleh dengan metode *hydrothermal* pada suhu 300°C dengan memperoleh *yield* sebesar 90 wt%, 75 wt% dan 10 wt% untuk limbah makanan berupa daging, keju dan buah-buahan. Sedangkan pada penelitian menggunakan limbah makanan dengan kandungan karbohidrat tinggi menghasilkan minyak mentah sebanyak 25wt%[13]. Rata-rata hasil perolehan minyak mentah dengan metode *hydrothermal* ini sebesar 27,8 wt% yang diperoleh dari ikan tuna[14].

Bio oil dapat dihasilkan melalui proses pirolisis lambat (*slow pyrolysis*) ataupun pirolisis cepat (*fast pyrolysis*). Pada pirolisis lambat menghasilkan produk destilat yang mengandung *bio-oil*. Sedangkan pada pirolisis cepat produk yang dihasilkan berupa *crude bio-oil*, arang dan gas[15]. *Bio-oil* pirolisis dapat langsung digunakan sebagai bahan bakar pada *boiler* atau selanjutnya dapat ditingkatkan untuk menghasilkan bahan bakar dan bahan kimia menggunakan beberapa metode seperti *cracking*, hidrogenasi dan sebagainya [16]. *Bio-oil* yang digunakan sebagai bahan bakar memiliki kelebihan pada penggunaannya dibandingkan dengan bahan bakar fosil yakni memiliki emisi sulfur dan nitrogen dioksida yang rendah[17]. *Bio-oil* yang diekstraksi mengandung fenolat konsentrasi tinggi, yang dapat ditukar dengan fenol yang ditemukan dalam bahan bakar fosil. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa hasil *bio-oil* menjanjikan dan sebanding dengan produksi bahan bakar alternatif. Telah dicatat bahwa suhu, yang dihubungkan dengan nilai kalor, merupakan parameter paling penting yang mempengaruhi hasil produk yang dihasilkan selama pirolisis biomassa[18].

Berdasarkan beberapa penelitian terdahulu, penelitian ini bertujuan untuk mengurangi jumlah timbulan sampah rumah tangga di masyarakat berupa limbah sisa makanan dengan mengkonversi menjadi *bio-oil* melalui metode pirolisis. Adapun hasil dari konversi limbah padat ini nantinya akan dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar karena

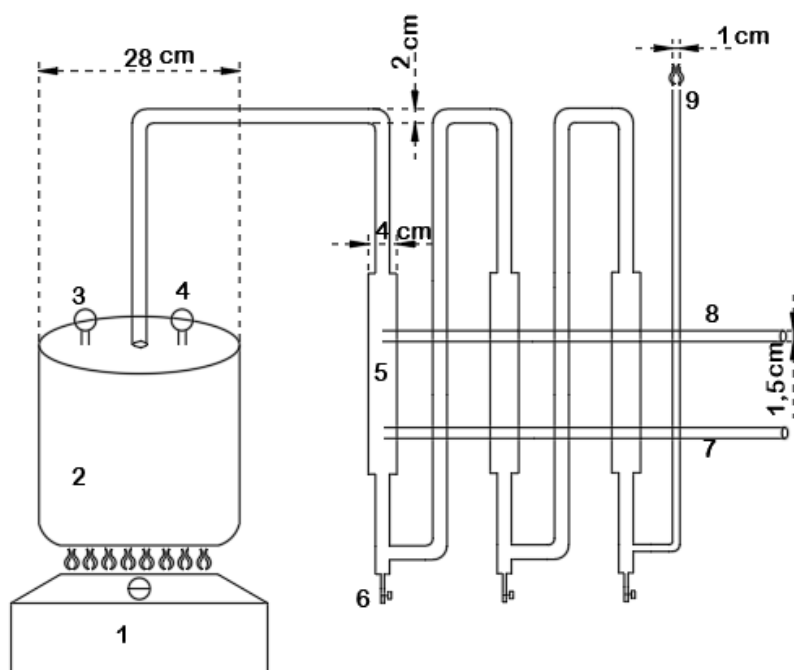
berdasarkan beberapa penelitian terdahulu diperoleh hasil berupa *bio-oil* yang mengandung senyawa aromatik yang dapat dijadikan sebagai bahan bakar. Metode pirolisis yang digunakan didesain dengan proses yang sederhana yang kedepannya dapat digunakan secara luas oleh masyarakat setempat.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan melalui proses pirolisis dengan menggunakan 3 variasi suhu operasi sebagai variable kontrol dalam produksi *bio-oil* dengan bahan baku sisa makanan. Kondisi operasi pada penelitian ini yakni terdiri dari 3 variasi suhu yakni pada suhu 250, 300, dan 350°C. Produksi *bio-oil* yang dihasilkan dianalisis dengan menggunakan GC-MS. Hasil tersebut selanjutnya digunakan untuk mengetahui kandungan senyawa hidrokarbon yang dikandung pada produk *bio-oil* pada masing-masing variasi suhu operasi.

