

PENGARUH KECEPATAN PENGADUKAN TERHADAP EKSTRAKSI SENYAWA FENOL DARI FASE BERAT BIO-OIL HASIL PIROLISIS CANGKANG KELAPA SAWIT

by Ahmad Saiful Haqqi

Submission date: 31-Mar-2023 09:36AM (UTC+0700)

Submission ID: 2051613386

File name: Hak_Cipta.pdf (373.87K)

Word count: 3242

Character count: 19316

PENGARUH KECEPATAN PENGADUKAN TERHADAP EKSTRAKSI SENYAWA FENOL DARI FASE BERAT BIO-OIL HASIL PIROLISIS CANGKANG KELAPA SAWIT

Hesti Wijayanti^{1,a}, Primata Mardina¹, Abubakar Tuhuloula¹, Auliyani Lutfi¹, Syahril Fadil Riyadi¹.

¹Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat
a correspondence e-mail: hesti.wijayanti@ulm.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kondisi pemisahan yang efisien untuk senyawa fenolik dari fase berat bio-oil yang dihasilkan dari pirolisis cangkang sawit. Variabel yang dipelajari dalam ekstraksi senyawa fenolik menggunakan diklorometana, yaitu kecepatan pengadukan. Parameter yang diamati adalah komposisi, hasil, dan koefisien distribusi fase terekstraksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ekstraksi senyawa fenolik lebih baik dilakukan pada kecepatan pengadukan rpm yang tinggi. Kondisi terbaik untuk ekstraksi senyawa fenolik pada penelitian ini adalah pada kecepatan pengadukan 300 rpm yang menghasilkan yield 67,30 % dan koefisien distribusi 0,83 untuk total fenol.

Kata kunci: cangkang kelapa sawit, pirolisis, bio-oil, senyawa fenol.

PENDAHULUAN

Pemanfaatan biomassa khususnya dari limbah pertanian dan rumah tangga banyak mendapat perhatian karena dapat meningkatkan nilai tambah sekaligus mengurangi permasalahan lingkungan akibat limbah. Beberapa biomassa dimanfaatkan dengan menggunakan metode termokimia (Bridgwater, 2012). Salah satu pilihan yang menjanjikan adalah mengkonversi biomassa menggunakan teknologi pirolisis.

Pirolisis dapat mengubah biomassa menjadi bio-oil sebagai sumber bahan bakar dan produk bernilai tambah untuk bahan kimia. Pirolisis adalah dekomposisi termal senyawa organik dalam biomassa tanpa adanya oksigen pada suhu tinggi. Biasanya dilakukan pada kisaran suhu 300 hingga 800 °C (Ahmad et al., 2014). Produk pirolisis meliputi arang (padat), cairan pirolisis (bio-oil), dan gas (Yaman, 2004; Braga et al., 2014).

Permasalahan dalam upgrading dan pemanfaatan bio-oil disebabkan oleh banyaknya senyawa yang terkandung didalamnya. Bio-oil mengandung ratusan bahan kimia, antara lain asam, alkohol, keton, fenol, dan sebagainya (Kim, 2015). Secara termal dan kimia tidak stabil (Zilnik and Jazbinsek, 2012). Karena sifatnya yang inferior seperti kadar air yang tinggi, nilai kalor yang rendah, dan sangat korosif, pemanfaatan langsung sebagai bahan bakar tidak memberikan hasil seperti bahan bakar fosil (Mostafazadeh et al., 2018). Akibatnya, berbagai

teknik untuk meningkatkan sifat bahan bakarnya, serta penelitian untuk memisahkan senyawa kimia dari bio-oil, telah dikembangkan (Tao et al., 2020).

Benua Asia, khususnya kawasan Asia Tenggara, mendominasi produksi minyak sawit (Huang et al., 2018). Malaysia dan Indonesia menyumbang hampir 90% dari ekspor minyak sawit global (Sumathi et al., 2008). Malaysia dan Indonesia menghasilkan sejumlah besar akumulasi limbah minyak sawit seperti cangkang dan serat inti sawit, tandan buah kosong, batang kelapa sawit, dan pelepah kelapa sawit (Asadullah et al., 2013). Potensi biomassa yang sangat besar ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber bahan bakar dan produk bernilai tambah untuk senyawa kimia melalui pirolisis. Potensi biomassa dari limbah yang sangat besar ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber bahan bakar dan produk bernilai tambah untuk senyawa kimia melalui pirolisis.

