

Metode Komparasi *Co-Firing* Menggunakan Biomassa untuk Mengurangi Emisi pada PLTU – *Literature Review*

Rizki Khoiriah Nasution¹, Shofa Rijalul Haq², Nurkhamim², Tedy Agung Cahyadi², Rika Ernawati²

- 1) Mahasiswa Prodi Magister Teknik Pertambangan UPN “Veteran” Yogyakarta
- 2) Staf Pengajar Prodi Magister Teknik Pertambangan UPN “Veteran” Yogyakarta
Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta
Jalan Padjajaran 104 (Lingkar Utara) Condongcatur Yogyakarta 55283 Indonesia

*Email: 212231003@student.upnyk.ac.id

SARI

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan salah satu sumber energi listrik di berbagai negara. Meski demikian, keberadaannya sering mendapat kritik karena dampak lingkungan yang ditimbulkan, terutama emisi gas rumah kaca dan berbagai jenis polusi udara. Untuk mengurangi jejak karbon dan dampak lingkungan dari PLTU, berbagai metode mitigasi telah diupayakan, salah satunya adalah metode *co-firing*. *Co-firing* melibatkan pembakaran biomassa bersama batubara dalam unit pembangkit, dengan tujuan substitusi sebagian batubara dengan biomassa untuk mengurangi emisi dari bahan bakar fosil. Biomassa, yang bersumber dari bahan terbarukan, memiliki potensi untuk mengurangi emisi CO₂ karena dapat menyerap CO₂ selama pertumbuhannya. Dengan mengintegrasikan biomassa dan batubara, diharapkan dapat menurunkan ketergantungan pada batubara dan mengurangi emisi gas rumah kaca serta polutan lainnya, sekaligus memberikan solusi berkelanjutan untuk sektor energi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis berbagai jenis biomassa yang telah digunakan dalam campuran batubara, termasuk jerami padi, *m. floridilus*, kayu lamtaro, sekam padi, serbuk kayu, tongkol jagung, serbuk gergaji, sisa bunga matahari, dan cangkang kacang, berdasarkan studi-studi sebelumnya. Hasil analisis ini diharapkan dapat memberikan wawasan mengenai efektivitas dan potensi metode *co-firing* dalam pengurangan dampak lingkungan dan efisiensi energi di PLTU, serta mendukung pengembangan energi terbarukan di Indonesia. Berdasarkan pencampuran batubara dengan berbagai jenis biomassa dapat menurunkan emisi gas buang yang dihasilkan selama proses pembakaran di Pembangkit Listrik Tenaga Uap.

Kata kunci: PLTU, *Co-firing*, Batubara, Biomassa, Emisi.

How to Cite: Nasution, R.K., Haq, S.R., Nurkhamim, N., Cahyadi, T.A., dan Ernawati, R. 2024. Metode Komparasi *Co-Firing* Menggunakan Biomassa untuk Mengurangi Emisi pada PLTU-*Literature Review*. Jurnal Geomine, 12 (2): 173-183.

Published By:

Fakultas Teknologi Industri
Universitas Muslim Indonesia

Address:

Jl. Urip Sumoharjo Km. 05
Makassar, Sulawesi Selatan

Email:

geomine@umi.ac.id

Phone:

+6285299961257

+6281241908133

Article History:

Submite Juni 5, 2024

Received in from July 12, 2024

Accepted August 27, 2024

Available online

Lisensec By:

[Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



ABSTRACT

*Coal-Fired Power Plants (CFPPs) serve as significant contributors to global electricity generation. However, they are often criticized for their adverse environmental impacts, including greenhouse gas emissions and air pollution. To address these challenges, co-firing technology has emerged as a promising mitigation strategy. Co-firing involves the simultaneous combustion of biomass and coal in power generation units, aiming to partially replace coal with biomass to reduce fossil fuel emissions. Biomass, sourced from renewable materials, has the potential to lower CO₂ emissions by absorbing atmospheric CO₂ during its growth cycle. Integrating biomass into CFPP operations through co-firing is expected to reduce coal dependency, decrease greenhouse gas emissions, and minimize other pollutants while providing a sustainable energy solution. This study evaluates the performance of various biomass types previously used in coal blends, including rice straw, *M. floridulus*, lamtoro wood, rice husks, sawdust, corn cobs, wood shavings, sunflower residue, and peanut shells. Based on prior research, the findings demonstrate that blending coal with these biomass materials significantly reduces exhaust gas emissions during combustion. This analysis offers valuable insights into the effectiveness and potential of co-firing methods in mitigating environmental impacts and enhancing energy efficiency in CFPPs, thereby supporting the advancement of renewable energy initiatives in Indonesia.*

