



**KAJIAN KARAKTERISTIK *HYDROCHAR* BERBAHAN BAKU LIMBAH
KULIT LUAR BIJI KOPI (*Eksocarp*) MELALUI PROSES
KARBONISASI HIDROTERMAL**

**Tamara Habibi Saragih, Zainuddin Ginting*, Ishak Ibrahim,
Iqbal Kamar, Faisal, Nurmalita**

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh
Kampus Utama Cot Teungku Nie Releut, Muara Batu,
Aceh Utara-24355

*Korespondensi e-mail: zginting@unimal.ac.id

Abstrak

Hydrochar ialah padatan berkarbon yang dihasilkan dari konversi biomassa dengan menggunakan metode karbonisasi hidrotermal (HTC). Waktu tinggal dan jenis pelarut yang digunakan merupakan beberapa faktor yang mempengaruhi karakteristik *hydrochar* yang dihasilkan. **Penelitian sebelumnya digunakan variasi suhu dan waktu tinggal, sedangkan dalam penelitian ini digunakan variasi waktu tinggal dan konsentrasi pelarut.** Pada penelitian ini *hydrochar* dibuat dari limbah kulit luar biji kopi (*Eksocarp*) dengan proses hidrotermal menggunakan alat autoclave pada suhu 130°C dan tekanan 2 bar. Proses hidrotermal dilakukan dengan pelarut NaOH dan variasi konsentrasi NaOH yaitu 0; 0,25; 0,5; 0,75 dan 1 Molar. Waktu tinggal yang digunakan divariasikan antara 60, 90, 120, 150 menit. Setelah proses hidrotermal dilanjutkan dengan penyaringan *hydrochar* padat dan cairannya. *Hydrochar* kemudian dilakukan pengeringan dalam oven selama 8 jam pada suhu 105°C untuk mengurangi kandungan airnya. Pengujian terhadap sampel meliputi kadar air, kadar abu, kadar zat mudah menguap, kadar karbon tetap, Analisa Gugus Fungsi *Hydrochar* dengan Fourier Transform Infra Red (FTIR) dan Analisa Morfologi *Hydrochar* dengan Scanning Electron Microscope (SEM). Hasil pengujian kadar air yang diperoleh yaitu antara 2,22-6,52%, kadar abu berkisar antara 2,76-8,54%, kadar zat mudah menguap berkisar antara 51,11-62,47%, dan kadar karbon tetap berkisar antara 22,45-43,89%.

Kata Kunci: *Hydrochar*, Karbonisasi Hidrotermal, Pelarut, Waktu Tinggal

DOI : <https://doi.org/10.29103/cejs.v4i6.16857>

1. Pendahuluan

Pengolahan kopi menghasilkan limbah cair dan limbah padat berupa kulit luar, kulit dalam dan ampas kopi (Wardhana dkk., 2019). Limbah pengolahan biji kopi merupakan salah satu biomassa yang menjadi salah satu sumber energi yang

menjanjikan untuk mengurangi ketergantungan kita terhadap energi fosil (Corro dkk., 2013). Salah satu upaya pemanfaatan limbah kulit luar biji kopi (*Eksocarp*) adalah untuk pembuatan *Hydrochar*. Kandungan kulit luar biji kopi yang terdapat kandungan selulosa, hemiselulosa dan lainnya sehingga berpotensi untuk dijadikan sebagai *hydrochar*. Kandungan kulit luar biji kopi dapat dilihat pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Kandungan Kulit luar biji Kopi

Komponen	Kadar (%)
Selulosa	58,62 %
Hemiselulosa	21,96 %
Lignin	6,82 %
Lain-lain	12,6 %

Sumber: Hutapea & Sitorus, 2017

Hydrochar adalah padatan berkarbon yang dihasilkan dari konversi biomassa dengan menggunakan metode karbonisasi hidrotermal (HTC). Metode HTC muncul sebagai produk yang hemat biaya dan keunggulan yang signifikan seperti konsumsi energi yang rendah, hasil yang tinggi, dan kadar abu yang rendah. *Hydrochar* memiliki porositas yang rendah dan luas permukaan spesifik yang rendah, serta mengandung gugus fungsi permukaan polar yang menunjukkan kapasitas adsorpsi yang rendah, terutama untuk bahan organik non-polar (Gao dkk., 2016).

Karbonisasi hidotermal (*Hydrothermal Carbonization*) biasa dikenal dengan istilah HTC adalah proses termokimia yang melibatkan penerapan panas dan tekanan untuk mengubah biomassa mentah dengan adanya air atau pelarut menjadi biofuel berkarbon. Proses HTC mengubah limbah biomassa menjadi bahan serupa dengan kandungan karbon yang lebih tinggi. Alat yang digunakan dalam proses HTC ini adalah *autoclave*. *Autoclave* adalah suatu alat berupa tabung atau tangki dimana uap bertekanan tinggi sehingga memungkinkan temperature yang tinggi dapat dicapai .