Pengaruh kecepatan pengadukan selama proses ekstraksi bio-oil, khususnya fase berat, kurang mendapat perhatian. Penelitian ini melakukan pemisahan senyawa fenolik dari fase berat bio-oil yang dihasilkan dari pirolisis cangkang sawit. Tujuan khusus adalah untuk memisahkan senyawa fenolik dari bio-oil untuk menghasilkan senyawa fenolik yang dapat digunakan sebagai pengganti fenol berbasis bahan bakar di masa depan. Diharapkan hasil penelitian ini akan berkontribusi pada pemanfaatan bio-oil yang lebih baik.

LANDASAN TEORI

Pirolisis cangkang inti sawit

Suhu, konfigurasi reaktor, jenis biomassa, katalis, dan laju pemanasan merupakan hal-hal yang mempengaruhi yield dan komposisi produk hasil pirolisis (Putun et al., 2006). Beberapa penelitian tentang pirolisis cangkang inti sawit sudah dilakukan. Ahmad et al. (2014) mempelajari pengaruh suhu pirolisis dan ukuran partikel cangkang inti sawit dengan menggunakan reaktor fixed bed. Bio-oil terbanyak diperoleh pada suhu 450 °C dan partikel 0.6-1.2 mm.

Cangkang inti sawit terdiri dari 33,04% selulosa, 23,82% hemiselulosa, 45,59% lignin, dan 9,89% ekstraktif (Kim et al., 2010). Lignin sangat menarik karena sifat fenoliknya, yang dapat digunakan untuk mensintesis berbagai senyawa fenolik dan bahan kimia aromatik. Perengkahan lignin menghasilkan senyawa fenolik (Omoriyekomwan et al., 2016). Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa cangkang sawit mengandung senyawa fenolik konsentrasi tinggi (Omoriyekomwan et al., 2016; Kim et al., 2010; Abdul Aziz et al., 2013). Produksi bio-oil dengan kandungan fenol yang tinggi sangat diminati karena dapat langsung diaplikasikan pada sintesis resin fenolik (Kim et al., 2015).

Pemisahan produk pirolisis dengan ekstraksi

Secara umum, bio-oil dibagi menjadi dua fase: ringan/terang dan berat/gelap, yang dapat dipisahkan dengan perbedaan densitasnya (Ribeiro et al., 2019). Pemisahan senyawa dari bio-oil akan meningkatkan efisiensi proses selanjutnya (Rover et al., 2014). Di antara teknik pemisahan, ekstraksi pelarut telah disarankan sebagai metode yang menjanjikan karena dilakukan pada suhu kamar dan tekanan atmosfer (Zilnik and Jazbinsek, 2012). Senyawa kimia dalam bio-oil dapat dipisahkan berdasarkan perbedaan polaritasnya dengan menggunakan berbagai pelarut organik seperti heksana, toluena, kloroform, metanol, metilen klorida, aseton, dan lain-lain (Ma and Agblevor, 2014). Diklorometana juga banyak digunakan sebagai pelarut dalam ekstraksi bio-oil (Wang et al., 2014; Ma and Agblevor, 2016).

METODE PENELITIAN

Cangkang inti sawit diperoleh dari pabrik pengolahan minyak sawit lokal di Kabupaten Tanah Laut, Kalimantan Selatan, Indonesia. Kadar air cangkang inti sawit adalah 6-9%. Cangkang inti sawit terdiri dari 33,04% selulosa, 23,82% hemiselulosa, 45,59% lignin, dan 9,89% ekstraktif (Kim et al., 2010). Sebelum pirolisis, cangkang inti sawit digiling menjadi ukuran partikel kurang dari 0,5 mm (30 mesh). Natrium hidroksida (NaOH, bersertifikat ACS) dan hidrogen klorida (HCl, bersertifikat ACS) digunakan untuk mengatur pH selama proses pemisahan. Diklorometana (CH₂Cl₂, bersertifikat ACS) digunakan sebagai pelarut ekstraksi. Reagen Folin Ciocalteu (bersertifikat ACS) digunakan dalam analisis Spektroskopi UV.