Keyword: PLTU, Co-firing, Coal, Biomass, Emissions

PENDAHULUAN

Pembangkit listrik yang menggunakan tenaga uap merupakan salah satu jenis pembangkit yang banyak digunakan di berbagai negara. Meski demikian, keberadaannya sering mendapat kritik karena dampak lingkungan yang ditimbulkan, terutama emisi gas rumah kaca dan berbagai jenis polusi udara. Dalam upaya untuk mengurangi jejak karbon dan dampak lingkungan dari PLTU, berbagai metode mitigasi telah diterapkan. Salah satu pendekatan yang semakin menarik perhatian adalah metode *co-firing*, yaitu proses pembakaran biomassa bersama dengan batubara dalam PLTU. *Co-firing* yaitu proses pembakaran dua bahan secara bersamaan yang digunakan sebagai metode alternatif untuk memanfaatkan biomassa dalam pembangkitan tenaga listrik. Proses ini dilakukan dengan menggantikan sebagian batubara menggunakan biomassa dalam unit pembangkit listrik, sehingga dapat mengurangi gas buang yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil (Winaya, 2010).

Co-firing dengan biomassa berpotensi mengurangi emisi CO₂, karena biomassa yang berasal dari sumber terbarukan dapat menyerap CO₂ selama pertumbuhan. Dengan menggabungkan biomassa dan batubara, diharapkan dapat mengurangi ketergantungan pada batubara dan mengurangi emisi gas rumah kaca serta polutan lainnya. Biomassa merupakan salah satu pilihan energi alternatif yang efektif dalam rangka pembangunan berkelanjutan pada sektor energi sebagai energi baru terbarukan yang dapat diperbaharui, serta berperan untuk mengurangi emisi tanpa mengganggu efisiensi kerja yang berpotensi untuk dikembangkan di Negara Indonesia dengan cara pencampuran menggunakan sistem pembakaran *co-firing* pada *boiler* PLTU. Keunggulan pemakaian biomassa pada PLTU adalah memerlukan modal yang sedikit serta pengaruh lingkungan yang lebih rendah dibandingkan menggunakan batubara sebesar 100% (Kommalapati, 2018).

Berdasarkan penelitian terkait yang dilakukan sebelumnya, biomassa yang dipakai dalam campuran batubara adalah biomassa jerami padi, *m.floridulus*, kayu lamtoro, sekam padi, serbuk kayu, tongkol jagung, serbuk gergaji, sisa bunga matahari dan cangkang kacang. Tujuan penelitian ini yaitu untuk menganalisis penelitian terdahulu terkait jenis biomassa yang dimanfaatkan.