Selama proses HTC, biomassa mentah diubah menjadi seperti lignit produk padat yang dipengaruhi secara signifikan. Dengan penambahan pelarut hidrolisis diatas 150°C menyebabkan fragmentasi molekul biomassa besar melalui disintegrasi fraksi selulosa dan hemiselulosa menjadi fragmen yang lebih kecil. Baik oksigen dan hidrogen yang terkandung dalam bahan baku akan berkurang secara signifikan melalui dehidrasi dan dekarboksilasi. Penghapusan gugus karboksil dan pelepasan

CO₂ disebut dekarboksilasi. Dehidrasi adalah proses yang relevan untuk menghilangkan air dari biomassa yang mengarah pada eliminasi gugus hidroksil (Wang dkk., 2018).

2. Metode Penelitian

Metode dalam penelitian dapat dilihat pada proses dibawah ini:

2.1 Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan yaitu limbah kulit luar biji kopi (*Eksocarp*), aquadest,, NaOH. Sedangkan peralatan yang diperlukan antara lain *Autoclave*, *oven*, *furnace*, neraca analitik, *beaker glass*, penjepit, kertas saring, *stopwatch*, *aluminium foil*, mortal, cawan porselin, desikator dan lain-lain.

2.2 Prosedur Penelitian

Untuk pembuatan *hydrochar* digunakan limbah kulit luar biji kopi (*Eksocarp*) yang telah dilakukan penyortiran dari pengotor dan kemudian dijemur hingga kering. Setelah kering secara fisik selanjutnya dihaluskan menggunakan blender untuk mempermudah proses karbonisasi. Limbah kulit luar biji kopi (*Eksocarp*) yang sudah dihaluskan kemudian ditimbang seberat 50 gram sebanyak 20 sampel, dan pada proses karbonisasi hidrotermal masing-masing sampel ditambahkan sebanyak 500 ml pelarut NaOH dengan variasi konsentrasi 0 (*Aquadest*); 0,25; 0,50; 0,75 dan 1 Molar. Proses pembuatan *hydrochar* limbah kulit luar biji kopi (*Eksocarp*) dilakukan dengan suhu karbonisasi hidrotermal 130⁰C dengan waktu tinggal divariasikan waktu tinggal 60, 90, 120, 150 menit.

Hydrochar yang dihasilkan dilakukan analisis mencakup kadar air (*moisture*), analisa zat mudah menguap (*volatile matter*), analisa kadar abu (*ash*), , dan analisa *fixed carbon* . Selanjutnya dilakukan *analisa gugus fungsi hydrochar menggunakan Fourier Transform Infra Red (FTIR)* dan analisa morfologi *hydrochar menggunakan Scanning electron microscope (SEM)*.

3. Hasil Penelitian

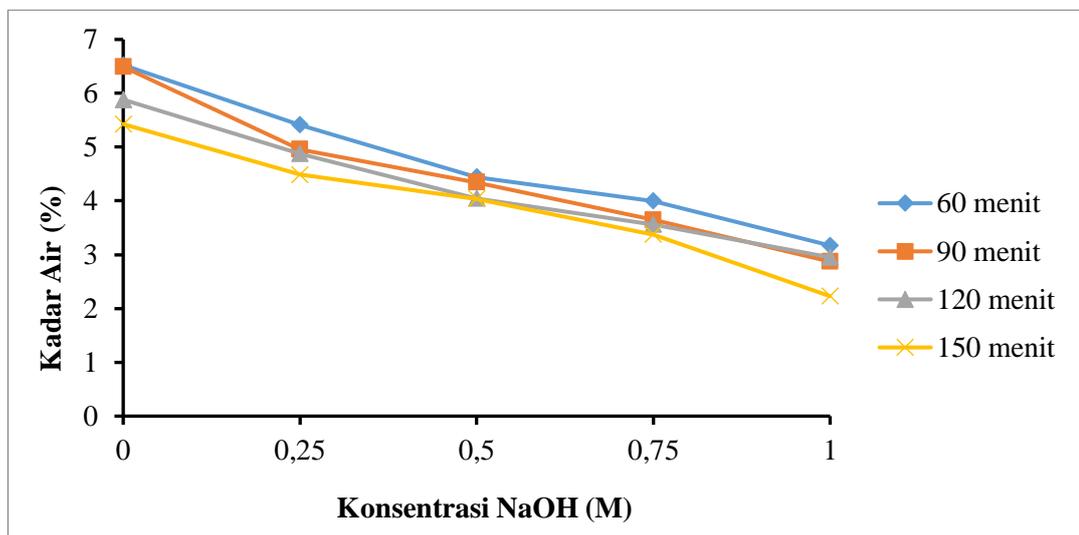
Hasil pada penelitian dapat dilihat dalam penjelasan dibawah ini:

3.1 Analisa Proksimat *Hydrochar* Limbah Kulit Luar Biji Kopi (*Eksocarp*) Melalui Proses Karbonisasi Hidrotermal

Analisa proksimat umumnya dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui berbagai macam kandungan dalam sampel.

