

Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Karakteristik Biochar dari Limbah Padat Agroindustri Teh

Hainur Aini¹, Puspita Rahayu², Alizar Ulianas³, Egi Agustian⁴, Anny Sulaswatty⁵

^{1,3}Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang, Padang, Indonesia

²Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang, Semarang, Indonesia

^{4,5}Pusat Riset Kimia Maju, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Tangerang Selatan, Indonesia

Email: ¹ainihainur13@gmail.com, ²Puspitarahayu7657@gmail.com

Abstract

The Gambung Tea and Kina Research Center (PPTK) produces solid waste in the form of twig/branch and tea leaf waste from the pruning process of tea plants, as well as tea fluff waste from tea processing in tea factories with considerable potential. These wastes, if processed efficiently, can be a driver of circular economy activities. The high carbon content in twig, leaf, and tea fluff waste makes the waste potential to be processed into an alternative energy source in the form of fuel through a pyrolysis process. This study aims to select the most potential waste to be processed into fuel and determine the effect of pyrolysis temperature on the characteristics of the biochar produced. The results showed that tea twig and fluff waste has a higher carbon content than tea leaf waste so that it has more potential to be processed into fuel. The quality of tea twig biochar is better than tea fluff biochar because the characteristics of tea twig biochar on average meet the requirements of good biochar according to SNI 1683 2021 compared to tea fluff biochar.

Keywords: Circular Economy, Tea Solid Waste, Pyrolysis, Temperature, Biochar

Abstrak

Pusat Penelitian Teh dan Kina (PPTK) Gambung menghasilkan limbah padat berupa limbah ranting/cabang dan daun teh dari hasil proses pemangkasan tanaman teh, serta limbah *fluff* teh dari hasil pengolahan teh di pabrik teh dengan potensi yang cukup besar. Limbah-limbah tersebut jika diolah secara efisien dapat menjadi pendorong kegiatan ekonomi sirkular. Kandungan karbon yang tinggi dalam limbah ranting, daun, dan *fluff* teh membuat limbah tersebut berpotensi diolah menjadi sumber energi alternatif berupa bahan bakar melalui proses pirolisis. Penelitian ini bertujuan untuk menyeleksi limbah yang paling berpotensi untuk diolah menjadi bahan bakar dan mengetahui pengaruh temperatur pirolisis terhadap karakteristik *biochar* yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa limbah ranting dan *fluff* teh memiliki kandungan karbon yang lebih tinggi daripada limbah daun teh sehingga lebih berpotensi diolah menjadi bahan bakar. Kualitas *biochar* ranting teh lebih baik daripada *biochar fluff* teh karena karakteristik *biochar* ranting teh rata-rata lebih memenuhi syarat *biochar* yang baik menurut SNI 1683 2021 dibanding *biochar fluff* teh.

Kata Kunci: Ekonomi Sirkular, Limbah Padat Teh, Pirolisis, Temperatur, Biochar

1. PENDAHULUAN

Teh merupakan minuman yang digemari semua kalangan masyarakat Indonesia. Perkebunan besar teh di Indonesia terluas berada di provinsi Jawa Barat yaitu sebesar 34.412 hektar dengan total produksi sekitar 57% dan 33% dari total produksi perkebunan besar teh di Indonesia pada tahun 2022 (Badan Pusat Statistik, 2023). Industri teh dapat

menghasilkan limbah padat seperti daun teh yang telah diproses, ranting, dan bagian tanaman lainnya yang tidak digunakan dalam produksi teh. Potensi limbah pangkasan (Gambar 1a) dari kebun teh di Pusat Penelitian Teh dan Kina (PPTK) Gambung sekitar 23.750 kg/ha dengan populasi 10.000 pohon/ha, yang terdiri dari : 77 % cabang/ranting dan 23 % daun (Rezamela, 2023). Selain itu, PPTK Gambung juga menghasilkan limbah *Fluff* Teh (Gambar 1b) yang merupakan sisa pengolahan limbah pabrik sebanyak 2,5% dari total pucuk yang diolah. Limbah-limbah tersebut jika diolah secara efisien dapat menjadi pendorong kegiatan ekonomi sirkular. Dengan memandang limbah sebagai sumber daya yang dapat dimanfaatkan, pengolahan limbah padat agroindustri teh dapat menjadi pendorong utama dalam menciptakan lingkungan ekonomi sirkular yang berkelanjutan. Ini tidak hanya menguntungkan secara ekonomi tetapi juga mendukung tujuan pelestarian lingkungan dan keberlanjutan.