Alat Penelitian

Rancangan rangkaian alat yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Rangkaian alat pirolisis

Bagian-bagian pada alat pirolisis:

1. Kompor pemanas

Kompor pemanas yang digunakan adalah kompor gas (LPG). Kompor gas digunakan untuk memanaskan bahan baku berupa sisa makanan yang ada dalam reaktor. Sehingga bahan yang di dalam akan terbakar dan menghasilkan uap.

2. Reaktor

Reaktor dibuat dari bahan *stainless steel* dengan diameter 28 cm dan tinggi 22 cm. Pemilihan bahan *stainless steel* karena kemampuan menghantarkan panas cukup cepat sehingga proses penguraian senyawa-senyawa organik dapat optimal dan tidak membutuhkan waktu yang lama. Reaktor ini dilapisi oleh bata dan tanah untuk menghindari panas keluar berlebihan selama proses pirolisis berlangsung.

3. *Pressure gauge*

Pressure gauge digunakan untuk mengukur tekanan yang dihasilkan reaktor. Alat ini membantu mengontrol tingkat tekanan yang ada sehingga tetap terjaga dalam batas yang diperlukan.

4. *Temperature gauge*

Digunakan sebagai alat pengukur suhu yang menampilkan suhu dengan *range* tertentu menggunakan jarum penunjuk serta angka yang tersusun melingkar.

5. Pipa pendingin

Pipa pendingin terbuat dari bahan *stainless steel* yang dibentuk spiral. Asap yang dihasilkan dari proses pemanasan pada reaktor akan mengalir ke pipa pendingin. Selanjutnya terjadi proses perubahan fase, dari gas menjadi cair (kondensasi).

6. *Valve* (katub)

Valve digunakan untuk membuka atau menutup katub air dan produk hasil pirolisis yang berupa cairan hasil dari kondensasi gas menjadi cair. Katub ini tidak hanya mengeluarkan cairan terdapat juga gas, dikarenakan sebagian gas tidak terkondensasi di dalam pipa pendingin.

7. Pipa *inlet*

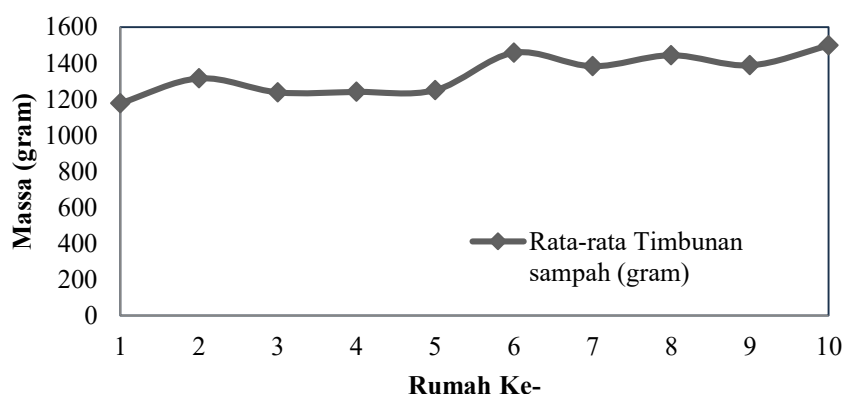
Pipa *inlet* terbuat dari *stainless steel*, digunakan sebagai media untuk mengalirkan air pada proses kondensasi pirolisis.