1. Pengaruh Konsentrasi NaOH dan Waktu Tinggal Terhadap Kadar Air (*Moisture*)

Kadar air adalah suatu kandungan air yang masih tersisa dalam bahan. Menurut (Sari, 2019) cepat lambatnya penyalaan suatu sampel dikarenakan rendahnya kandungan air dalam sampel tersebut. Hasil analisa pengaruh konsentrasi NaOH dan waktu tinggal terhadap kadar air (*Moisture*) yang diperoleh saat analisa *hydrochar* dapat dilihat pada Gambar 3.1.

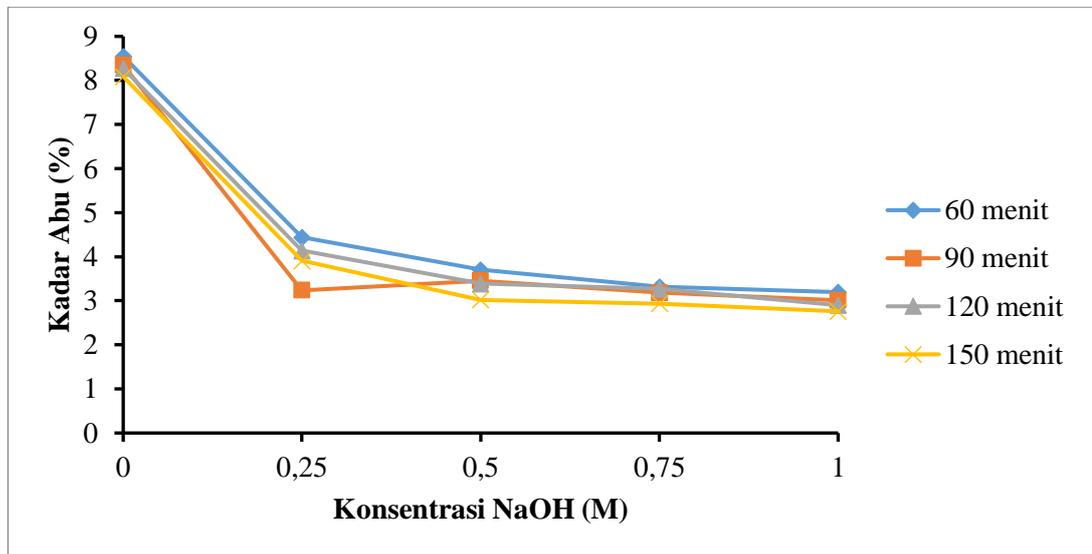


Gambar 3.1 Pengaruh Konsentrasi NaOH dan Waktu Tinggal Terhadap Kadar Air (*Moisture*)

Gambar 3.1 menjelaskan bahwa kadar air *hydrochar* berbahan baku limbah kulit luar biji kopi (*Eksocarp*) dengan proses hidrotermal mengalami penurunan seiring meningkatnya konsentrasi pelarut yang digunakan dan waktu tinggal yang digunakan. Kondisi ini terjadi karena karena hidrotermal merupakan proses yang melibatkan reaksi kimia antara bahan baku dengan pelarutnya, sehingga air dapat mengikat pada *hydrochar* yang dihasilkan. Bahan baku limbah kulit luar biji kopi (*Eksocarp*) yang digunakan dalam proses hidrotermal juga dapat berpengaruh terhadap kadar air yang dihasilkan. Bahan baku yang mengandung lebih banyak air akan cenderung menghasilkan *hydrochar* dengan kadar air yang lebih tinggi. Kadar air yang tinggi akan sangat berpengaruh pada produk yang akan dihasilkan (Wilk dkk., 2020). Kemudian tingkat karbonisasi yang tinggi diperkirakan akan meningkatkan kandungan *hydrochar* yang lebih baik pada waktu tinggal yang lebih lama (Tippayawong dkk., 2020).

