

Co-Firing Limbah Biomassa dan Charcoal Coccopeat dengan Batubara pada Industri Ferro Nikel

Hardiyanti Hendrik^{1*}, Setyawati Yani¹, Syamsuddin Yani¹

¹Program Magister Teknik Kimia, Universitas Muslim Indonesia, Jln. Urip Sumoharjo, KM. 4, Makassar, Sulawesi Selatan

*Corresponding Author: hardiyanti.hendrik@antam.com

ABSTRAK

Industri feronikel di Indonesia sangat bergantung pada batubara sebagai bahan bakar utama, yang menimbulkan masalah lingkungan akibat tingginya emisi sulfur dan gas rumah kaca. Ketergantungan ini juga menyebabkan biaya energi yang tinggi. Untuk mengurangi dampak lingkungan dan biaya, *co-firing* biomassa dapat menjadi alternatif yang ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji penggunaan limbah biomassa *coccopeat* dan *charcoal coccopeat* hasil pirolisis sebagai campuran batubara dalam proses *co-firing* pada *Rotary Kiln* di industri feronikel. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen laboratorium dengan uji nilai kalor, kadar sulfur, dan *fixed carbon* dari berbagai rasio campuran *coccopeat* dan batubara. Nilai kalor *coccopeat* tanpa pirolisis mencapai 4704,6 kkal/kg, dan setelah pirolisis meningkat menjadi 7161,3 kkal/kg. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rasio 10% biomassa terhadap batubara menghasilkan nilai kalor optimal sebesar 6689,3 kkal/kg untuk *coccopeat* tanpa pirolisis, dan 6929,0 kkal/kg untuk *charcoal coccopeat*. *Co-firing* dengan campuran ini mampu menurunkan emisi sulfur dan mengurangi biaya energi. Kesimpulannya biomassa *coccopeat* dan *charcoal coccopeat* efektif digunakan sebagai campuran batubara dalam proses *co-firing*, memberikan manfaat lingkungan dan efisiensi biaya. Implikasi penelitian ini adalah memberikan alternatif solusi energi terbarukan bagi industri feronikel yang lebih berkelanjutan.

Kata kunci: Batubara; Biomassa; Charcoal; Co-Firing; Coccopeat.

ABSTRACT

The ferronickel industry in Indonesia relies heavily on coal as the main fuel, which causes environmental problems due to high sulfur and greenhouse gas emissions. This dependency also leads to high energy costs. To reduce environmental impacts and costs, biomass *co-firing* can be an environmentally friendly alternative. This research aims to examine the use of *coccopeat* biomass waste and *coccopeat charcoal* resulting from pyrolysis as a coal mixture in the *co-firing* process in *Rotary Kilns* in the ferronickel industry. The research method used is a laboratory experiment by testing the heating value, sulfur content and *fixed carbon* of various ratios of *coccopeat* and coal mixtures. The calorific value of *coccopeat* without pyrolysis reached 4704.6 kcal/kg, and after pyrolysis it increased to 7161.3 kcal/kg. The research results show that a ratio of 10% biomass to coal produces an optimal calorific value of 6689.3 kcal/kg for *coccopeat* without pyrolysis, and 6929.0 kcal/kg for *charcoal coccopeat*. *Co-firing* with this mixture can reduce sulfur emissions and reduce energy costs. In conclusion, *coccopeat* biomass and *coccopeat charcoal* are effectively used as a coal mixture in the *co-firing* process, providing environmental benefits and cost efficiency. The implication of this research is to provide an alternative renewable energy solution for the ferronickel industry that is more sustainable.

Keywords: Coal; Biomass; Charcoal; Co-Firing; Coccopeat.

1. PENDAHULUAN

Pemanfaatan energi dalam industri di Indonesia, terutama dalam sektor produksi seperti pabrik feronikel, masih sangat bergantung pada batubara sebagai bahan bakar utama (Sadul, 2024). Batubara digunakan sebagai reduktor dalam proses *Rotary Kiln* untuk mengubah bijih nikel menjadi feronikel yang bernilai tinggi (Dwi Rizqi et al., 2023). Meskipun biaya penggunaan batubara lebih rendah,

ketergantungan yang tinggi terhadap bahan bakar ini menimbulkan berbagai tantangan, terutama dari sisi lingkungan dan keberlanjutan. Pembakaran batubara menghasilkan emisi gas rumah kaca (CO_2) dan abu terbang yang berkontribusi signifikan terhadap pencemaran udara, menjadikannya salah satu bahan bakar fosil yang paling "kotor." Hal ini memicu kekhawatiran terkait dampaknya terhadap lingkungan dan urgensi untuk mencari solusi energi yang lebih bersih dan berkelanjutan (Palupi et al., 2024).

