

Profil Temperatur Pembakaran *Co-firing* Batubara Dengan RDF Pada Insinerator CFB

Angga Prayoga Tarigan, I Nyoman Suprpta Winaya, dan I Putu Angga Yuda Pratama

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis profil temperatur pembakaran *co-firing* batu bara dan Refuse Derived Fuel (RDF) pada insinerator bertipe Circulating Fluidized Bed (CFB) dengan variasi kelebihan udara sebesar 0% (stoikiometri), 5%, 15%, dan 25%. Pengujian dilakukan menggunakan briket campuran MSW–batubara dengan bed material pasir silika, di mana temperatur pembakaran diukur menggunakan thermocouple tipe-K pada beberapa titik reaktor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan excess air menyebabkan penurunan temperatur puncak pembakaran, yang mengindikasikan menurunnya intensitas reaksi termal akibat peningkatan laju pendinginan oleh udara berlebih. Distribusi temperatur pada setiap variasi juga menunjukkan pola yang konsisten, dengan kenaikan temperatur hingga mencapai puncak, kemudian menurun setelah bahan bakar habis terbakar. Secara keseluruhan, penggunaan excess air berpengaruh signifikan terhadap profil temperatur dan dapat meningkatkan kualitas pembakaran melalui potensi penurunan emisi gas buang.

Kata kunci: *Co-firing*, CFB, RDF, Excess Air, Profil Temperatur

Abstract

This study aims to analyze the temperature profile of coal and Refuse Derived Fuel (RDF) *co-firing* in a Circulating Fluidized Bed (CFB) incinerator under excess air variations of 0% (stoichiometric), 5%, 15%, and 25%. The experiments were conducted using MSW–coal briquettes with silica sand as the bed material, while combustion temperatures were measured at several reactor points using Type-K thermocouples. The results indicate that increasing excess air leads to a decrease in peak combustion temperature, reflecting reduced thermal reaction intensity due to the enhanced cooling effect of increased airflow. The temperature distribution at each variation exhibits a consistent trend, in which temperatures rise to a peak during fuel combustion and gradually decrease afterward. Overall, excess air significantly influences the temperature profile and has the potential to improve combustion quality through reduced flue gas emissions.

Keywords: *Co-firing*, CFB, RDF, Excess Air, Temperature Profile

1. Pendahuluan

Energi sangat berperan penting dalam proses kehidupan sehari-hari manusia. Setiap tatanan masyarakat membutuhkan keberadaan energi mulai dari awal kita beraktivitas sampai kita selesai beraktivitas. Kebutuhan energi di masyarakat sebagai ujung tombak berbagai sektor kehidupan manusia seperti pertanian, pendidikan, kesehatan, transportasi, dan ekonomi. Seiring berjalannya waktu, jumlah penduduk Indonesia terus bertambah yang mungkin penggunaan energi meningkat juga [1].

Selain meningkatnya penggunaan energi sampah juga salah satu masalah yang belum bisa teratasi sampai saat ini. Berdasarkan data dari Dinas Kehutanan dan Lingkungan Hidup Indonesia, jumlah timbulan sampah dan jumlah sampah yang tidak terkelola dengan baik meningkat [2]. Pada tahun 2021 timbulan sampah di Bali mencapai 1.046.616,04 ton dan untuk sampah yang tidak terkelola dengan baik mencapai 263.410,17 ton (32,73%). Untuk tahun 2022 meningkat menjadi 1.085.508,16 ton dan sampah yang tidak terkelola dengan baik mencapai 190.726,42 ton (1,95%). Pada tahun 2023 timbulan sampah menjadi 1.229.234,65 ton dan sampah yang tidak terkelola dengan baik mencapai 295.658,91 ton (26,58%) yang

sebagian besar diantaranya adalah sampah organik. Untuk mengatasi hal ini, maka sampah tersebut dapat kita kelola menjadi energi alternatif yaitu biomassa. Biomassa adalah bahan organik yang berasal dari tumbuhan, hewan, atau mikroorganisme yang dapat digunakan sebagai sumber energi. Biomassa merupakan sumber energi terbarukan karena dapat diperbarui melalui proses alami seperti fotosintesis. Contoh biomassa termasuk kayu, limbah pertanian, alga, dan limbah organik lainnya. Biomassa dapat diubah menjadi energi melalui berbagai proses seperti pembakaran langsung, fermentasi, atau konversi termokimia.

MSW (*Municipal Solid Waste*) atau sampah perkotaan adalah salah satu bagian Biomassa karena berasal dari bahan organik. Pemanfaatan sampah perkotaan ini menjadi energi dapat dilakukan dengan teknologi RDF (*Refused Derived Fuel*). Shapouri mengatakan Teknologi RDF adalah teknologi yang mengolah sampah menjadi bahan bakar alternatif melalui proses penghancuran dan pengeringan [3]. MSW terdiri dari limbah organik dengan kandungan karbon tinggi, memiliki nilai kalor yang tinggi dan mengandung gas-gas berguna, menjadikannya sumber energi yang menjanjikan [4]. Biomassa dapat menghasilkan energi dengan cara

membakar sampah organik secara langsung, energi yang dihasilkan berasal dari perhitungan nilai kalornya, sehingga sampah tersebut harus memiliki nilai kalor minimum untuk dapat dikatakan sebagai bahan bakar alternatif. Namun dalam proses pembakaran diperlukan alat untuk mengontrol pembakaran sehingga tidak terjadi polusi terhadap lingkungan sekitar [5]. Salah satu teknologi yang saat ini berkembang untuk mengubah sampah perkotaan menjadi energi adalah insinerator.