2. Pengaruh Konsentrasi NaOH dan Waktu Tinggal Terhadap Kadar Abu (Ash)

Abu ialah kandungan konstan yang tersisa apabila bahan bakar padat dipanaskan dan sudah tidak memiliki unsur karbon. Pengaruh konsentrasi NaOH dan waktu tinggal terhadap kadar abu (*Ash*) yang diperoleh saat analisa *hydrochar* dapat dilihat pada Gambar 3.2.



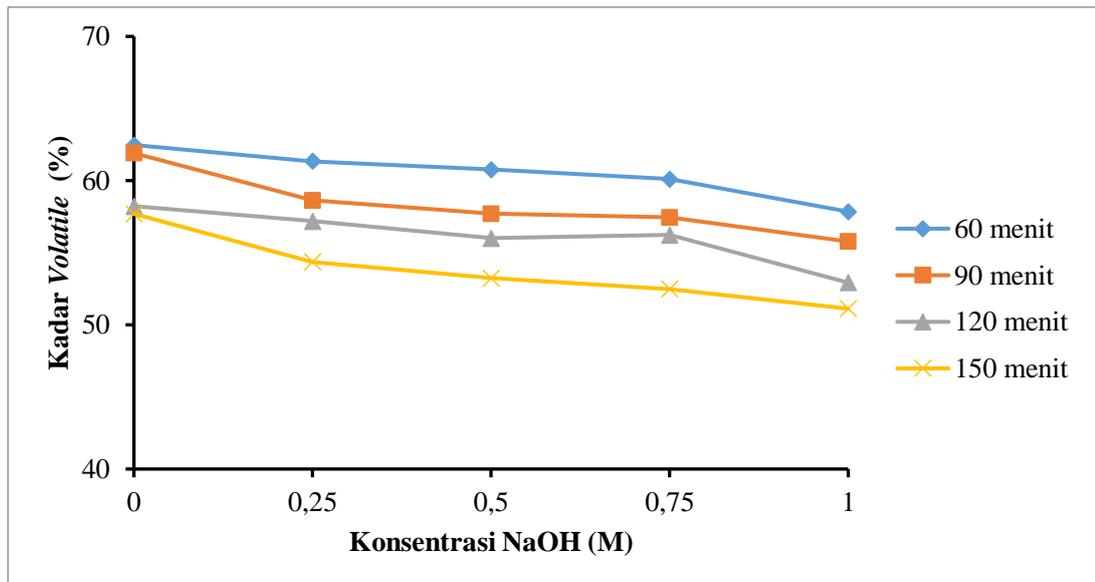
Gambar 3.2 Pengaruh Konsentrasi NaOH dan Waktu Tinggal Terhadap Kadar Abu (*Ash*)

Kadar abu tertinggi dihasilkan pada konsentrasi NaOH 0 Molar (*Aquadest*) dan waktu tinggal 60 menit yaitu 8.54%. Sedangkan kadar abu terendah diperoleh pada konsentrasi NaOH 1 Molar dan waktu tinggal 150 menit yaitu 2.76%. Kadar abu dengan konsentrasi NaOH 1 Molar lebih rendah disebabkan karena pada saat proses hidrotermal berlangsung, mineral yang ada pada bahan baku berpindah kedalam cairan dimana kondisi mengakibatkan turunnya nilai kadar abu pada *hydrochar* yang dihasilkan sedangkan pada konsentrasi NaOH 0 Molar (*Aquadest*) terjadi peningkatan ekstraksi mineral dari kulit luar biji kopi (*Eksocarp*) sehingga mengakibatkan kadar abu pada *hydrochar* meningkat (Wilk dkk., 2020). Menurunnya nilai kadar abu *hydrochar* pada konsentrasi NaOH lebih tinggi dan waktu tinggal yang lebih lama mungkin disebabkan oleh semakin besarnya penghilangan fraksi anorganik terlarut. Keadaan ini merupakan keunggulan dari proses karbonisasi hidrotermal karena kandungan abu pada bahan bakar tidak

diinginkan karena menyebabkan masalah pada proses pembakaran (Poomsawat & Poomsawat, 2021).

3. Pengaruh Konsentrasi NaOH dan Waktu Tenggat Terhadap Kadar Zat Mudah Menguap (*Volatile Matter*)

Kadar zat mudah menguap (*Volatile matter*) merupakan material yang mudah menguap yang terkandung dalam biomassa. Kadar zat mudah menguap mengandung senyawa organik yang bersifat ekstraktif dan juga penentu kualitas *hydrochar*. Pengaruh konsentrasi NaOH dan waktu tenggat terhadap kadar zat mudah menguap (*Volatile matter*) yang diperoleh saat analisa *hydrochar* dapat dilihat pada Gambar 3.3.