Gambar 1. (a) Limbah Pangkasan Teh, (b) Limbah *Fluff* Teh

Batang, cabang, dan ranting teh banyak mengandung selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang jika dipanaskan pada temperatur tinggi dapat menghilangkan atom hidrogen dan oksigen sehingga hanya menyisakan atom karbon (Puspita Sari, 2021). Adapun Wulansari & Rezamela (2020) dalam penelitiannya menyatakan bahwa *Fluff* Teh memiliki kandungan unsur hara total N 1,75-1,84%, C organik 18-21%, rasio C/N 10-12 dan pH 7.15-7.68. Dengan kandungan karbon yang cukup tinggi, limbah padat agroindustri teh berpotensi diolah menjadi sumber energi alternatif berupa bahan bakar melalui proses pirolisis terlebih dahulu untuk meningkatkan nilai kalor. Secara umum, pirolisis biomassa adalah proses dekomposisi bahan organik sehingga menghasilkan arang (Febriyanti et al., 2019). Perkembangan terkini, pirolisis biomassa sebagai sumber energi telah terbukti menjadi pilihan yang berkontribusi besar. Faktor-faktor yang mempengaruhi proses pirolisis adalah : (a) kondisi operasi seperti refluks, waktu tinggal, dan temperature, (b) kondisi umpan seperti jenis, ukuran partikel, dan kandungan air (Saputro et al., 2019).

Harianto et al. (2019) dalam penelitiannya telah melakukan pengolahan limbah pangkasan dari PPTK Gambung menjadi pelet kayu dengan variasi ukuran partikel bahan 7, 14, dan 18 mesh, didapatkan nilai kalor tertinggi sebesar 4431 kal/g. Adapun Puspita Sari (2021) juga melakukan pengolahan limbah batang pohon teh menjadi briket melalui proses karbonisasi pada temperatur 200°C dan didapatkan nilai kalor tertinggi sebesar 30,82 kal/g. Nilai kalor tersebut masih bisa ditingkatkan dengan melakukan pirolisis pada rentang temperatur yang lebih tepat. Selanjutnya Rahardjo et al. (2019) dalam penelitiannya menguji jumlah kandungan C organik dalam *Fluff* Teh yaitu sebesar 26% sehingga berpotensi diolah sebagai kompos. Kandungan karbon yang cukup tinggi tersebut juga berpotensi diolah sebagai bahan bakar. Pirolisis berbagai biomassa (kayu jengkol, kayu jati putih, dan kayu rengas) pada temperatur 200-500°C yang dilakukan

Ridhuan et al. (2019) menghasilkan nilai kalor tertinggi yaitu jenis kayu rengas sebesar 6673,82 kal/g.

Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk menyeleksi limbah padat agroindustri teh yang terdiri dari ranting, daun, dan *fluff* teh sebagai bahan baku yang paling berpotensi diolah menjadi bahan bakar melalui proses pirolisis sehingga dapat diketahui pengaruh temperatur pirolisis terhadap karakteristik *biochar* yang dihasilkan.

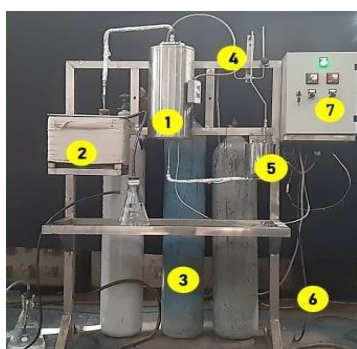
2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Tahapan Penelitian

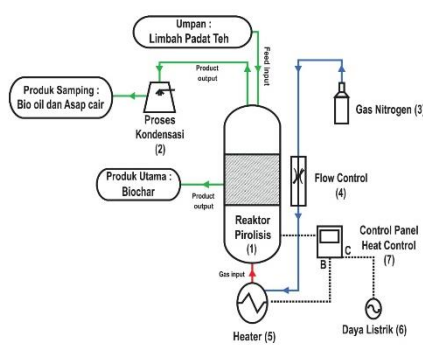
Tahapan penelitian ini adalah preparasi bahan baku, seleksi bahan baku berdasarkan hasil analisis CHN, analisis TGA bahan terpilih, pirolisis, karakterisasi *biochar*, analisis hasil karakterisasi secara eksploratif untuk mengetahui pengaruh temperatur pirolisis terhadap kualitas *biochar*.

2.2 Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan yaitu limbah padat (ranting, daun, dan *Fluff* Teh) yang dihasilkan PPTK Gambung pada bulan Februari 2023, serta bahan-bahan kimia yang sesuai untuk kebutuhan karakterisasi. Sedangkan alat yang digunakan meliputi grinder, unit pirolisis (Gambar 2a), timbangan digital, set *siever-shaker*, *beaker glass*, cawan porselin, *bomb calorimeter*, *moisture analyser*, furnace, oven, instrumen CHN dan TGA.



(a)



(b)

Gambar 2. (a) Unit Pirolisis Kapasitas 300 mL dan (b) Skema Pirolisis

2.3 Prosedur Penelitian

Limbah pangkasan yang diperoleh dari kebun teh PPTK Gambung disortir untuk memisahkan limbah ranting, daun, dan limbah lainnya. Sedangkan limbah *Fluff* Teh diperoleh dari pabrik teh PPTK Gambung. Limbah ranting dipotong-potong sekitar 5-10 cm agar memudahkan penggilingan menggunakan grinder. Selanjutnya limbah ranting, daun, dan *Fluff* dikeringkan menggunakan oven pada temperatur 50 °C selama 24 jam. Limbah yang sudah kering diayak menjadi ukuran 1,44 mm kemudian dikarakterisasi CHN untuk menyeleksi bahan baku yang akan dilanjutkan ke tahap pirolisis.