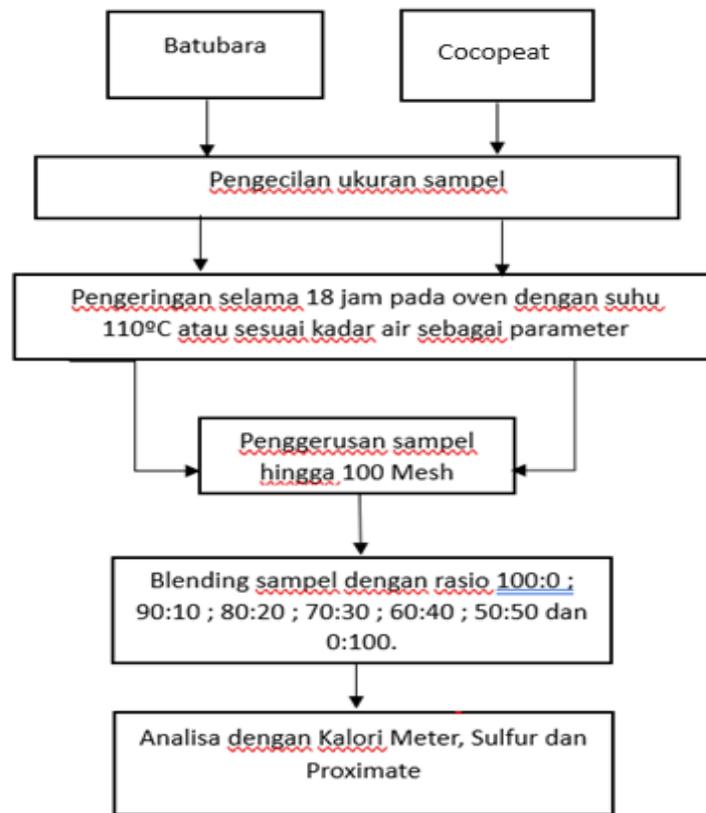
Menurut Kementerian ESDM, Indonesia memiliki potensi cadangan biomassa yang cukup besar, termasuk di wilayah Maluku Utara, yang kaya akan *cocopeat*, limbah dari pengolahan kelapa. *Cocopeat*, yang biasanya dimanfaatkan dalam sektor pertanian sebagai media tanam, mengandung jauh lebih sedikit sulfur dibandingkan batubara, namun penggunaannya sebagai bahan bakar alternatif belum optimal (Nadia Sri Aulia et al., 2024). Dengan pemanfaatan *cocopeat* sebagai bahan bakar, potensi untuk mengurangi ketergantungan pada batubara dan mengurangi emisi karbon terbuka lebar (Nandiyanto, 2023). Salah satu cara yang efektif adalah melalui *co-firing*, yaitu menggabungkan batubara dengan *cocopeat* (Borres & Virginia Mora, 2022). Pendekatan ini dapat mengurangi konsumsi batubara sebesar 20-30%, meningkatkan efisiensi pembakaran, mengurangi emisi gas rumah kaca, dan mengurangi limbah abu yang dihasilkan, sehingga mendukung keberlanjutan energi di sektor industri (Suryawan et al., 2022).

Dengan kebutuhan batubara sebagai bahan bakar utama dalam proses *Rotary Kiln* di Pabrik FeNi Plant PT Antam Tbk dan adanya potensi biomassa yang melimpah di Maluku Utara, terdapat peluang besar untuk menerapkan *co-firing*, yaitu penggunaan campuran batubara dan biomassa *cocopeat* (Infurna et al., 2023). Pemanfaatan *cocopeat*, yang merupakan limbah dari pengolahan kelapa, sebagai bahan bakar tambahan tidak hanya dapat mengurangi emisi yang dihasilkan dari pembakaran batubara, tetapi juga memanfaatkan sumber daya lokal yang berlimpah (Nabila et al., 2023). Melalui metode *co-firing* ini, pabrik dapat mengurangi ketergantungan pada batubara secara signifikan, sejalan dengan upaya pengurangan jejak karbon (Jagnade et al., 2023). Berdasarkan pertimbangan tersebut, penulis bermaksud melakukan penelitian dengan judul "*Co-Firing* Limbah Biomassa dan *Charcoal Cocopeat* dengan Batubara pada Industri Fero Nikel" untuk mengeksplorasi potensi penerapan teknologi ini dalam industri, khususnya dalam mengoptimalkan penggunaan energi yang lebih ramah lingkungan di sektor produksi feronikel.