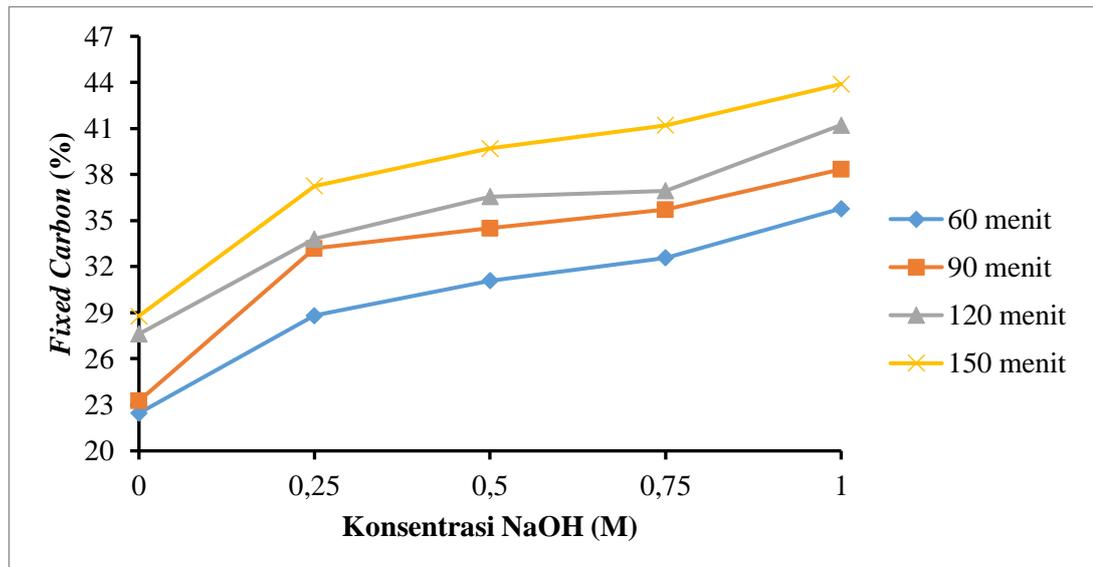
Gambar 3.3 Pengaruh Konsentrasi NaOH dan Waktu Tenggat Terhadap Kadar Zat Mudah Menguap (*Volatile Matter*)

Pada Gambar 3.3 diatas dapat dilihat bahwa Pengaruh konsentrasi NaOH dan waktu tenggat terhadap kadar zat mudah menguap (*Volatile matter*) yang diperoleh menjelaskan bahwa kadar zat mudah menguap paling tinggi dihasilkan pada konsentrasi NaOH 0 Molar (*Aquadestt*) dan waktu tenggat 60 menit yaitu 62.47% dan yang terendah dihasilkan pada konsentrasi NaOH 1 Molar dan waktu tenggat 150 menit yaitu 51.11%. Kondisi ini menunjukkan bahwa kadar zat mudah menguap mengalami penurunan seiring konsentrasi pelarut yang digunakan semakin pekat dan waktu tenggat pada proses hidrotermal semakin lama.

Peristiwa ini disebabkan oleh senyawa larutan NaOH dapat meningkatkan ekstraksi mineral dan biomassa selama proses hidrotermal berlangsung. Berkurangnya kadar zat mudah menguap juga disebabkan karena terurainya senyawa-senyawa penyusun *hydrochar* karena adanya peningkatan temperatur pada proses hidrotermal. Semakin besar jumlah kadar zat mudah menguap semakin rendah pula kualitas *hydrochar* yang dihasilkan (Wilk dkk., 2020). Larutan NaOH berfungsi sebagai perantara penting selama rangkaian reaksi untuk mengkatalisis dekomposisi molekul dan pembentukan *hydrochar*, sehingga konsentrasi NaOH yang lebih tinggi dapat mempercepat laju reaksi dan menyesuaikan pencapaian *hydrochar* yang diinginkan (Wang dkk., 2018).

4. Pengaruh Konsentrasi NaOH dan Waktu Tinggal Terhadap Kadar Karbon Tetap (*Fixed Carbon*)

Kadar karbon tetap (*Fixed Carbon*) merupakan banyaknya karbon yang terdapat dari material sisa setelah pengurangan kadar air (*moisture*), kadar abu (*ash*), dan kadar zat mudah menguap (*Volatile matter*). Karbon tetap dianggap sifat yang signifikan karena karbon tetap yang mengatur aplikasi selanjutnya seperti bahan bakar atau adsorben. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan jumlah kadar karbon tetap meningkat secara signifikan dipengaruhi oleh waktu tinggal dan konsentrasi NaOH.