Limbah dengan kandungan karbon paling tinggi dianalisis TGA, kemudian dipirolisis pada variasi temperatur sesuai hasil TGA selama 60 menit. Pirolisis dialiri gas N₂ dengan laju alir 5 ml/menit. Setelah itu, *biochar* didinginkan dan dikarakterisasi proksimat dan nilai kalor sehingga diperoleh rentang temperatur pirolisis terbaik untuk menghasilkan *biochar* optimum.

2.4 Prosedur Karakterisasi

2.4.1 Kadar Air (*Inherent moisture*)

Pengujian kadar air menggunakan alat Moisture Balance DLB 160-3A dengan prosedur 0,5 gram sampel ditimbang dalam cawan alumunium, selanjutnya temperatur alat diatur menjadi 110°C dan waktu prosesnya 10 menit. Nilai kadar air akan didapatkan pada alat saat pengujian telah selesai.

2.4.2 Kadar Abu (*Ash content*)

Pengujian kadar abu dilakukan berdasarkan SNI 14-1031-19 yaitu sampel dibakar dalam furnace pada temperatur 575±25°C sekurang-kurangnya selama 3 jam. Setelah proses selesai, kadar abu dihitung berdasarkan persamaan berikut.

$$\text{Abu, (\%)} = \frac{\text{massa sisa pembakaran}}{\text{massa sampel}} \times 100\%$$

2.4.3 Kadar Zat Terbang (*Volatile matter*)

Pengujian kadar zat terbang dilakukan berdasarkan SNI 06-3730-1995 yaitu sampel dibakar dalam furnace pada temperatur 950°C selama 7 menit. Selanjutnya didinginkan dan ditimbang. Persamaan uji kadar zat terbang adalah sebagai berikut.

$$\text{Zat terbang, (\%)} = \frac{\text{massa sampel} - \text{massa sisa pembakaran}}{\text{massa sampel}} \times 100$$

2.4.4 Kadar Karbon Terikat (*Fixed carbon*)

Karbon terikat merujuk pada karbon yang tersisa setelah menghilangkan air, zat terbang, dan abu dari sampel sehingga berdasarkan ASTM D 172-13 perhitungannya by difference.

$$\text{FC, (\%)} = 100 - (\% \text{Air} + \% \text{Zat terbang} + \% \text{Abu})$$

2.4.5 Nilai Kalor

Nilai kalor ditentukan oleh Kalorimeter menurut ASTM D-2015. Hasil ujinya dapat dinyatakan dalam kal/g. Analisis nilai kalor pada penelitian menggunakan alat Parr 6400 Calorimeter di Laboratorium Karakterisasi Lanjut Kimia Maju I, BRIN Serpong.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis CHN

Tabel 1. Hasil Analisis CHN Limbah Ranting, Daun, dan *Fluff* Teh

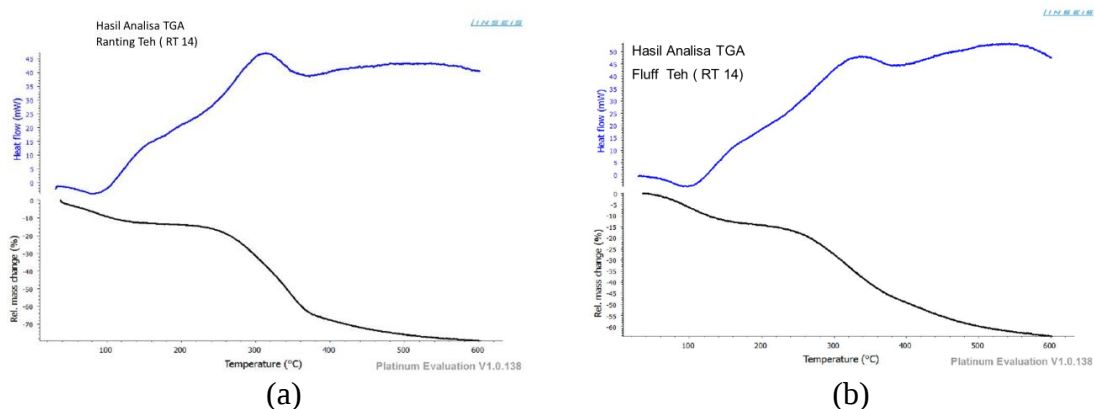
No	Jenis Limbah	Ukuran Partikel (mm)	Analisis CHN		
			Kandungan C Rata-rata (%)	Kandungan H Rata-rata (%)	Kandungan N Rata-rata (%)
1	Ranting Teh (RT)	1,44	43,6310	6,1404	1,2088
2	Daun Teh (DT)		39,1065	5,6203	2,8437
3	<i>Fluff</i> Teh (FT)		43,6215	6,1455	2,7161

Syarat utama dari bahan baku sebagai sumber energi alternatif yang baik yaitu mempunyai kadar karbon tinggi sehingga meningkatkan nilai kalor karena banyaknya material padat yang dapat terbakar (Gobel & Arief, 2022). Berdasarkan Tabel 1 di atas, kandungan karbon paling tinggi terdapat pada limbah ranting dan *Fluff* Teh yaitu sebesar

43,63% dan 43,62%, sehingga ranting dan *Fluff* Teh dipilih sebagai bahan baku yang dilanjutkan ke tahap pirolisis.