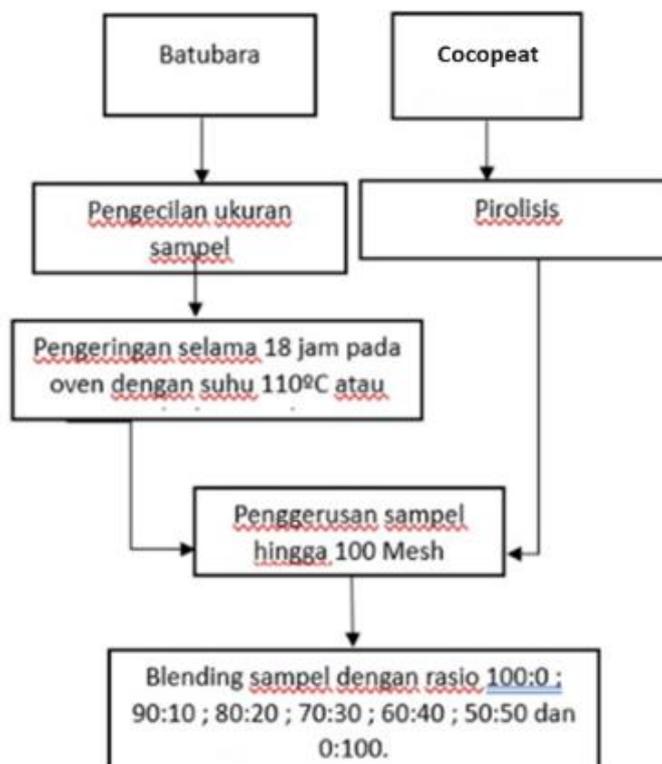
2. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium yang melibatkan preparasi sampel sesuai standar laboratorium serta pengujian dengan pembakaran langsung, berdasarkan karakteristik biomassa dan Batubara (Sugiyono, 2019). Tahap-tahap penelitian meliputi studi literatur, pengumpulan bahan baku, preparasi bahan, persiapan alat, proses reaksi, dan uji mutu analisis. Peralatan yang digunakan mencakup alat preparasi sampel, ayakan, neraca analitik, oven, desikator, serta instrumen seperti bomb calorimeter dan alat uji proximate dan sulfur (Sugiyono, 2021). Bahan yang digunakan terdiri dari batubara sebagai sumber energi yang tidak terbarukan, dan *cocopeat*, limbah dari serat kelapa, sebagai sumber energi terbarukan (Creswell & Creswell, 2018). Variabel bebas dalam penelitian ini adalah komposisi campuran *cocopeat* dan batubara dengan variasi rasio 100:0 hingga 0:100.

Penelitian ini direncanakan berlangsung selama sekitar dua bulan, dimulai pada minggu pertama Juli hingga minggu keempat Agustus 2024. Kegiatan penelitian akan dilakukan di Satuan Kerja Preparasi dan Laboratorium Instrumen Pabrik FeNi Plant PT Antam Tbk UBPB Maluku Utara, yang menjadi lokasi utama untuk seluruh proses eksperimen dan pengujian.



Gambar 1. Diagram Alir Sample Batubara dan Cocopeat.



Gambar 2. Diagram Alir Sample Batubara dan Cocopeat yang telah di Pirolisis.

Sebelum mencampurkan sampel dengan batubara, bahan *cocopeat* harus dipersiapkan terlebih dahulu dengan cara dikeringkan menggunakan oven di laboratorium preparasi, untuk menghilangkan kadar air dan memastikan proses berjalan optimal. Setelah proses pengeringan, *cocopeat* dicampurkan dengan batubara yang tersedia di Pabrik FeNi Plant PT Antam Tbk UBPN Maluku Utara, dengan berbagai komposisi seperti 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, dan 0:100. Tahap selanjutnya adalah pengujian proksimat, pengukuran nilai kalori, dan pengujian kadar sulfur. Data yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan metode analisis kuantitatif.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini menghasilkan data berupa karakteristik limbah biomassa *cocopeat*, yang meliputi analisis proksimat, pengukuran nilai kalori, serta kadar sulfur. Data tersebut disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Sampel Biomassa Cocopeat

Uji Parameter	Unit	Hasil (basis ADB)
Analisis Proximate		
- <i>Moisture</i> (air)	% wt	4,30
- <i>Ash Content</i>	% wt	3,42
- <i>Volatile Matter</i>	% wt	65,47
- <i>Fixed Carbon</i>	% wt	8,55
Total Sulfur	% wt	0,09
Pengukuran kalor		
<i>Gross Calorific Value</i>	Kcal/Kg	4704,6

Dari Tabel 1, terlihat bahwa limbah biomassa *cocopeat* memiliki potensi sebagai reduktan, dengan nilai *fixed carbon* sebesar 8,55% (ADB) dan nilai kalor mencapai 4704,6 kkal/kg (ADB). Berdasarkan hasil analisis, *cocopeat* juga berpotensi untuk diolah melalui proses pirolisis menjadi *charcoal*, yang dapat dimanfaatkan sebagai bioarang dalam perannya sebagai reduktan. Limbah biomassa *cocopeat* tersebut kemudian diproses lebih lanjut dalam reaktor pirolisis untuk memaksimalkan potensinya.

Hasil penelitian ini menghasilkan data karakteristik batubara yang mencakup analisis proksimat, pengukuran nilai kalor, dan kadar sulfur, yang akan digunakan dalam proses pencampuran. Data ini disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Sampel Batubara

Uji Parameter	Unit	Hasil (basis ADB)
Analisis Proximate		
- <i>Moisture</i> (air)	% wt	6,04
- <i>Ash Content</i>	% wt	8,91
- <i>Volatile Matter</i>	% wt	40,12
- <i>Fixed Carbon</i>	% wt	36,08
Total Sulfur	% wt	0,802
Pengukuran kalor		
<i>Gross Calorific Value</i>	Kcal/Kg	6909,8

Berdasarkan Tabel 2, batubara yang digunakan sebagai reduktan dalam industri feronikel memiliki kandungan *fixed carbon* sebesar 36,08% (ADB) dan nilai kalor sekitar 6909,8 kkal/kg (ADB). Selain

itu, batubara tersebut juga mengandung sulfur sebesar 0,802%, yang merupakan salah satu karakteristik penting dalam penggunaannya sebagai reduktan.