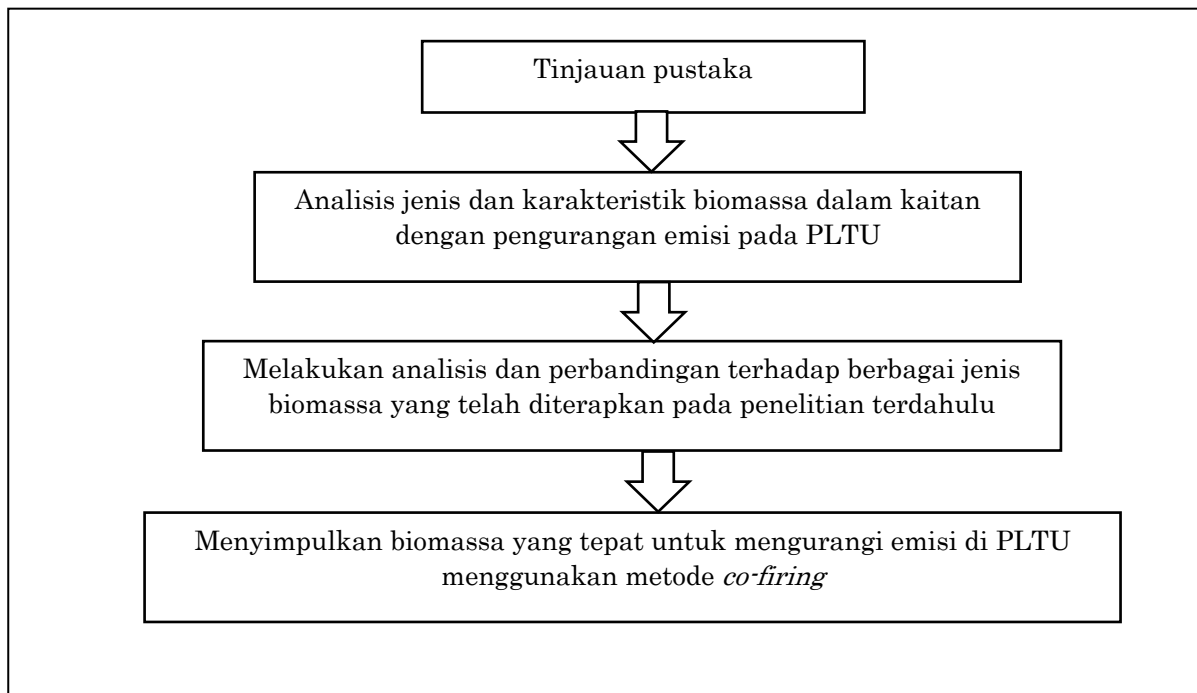
Berikut perbandingan metode *co-firing* pada biomassa serbuk gergaji, serbuk kayu, sekam padi, tongkol jagung yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya tertera pada tabel 1:

Tabel 1. Penelitian Terdahulu

Nama Peneliti	Tahun	Hasil Penelitian
Restrepo & Bazzo	2016	Rekomendasi menggunakan metode <i>co-firing</i> dengan menggunakan biomassa jerami padi
Chao-Wei Huang dkk	2019	Rekomendasi menggunakan metode <i>co-firing</i> dengan menggunakan biomassa <i>M. floridilus</i>
Ulhaq, Nurhadi & Sriyanti	2021	Rekomendasi menggunakan metode <i>co-firing</i> dengan menggunakan biomassa kayu lamtaro
Qinwen Liu dkk	2022	Rekomendasi menggunakan metode <i>co-firing</i> dengan menggunakan biomassa sekam padi
Rahim, Istiqamah & Prasetya	2023	Rekomendasi menggunakan metode <i>co-firing</i> dengan menggunakan biomassa serbuk kayu dan tongkol jagung
Li Liu dkk	2023	Rekomendasi menggunakan metode <i>co-firing</i> dengan menggunakan biomassa serbuk gergaji, sekam padi, sisa bunga matahari dan cangkang kacang

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan *literature review*, yang mana disusun dari berbagai jurnal, seperti jurnal nasional ataupun jurnal internasional. Tinjauan pustaka yaitu tahapan menyusun dan menganalisis sumber-sumber *literature* yang berhubungan dengan tema atau masalah penelitian tertentu. Sasaran dari *literature review* yaitu untuk memberikan gambaran umum tentang apa yang telah diketahui dan dipelajari mengenai topik tersebut, mengidentifikasi kekurangan atau celah dalam pengetahuan yang ada, serta menetapkan konteks untuk penelitian yang akan dilakukan (Fink, 2019). Sehingga tujuan dari *literature review* pada topik ini adalah untuk mengetahui jenis biomassa yang dapat mengurangi emisi pada PLTU menggunakan metode *co-firing*. Alur penelitian, sebagai berikut:



Gambar 1. Alur Penelitian

HASIL PENELITIAN

Hasil penelitian yang telah dilakukan mengindikasikan perlunya biomassa untuk bahan pencampuran batubara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), disebabkan dapat mengurangi emisi gas berbahaya seperti SO_2 (Liu, 2022). Biomassa merupakan sumber energi terbarukan yang berpotensi meminimalkan ketergantungan pada bahan bakar fosil. Melalui pemanfaatan limbah pertanian seperti jerami padi, *m.floridilus*, kayu lamtaro, sekam padi, serbuk kayu, tongkol jagung, serbuk gergaji, sisa bunga matahari dan cangkang kacang, PLTU dapat beroperasi secara lebih berkelanjutan sekaligus berkontribusi dalam pengelolaan limbah pertanian yang berpotensi mencemari lingkungan apabila tidak ditangani secara optimal. Ilham (2022) mengatakan *co-firing* merupakan cara jangka panjang terbaik dalam menekan emisi CO_2 dengan memanfaatkan biomassa sebagai bahan bakar alternatif yang berasal dari kayu, sisa tanaman energi dan berbagai jenis limbah. Proses *co-firing* bertujuan untuk memitigasi dampak buruk akibat penggunaan bahan bakar konvensional (Restrepo, 2016). Menurut Kong (2023) teknologi *co-firing* dianggap sebagai metode yang efektif untuk memanfaatkan biomassa sebagai bahan bakar, dengan tingkat pencampuran yang umumnya berkisar antara 5-15% dari basis berat, bahkan dalam beberapa kasus dapat mencapai hingga 20%. Dari segi produksi energi yang dihasilkan PLTU dengan sistem *co-firing* mampu menghasilkan energi listrik hingga kisaran Mwatt dan sudah banyak diterapkan oleh Negara Eropa dan Amerika Serikat.

Berikut jenis biomassa yang dapat digunakan dalam pencampuran batubara untuk pembakaran pada PLTU menurut studi terdahulu, antara lain:

Tabel 2. Jenis Biomassa Metode *Co-firing*

Nama Peneliti	Jenis Biomassa	Rasio Pencampuran	Rasio paling Efektif	Penurunan Emisi
Restrepo & Bazzo	Jerami padi	10%, 20% dan 30%	30%	25,13%
Chao-Wei Huang dkk	<i>M. floridilus</i>	0%, 25%, 50% dan 75%	25% biomassa dan 75% batubara	65%
Ulhaq, Nurhadi & Sriyanti	Kayu lamtaro	1. Batubara 5% + Kayu lamtaro 95% 2. Batubara 15% + Kayu lamtaro 85% 3. Batubara 25% + Kayu lamtaro 75% 4. Batubara 50% + Kayu lamtaro 50%	Batubara 15% dan Kayu lamtaro 85%	1. Pencampuran batubara sebesar 15% menghasilkan faktor emisi CO ₂ sebesar 1,15 kgCO ₂ /kwh pada skema normal, sedangkan pada skema <i>carbon netral</i> nilai emisi yang dihasilkan menurun menjadi 1,02 kgCO ₂ /kwh. 2. Pencampuran batubara sebesar 25% menghasilkan faktor emisi CO ₂ sebesar 1,14 kgCO ₂ /kwh pada skema normal, sedangkan pada skema <i>carbon netral</i> sebesar 0,91 kgCO ₂ /kwh. 3. Pencampuran batubara sebesar 50% menghasilkan faktor emisi CO ₂ sebesar 1,10 kgCO ₂ /kwh pada skema normal, sedangkan pada skema <i>carbon netral</i> sebesar 0,62 kgCO ₂ /kwh.
Qinwen Liu dkk	Sekam padi	0%, 30%, 50%	50%	1. Emisi SO ₂ turun dari 675 ppm menjadi 369 ppm 2. Emisi SO ₂ per unit energi dari 642 mg/MJ menjadi 263 mg/MJ
Rahim, Istiqamah & Prasetya	Serbuk kayu & Tongkol jagung	1. Penggabungan batubara dengan serbuk kayu sebagai bahan bakar campuran a. 70% batubara: 30% serbuk kayu b. 50% batubara: 50% serbuk kayu c. 30% batubara: 70% serbuk kayu 2. Penggabungan batubara dengan serbuk kayu sebagai bahan bakar campuran	a. 50% batubara : 50% serbuk kayu b. 70% batubara : 30% tongkol jagung	50%:50% = 75% 70%: 30% = 50%



--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Berdasarkan tabel jenis biomassa pada metode *co-firing* yang telah dikaji oleh peneliti sebelumnya tersebut dapat dilihat rasio pencampuran yang paling efektif dalam penurunan emisi. Penelitian yang dilakukan oleh Alvaro Restrepo dan Edson Bazzo pada tahun 2016 menegaskan bahwa penggunaan metode *co-firing* dengan jenis biomassa jerami padi dengan rasio pencampuran 10%, 20% dan 30%. Hasil dari penelitian menunjukkan setelah menggunakan pencampuran batubara dengan biomassa jerami padi diperoleh yang paling

efektif dalam penurunan emisi terdapat pada pencampuran 30% dengan persentase penurunan emisi sebesar 25,13%.