8. Pipa *outlet*

Pipa *outlet* terbuat dari *stainless steel*, digunakan sebagai media untuk mengalirkan air yang telah digunakan pada proses kondensasi pirolisis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Salah satu upaya mengurangi jumlah timbulan sampah di Lingkungan Lauq Masjid, Kelurahan Pancor dilakukan dengan cara melakukan perhitungan timbulan sampah yang dihasilkan dari aktivitas masyarakat yang selanjutnya dijadikan sebagai data awal dalam penelitian ini. Pada penelitian ini digunakan bahan baku berupa sampah rumah tangga berupa limbah sisa makanan non plastik. Pada setiap proses pengolahan sampah sisa makanan digunakan sebanyak 1 kg dari massa total sampah rumah tangga yang ada.



Gambar 2. Sampah rumah tangga pada 10 KK

Berdasarkan data perhitungan timbulan sampah di lokasi penelitian diperoleh hasil berupa rata-rata jumlah sampah untuk setiap rumah tangga yakni paling rendah pada angka 1,186 kg dan tertinggi pada angka 1,634 kg. Nilai timbulan sampah berdasarkan grafik pada Gambar 2 mengalami peningkatan dari rumah ke-1 hingga rumah ke-10, hal ini sebanding dengan jumlah orang yang ada dalam rumah tersebut. Sampah rumah tangga pada umumnya mengandung berbagai macam bahan yang komposisinya sangat bervariasi tergantung pada jenis komunitas dan konsumennya. Faktor pendapatan dan gaya hidup,

serta tingkat industrialisasi, institusionalisme, dan komersialismenya akan sebanding dengan perubahan jumlah timbulan sampah.

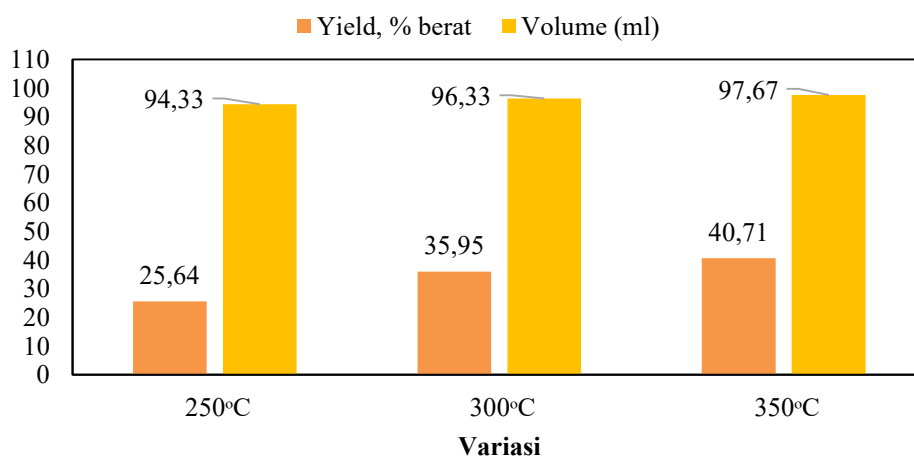
Limbah makanan mengandung lipid, karbohidrat, asam amino, fosfat, vitamin dan zat lain yang mengandung karbon, sehingga dapat menjadi sumber bahan bakar yang berharga. Sampah makanan dapat dibagi menjadi beberapa kelompok diantaranya sisa, tanaman organik sisa dapur, hasil sampingan hewan dan campuran sampah domestik[19]. Pirolisis sebagai teknik yang dapat digunakan untuk mengolah limbah makanan, namun komposisi limbah dapat mempengaruhi efektivitas prosesnya. Karena tingginya variabilitas komposisinya, pirolisis campuran limbah makanan telah dipertimbangkan dalam beberapa penerapan hingga saat ini[20].