Pirolisis cangkang inti sawit

Cangkang inti sawit dipirolisis dalam reaktor fixed bed untuk menghasilkan bio-oil. Informasi lebih detail tentang reaktor pirolisis ini dapat ditemukan di penelitian Wijayanti et al. (2020). Pirolisis dilakukan dengan menggunakan sampel cangkang inti sawit sebanyak 500 gram. Reaksi pirolisis dilakukan pada suhu 400°C selama 1 jam sejak suhu tercapai. Setelah reaksi selesai, reaktor didinginkan. Produk cair yang dihasilkan dari proses pirolisis dipisahkan dengan corong pisah untuk mendapatkan fasa gelap (fasa berat) dan fasa terang (fase ringan). Komposisi fase berat (HBO) menyumbang sekitar 10 % berat dari sampel bio-oil. HBO yang dipisahkan digunakan selanjutnya untuk pemisahan senyawa fenolik melalui ekstraksi pada langkah berikutnya.

Pemisahan senyawa fenolik dari fase berat bio-oil (HBO)

Prosedur ekstraksi yang digunakan dalam penelitian ini adalah versi modifikasi dari yang dijelaskan dalam Wang et al. (2014). Modifikasi dilakukan untuk mengetahui pengaruh kecepatan pengadukan terhadap yield senyawa fenolik selama proses ekstraksi. Setelah dicampur dengan larutan NaOH 2,5 M hingga mencapai pH 14, bio-oil fase berat (HBO) diekstraksi dengan 20 mL CH₂Cl₂ dengan kecepatan pengadukan 250 rpm selama 1 jam. Hasil ekstraksi menghasilkan dua fase yaitu fase larut CH₂Cl₂ dan fase tidak larut CH₂Cl₂. Larutan fasa larut CH₂Cl₂ merupakan fasa netral yang tidak dipelajari dalam penelitian ini. Larutan HCl 1 M ditambahkan pada fasa tidak larut CH₂Cl₂ hingga mencapai pH 6. Kemudian larutan disaring dan diperoleh filtrat dan residu. Residu berupa pirolitik lignin tidak digunakan lebih lanjut karena tidak termasuk dalam ruang lingkup penelitian ini. Sedangkan filtrat yang diperoleh diekstraksi dengan 20 mL CH₂Cl₂ pada berbagai kecepatan pengadukan 200, 250, dan 300 rpm selama 1 jam. Setelah itu akan diperoleh fasa larut CH₂Cl₂, diikuti oleh fasa tidak larut CH₂Cl₂ (rafinat). Fasa larut CH₂Cl₂ kemudian didistilasi pada suhu 40°C untuk mendapatkan fraksi yang kaya akan senyawa fenolik (FB). Untuk mengetahui komposisi bio-oil, HBO dan fraksi fenol (FB) dianalisis menggunakan GC-MS, sedangkan untuk mengetahui kadar fenol total digunakan Spektrofotometer UV-Visible pada panjang gelombang 765 nm.

Untuk mengevaluasi pengaruh laju pengadukan selama ekstraksi, digunakan total hasil fenol dan koefisien distribusi (Vitasari et al., 2011; Ren et al., 2017). Hasil total fenol didefinisikan sebagai rasio konsentrasi massa (g/L) dari total fenol dalam fase FB dan HBO. Koefisien distribusi, di sisi lain, didefinisikan sebagai rasio fraksi massa pada kondisi setimbang dari total fenol dalam fase FB dan rafinat.