Penelitian Chao-Wei Huang dkk, tahun 2019 menjelaskan pada pencampuran batubara dengan biomassa *M. floridilus* memiliki rasio pencampuran 0%, 25%, 50% dan 75%, di mana dari keempat rasio pencampuran tersebut, yang paling efektif terdapat pada rasio 25% biomassa dengan 75% batubara. Penurunan emisi setelah dilakukan pencampuran batubara dengan biomassa turun sekitar 65%.

Dalam penelitian Ijal Dhiya Ulhaq, Nurhadi, Sriyanti pada tahun 2021 menjelaskan bahwa penggunaan metode co-firing dengan jenis biomassa kayu lamtaro dengan rasio pencampuran batubara (5%, 15%, 25%, 50%) dan kayu lamtaro (95%, 85%, 75%, 50%), di mana dari beberapa rasio pencampuran tersebut, yang paling efektif adalah rasio batubara 15% dengan kayu lamtaro 85%, hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa faktor emisi CO₂ pada skema normal mencapai 1,15 kgCO₂/kwh, sedangkan pada skema *carbon netral* nilainya menurun menjadi sebesar 1,02 kgCO₂/kwh.

Qinwen Liu dkk, pada tahun 2022 menjelaskan bahwa penggunaan metode co-firing dengan jenis biomassa sekam padi dengan rasio pencampuran 50% menunjukkan penurunan emisi SO₂ yang signifikan yaitu dari 675 ppm menjadi 369 ppm, serta penurunan emisi SO₂ per unit energi dari 642 mg/MJ menjadi 263 mg/MJ.

Pada penelitian Herlina Rahim, Nurul Istiqamah dan Frabowo Prasetya pada tahun 2023 menjelaskan bahwa campuran batubara dengan serbuk kayu dan tongkol jagung terbukti efektif dalam meminimalisir penggunaan batubara sebagai bahan bakar. Kombinasi optimal ditemukan pada variasi 50% batubara dan 50% serbuk kayu, yang mampu menurunkan emisi hingga 75%. Sementara itu, rasio 70% batubara dan 30% tongkol jagung menghasilkan penurunan emisi sebesar 50%.

Dalam penelitian Li Liu dkk, tahun 2023 menjelaskan dengan rasio pencampuran 20%, 30%, 40%, 50% pada biomassa serbuk gergaji, sekam padi, sisa bunga matahari dan cangkang kacang. Rasio yang paling efektif untuk emisi NO_x yaitu 30% serbuk gergaji, 20% sekam padi, 30% sisa bunga matahari dan 50% cangkang kacang dengan penurunan emisi sebesar 620 ppm menjadi 240 ppm, sedangkan rasio untuk emisi SO₂ yaitu 50% serbuk gergaji, 40% sekam padi, 30% sisa bunga matahari dan 50% cangkang kacang dengan penurunan emisi dengan penurunan emisi sebesar 650 mg/MJ menjadi 280 mg/MJ.

Berikut disajikan tabel yang merangkum keunggulan dan kekurangan dari berbagai jenis biomassa dalam pencampuran pembakaran batubara pada PLTU berdasarkan penelitian sebelumnya:

Tabel 3. Keunggulan dan Kekurangan Biomassa

Jenis Biomassa	Keunggulan	Kekurangan
Jerami padi	1. Dapat berkontribusi pada pengurangan emisi karbon dioksida (CO₂) jika dibandingkan dengan bahan bakar fosil. Biomassa dinilai sebagai sumber energi yang lebih bersahabat dengan lingkungan karena emisi karbon yang dihasilkan selama proses pembakaran jerami padi sebelumnya telah diserap dari atmosfer oleh tanaman tersebut selama masa pertumbuhannya. 2. Pemanfaatan jerami padi sebagai bahan bakar berkontribusi dalam pengurangan limbah pertanian yang biasanya dibakar di ladang, yang	1. Mengandung silika dalam jumlah yang cukup tinggi. Silika ini dapat menyebabkan penumpukan kerak (slagging) dan pengikisan pada peralatan boiler dan saluran asap, yang mengakibatkan peningkatan biaya pemeliharaan dan penurunan efisiensi operasional. 2. Memiliki kandungan kelembaban yang tinggi, yang bisa mengurangi nilai kalori bahan bakar. Kelembaban yang tinggi juga dapat