3.2 Analisis TGA

Tujuan melakukan analisis TGA yaitu untuk mengevaluasi sifat pembakaran. TGA sering digunakan untuk mempelajari sifat pembakaran sampel bahan. Dengan mengamati perubahan berat saat dipanaskan dalam atmosfer oksigen, dapat diketahui pada temperatur berapa bahan mulai terbakar, laju pembakarannya, dan kandungan karbon dan volatil yang terlibat dalam proses pembakaran (Mayasari & Yuniari, 2016).

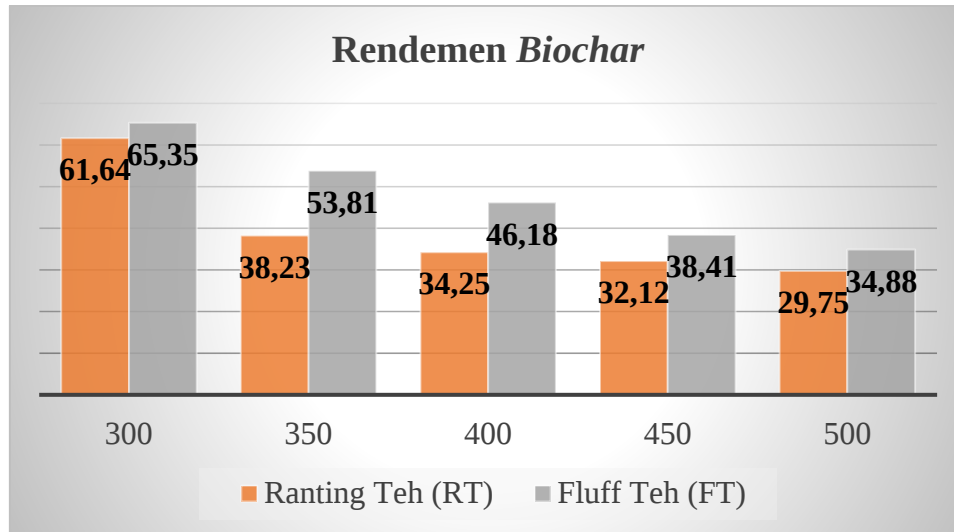


Gambar 3. Hasil Analisis TGA (a) Limbah Ranting dan (b) *Fluff* Teh

Gambar 3a, diketahui bahwa limbah ranting teh mengalami penurunan drastis dalam massa sampel pada temperatur 250-350°C dan pada temperatur 350-500°C menurun perlahan. Sedangkan hasil TGA limbah *Fluff* Teh pada Gambar 3b menunjukkan penurunan massa sampel yang signifikan pada temperatur 250-500°C. Setelah mencapai 500°C, massa limbah ranting dan *Fluff* Teh mulai konstan karena hampir semua senyawa volatil dihilangkan. Berdasarkan hal tersebut, pirolisis limbah ranting dan *Fluff* Teh dilakukan pada variasi temperatur 300, 350, 400, 450, dan 500°C untuk mengidentifikasi hasil produksi *biochar* yang optimum.

3.3 Rendemen *Biochar*

Gambar 4 menunjukkan grafik pengaruh temperatur pirolisis terhadap rendemen *biochar* ranting dan *fluff* teh. Pada grafik tersebut terlihat semakin tinggi temperatur pirolisis baik *biochar* ranting maupun *fluff* diperoleh rendemen *biochar* cenderung menurun. Rendemen *biochar* ranting pada temperatur 300 ke 350°C terjadi penurunan secara drastis sedangkan pada temperatur 350-500°C tidak terjadi perubahan yang signifikan. Adapun rendemen *biochar fluff* teh pada temperatur 300-500°C menurun secara signifikan. Hal ini sesuai dengan hasil analisis TGA ranting dan *fluff* teh seperti yang sudah dijelaskan di atas. Dengan demikian, pengaruh temperatur pirolisis terhadap *biochar* ranting dan *fluff* teh memberikan kecenderungan yang berbanding terbalik, sesuai dengan penelitian Mariyam et al. (2023) yang melakukan pirolisis biomassa batu kurma dan kopi bekas pada variasi temperatur 350°C, 550°C, 750°C menghasilkan *biochar* yang banyak pada suhu terendah, begitupun sebaliknya.