HASIL PENELITIAN

Komposisi bio-oil hasil pirolisis cangkang inti sawit

Bio-oil (BO) yang dihasilkan dari pirolisis cangkang inti sawit pada suhu 400°C, serta fase beratnya (HBO), dianalisis menggunakan GC-MS untuk menentukan komposisinya. Penelitian ini menemukan lebih dari 50 senyawa dalam bio-oil. Namun, hanya 13 senyawa terbesar yang dipertimbangkan. Tabel 1 menunjukkan senyawa utama dalam bio-oil dan fase beratnya.

Tabel 1. Komposisi bio-oil (BO) and fase beratnya (HBO).

Chemical compounds	Peak area (%)	
	Bio-oil	Heavy Phase
2-propanone	9.01	
2,4-hexadiene	0.35	
Acetic acid	50.25	3.53
3-methyl-hexan-2-one	0.49	

1-hydroxy-2-butanone	2.38	
2-furancarboxaldehyde	5.02	4.20
Phenol	27.45	52.52
2-methoxyl-4-methylphenol		5.18
1,2,3-trimethoxybenzene		1.88
1,2-benzenediol	1.99	
1,2,4-trimethoxybenzene	0.53	
2-methoxy-4-propyl-phenol		2.60
3-methoxy-pyrocatechol	0.33	

Berdasarkan hasil GC-MS, 10 senyawa golongan utama dalam bio-oil (dari puncak tertinggi hingga terendah) adalah asam asetat, senyawa fenol dan fenolik, keton, aldehida, dan alkena. Bio-oil yang dihasilkan oleh pirolisis cangkang inti sawit, dapat dianggap sangat asam, karena lebih dari 50% (area) asam asetat terdeteksi. Senyawa fenolik adalah urutan kedua terbesar. Secara umum, kandungan fenol BO dari cangkang inti sawit lebih tinggi daripada BO dari sumber biomassa lainnya (Yanik et al., 2007; Yuan et al., 2015). Kandungan lignin yang tinggi dalam cangkang inti sawit dapat menyebabkan senyawa fenol dan fenolik dalam bio-oil pada hasil yang menjadi lebih tinggi (Kim et al., 2010; Mantilla et al., 2015).

Komposisi bio-oil ini hampir identik dengan komposisi dari hasil penelitian Kim et al. [19], tetapi hasil penelitian ini menunjukkan bahwa asam asetat lebih dominan daripada senyawa fenolik. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh perbedaan suhu pada reaksi pirolisis. Penelitian ini dilakukan pada suhu 400°C yang lebih rendah dari suhu pirolisis pada penelitian sebelumnya. Hal ini dapat terjadi karena lignin belum sepenuhnya terurai menjadi senyawa fenolik. Ketika suhu kurang dari 500 °C, makromolekul lignin terpirolisis secara tidak sempurna, seperti yang diamati oleh Lou et al. (2015).

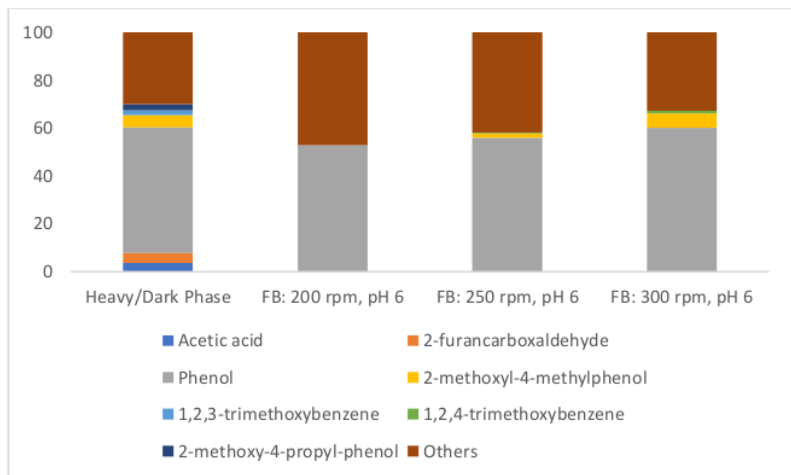
Setelah dipisahkan dari fase ringan yang banyak mengandung air dan senyawa yang larut dalam air, HBO memiliki komposisi tiga senyawa yang sama dengan bio-oil, yaitu asam asetat, 2-furankarboksaldehida, dan fenol. Komposisi dua senyawa pertama menurun, dan bahkan asam asetat menurun signifikan. Hal ini disebabkan karena senyawa asam bersifat polar dan larut dalam air (Wang et al., 2014; Ren et al., 2017; Tao et al., 2020), senyawa ini mudah dipindahkan ke fase ringan bila dipisahkan dari HBO. Di sisi lain, fenol meningkat lebih dari 90% dibandingkan dengan kandungan fenol dalam bio-oil. Senyawa fenolik lain yang ditemukan dalam BO selain fenol adalah 1,2-benzenediol dan 3-methoxy-pyrocatechol. Setelah pemisahan menjadi HBO, ditemukan senyawa alkil fenol, yaitu 2-methoxyl-4-methylphenol dan 2-methoxyl-4-propylphenol. Hal ini dimungkinkan karena HBO terdiri dari komponen yang tidak larut dalam air (Tao et al., 2020), polaritas rendah (Ren et al., 2017), dan pirolitik lignin (Wang et al., 2014).