	dapat menghasilkan polusi udara dan risiko kebakaran	menyebabkan masalah dalam proses pembakaran dan pengeringan, serta mengurangi efisiensi pembangkit.
<i>M. floridulus</i>	1. Menggunakan <i>M. floridula</i> sebagai bahan pencampuran dengan batubara dapat membantu diversifikasi sumber energi yang digunakan di PLTU, mengurangi ketergantungan pada batubara dan memanfaatkan sumber energi terbarukan. 2. Menggunakan <i>M. floridula</i> dalam campuran biomassa dengan batubara dapat meningkatkan keberagaman dalam campuran bahan bakar, yang dapat membantu mengoptimalkan proses pembakaran dan meningkatkan efisiensi.	1. <i>Mitragyna floridula</i> mengandung senyawa aktif seperti mitraginin, yang bisa menghasilkan residu dan mempengaruhi proses pembakaran. Senyawa-senyawa ini mungkin menyebabkan penumpukan kerak dan pengikisan pada peralatan boiler serta mempengaruhi efisiensi pembakaran. 2. Dapat memiliki kandungan kelembaban yang tinggi jika tidak dikeringkan dengan baik. Kelembaban yang tinggi dapat mengurangi nilai kalori bahan bakar dan menyebabkan pembakaran yang tidak efisien.
Kayu lamtaro	1. Pencampuran kayu lamtaro dengan batubara, PLTU dapat mendiversifikasi sumber energinya. Diversifikasi ini dapat mengurangi ketergantungan pada batubara dan memanfaatkan sumber energi terbarukan. 2. Pembakaran biomassa seperti kayu lamtaro umumnya dianggap karbon netral, karena CO₂ yang dilepaskan selama pembakaran berasal dari atmosfer yang diambil oleh pohon saat tumbuh. Ini dapat mengurangi jejak karbon dibandingkan dengan pembakaran batubara murni.	1. Dapat mengandung resin atau getah yang bisa mempengaruhi pembakaran. Resin ini dapat menyebabkan penumpukan dan kerak pada sistem pembakaran, serta mempengaruhi efisiensi dan umur peralatan. 2. Dapat menghasilkan jumlah abu yang signifikan setelah pembakaran. Abu ini bisa menyebabkan penumpukan kerak dan pengikisan pada peralatan boiler, serta mempengaruhi aliran udara dan bahan bakar di sistem pembakaran.
Sekam padi	1. Sekam padi mengandung unsur hara, seperti Kalsium (Ca) dan Kalium (K) yang lebih tinggi dibandingkan dengan batubara, yang dapat meningkatkan efisiensi proses pembakaran dan penangkapan sulfur dioksida (SO₂). 2. Pemanfaatan sekam padi sebagai bahan bakar berpotensi menurunkan emisi gas rumah kaca dan polutan lainnya, serta membantu dalam pengelolaan limbah pertanian	1. Mengandung kadar air yang relatif tinggi, yang dapat mengurangi nilai kalorinya dan mempengaruhi efisiensi pembakaran. Kadar air yang tinggi memerlukan proses pengeringan sebelum digunakan sebagai bahan bakar yang dapat menambah biaya dan waktu. 2. Kualitas sekam padi dapat bervariasi tergantung pada sumber dan metode