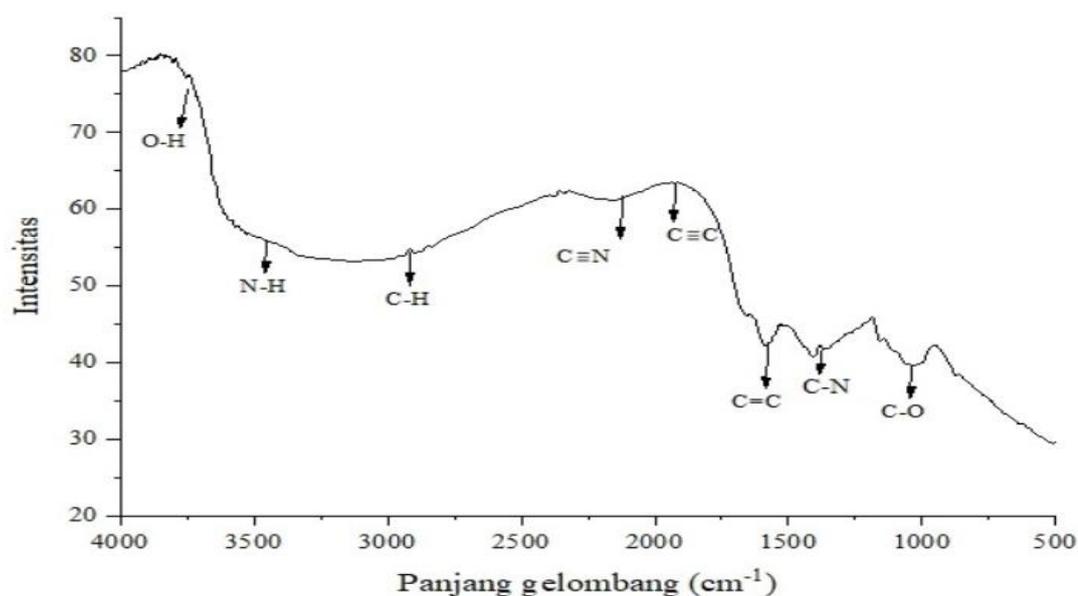
Gambar 3.4 Pengaruh Konsentrasi NaOH dan Waktu Tinggal Terhadap Kadar Karbon Tetap (*Fixed Carbon*)

Dapat dilihat pada Gambar 3.4 menjelaskan bahwa kadar karbon tetap yang terendah dihasilkan pada konsentrasi NaOH 0 Molar (*Aquadestt*) dan waktu tinggal 60 menit

yaitu 22.45%. Kemudian kadar karbon tetap tertinggi dihasilkan pada konsentrasi NaOH 1 Molar dan waktu tinggal 150 menit yaitu 43.89%.

Keadaan ini menunjukkan kenaikan yang berbanding terbalik dengan kadar air, kadar abu dan kadar zat mudah menguap yaitu semakin tinggi konsentrasi NaOH dan semakin lama waktu tinggal kadar karbon tetap yang dihasilkan semakin tinggi pula. Kandungan karbon tetap ini dapat dipengaruhi oleh kandungan bahan baku selulosa, hemiselulosa dan lignin yang terkandung. Semakin besar kandungan tersebut maka kadar karbon tetap yang dihasilkan juga akan semakin meningkat. Kadar karbon tetap yang tinggi akan meningkatkan kualitas dari *hydrochar* yang dihasilkan, terutama pada nilai kalor. Kadar kalor akan semakin meningkat jika kadar karbon tetap yang dihasilkan juga tinggi (Wilk dkk., 2020). Kondisi ini sejalan dengan analisis yang dilakukan oleh (Poomsawat, 2021) menunjukkan bahwa kualitas *hydrochar* ditingkatkan dengan meningkatnya kandungan karbon akibat dari proses karbonisasi yang lebih lama dapat menyebabkan permukaan *hydrochar* hidrofobik.