Ekstraksi senyawa fenolik dari HBO merupakan langkah selanjutnya yang dimulai dengan menaikkan pH HBO dari 2,4 menjadi netral (pH 14). Larutan NaOH ditambahkan untuk menghasilkan fenolat, yang bersifat lebih larut dalam air sehingga membantu dalam ekstraksi fenol (Mantilla et al., 2015), yang selanjutnya diekstraksi dengan CH₂Cl₂ untuk memisahkan fase netral yang larut. Dalam kondisi basa, setelah penambahan basa kuat seperti NaOH, senyawa netral seperti keton, aromatik, dan mungkin fenol sederhana (pKa > 10,35) akan terbawa oleh fase netral dengan mengekstraknya dengan pelarut organik seperti CH₂Cl₂ (Mante et al., 2019).

Untuk meningkatkan senyawa fenolik yang terekstraksi, fasa CH₂Cl₂ yang tidak larut diasamkan lebih lanjut dengan menambahkan larutan HCl hingga pH nya menjadi 6. Pengaruh laju pengadukan pada ekstraksi fasa CH₂Cl₂ yang tidak larut akan dibahas pada bagian selanjutnya dari penelitian ini.

Pengaruh laju pengadukan pada ekstraksi senyawa fenolik

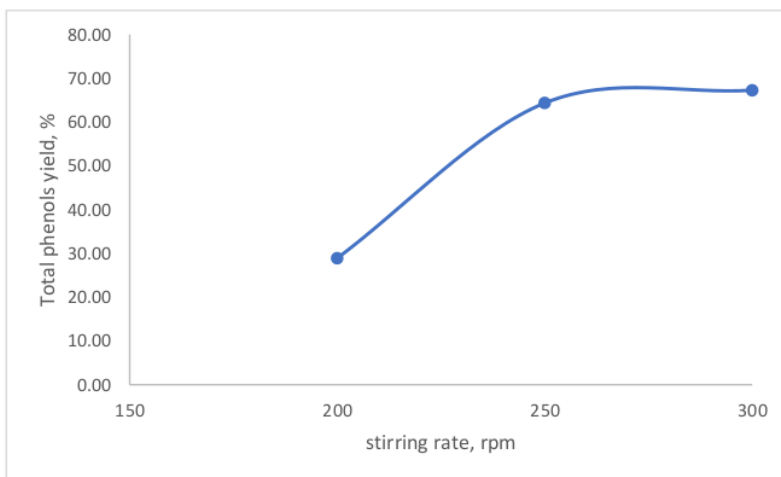
Untuk mengetahui pengaruh laju pengadukan dalam ekstraksi, fasa CH₂Cl₂ tidak larut tahap sebelumnya diekstraksi dengan pelarut CH₂Cl₂ pada pH konstan 6, dengan variasi laju pengadukan 200, 250, dan 300 rpm. Setelah dipisahkan dari pelarut, hasil ekstraksi (selanjutnya disebut FB) dianalisis komponen kimianya menggunakan GC-MS dan kandungan total fenolnya menggunakan UV-Vis. Gambar 1 menunjukkan komposisi fase berat bio-oil (HBO) dan fase terekstraksi (FB) yang dihasilkan dari kecepatan pengadukan yang berbeda.