		pengolahan yang dapat mempengaruhi konsistensi dalam proses pembakaran dan emisi yang dihasilkan. 3. Sekam padi dapat memiliki kecenderungan untuk mengagregasi atau menggumpal selama proses pembakaran yang dapat mengganggu aliran dan efisiensi sistem pembakaran.
Serbuk kayu	1. Serbuk kayu memiliki kandungan karbon dan kalor yang tergolong tinggi, dengan demikian dapat dipakai sebagai bahan bakar yang efisien 2. Pemanfaatan serbuk kayu sebagai bahan bakar bisa berkontribusi dalam menekan emisi GRK, jika dibandingkan penggunaan batubara murni	1. Serbuk kayu memiliki kadar air yang tinggi yang dapat mengurangi efisiensi pembakaran dan nilai kalori dari bahan bakar 2. Serbuk kayu dapat memiliki kadar abu yang lebih tinggi yang dapat menyebabkan masalah dalam pengelolaan limbah dan mengurangi efisiensi pembakaran
Tongkol jagung	Tongkol jagung mengandung lignoselulosa, yang terdiri dari lignin, selulosa dan hemiselulosa, sehingga memiliki potensi untuk digunakan dalam berbagai aplikasi energi dan produk bioteknologi	1. Tongkol jagung mengandung kadar air yang lebih besar daripada batubara yang dapat mempengaruhi efisiensi pembakaran dan nilai kalori dari campuran bahan bakar 2. Tongkol jagung cenderung memiliki kadar abu yang lebih tinggi yang dapat menyebabkan masalah dalam pengelolaan limbah dan dapat mengurangi efisiensi pembakaran 3. Ketersediaan tongkol jagung sebagai bahan baku dapat terbatas tergantung pada musim panen dan lokasi geografis yang dapat mempengaruhi pasokan untuk pencampuran
Serbuk gergaji	1. Dapat mengurangi emisi karbon dioksida jika dibandingkan dengan pembakaran batubara murni. 2. Pencampuran serbuk gergaji dengan batubara memungkinkan diversifikasi sumber bahan bakar, yang dapat meningkatkan ketahanan pasokan energi dan mengurangi ketergantungan pada satu jenis bahan bakar.	Memiliki kandungan kelembaban yang cukup tinggi. Kelembaban yang berlebihan dapat mengurangi nilai kalori dan efisiensi pembakaran, serta menyebabkan masalah seperti penumpukan abu dan pengendapan di peralatan
Sisa bunga matahari	1. Dapat membantu mengurangi emisi polutan dan asap. Biomassa ini biasanya memiliki kandungan sulfur	1. Memerlukan pengelolaan dan penyimpanan yang tepat untuk menghindari masalah



	dan nitrogen yang lebih rendah dibandingkan dengan batubara, yang dapat mengurangi pembentukan sulfur dioksida (SO ₂) dan nitrogen oksida (NO _x) selama pembakaran	seperti kelembaban yang tinggi, yang dapat mempengaruhi kualitas biomassa dan proses pembakaran.
	2. Dapat mempengaruhi karakteristik pembakaran, membantu mengontrol suhu pembakaran dan mengurangi pembentukan abu.	2. Memiliki kandungan klorida dan logam tertentu yang dapat menyebabkan korosi atau kerusakan pada peralatan pembakaran dan sistem pipa
Cangkang kacang pinus	1. Biomassa seperti cangkang kacang mungkin lebih murah dibandingkan dengan batubara 2. Biomassa ini dapat mengurangi jumlah emisi karbon dioksida yang dihasilkan dibandingkan dengan pembakaran batubara murni.	1. Dapat menghasilkan jumlah abu yang lebih tinggi dibandingkan dengan batubara, yang dapat mengakibatkan penumpukan abu di dalam boiler 2. Kandungan senyawa tertentu dalam cangkang kacang dapat menyebabkan korosi pada peralatan pembakaran