3.2 Analisa Gugus Fungsi *Hydrochar* Menggunakan *Fourier Transform Infra Red (FTIR)*

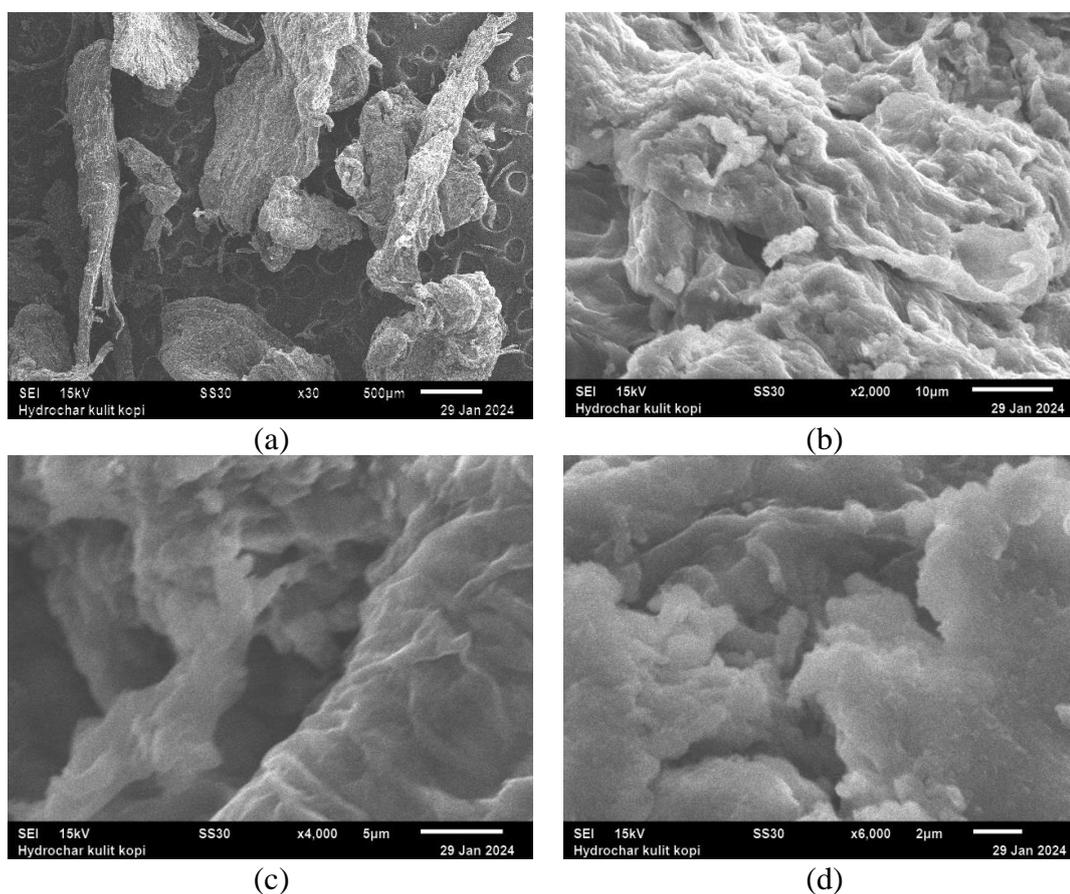


Gambar 3.5 Grafik Analisa Gugus Fungsi *Hydrochar* Limbah Kulit Luar Biji Kopi (*Eksocarp*) Menggunakan *Fourier Transform Infra Red (FTIR)*

Gambar 3.5 menunjukkan grafik analisa gugus fungsi pada *hydrochar* limbah kulit luar biji kopi (*Eksocarp*) menggunakan *Fourier Transform Infra Red (FTIR)*

yang menunjukkan grafik gugus yang terdapat gelombang inframerah pada spectrum puncak $3755,40\text{ cm}^{-1}$ hidroksil dan fenol (O-H) kemudian terjadi vibrasi ulur gugus (O-H) yang melebar dan menurun pada bilangan gelombang antara $3331,07\text{ cm}^{-1}$ pada gugus (N-H) dengan intensitas sedang. Pada bilangan gelombang antara $2900-2837,29\text{ cm}^{-1}$ terjadi peningkatan gelombang pada gugus kelompok alkana (C-H) dengan intensitas kuat. Kemudian pada bilangan gelombang $2378,33-1919,17\text{ cm}^{-1}$ terjadi vibrasi ulur naik turun pada gugus kelompok Nitril ($\text{C}\equiv\text{N}$). Pada bilangan gelombang $1570,06\text{ cm}^{-1}$ kemudian terjadi vibrasi ulur yang menurun tajam pada gugus kelompok cincin aromatic ($\text{C}=\text{C}$).

3.3 Analisa Morfologi *Hydrochar* Menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM)



Gambar 3.6 Analisa Morfologi *Hydrochar* Limbah Kulit Luar Biji Kopi (*Eksocarp*) Menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dengan Perbesaran (a) 500x, (b) 2000x, (c) 4000x, (d) 6000x

Dari keseluruhan pada Gambar 4.6 diatas menunjukkan morfologi permukaan *hydrochar* yang tidak beraturan, ukuran pori-pori yang beragam, luas permukaan

yang kasar dan terlihat berserat dengan ukuran yang bervariasi dan distribusi yang tidak merata. Peristiwa ini dikarenakan reaksi hidrolisis hemiselulosa dan selulosa pada saat proses karbonisasi hidrotermal berlangsung menyebabkan struktur *hydrochar* menjadi berpori (Gao dkk., 2016). Hasil analisa *hydrochar* ini juga sejalan dengan temuan (Sisuthog dkk., 2022) yang menemukan luas permukaan dan diameter pori *hydrochar* yang ditentukan secara acak karena disebabkan penguraian senyawa yang mudah menguap karena proses karbonisasi hidrotermal menyebabkan terbentuknya pori-pori baru dengan ukuran yang semakin mengecil.