Gambar 1. Fase berat bio-oil (HBO) dan hasil ekstraksinya (FB) pada kecepatan pengadukan yang berbeda.

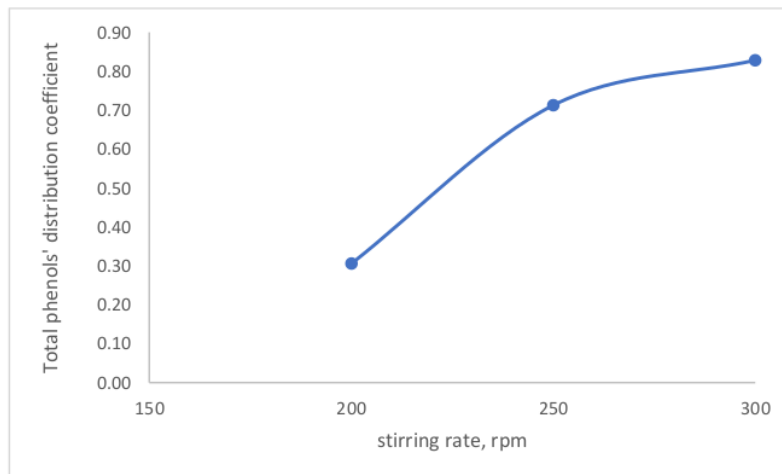
Menurut hasil GC-MS pada Gambar 1, jika dibandingkan dengan HBO, FB memiliki senyawa yang lebih sedikit, dengan mayoritas terdiri dari senyawa fenol dan fenolik dan tidak

adanya asam, keton, aldehida, dan alkena. Senyawa-senyawa ini, seperti yang dinyatakan sebelumnya, sudah terbawa dalam fase netral dalam langkah pemisahan sebelumnya. Ketika komponen FB dibandingkan pada kecepatan pengadukan yang berbeda, ditemukan bahwa peningkatan kecepatan pengadukan dari 200 rpm menjadi 250 rpm dan kemudian ke 300 rpm meningkatkan banyaknya fenol, senyawa alkil-fenol, dan benzena, yang % luas areanya semakin meningkat dengan meningkatnya kecepatan pengadukan. Temuan ini menyiratkan bahwa peningkatan laju pengadukan memungkinkan ekstraksi lebih banyak fenol dan senyawa fenolik yang lebih kompleks, termasuk senyawa benzena.



Gambar 2. Yield total fenol yang dihasilkan dari ekstraksi dengan kecepatan pengadukan yang berbeda.

Gambar 2 menunjukkan bahwa ketika kecepatan pengadukan meningkat dari 200 menjadi 250 rpm, jumlah total fenol meningkat kira-kira dua kali lipat. Total fenol kemudian meningkat sedikit saat mendekati 300 rpm. Ini menyiratkan bahwa pengadukan dalam ekstraksi meningkatkan aliran convective bulk dalam pelarut. Hal ini mengurangi penghalang perpindahan massa dan meningkatkan ekstraksi (Franco et al., 2007). Namun, selama ekstraksi fase berat dari bio-oil yang berasal dari limbah kayu, seperti yang diamati oleh Vitasari, et al. (2011), konsentrasi fase berat meningkat dengan laju pengadukan hingga 300 rpm dan kemudian cenderung mendatar. Akibatnya, dapat disimpulkan bahwa laju pengadukan menentukan waktu untuk mencapai kesetimbangan tetapi tidak berpengaruh pada komposisi kesetimbangan.



Gambar 3. Koefisien distribusi total fenol yang dihasilkan dari ekstraksi dengan kecepatan pengadukan yang berbeda.