Pengaruh Suhu terhadap Produk Pirolisis

Dilakukan perakuan perbedaan suhu pada kondisi operasi pirolisis. Hal ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu operasi terhadap hasil pirolisis atau *bio-oil* yang dihasilkan. Berdasarkan hasil yang dilakukan dengan tiga variasi suhu yang berbeda yakni pada suhu 250, 300, dan 350°C. Berdasarkan Gambar 3 menunjukkan hasil *yield bio-oil* dengan sampel sisa makanan. Komposisi dengan bahan baku limbah sisa makanan tanpa campuran menunjukkan kecenderungan *yield* yang semakin meningkat yakni 25,64%; 35,95% dan 40,71%. Hal ini juga berkaitan dengan seiring meningkatnya suhu operasi pada pirolisis terjadi peningkatan terhadap volume dan *yield bio-oil*. Gambar 3 menunjukkan hasil produk *bio-oil* pada variasi suhu operasi.



Gambar 3. Produk *bio-oil* pada berbagai suhu



Gambar 4. Grafik persentase *yield* dan volume produk *bio-oil*

Pada Gambar 4 menunjukkan persentase *yield* dan volume produk *bio-oil*. Selain berpengaruh pada *yield* produk, suhu operasi juga berpengaruh terhadap volume *bio-oil* yang dihasilkan pada setiap variasi suhu. Pada suhu 250, 300, dan 350 °C berturut-turut menghasilkan volume *bio-oil* sebesar 94,33 ml, 96,33 ml, dan 97,67 ml[21].

A. Karakteristik Produk *Bio-oil*

Komposisi bahan baku yang digunakan yakni berupa limbah sisa makanan seperti sayuran, nasi, kulit buah dan juga biji-bijian. Komposisi yang digunakan yakni 100% limbah sisa makan dengan komposisi berat sebanyak 1000 gram. Kondisi ini dipilih melihat ketersediaan sisa makanan di campuran sampah rumah tangga memiliki persentase terbanyak. Pada limbah sisa makanan terdapat lignin dan selulosa yang dapat terdegradasi menjadi senyawa-senyawa aromatik dan turunannya sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar atau pun sejenisnya.

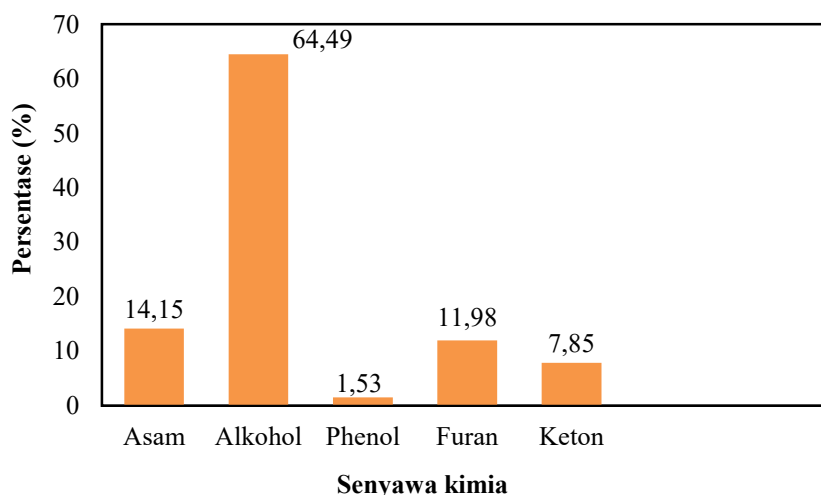
Karakterisasi *bio-oil* yang dilakukan berupa uji kualitatif untuk mengetahui gugus fungsi dan senyawa kimi yang terkandung pada produk yang dihasilkan. Pada beberapa penelitian telah dilakukan pirolisis dengan bahan rumput, akar dan bunga untuk membuat *bio-oil*. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa *bio-oil* mengandung 62 komponen dan sebagian besar adalah senyawa fenol. Pembuatan *bio-oil* dengan bahan baku berupa tandan kosong sawit dan diperoleh komposisi *bio-oil* yang terdiri dari asetaldehid, aseton, gugus keton, propanon, asam asetat, metil ester, asam propanoat, furfural, fenol dan asam benzenesulfonic[22]. Pirolisis *bio-oil* dengan menggunakan bahan baku tempurung kelapa dan cangkang kopi dan diperoleh kandungan senyawa fenol sebesar 68,19%[23].