Hasil penelitian ini menghasilkan produk dari proses pirolisis dengan menggunakan nitrogen, yang berupa data karakteristik *cocopeat* setelah pirolisis. Data tersebut meliputi analisis proksimat, pengukuran nilai kalor, dan kadar sulfur, yang disajikan dalam Tabel 3.

Tabel.3 Hasil Pengujian Sampel *Charcoal Cocopeat*

Uji Parameter	Unit	Hasil (basis ADB)
Analisis Proximate		
- <i>Moisture In Analysis</i>	% wt	4,03
- <i>Ash Content</i>	% wt	5,76
- <i>Volatile Matter</i>	% wt	22,45
- <i>Fixed Carbon</i>	% wt	64,89
Total Sulfur	% wt	0,062
Pengukuran kalor		
<i>Gross Calorific Value</i>	Kcal/Kg	7161,3

Berdasarkan hasil analisis proksimat, terlihat adanya perubahan signifikan pada *cocopeat* setelah mengalami pirolisis. Kandungan *fixed carbon* (FC) meningkat secara drastis dari 8,55% (Tabel 1) sebelum pirolisis menjadi 64,89% (Tabel 3) setelah pirolisis dengan nitrogen. Peningkatan ini disebabkan oleh penurunan nilai *volatile matter* (VM) selama proses pirolisis, yang turun dari 65,47% (Tabel 1) menjadi 22,45% seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.

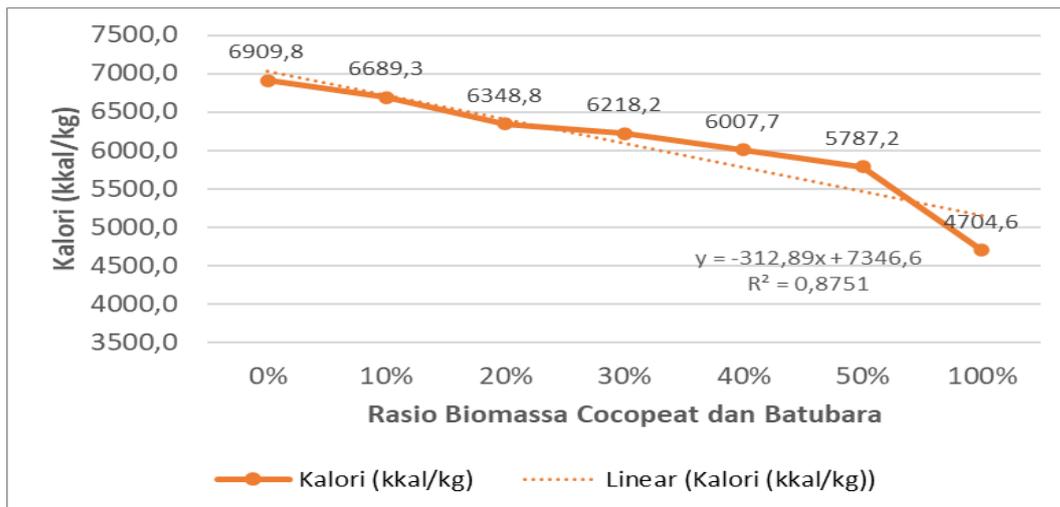
3.1 Co-Firing Biomassa *Cocopeat* dan Batubara

Hasil pengamatan dari pencampuran sampel *cocopeat* dengan batubara pada berbagai rasio menghasilkan data yang disajikan dalam tabel 4.

Tabel 4. Nilai Kalor dan Sulfur Campuran *Co-Firing* Biomassa *Cocopeat* dan Batubara

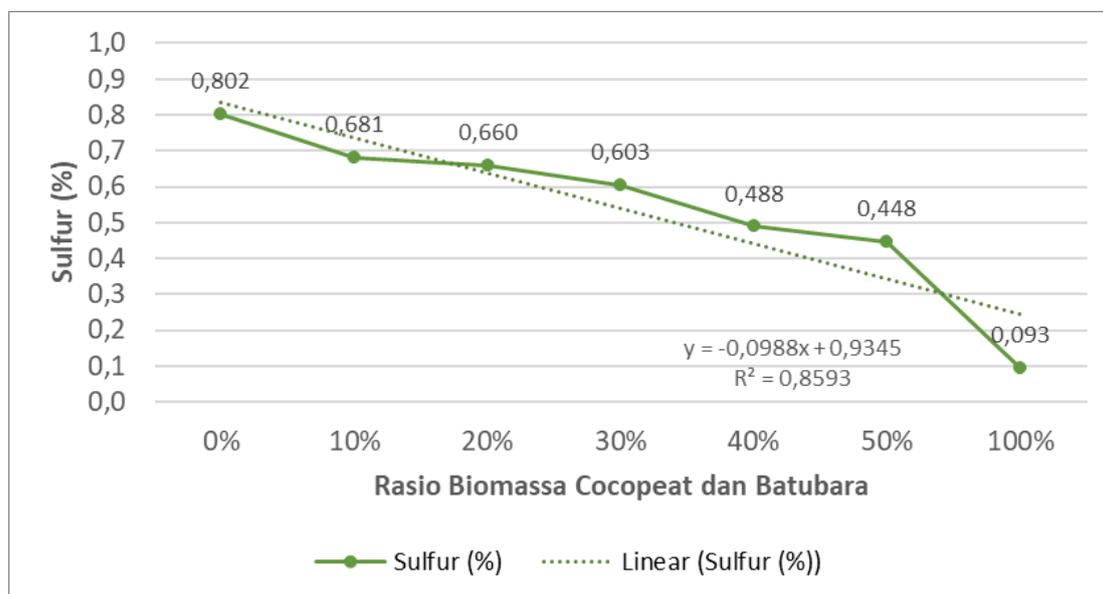
No	Rasio BB : CC		Rasio sampel (gr)		%Rasio	Kalori (kkal/kg)	Sulfur (%)
1	100	0	7	0	0	6.909,8	0,802
2	90	50	6,3	0,7	10	6.689,3	0,681
3	80	60	5,6	1,4	20	6.348,8	0,660
4	70	70	4,9	2,1	30	6.218,2	0,603
5	60	80	4,2	2,8	40	6.007,7	0,488
6	50	90	3,5	3,5	50	5.787,2	0,448
7	0	100	0	7	100	4.704,6	0,093