Gambar 3 menunjukkan pengaruh laju pengadukan terhadap koefisien distribusi total fenol. Koefisien distribusi ekstraksi fenol tertinggi (0,83) diperoleh pada 300 rpm, sedangkan terendah terjadi pada 200 rpm (0,31). Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan laju pengadukan selama ekstraksi meningkatkan selektivitas fenol. Ketika laju pengadukan meningkat, demikian juga koefisien distribusi. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan laju pengadukan meningkatkan jumlah fenol yang bergerak ke fase FB (ekstrak) karena peningkatan laju pengadukan meningkatkan area kontak antara larutan dan pelarut (Mantilla et al., 2015).

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil melakukan ekstraksi senyawa fenol menggunakan diklorometana. Saat laju pengadukan meningkat dari 200 menjadi 250 rpm, jumlah total fenol yang diekstraksi juga meningkat kira-kira dua kali lipat. Total fenol sedikit meningkat saat mendekati 300 rpm. Sehingga, kondisi terbaik untuk ekstraksi senyawa fenolik pada penelitian ini adalah pada kecepatan pengadukan 300 rpm yang menghasilkan yield 67,30 % dan koefisien distribusi 0,83 untuk total fenol.

REFERENSI

Abdul Aziz, S.M., Wahi, R., Ngaini, Z., and Hamdan, S. 2013. Bio-oils from microwave pyrolysis of agricultural wastes. *Fuel Process. Technol.* 106, 744-750.

- Ahmad, R., Hamidin, N., Ali, U.F.M., and Abidin, C.Z.A. 2014. Characterization of bio-oil from palm kernel shell pyrolysis. *J. Mech. Eng. Sci.* 7, 1134-1140.
- Asadullah, M. Ab Rasid, N. S., Kadir, S. A. S. A. and Azdarpour, A. 2013. Production and detailed characterization of bio-oil from fast pyrolysis of palm kernel shell. *Biomass Bioenergy* 59, 316-324.
- Braga, R.M., Melo, D.M.A., Aquino, F.M., Freitas, J.C.O., Melo, M.A.F., Barros, J.M.F., and Fontes, M.S.B. 2014. Characterization and Comparative Study of Pyrolysis Kinetics of The Rice Husk and the Elephant Grass, *J. Therm. Anal. Calorim.* 155, 1915-1920.
- Bridgwater, A. V. 2012. Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. *Biomass Bioenergy* 38, 68-94.
- Huang, Y., Liu, H., Yuan, H., Zhan, H., Zhuang, X., Yuan, S., Yin, X. and Wu, C. 2018. Relevance between chemical structure and pyrolysis behavior of palm kernel shell lignin. *Sci. Total Environ.* 623, 785-795.
- Kim, J. –S. 2015. Production, separation and applications of phenolic-rich bio-oil – A review. *Bioresour. Technol.* 178, 90-98.
- Kim, J. –S., Jung, S. –H., and Kim, J. –S. 2010. Fast pyrolysis of palm kernel shells: influence of operation parameters on the bio-oil yield and the yield of phenol and phenolic compounds. *Bioresour. Technol.* 101, 9294-9300.
- Kim, J.-S. 2015. Production, separation and application of phenolic-rich bio-oil-a review. *Bioresour. Technol.* 178, 90-98.
- Lou, R., Wu, S. and Lyu, G. 2015. Quantified monophenols in the bio-oil derived from lignin fast pyrolysis. *J. Anal. Appl. Pyrolysis* 111, 27-32.
- Ma, B. and Agblevor, F. A. 2014. Polarity-based separation and chemical characterization of fast pyrolysis bio-oil from poultry litter. *Biomass Bioenergy* 64, 337-347.
- Ma, B. and Agblevor, F. A. 2016. Separation and hydroprocessing of HZSM-5 catalytic olive mill waste sludge bio-oil. *Energy Fuels* 30, 10524-10533.
- Mantilla, S. V., Manrique, A. M. and Gauthier-Maradei, P. 2015. Methodology for extraction of phenolic compounds of bio-oil from agricultural biomass waste. *Waste Biomass Valori.* 6, 371-383.
- Mostafazadeh, A. K., Solomatnikova, O., Drogui, P., and Tyagi, R. D. 2018. A review of recent research and developments in fast pyrolysis and bio-oil upgrading. *Biomass Convers. Biorefin.* 8, 739-773.