Penelitian yang sebelumnya dilakukan oleh (Wilk dkk., 2020) mengenai *hydrochar* berbahan baku akasia menyebutkan proses HTC menyebabkan struktur lebih berpori dengan distribusi bukaan yang tidak teratur akibat pelepasan bahan mudah menguap. *Hydrochar* dicirikan oleh struktur paling rusak akibat serat terdegradasi.

4. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil penelitian, maka didapatkan kesimpulan bahwa kondisi optimal dalam pembentukan *hydrochar* limbah kulit luar biji kopi (*Eksocarp*) adalah pada waktu tinggal 150 menit dan konsentrasi NaOH 1 Molar dimana dibuktikan dengan kandungan nilai *fixed carbon* tertinggi yaitu 43.89%. Karakteristik *hydrochar* menunjukkan bahwa selulosa dan hemiselulosa diubah menjadi senyawa aromatik pada proses HTC, sedangkan lignin hanya mengalami dekomposisi sebagian. Konsentrasi pelarut dan waktu karbonisasi berperan penting dalam karakteristik *hydrochar* yang dihasilkan dimana konsentrasi pelarut yang semakin tinggi dan waktu karbonisasi yang lebih lama maka *hydrochar* yang dihasilkan semakin bagus.

Penelitian ini dapat dikembangkan dengan memvariasikan bahan baku dan jenis pelarut yang digunakan lebih beragam, kemudian dilakukan uji tambahan seperti XRD, TGA, nilai kalor dan daya serap sesuai dengan pengaplikasian *hydrochar* selanjutnya untuk hasil yang lebih maksimal.

5. Daftar Pustaka

Corro, G., Pal, U., Bañuelos, F., & Rosas, M. (2013). *Generation of biogas from coffee-pulp and cow-dung co-digestion: Infrared studies of postcombustion emissions. Energy Conversion and Management, 74, 471–481.*

<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.07.017>

- Gao, P., Zhou, Y., Meng, F., Zhang, Y., Liu, Z., Zhang, W., & Xue, G. (2016). *Preparation and characterization of hydrochar from waste eucalyptus bark by hydrothermal carbonization.* *Energy*, 97, 238–245. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.12.123>
- Hutapea, C. B. R., & Sitorus, R. E. (2017). Studi Teknik Produksi Gula Reduksi Dari Limbah Kulit Buah Kopi. *Institute Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya*.
- Poomsawat, S., & Poomsawat, W. (2021). *Analysis of hydrochar fuel characterization and combustion behavior derived from aquatic biomass via hydrothermal carbonization process. Case Studies in Thermal Engineering*, 27(July), 101255. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101255>
- Sari, D. N. (2019). Jurnal Litbang Industri Jurnal Litbang Industri. *Jurnal Litbang Industri*, 9(2), 23–31.
- Sisuthog, W., Attanatho, L., & Chaiya, C. (2022). *Conversion of empty fruit bunches (EFBs) by hydrothermal carbonization towards hydrochar production.* *Energy Reports*, 8, 242–248. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.10.183>
- Tippayawong, N., Kantakanit, P., & Koonaphapdeelert, S. (2020). *Characterization of hydrochar from hydrothermal carbonization of maize residues.* *Energy Reports*, 6, 114–118. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.11.050>
- Wang, T., Zhai, Y., Zhu, Y., Li, C., & Zeng, G. (2018). *A review of the hydrothermal carbonization of biomass waste for hydrochar formation: Process conditions, fundamentals, and physicochemical properties.* *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90(March), 223–247. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.071>
- Wardhana, D. I., Ruriani, E., & Nafi, A. (2019). *Characteristics of Robusta Coffee Husk Obtained from Dry Processing Method of Smallholder Coffee Plantation in East Java.* *Agritrop*, 17(2), 214–223.
- Wilk, M., Magdziarz, A., Kalemba-Rec, I., & Szymańska-Chargot, M. (2020). *Upgrading of green waste into carbon-rich solid biofuel by hydrothermal carbonization: The effect of process parameters on hydrochar derived from acacia.* *Energy*, 202. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117717>