Pada Tabel 4, proses pencampuran antara batubara dan biomassa *cocopeat* dilakukan, dengan nilai kalor batubara sebesar 6909,8 kkal/kg dan nilai kalor *cocopeat* sebesar 4704,6 kkal/kg. Beberapa variabel komposisi rasio antara batubara dan *cocopeat* digunakan dalam percobaan, dengan rasio yang bervariasi, seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Nilai Kalor (kcal/kg) pada sampel Batubara dan biomassa *cocopeat*.

Dari hasil pengamatan, terlihat bahwa nilai kalor dari berbagai rasio campuran menunjukkan penurunan, karena *cocopeat* memiliki nilai kalor yang lebih rendah dibandingkan batubara. Namun, di Pabrik FeNi, batas minimum nilai kalor yang diterima untuk *Rotary Kiln* adalah 6686,25 kkal/kg. Berdasarkan analisis Q mix, rasio 10% menghasilkan nilai kalor sebesar 6689,3 kkal/kg, yang sudah dianggap optimal untuk pencampuran biomassa di *Rotary Kiln*. Selanjutnya, uji kadar sulfur dilakukan pada campuran batubara dan *cocopeat*, dengan hasil menunjukkan bahwa batubara memiliki kadar sulfur tinggi sebesar 0,802%, sementara *cocopeat* memiliki sulfur sangat rendah, yaitu 0,093%. Beberapa rasio komposisi campuran ini divisualisasikan dalam Gambar 4.



Gambar 4. Nilai Sulfur (%) pada sampel Batubara dan biomassa *cocopeat*.

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa kadar sulfur menurun secara signifikan seiring dengan peningkatan rasio campuran *cocopeat*, karena *cocopeat* memiliki kadar sulfur yang jauh lebih rendah (0,093%) dibandingkan batubara (0,802%). Hal ini mengindikasikan bahwa biomassa *cocopeat* mampu secara efektif mengurangi kadar sulfur dalam campuran dengan batubara. Rasio 10% *cocopeat* dinilai optimal untuk digunakan dalam proses *co-firing*, sehingga dapat disimpulkan bahwa biomassa *cocopeat*

sangat efektif sebagai bahan campuran batubara dalam *co-firing* di *Rotary Kiln* yang menggunakan batubara sebagai reduktan.

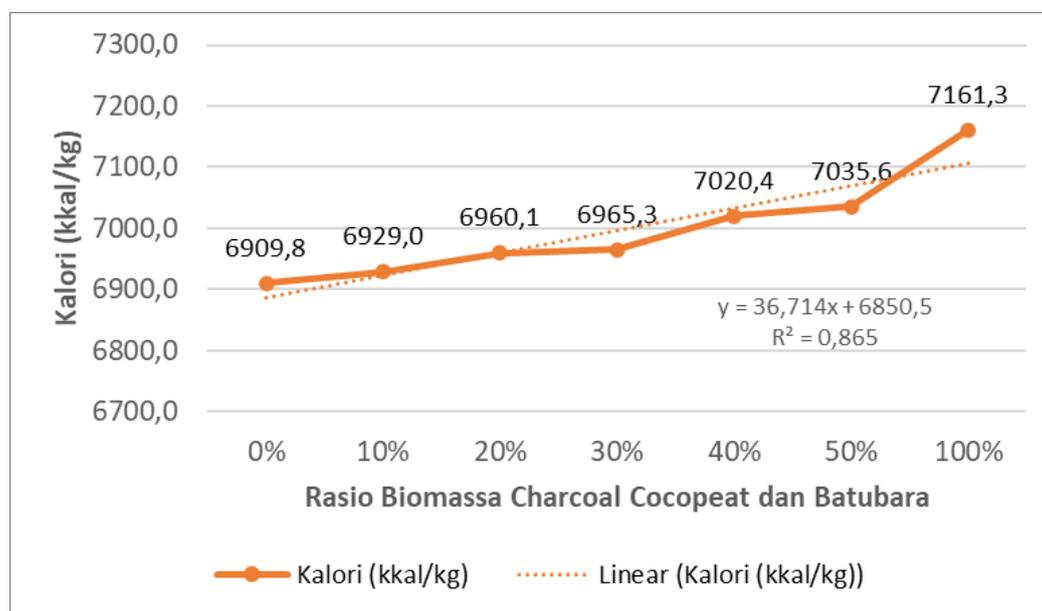
3.2 Charcoal Coccopeat dan Batubara

Hasil pengamatan dari pencampuran sampel charcoal cocopeat hasil pirolisis dengan batubara pada berbagai rasio menghasilkan data yang tercantum dalam Tabel 5.