Uji Karakterisasi ini menggunakan instrumentasi GC-MS sehingga dapat diperoleh dekomposisi senyawa pada sampel yang diuji. Pengujian GC-MS menunjukkan komponen kimia yang menjadi karakteristik *bio-oil* limbah sisa makanan pada rentang suhu operasi 250-350°C. Hasil pengujian menunjukkan bahwa komponen kimia *bio-oil* limbah sisa makanan memiliki komponen yang mendominasi. Secara umum hasil pengelompokkan senyawa kimia yang dihasilkan dengan variasi suhu yang berbeda yakni seperti yang terlihat pada Gambar 5.

Pada Gambar 5 menunjukkan hasil uji GC-MS, diperoleh hasil berupa senyawa yang mendominasi dengan jumlah konsentrasi paling tinggi yakni methanol sebesar 64,48%. Senyawa methanol merupakan senyawa dengan kelompok alkohol, sehingga hal ini membuktikan bahwa telah terjadi perengkahan selulosa yang terkandung pada limbah sisa makanan. Selulosa yang terkandung pada limbah sisa makanan terdekomposisi membentuk turunan alkohol, asam, furan dan phenol. *Bio-oil* terdiri dari lignin, alkohol, asam organik, dan karbonil sebagai bahan organik utama. Karakteristik tersebut menjadikan *bio-oil* sebagai bahan bakar yang ramah lingkungan[24]. *Bio-oil* dapat menjadi alternatif pengganti bahan bakar hidrokarbon untuk industri seperti untuk mesin pembakaran, *boiler*, mesin diesel statis dan gas turbin dan efektif digunakan sebagai pensubstitusi diesel, *heavy fuel oil*, *light fuel oil*, dan *natural gas* untuk berbagai macam *boiler*, serta dapat digunakan untuk bahan dasar pembuatan *bio-fuel* untuk keperluan transportasi dan *power plant industri*, selain itu *bio-oil* bahan ini dapat diperbaharui (*renewable*) dan bersifat ramah lingkungan[25].

Berdasarkan hasil analisa pada Gambar 5 di atas menunjukkan adanya alkohol dan asam yang kelimpahannya relatif cukup besar yaitu berturut-turut 64,4% dan 14,4%. Komponen organik terbesar dalam *bio-oil* adalah turunan lignin yaitu fenol, alkohol, asam organik dan senyawa karbonil seperti keton, aldehyd dan ester. Sifat asam tersebut disebabkan akibat kandungan senyawa fenol yang dominan. Hadirnya komponen alkohol, aldehyd, keton, furfural, dan furan di dalam *bio-oil* disebabkan karena terdekomposisinya

fraksi selulosa dan hemiselulosa dari biomassa. Sedangkan hadirnya senyawa aromatik, kresol, dan turunan fenol pada *bio-oil* disebabkan oleh terdegradasinya fraksi lignin. Karakteristik tersebut menjadikan *bio-oil* sebagai bahan bakar yang ramah lingkungan, serta memiliki nilai bakar yang lebih besar dibandingkan dengan bahan bakar oksigen lainnya (seperti metanol) dan nilainya hanya lebih rendah sedikit dibandingkan dengan diesel dan *light fuel oil* lainnya.