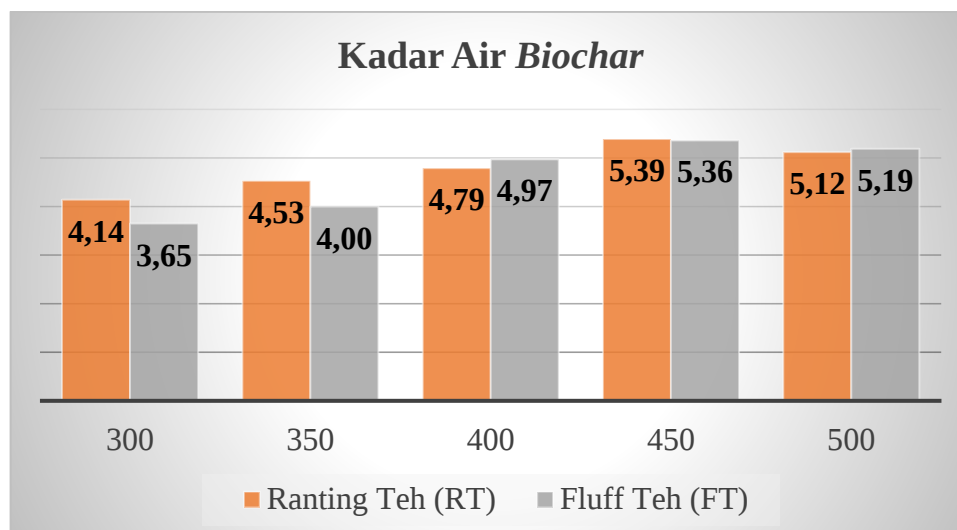


Gambar 4. Grafik Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Rendemen *Biochar* Ranting dan *Fluff* Teh

3.4 Karakteristik *Biochar*

3.4.1 Kadar Air

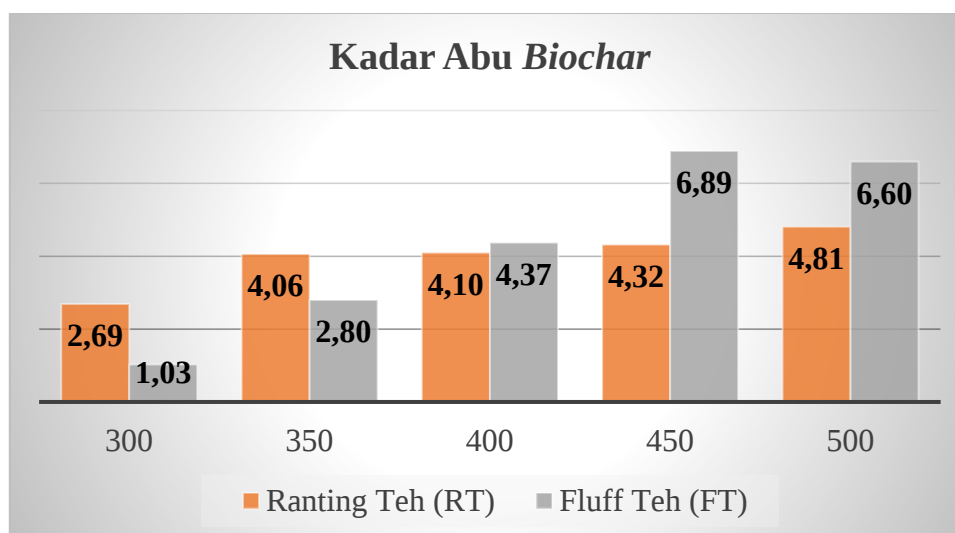
Pengaruh temperatur pirolisis terhadap kadar air *biochar* ranting dan *fluff* teh dapat dilihat pada Gambar 5. Berdasarkan penelitian Iskandar & Rofiatin (2017) semakin tinggi temperatur pirolisis, kadar air *biochar* menurun. Hasil pada penelitian ini didapatkan sebaliknya, di mana kadar air *biochar* ranting dan *fluff* teh cenderung meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur pirolisis, namun pada temperatur 450 °C ke 500 °C kadar air *biochar* menurun. Hal ini dapat terjadi akibat pengaruh dari kandungan uap air udara sekitar, waktu proses pendinginan yang tidak konsisten, serta ranting dan *fluff* teh yang bersifat higroskopis. Ketika pori-pori *biochar* semakin terbuka terbuka setelah dipirolisis, maka terjadi kontak langsung antara udara dengan *biochar* sehingga *biochar* menyerap uap air dalam jumlah besar ketika pemindahan produk dari reaktor ke desikator dan alat timbang (Hartanto, 2010). Meskipun kecenderungan kadar air yang diperoleh meningkat, namun secara keseluruhan kadar air *biochar* ranting dan *fluff* teh hasil pirolisis pada temperatur 300-500°C masih memenuhi SNI 1683 2021 yaitu maksimal 8%.



Gambar 5. Grafik Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Kadar Air *Biochar* Ranting dan *Fluff* Teh

3.4.2 Kadar Abu

Kadar abu adalah zat anorganik yang tidak terbakar saat proses pirolisis selain unsur karbon (Iskandar & Rofiatin, 2017). Gambar 6 menunjukkan kadar abu *biochar* ranting dan *fluff* teh cenderung meningkat seiring dengan peningkatan temperatur pirolisis. Hal ini sesuai dengan penelitian Asmunandar et al. (2023) di mana nilai kadar abu berbanding lurus dengan temperatur dan waktu pirolisis. Menurut SNI 1683 2021 syarat kadar abu *biochar* maksimal 4%, untuk ini *biochar* yang memenuhi syarat tersebut adalah *biochar* ranting yang dihasilkan dari pirolisis pada temperatur 300°C dan *biochar fluff* pada temperatur 300 dan 350°C.