Tabel 5. Nilai Kalor dan Sulfur *Co-Firing Charcoal Coccopeat* dan Batubara

No	Rasio BB : CC	Rasio sampel (gr)	%Rasio	Kalori (kkal/kg)	Sulfur (%)		
1	100	0	7	0	0	6.909,8	0,802
2	90	50	6,3	0,7	10	6.929	0,718
3	80	60	5,6	1,4	20	6.960,1	0,684
4	70	70	4,9	2,1	30	6.965,3	0,556
5	60	80	4,2	2,8	40	7.020,4	0,506
6	50	90	3,5	3,5	50	7.035,6	0,432
7	0	100	0	7	100	7.161,3	0,062

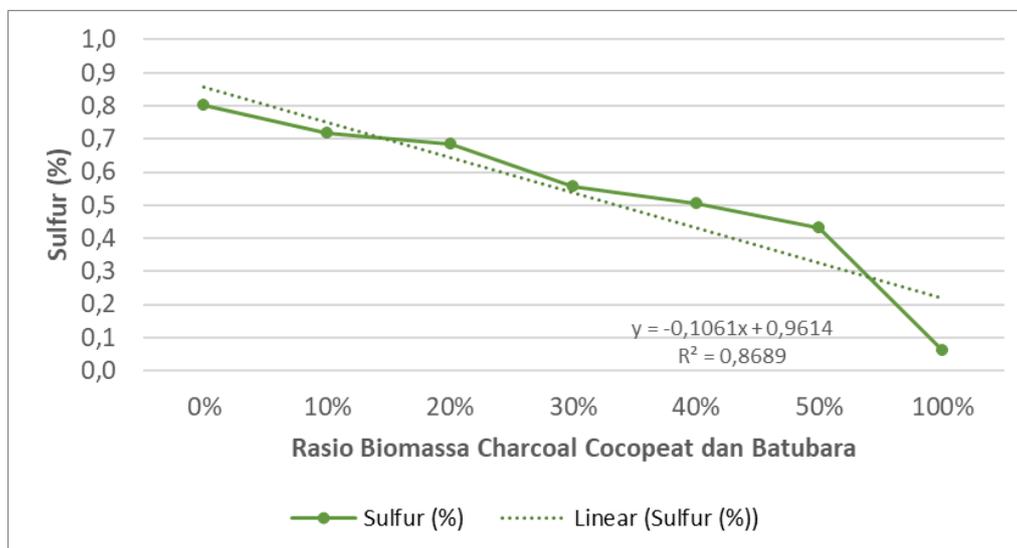
Pada Tabel 5, sampel *coccopeat* yang digunakan telah mengalami proses pirolisis untuk meningkatkan nilai kalornya sebelum dicampur dengan batubara. Proses pencampuran ini bertujuan untuk meningkatkan kandungan kalori dalam campuran tersebut. Nilai kalor batubara yang digunakan adalah 6909,8 kkal/kg, sedangkan nilai kalor *charcoal cocopeat* hasil pirolisis mencapai 7161,3 kkal/kg. Beberapa variasi komposisi rasio antara batubara dan *charcoal cocopeat* digunakan dalam percobaan, seperti yang ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Nilai Kalor (kkal/kg) Serbuk Gergaji batang kelapa pirolisis dan Batubara.

Setelah dipirolisis, nilai kalor *coccopeat* meningkat dari 4704,6 kkal/kg menjadi 7161,3 kkal/kg seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 5. Pengamatan menunjukkan bahwa penggunaan *charcoal cocopeat* meningkatkan nilai kalor hingga mencapai puncaknya pada rasio 100% *coccopeat* pirolisis. Namun, tidak semua kapasitas *Rotary Kiln* dapat menggunakan bahan bakar dengan nilai kalor sebesar 7000 kkal/kg. Oleh karena itu, rasio 10% dengan nilai Q(mix) sebesar 6929,0 kkal/kg dianggap sebagai

rasio optimal untuk menghasilkan nilai kalor yang efisien bagi batubara. Selanjutnya, uji sulfur dilakukan pada campuran batubara dan *charcoal cocopeat*, dengan hasil bahwa batubara memiliki kadar sulfur tinggi sebesar 0,802%, sedangkan *charcoal cocopeat* memiliki sulfur rendah sebesar 0,062%. Variasi komposisi rasio ini divisualisasikan dalam gambar 6.



Gambar 6. Nilai Sulfur (%) *Charcoal Cocopeat* dan Batubara.

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa kadar sulfur dari campuran batubara dan *charcoal cocopeat* menurun secara signifikan, karena *charcoal cocopeat* memiliki kadar sulfur yang sangat rendah, yaitu 0,062%, dibandingkan dengan batubara yang memiliki sulfur sebesar 0,802%. Dengan rasio campuran 10%, hasilnya sudah optimal untuk proses *co-firing*, karena batas kadar sulfur yang sesuai dengan spesifikasi *Rotary Kiln* adalah 1,01%. Hal ini menunjukkan bahwa *charcoal cocopeat* sangat efektif digunakan sebagai campuran dengan batubara dalam proses *co-firing* pada *Rotary Kiln* yang menggunakan batubara sebagai reduktan.