Gambar 5. Hasil analisa karakteristik *bio-oil* dengan instrument GC-MS

Adanya kandungan fenol membuat kualitas *bio-oil* menjadi kurang bagus sehingga perlu dilakukan ekstraksi fenol untuk mendapatkan *bio-oil* dengan kualitas yang baik. Hal ini dikarenakan kandungan fenol dapat menyebabkan rendahnya nilai *heating value*, korosif, tingginya tingkat keasaman, viskositas *bio-oil* yang tinggi serta tidak stabilnya produk yang dihasilkan sehingga mengakibatkan kerusakan mesin.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan bahwa temperature operasi pada proses pirolisis dapat berpengaruh terhadap jumlah *yield* produk *bio-oil* yang dihasilkan. Semakin tinggi suhu operasi maka *yield* yang dihasilkan akan semakin tinggi. Hal ini berkenaan dengan kandungan yang terdapat pada *bio-oil* yang dihasilkan yakni mengandung senyawa turunan alkohol berupa methanol yang nantinya dapat bersifat mudah terbakar. Sehingga dapat ditarik kesimpulan *bio-oil* yang dihasilkan dari limbah sisa makanan rumah tangga dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku untuk bahan bakar.

REFERENSI

- [1] N. Fitriyah and R. Kalalinggi, "Strategi Pengelolaan Sampah Rumah Tangga Di Kelurahan Lok Bahu Kecamatan Sungai Kunjang Kota Samarinda," *J. Adm. Reform*, vol. 2, no. 1, pp. 101–112, 2017.
- [2] A. Amrullah, O. Farobie, S. Septarini, and J. A. Satrio, "Synergetic biofuel production from co-pyrolysis of food and plastic waste: reaction kinetics and product behavior," *Heliyon*, vol. 8, no. 8, 2022.
- [3] W. A. Qazi, M. F. M. Abushammala, and M. K. Younes, "Waste-to-energy technologies: a literature review," *J. Solid Waste Technol. Manag.*, vol. 44, no. 4, pp. 387–409, 2018.
- [4] S. Y. Lee *et al.*, "Waste to bioenergy: a review on the recent conversion technologies," *Bmc Energy*, vol. 1, no. 1, pp. 1–22, 2019.