KESIMPULAN

Metode co-firing dengan biomassa merupakan strategi efektif untuk mengurangi dampak lingkungan dari PLTU. Penelitian menunjukkan bahwa pencampuran biomassa dalam batubara dapat meminimalisir emisi GRC dan polutan lainnya. Rasio pencampuran yang optimal bervariasi tergantung pada jenis biomassa. Jerami padi dengan rasio 30% efektif dalam menurunkan emisi sebesar 25,13%, *M. floridilus* dengan rasio 25% biomassa dengan 75% batubara mengurangi emisi sekitar 65%, kayu lamtaro dengan rasio 15% batubara dan 85% kayu lamtaro mencapai emisi CO₂ rendah 1,02 kgCO₂/kwh dalam skema karbon netral, sekam padi dengan pencampuran 50% menurunkan emisi SO₂ secara signifikan, serbuk kayu dan tongkol jagung dengan rasio 50% batubara dengan 50% serbuk kayu menurunkan emisi sebesar 75% dan serbuk gergaji dengan cangkang kacang pada pencampuran 30% serbuk gergaji, 20% sekam padi, 30% sisa bunga matahari dan 50% cangkang kacang efektif untuk mengurangi NO_x dan SO₂. Dari pencampuran batubara dengan berbagai jenis biomassa dapat menurunkan emisi pada pembakaran di Pembangkit Listrik Tenaga Uap. Penggunaan biomassa dalam co-firing menawarkan solusi berkelanjutan dengan mengurangi ketergantungan pada batubara dan mengurangi emisi, serta mendukung pengembangan energi terbarukan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Saya mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada para dosen Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta atas kontribusi dan dukungan dalam penyusunan tulisan ini.

PUSTAKA

- Fink, A. (2019). *Conducting research literature reviews: From the internet to paper*. Sage publications.
- Huang, C. W., Li, Y. H., Xiao, K. L., & Lasek, J. (2019). Cofiring characteristics of coal blended with torrefied Miscanthus biochar optimized with three Taguchi indexes. *Energy*, 172, 566-579. <http://doi.org/10.1016/j.energy.2019.01.168>.
- Ilham, M. F., & Sinaga, N. (2022). Pengaruh Cofiring Menggunakan Serbuk Gergaji Terhadap Emisi Gas Buang di Pembangkit Listrik Tenaga Uap Batubara. *REM (Rekayasa Energi Manufaktur)*, 7(2). <http://doi.org/10.21070/rem.v7i2.1644>.
- Kommalapati, R. R., Hossan, I., Botlaguduru, V. S. V., Du, H., & Huque, Z. (2018). Life cycle environmental impact of biomass co-firing with coal at a power plant in the greater Houston area. *Sustainability*, 10(7), 2193. <https://doi.org/10.3390/su10072193>.
- Kong, G. T. (2013). Peran Biomassa bagi Energi Terbarukan. Elex Media Komputindo.
- Liu, L., Memon, M. Z., Xie, Y., Gao, S., Guo, Y., Dong, J., Ji, G. (2023). Recent Advances of Research in Coal and Biomass Co-firing for Electricity and Heat Generation. *Circular Economy*, 100063. <https://doi.org/10.1016/j.cec.2023.100063>.
- Liu, Q., Zhong, W., Yu, A., & Wang, C. H. (2022). Co-firing of coal and biomass under pressurized oxy-fuel combustion mode in a 10 kWth fluidized bed: Nitrogen and sulfur pollutants. *Chemical Engineering Journal*, 450, 138401.
- Liu, Q., Zhong, W., Yu, A., & Wang, C. H. (2022). Co-firing of coal and biomass under pressurized oxy-fuel combustion mode in a 10 kWth fluidized bed: Nitrogen and sulfur pollutants. *Chemical Engineering Journal*, 450, 138401. <https://doi.org/10.1016/j.cec.2022.138401>.
- Rahim, H., Istiqamah, N., & Prasetya, F. (2023, December). Efektivitas Penambahan Serbuk Kayu dan Tongkol Jagung untuk Mengurangi Penggunaan Batubara Sebagai Bahan Bakar. In *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri (SNTI)* (Vol. 10, No. 1, pp. 259-264).
- Restrepo, Á., & Bazzo, E. (2016). Co-firing: An exergoenvironmental analysis applied to power plants modified for burning coal and rice straw. *Renewable Energy*, 91, 107-119. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.01.048>.
- Ulhaq, I. D., Nurhadi, N., Sriyanti, S. (2021) Proses Pembakaran Menggunakan Co-Firing Sistem Fluidized Bed dengan Pencampuran antara Batubara dan Kayu Lamtoro sebagai Energi Baru Terbarukan untuk Bahan Bakar PLTU ABC. *Prosiding Teknik Pertambangan*, 7(1), 116-125.
- Winaya, S., Susila, I. N. D., Agung, I. B. (2010). Co-firing Sistem Fluidized Bed Berbahan Bakar Batubara dan Ampas Tebu. *Jurnal Energi dan Manufaktur*, 4(2), 180-188.