3.3 Analisis Tinjauan Ekonomi Penelitian

Berdasarkan asumsi dalam kesimpulan, jika industri menggunakan biomassa *cocopeat* sebesar 1 ton (1000 kg) per hari, maka diperlukan 30 ton bahan baku per bulan. Dengan harga Rp. 1000 per kilogram, biaya biomassa per hari adalah Rp. 1.000.000, atau Rp. 30.000.000 per bulan. Sebaliknya, untuk penggunaan batubara murni, industri membutuhkan 10 ton (10.000 kg) per hari, yang berarti 300 ton batubara per bulan. Dengan harga Rp. 1500 per kilogram, biaya batubara per hari mencapai Rp. 15.000.000, atau Rp. 450.000.000 per bulan.

Jika *co-firing* dilakukan dengan menambahkan 10% biomassa *cocopeat*, maka setiap hari diperlukan 1000 kg *cocopeat* dan 9000 kg batubara. Dengan perhitungan sederhana, biaya biomassa per hari adalah Rp. 1.000.000 dan biaya batubara sebesar Rp. 13.500.000, sehingga total biaya harian mencapai Rp. 14.500.000. Dengan penggunaan biomassa *cocopeat*, industri dapat menghemat sekitar Rp. 1.500.000 per hari. Hal ini menunjukkan potensi penghematan biaya yang signifikan, sehingga *co-firing* dengan biomassa *cocopeat* layak dipertimbangkan.

Tabel 6. Analisis Ekonomi

Bahan baku	Kuantitas	Harga	Keterangan
Biomassa <i>cocopeat</i>	10 kg	Rp10.000	Limbah industri hasil pembuatan <i>cocomesh</i> .
Gas Nitrogen curah	6 m ³	Rp 94.500	Total pemakaian 3.150 liter.
Gas LPG	3 kg	Rp 21.000	Bahan baku pembakaran
Sarung tangan	2 pasang	Rp 10.000	APD
Kacamata	1 pcs	Rp 20.000	APD
Total cost proses		Rp 155.000	

Berdasarkan penelitian, total biaya untuk proses pirolisis sampel sebanyak 10 kg adalah Rp. 155.000. Jika diadaptasi untuk pabrik skala industri dengan kapasitas 1 ton per hari, maka dibutuhkan 30 ton bahan baku per bulan. Perhitungan sederhana menunjukkan bahwa biaya bahan baku per hari adalah Rp. 1.000.000. Proses pirolisis memerlukan nitrogen sebagai gas *inert*, dengan 1000 kg biomassa membutuhkan 20 kali pembakaran dan total 6000 liter nitrogen, yang harganya diperkirakan sebesar Rp. 195.000 per hari atau Rp. 5.850.000 per bulan. Selain itu, pemakaian gas LPG untuk membakar 1000 kg biomassa membutuhkan sekitar 175 kg LPG per hari, dengan total biaya Rp. 2.148.000. Dengan demikian, biaya yang diperlukan untuk pirolisis skala industri termasuk bahan baku, nitrogen, dan LPG cukup signifikan.

Tabel 7. Estimasi Perhitungan Analisis Ekonomi

No	Nama bahan	Jumlah	Harga total	Harga/liter	Keterangan
1	Biomassa <i>cocopeat</i>	1 Ton	Rp.1.000.000	Rp.1000/kg	Sumber: PT Fagalgal Jaya
2	Gas nitrogen	6000 liter	Rp.195.000	Rp. 32.5/liter	Sumber: PT. Samator Gas
3	Gas LPG	175 kg	Rp.2.148.000	Rp. 13.818/kg	Sumber: kemenperin des 2023
Total cost					3.343.000

Untuk setiap 1 ton sampel, biaya yang diperlukan adalah Rp. 3.343.000. Dari jumlah tersebut, dihasilkan arang seberat 329 kg dari 1000 kg sampel, yang berarti total arang yang dihasilkan adalah 329.000 kg dengan tingkat konversi sebesar 34%. Arang ini memiliki nilai kalori 7161,3 kkal/kg, yang merupakan hasil positif, terutama mengingat bahan limbah awal hanya memiliki potensi kalor sebesar 4704,6 kkal/kg. Ini menunjukkan bahwa proses konversi dapat dilakukan secara efisien dan ekonomis.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian *co-firing* antara biomassa *cocopeat* dan *charcoal cocopeat* dengan batubara, dapat disimpulkan bahwa rasio 10% biomassa terhadap batubara memberikan efek signifikan pada peningkatan nilai kalor. Untuk biomassa *cocopeat* tanpa pirolisis, nilai kalor yang dihasilkan mencapai 6689,3 kkal/kg, sedangkan untuk *charcoal cocopeat* yang telah melalui pirolisis, nilai kalor meningkat menjadi 6929,0 kkal/kg. Selain itu, karakteristik *cocopeat* menunjukkan nilai kalor awal sebesar 4704,6 kkal/kg, dengan kadar fixed carbon 8,55% dan sulfur rendah, hanya 0,093%. Ketika *cocopeat* dipirolisis, nilai kalor meningkat secara signifikan hingga 7161,3 kkal/kg, dengan *fixed carbon* sebesar 64,89%. Hal ini menunjukkan bahwa biomassa *cocopeat* dapat menjadi campuran yang efisien dengan batubara dalam proses *co-firing* di *Rotary Kiln* yang menggunakan batubara sebagai reduktan.