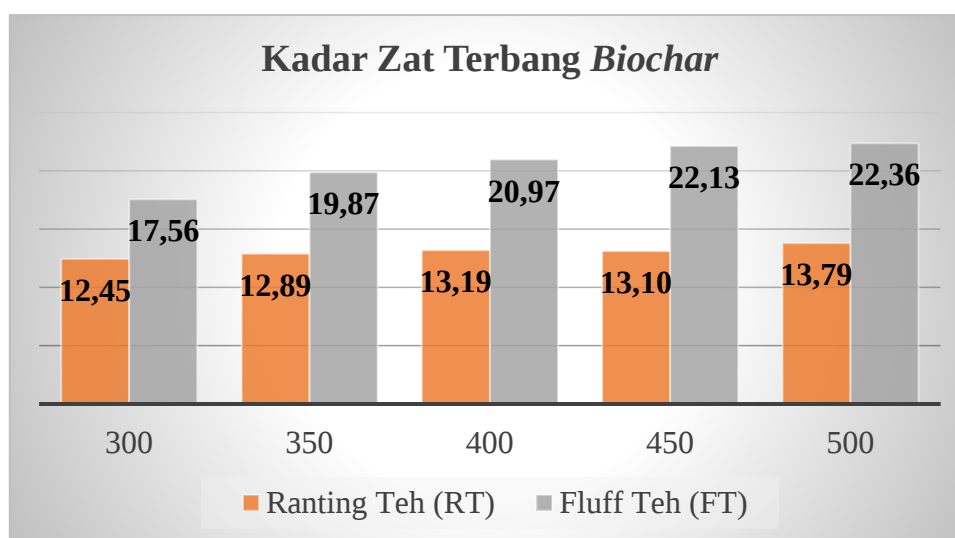


Gambar 6. Grafik Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Kadar Abu *Biochar* Ranting dan *Fluff* Teh

3.4.3 Kadar Zat Terbang

Dalam biomassa yang termasuk zat terbang adalah metana, hidrokarbon, CO, H₂, dan gas yang tidak mudah terbakar seperti N₂ dan CO₂ (Iskandar & Rofiatin, 2017).

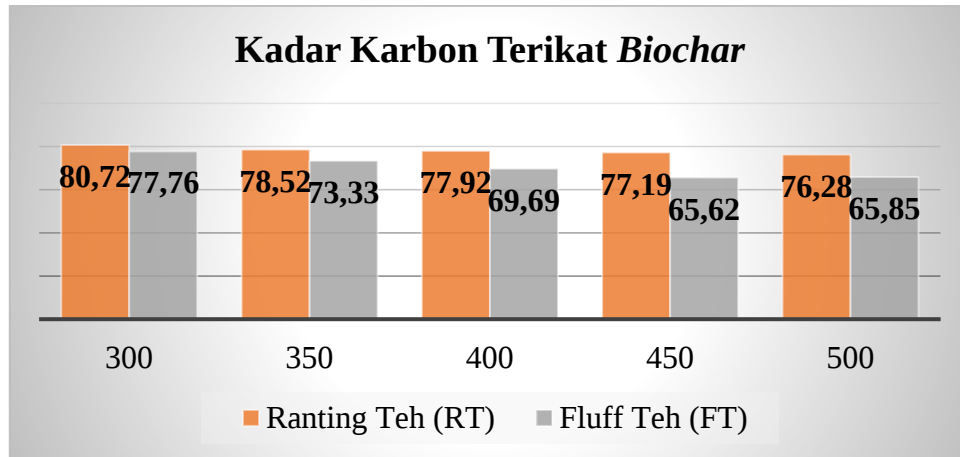
Pada Gambar 7 terlihat bahwa kadar zat terbang *biochar* ranting dan *fluff* teh cenderung meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur pirolisis, namun tidak signifikan. Hal ini sesuai dengan pernyataan Earl (1974), di mana ia mendefinisikan kadar zat terbang sebagai kehilangan berat (tidak termasuk kehilangan air) dari *biochar* yang terjadi selama proses pengarangan. Kandungan zat terbang ini memiliki peran yang penting dalam penentuan kualitas *biochar* sebagai sumber energi karena berkaitan dengan kemampuan menyala (*ignitability*) dan kemampuan terbakar (*combustibility*) dari *biochar* tersebut. Kadar zat terbang *biochar* ranting teh hasil pirolisis pada temperatur 300-500°C telah memenuhi syarat SNI 1683 2021 yaitu antara 10-17%, namun *biochar fluff* teh belum memenuhi syarat tersebut.