- Omoriyekomwan, J. E., Tahmasebi, A. and Yu, J. 2016. Production of phenol-rich bio-oil during catalytic fixed-bed and microwave pyrolysis of palm kernel shell. *Bioresour. Technol.* 207, 188-196.
- Pütün E., Uzun B.B., and Pütün A. E. 2006 Fixed-bed catalytic pyrolysis of cotton-seed cake: Effects of pyrolysis temperature, natural zeolite content and sweeping gas flow rate. *Bioresour. Technol.* 97, 701-710.
- Ren, S., Ye, X. P. and Borole, A. P. 2017. Separation of chemical groups from bio-oil water-extract via sequential organic solvent extraction. *J. Anal. Appl. Pyrolysis* 123, 30-39.
- Ribeiro, L. A. B., Martins, R.C., Mesa-Perez, J. M. and Bizzo. 2019. Study of bio-oil properties and ageing through fractionation and ternary mixtures with the heavy fraction as the main component. *Energy* 169, 344-355.
- Rover, M. R., Johnson, P. A., Whitmer, L. E., Smith, R. G. and Brown, R. C. 2014. The effect of pyrolysis temperature on recovery of bio-oil as distinctive stage fractions. *J. Anal. Appl. Pyrolysis* 105, 262-268.
- Sumathi, S., Chai, S. P. and Mohamed, A. R. 2008. Utilization of oil palm as a source of renewable energy in Malaysia. *Renew. Energ. Rev.* 12, 2404-2421.
- Tao, J., Li, C., Li, J., Yan, B., Chen, G., Cheng, Z., Li, W., Lin, F. and Hou, L. 2020. Multi-step separation of different chemical groups from the heavy fraction in biomass fast pyrolysis oil. *Fuel Process. Technol.* 202, 106366.
- Vitasari, C. R., Meindersma, G. W. and de Haan, A. B. 2011. Water extraction of pyrolysis oil: the first step for the recovery of renewable chemicals. *Bioresour. Technol.* 102, 7204-7210.
- Wang, S., Wang, Y., Cai, Q., Wang, X., Jin, H. and Luo, Z. 2014. Multi-step separation of monophenols and pyrolytic lignins from the water-insoluble phase of bio-oil. *Sep. Purif. Technol.* 122, 248-255.
- Wijayanti, H., Jelita, R., Nata, I. F. dan Irawan, C. 2020. Biofuel from Rice Husk Pyrolysis: Effect of Temperature to Pyrolysis Oil and Its Kinetic Study. *Iran. J. Chem. Chem. Eng.* 39 (6), 271-279.
- Yaman, S. 2004. Pyrolysis of Biomass to Produce Fuels and Chemical Feedstocks. *Energy Convers. Manag.* 45 (5), 651-671.
- Yanik, J., Kornmayer, C., Saglam, M. and Yuksel, M, 2007. Fast pyrolysis of agricultural wastes: Characterization of pyrolysis products. *Fuel Process. Technol.* 88, 942-947.

Yuan, T., Tahmasebi, A. and Yu, J. 2015. Comparative study on pyrolysis of lignocellulosic and algal biomass using a thermogravimetric and a fixed-bed reactor. *Bioresour. Technol.* 175, 333-341.

Zilnik, L. F. and Jazbinsek, A. 2012. Recovery of renewable phenolic fraction from pyrolysis oil. *Sep. Purif. Technol.* 86, 157-170.

PENGARUH KECEPATAN PENGADUKAN TERHADAP EKSTRAKSI SENYAWA FENOL DARI FASE BERAT BIO-OIL HASIL PIROLISIS CANGKANG KELAPA SAWIT

ORIGINALITY REPORT

6%

SIMILARITY INDEX

3%

INTERNET SOURCES

2%

PUBLICATIONS

1%

STUDENT PAPERS

MATCH ALL SOURCES (ONLY SELECTED SOURCE PRINTED)

1%

★ depositum.uqat.ca

Internet Source

Exclude quotes On

Exclude matches Off

Exclude bibliography On