Dari perspektif efisiensi energi dan ekonomi, penggunaan *cocopeat* sebagai campuran batubara dalam *co-firing* terbukti mengurangi kadar sulfur yang terkandung dalam batubara, serta mengurangi dampak limbah sulfur ke udara. Selain itu, harga *cocopeat* lebih murah dibandingkan batubara, sehingga

penggunaan campuran ini dapat menekan biaya energi. Penelitian ini berkontribusi dalam pengelolaan limbah biomassa *cocopeat* yang sering tidak termanfaatkan, dan mendukung pengembangan energi baru terbarukan dalam industri feronikel yang lebih ramah lingkungan. Sebagai saran, penting untuk memperhatikan waktu penjemuran dan penyimpanan *cocopeat* agar sampel tidak lembab, sehingga kualitas biomassa tetap optimal selama proses *co-firing*.

DAFTAR PUSTAKA

- Borres, E. C., & Virginia Mora, L. B. (2022). Evaluation and Analysis of Coffee Husk and Coco Peat Briquettes as Biomass Fuel. *European Online Journal of Natural and Social Sciences*, 11(4), 604–617. www.european-science.com<http://www.european-science.com>
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). Mixed Methods Procedures. In *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*.
- Dwi Rizqi, H., Laksana Guntur, H., Bachtiar Krishna Putra, A., Vicca Kusumadewi, T., Hakim Nasution, A., Sinansari, P., & Kurniawan, F. (2023). Kajian Potensi Bambu untuk Mendukung Penerapan Co-firing pada Pembangkit Listrik Jawa Bali. *Pengabdian Kepada Masyarakat*, 7(1), 2613–9960. <https://doi.org/10.12962/j26139960.v7i1.277>
- Infurna, G., Caruso, G., & Dintcheva, N. T. (2023). Sustainable Materials Containing Biochar Particles: A Review. *Polymers*, 15(2). <https://doi.org/10.3390/polym15020343>
- Jagnade, P., Panwar, N. L., Gupta, T., & Agrawal, C. (2023). Role of Biochar in Agriculture to Enhance Crop Productivity: An Overview. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 13(5). <https://doi.org/10.33263/BRIAC135.429>
- Nabila, R., Hidayat, W., Haryanto, A., Hasanudin, U., Iryani, D. A., Lee, S., Kim, S., Kim, S., Chun, D., Choi, H., Im, H., Lim, J., Kim, K., Jun, D., Moon, J., & Yoo, J. (2023). Oil palm biomass in Indonesia: Thermochemical upgrading and its utilization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 176(January), 113193. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113193>
- Nadia Sri Aulia, N., Hamdi, & Yendri Sudiar, N. (2024). Analisis Pemanfaatan Biobriket Dari Limbah Kulit Kopi Sebagai Basis Pengembangan Energi Terbarukan. *Journal of Applied Mechanical Engineering and Renewable Energy (Jamere)*, 4(2), 1–9. <https://journal.isas.or.id/index.php/JAMERE>
- Nandiyanto, A. B. D. (2023). Particulate Matter Emission from Combustion and Non-Combustion Automotive Engine Process: Review and Computational Bibliometric Analysis on Its Source, Sizes, and Health and Lung Impact. *Automotive Experiences*, 6(3), 8.
- Palupi, D. N., Sundari, S., Syahtaria, M. I., & Sianipar, L. (2024). Analisis Dampak Lingkungan dan Keekonomian Pembangkit Listrik Tenaga Co-firing Biomassa dan Baru bara sebagai Upaya Bauran Energi Terbarukan. *El-Mal: Jurnal Kajian Ekonomi & Bisnis Islam*, 5(3), 1627–1635. <https://doi.org/10.47467/elmal.v5i3.781>
- Sadul, A. (2024). CO-FIRING TEST OF SEMI-RENEWABLE FUEL BLEND OF COAL AND COCONUT TRUNK SAWDUST WASTE. *Journal of Sciencetech Research and Development*, 6(1), 539–551.
- Sugiyono. (2021). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, R&D*. Alfabeta.
- Sugiyono, P. D. (2019). Buku sugiyono, metode penelitian kuantitatif kualitatif. In *Revista Brasileira de Linguística Aplicada* (Vol. 5, Issue 1).

Seminar Nasional Inovasi dan Teknologi (SEMNASINTEK)
Universitas Ahmad Dahlan
Yogyakarta, 27 November 2024

Suryawan, I. W. K., Fauziah, E. N., Septiariva, I. Y., Ramadan, B. S., Sari, M. M., Ummatin, K. K., & Lim, J. W. (2022). Pelletizing of Various Municipal Solid Waste: Effect of Hardness and Density into Caloric Value. *Ecological Engineering and Environmental Technology*, 23(2), 122–128. <https://doi.org/10.12912/27197050/145825>