Gambar 7. Grafik Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Kadar Zat Terbang *Biochar* Ranting dan *Fluff* Teh

3.4.4 Kadar Karbon Terikat

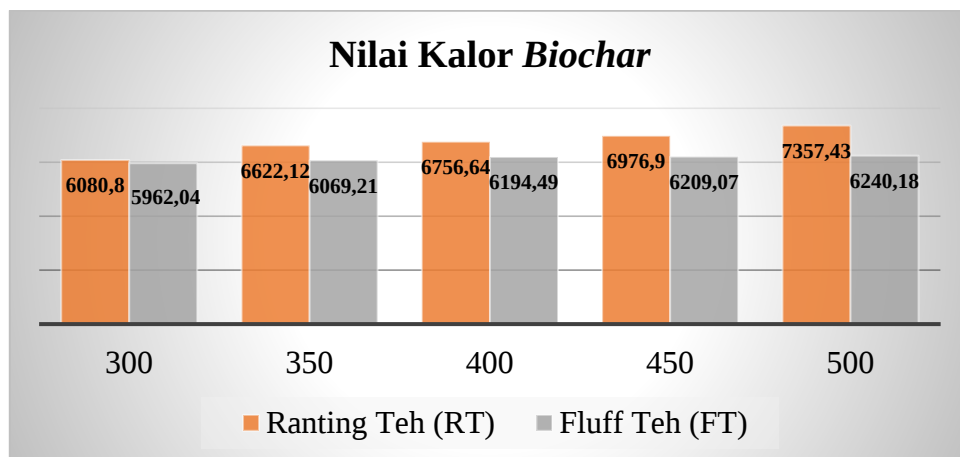
Karbon terikat adalah unsur C padat yang tertinggal dalam reaktor setelah proses pirolisis yang nilainya didapat setelah dikurangi dengan kadar air, kadar abu, dan kadar zat terbang. Berdasarkan Gambar 8, meningkatnya temperatur pirolisis memberikan pengaruh terhadap kadar karbon terikat *biochar* ranting dan *fluff* teh yaitu cenderung menurun namun tidak signifikan. Hal ini dikarenakan karbon terikat memiliki nilai yang berbanding terbalik dengan nilai kadar air, kadar abu, dan kadar zat terbangnya. *Biochar* ranting yang dihasilkan pirolisis pada temperatur 300°C telah memenuhi syarat SNI 1683 2021 yaitu minimal 79%, sedangkan hasil pirolisis pada temperatur 350-500°C belum memenuhi syarat tersebut. Begitu juga dengan *biochar fluff* teh hasil pirolisis pada temperature 300-500°C belum memenuhi syarat tersebut.



Gambar 8. Grafik Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Kadar Karbon Terikat *Biochar* Ranting dan *Fluff* Teh

3.4.5 Nilai Kalor

Nilai kalor adalah nilai yang mewakili jumlah kalori yang dapat disimpan dalam suatu bahan bakar. Nilai kalor suatu bahan bakar merupakan parameter yang paling penting dalam memilih kualitas bahan bakar. Semakin tinggi nilai kalor bahan, maka semakin baik kualitas *biochar*, kualitas pellet, dan kualitas briket yang dihasilkan (Nabawiyah & Ahmad, 2010). Gambar 9 menunjukkan pengaruh temperatur pirolisis terhadap nilai kalor *biochar* ranting dan *fluff* teh adalah berbanding lurus yaitu cenderung meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur, namun tidak signifikan. Hal ini dipengaruhi oleh karbon dalam jumlah besar yang menghasilkan nilai kalor tinggi, dan biasanya menghasilkan asap yang sedikit. Berbeda dengan kadar abu dan kadar air yang berbanding terbalik, semakin rendah kadar abu dan kadar air *biochar*, nilai kalor yang dihasilkan semakin tinggi. Kandungan kimia dalam biomassa juga berpengaruh terhadap hasil *biochar*, di mana lignin, selulosa, dan zat ekstraktif mempunyai andil yang berbeda terhadap tingginya nilai kalor (Iskandar & Rofiatin, 2017). Menurut SNI 1683 2021 nilai kalor *biochar* yang baik minimal 6500 kal/g. *Biochar* ranting teh hasil pirolisis pada temperatur 350-500°C telah memenuhi SNI tersebut, sedangkan *biochar fluff* teh belum.



Gambar 9. Grafik Pengaruh Temperatur Pirolisis Terhadap Nilai Kalor *Biochar* Ranting dan *Fluff* Teh

4. KESIMPULAN

Hasil analisis CHN menunjukkan limbah ranting dan *fluff* teh memiliki kandungan karbon yang lebih tinggi daripada limbah daun teh yaitu >40%. Setelah dilakukan pirolisis limbah ranting dan *fluff* teh pada temperatur 300-500°C, diketahui bahwa kualitas *biochar* ranting teh lebih baik daripada *biochar fluff* teh karena karakteristik *biochar* ranting teh rata-rata lebih memenuhi syarat *biochar* yang baik menurut SNI 1683 2021 dibanding *biochar fluff* teh. Untuk meningkatkan kualitas baik *biochar* ranting maupun *fluff* teh sebagai sumber energi alternatif, bisa dilakukan optimasi kembali dengan memvariasikan waktu pirolisis atau faktor lain yang dapat mempengaruhi proses pirolisis.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Pusat Riset Kimia Maju, BRIN, Serpong yang telah memberikan bantuan materil dan non materil sehingga penelitian ini bisa berjalan lancar dan selesai tepat waktu.