- [5] T. Kan, V. Strezov, and T. J. Evans, "Lignocellulosic biomass pyrolysis: A review of product properties and effects of pyrolysis parameters," *Renew. Sustain. energy Rev.*, vol. 57, pp. 1126–1140, 2016.
- [6] S. Pinzi, C. Buratti, P. Bartocci, G. Marseglia, F. Fantozzi, and M. Barbanera, "A simplified method for kinetic modeling of coffee silver skin pyrolysis by coupling pseudo-components peaks deconvolution analysis and model free-isoconversional methods," *Fuel*, vol. 278, p. 118260, 2020.
- [7] K. W. Chew, S. R. Chia, W. Y. Chia, W. Y. Cheah, H. S. H. Munawaroh, and W.-J. Ong, "Abatement of hazardous materials and biomass waste via pyrolysis and co-pyrolysis for environmental sustainability and circular economy," *Environ. Pollut.*, vol. 278, p. 116836, 2021.
- [8] C. Yang *et al.*, "Pyrolysis of microalgae: A critical review," *Fuel Process. Technol.*, vol. 186, pp. 53–72, 2019.
- [9] L. J. Snowden-Swan *et al.*, "Hydrothermal liquefaction and upgrading of municipal wastewater treatment plant sludge: a preliminary techno-economic analysis, rev. 1," Pacific Northwest National Lab.(PNNL), Richland, WA (United States), 2016.
- [10] H. Zhan *et al.*, "Step pyrolysis of N-rich industrial biowastes: Regulatory mechanism of NO_x precursor formation via exploring decisive reaction pathways," *Chem. Eng. J.*, vol. 344, pp. 320–331, 2018.
- [11] N. Nuraini, N. binti Osman, and E. Astuti, "Bio-Oil Production Using Waste Biomass via Pyrolysis Process: Mini Review," *J. Bahan Alam Terbarukan*, vol. 11, no. 1, pp. 37–49, 2022.
- [12] W. Ouyang, X. Zhao, M. Tysklind, F. Hao, and F. Wang, "Optimisation of corn straw biochar treatment with catalytic pyrolysis in intensive agricultural area," *Ecol. Eng.*, vol. 84, pp. 278–286, 2015.
- [13] R. Posmanik *et al.*, "Acid and alkali catalyzed hydrothermal liquefaction of dairy manure digestate and food waste," *ACS Sustain. Chem. Eng.*, vol. 6, no. 2, pp. 2724–2732, 2018.
- [14] B. Grycová, I. Koutník, and A. Pryszcz, "Pyrolysis process for the treatment of food waste," *Bioresour. Technol.*, vol. 218, pp. 1203–1207, 2016.
- [15] S. Wibowo and D. Hendra, "Seri Paket Iptek Teknik Pengolahan Bio-Oil dari Biomassa," *Bogor, Indones. Pus. Penelit. dan Pengemb. Has. Hutan Badan Penelitian, Pengemb. dan Inov. Kementerian. Lingkung. Hidup dan Kehutan.*, 2015.
- [16] D. C. Elliott, "Historical developments in hydroprocessing bio-oils," *Energy & Fuels*, vol. 21, no. 3, pp. 1792–1815, 2007.
- [17] J. D. Martínez *et al.*, "Co-pyrolysis of biomass with waste tyres: Upgrading of liquid bio-fuel," *Fuel Process. Technol.*, vol. 119, pp. 263–271, 2014.
- [18] A. Amrullah and O. Farobie, "Distribution of Phenolic Compounds from *Ulva Lactuca* and *Sargassum* sp. via Slow-Pyrolysis," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2023, vol. 1201, no. 1, p. 12088.
- [19] C. S. K. Lin, M. Kirpluks, A. Priya, and G. Kaur, "Conversion of food waste-derived lipid to bio-based polyurethane foam," *Case Stud. Chem. Environ. Eng.*, vol. 4, p. 100131, 2021.
- [20] D. Czajczyńska *et al.*, "Potential of pyrolysis processes in the waste management sector," *Therm. Sci. Eng. Prog.*, vol. 3, pp. 171–197, 2017.
- [21] J. Pitoyo, T. E. Suharto, and S. Jamilatun, "Pengaruh Suhu Terhadap Yield Valuable Chemicals Pada Fase Organik Hasil Pirolisis Cangkang Kelapa Sawit," in *Prosiding Seminar Nasional Penelitian LPPM UMJ*, 2022, vol. 1, no. 1.
- [22] S. Mujiarto, Y. Ristianingsih, A. Amrullah, and A. Khalid, "Studi Proses Pirolisis Tandan Kosong Sawit Menjadi Bio Oil Sebagai Energi Alternatif," *Polhasains J.*

- sains dan Terap. Politek. Hasnur.*, vol. 2, no. 02, pp. 21–25, 2014.
- [23] T. Hidayat and Q. Qomaruddin, “Analisa Pengaruh Temperatur Pirolisis Dan Bahan Biomassa Terhadap Kapasitas Hasil Pada Alat Pembuat Asap Cair,” in *Prosiding Seminar Sains Nasional dan Teknologi*, 2015, vol. 1, no. 1.
- [24] S. Wang, “High-efficiency separation of bio-oil,” in *Biomass now-sustainable growth and use*, IntechOpen, 2013.
- [25] D. S. Fardhayanti, *Monograf Bio-Oil Berbasis Biomassa*. Deepublish, 2020.