REFERENCES

- Asmunandar, A., Goembira, F., Raharjo, S., Yuliarningsih, R., Magister, P. S., & Lingkungan, T. (2023). *Evaluasi Pengaruh Suhu dan Waktu Pirolisis Biochar Bambu Betung (Dendrocalamus asper)*. VIII(1), 4760–4771.
- Badan Pusat Statistik. (2023). *Statistik Teh Indonesia 2022* (Direktorat Statistik Tanaman Pangan Hortikultura dan Perkebunan (ed.)). Badan Pusat Statistik.
- Earl, D.E. (1974). A report on Corcoal, Andre Meyer Researc Fellow. FAO. Rome.
- Febriyanti, F., Fadila, N., Sanjaya, A. S., Bindar, Y., & Irawan, A. (2019). Pemanfaatan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Menjadi Bio-Char, Bio-Oil Dan Gas Dengan Metode Pirolisis. *Jurnal Chemurgy*, 3(2), 12.
- Gobel, A. P., & Arief, A. T. (2022). Pengaruh Karbonisasi Terhadap Karakteristik Tempurung Kelapa Berdasarkan Uji Proksimat Dan Nilai Kalor. *Jurnal Mineral, Energi, Dan Lingkungan*, 5(1), 48. <https://doi.org/10.31315/jmel.v5i1.5370>
- Hariato, S., Prawira-Atmaja, M. I., Shabri, S., Maulana, H., Rohdiana, D. D., & Rosyadi, A. I. (2019). Karakteristik Pelet Kayu dari Limbah Pangkasan Teh Berdasarkan Besaran Partikel. *Jurnal Sains Teh Dan Kina*, 21(1), 18–25. <https://doi.org/10.22302/pptk.jur.jptk.v21i1.143>
- Hartanto, Singgih dan Ratnawati. (2010). Pembuatan Karbon aktif dari Tempurung Kelapa Sawit dengan Metode Aktivasi Kimia. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 12 (1), 12 – 16.
- Iskandar, T., & Rofiatin, U. (2017). Karakteristik Biochar Berdasarkan Jenis Biomassa dan Parameter Proses Pirolisis Biochar. 28–34.
- Mariyam, S., Alherbawi, M., Pradhan, S., Al, T., & Gordon, A. (2023). Biochar Yield Prediction Using Response Surface Methodology : Effect of Fixed Carbon and Pyrolysis Operating Conditions. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s13399-023-03825-6>
- Mayasari, H. E., & Yuniari, A. (2016). Karakteristik Termogravimetri dan Kinetika Dekomposisi EPDM dengan Bahan Pengisi Carbon Black. *Majalah Kulit, Karet, Dan Plastik*, 32(2), 125. <https://doi.org/10.20543/mktp.v32i2.1591>
- Nabawiyah, Khilfatin dan Ahmad Abtokhi. (2010). Penentuan Nilai Kalor dengan Bahan Bakar Kayu Sesudah Pengarangan Serta Hubungannya dengan Nilai Porositas Zat Padat. *Jurnal Neutrino*, 3 (1), pp. 44– 55.

- Puspita Sari, H. (2021). *Pemanfaatan Batang Pohon Teh (Camellia Sinensis) Untuk Menghasilkan Briket Bioarang*. Universitas Islam Negeri Sumatera Utara.
- Rahardjo, P., Wulansari, R., Pranoto, E., Arifin, M., Simarmata, T., Rismayanti, A., Nugraha, T., & Hakim, D. (2019). Growth Response of Young Tea Plants on Andisol Soil of Gambung High Land, West Java, Indonesia Mixed With Ameliorants on Zero Point of Charge Status. *ICONISTECH*, 1–9. <https://doi.org/10.4108/eai.11-7-2019.2297839>
- Rezamela, E. (2023). *Budidaya Tanaman Teh Berkesinambungan*. Pusat Penelitian Teh dan Kina Gambung.
- Ridhuan, K., Irawan, D., Zanaria, Y., & Firmansyah, F. (2019). Pengaruh Jenis Biomassa Pada Pembakaran Pirolisis Terhadap Karakteristik Dan Efisiensi bioarang - Asap Cair Yang Dihasilkan. *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin*, 20(1), 18–27. <https://doi.org/10.23917/mesin.v20i1.7976>
- Saputro, F. D., Syafa'at, I., & Priangkoso, T. (2019). Studi Rambatan Panas Pada Pemodelan Pirolisator Kapasitas 20 Liter Menggunakan Computational Fluid Dynamics. *Jurnal Ilmiah Momentum*, 15(2), 162–166. <https://doi.org/10.36499/jim.v15i2.3083>
- Wulansari, R., & Rezamela, E. (2020). Pengaruh Kompos Limbah Teh Hitam (Tea Fluff) Terhadap Pertumbuhan Benih Teh (*Camellia sinensis* (L.)). *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 7(2), 341–350. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2020.007.2.19>