Insinerator merupakan teknologi pengolahan sampah yang bekerja dengan membakar limbah padat. Proses ini mengubah material sampah menjadi energi panas, gas buang (*flue gas*), dan abu, yang selanjutnya dilepaskan ke lingkungan. Gas buang dari insinerator umumnya mengandung nitrogen, karbon dioksida, serta sulfur dioksida, yang masing-masing dapat dimanfaatkan secara optimal untuk berbagai keperluan. Salah satu keunggulan insinerator adalah kemampuannya mengurangi massa sampah organik hingga sekitar 80–85% dan menurunkan volumenya hingga 95–96%[6]. Dalam penggunaannya insinerator terbagi menjadi tiga jenis yang dibedakan berdasarkan jenis reaktornya yaitu *Bubbling Fluidized Bed Combustion* (BFBC), dan *Circulating Fluidized Bed Combustion* (CFBC)[7]. Untuk mendukung metode Insinerator ini digunakan juga metode *co-firing* yang sudah teruji dapat mengurangi emisi gas buang. *Co-firing* adalah teknologi pembakaran dengan dua jenis bahan bakar. Pembakaran RDF bersamaan dengan batubara dapat meningkatkan karakteristik pembakaran dan mencapai tujuan pengolahan sampah perkotaan. Selain itu, dibandingkan dengan pembakaran RDF saja, *co-firing* memiliki keuntungan dalam kemudahan implementasi dan RDF bahkan dapat dicampur langsung dengan batu bara tanpa perlu melakukan modifikasi yang berlebihan [8]. Selain itu teknologi *Co-firing* batubara dan biomassa dapat menyebabkan menurunnya emisi CO₂ dan jumlah polutan NO_x dan SO_x dari bahan bakar fosil [9].

Stoikiometri memungkinkan untuk menghitung kebutuhan udara untuk pembakaran sempurna dengan memperhitungkan sekitar 20% kelebihan udara [10]. Pada penelitian sebelumnya mempelajari pengaruh rasio udara berlebih terhadap emisi CO dan efisiensi pembakaran pada CFB skala pilot. Mereka melaporkan bahwa efisiensi pembakaran dapat ditingkatkan dengan meningkatkan udara berlebih untuk meningkatkan laju reaksi char dan mendorong oksidasi CO menjadi CO₂. Pada penelitian sebelumnya juga dilakukan pengujian pembakaran *Co-firing* menggunakan bahan bakar batu bara dan biomassa dengan variasi kelebihan udara sebesar 1,2-2,1% udara primer dan udara sekunder. Dari hasil penelitian tersebut mendapatkan hasil yaitu udara berlebih dan proporsi biomassa telah diteliti untuk emisi gas, efisiensi pembakaran, dan karakteristik abu. Ditetapkan bahwa peningkatan udara berlebih dapat mendorong pembakaran sempurna [11].

Berdasarkan uraian diatas, penulis ingin mengetahui hasil profil temperatur yang didapatkan pada pembakaran *co-firing* dengan campuran batu bara dan biomassa apabila meningkatkan variasi kelebihan udara sebesar 5%, 15%, 25% dan tanpa kelebihan udara untuk mendapatkan profil temperatur terbaik dari variasi tersebut dibandingkan dengan pembakaran sempurna (Stoikiometri).

Dalam hal ini maka ada beberapa permasalahan yang akan dikaji, yaitu tentang bagaimana nilai Kelebihan udara 5%, 15%, dan 25% berpengaruh terhadap profil temperatur pembakaran *Co-firing* dengan campuran batu bara dan biomassa dengan menggunakan pembakaran tipe *Circulating Fluidized Bed*

Penelitian ini dirancang untuk menganalisis profil temperatur pembakaran *co-firing* dengan campuran batu bara dengan biomassa dengan menggunakan pembakaran tipe *circulating fluidized bed* pada setiap variasi kelebihan udara

2. Dasar Teori

2.1 *co-firing*

Co-firing, juga disebut sebagai *co-combustion*, adalah proses membakar dua jenis bahan bakar yang berbeda dalam perangkat pembakaran yang sama, seperti ketel pembangkit uap. Secara umum, *co-firing* dapat diartikan sebagai pembakaran simultan dari dua material bahan bakar yang berbeda [12]. Pencampuran pembakaran batubara dengan biomassa (*co-firing*) dapat menurunkan emisi CO₂ serta mengurangi pembentukan polutan NO_x dan SO_x yang berasal dari bahan bakar fosil. [9].

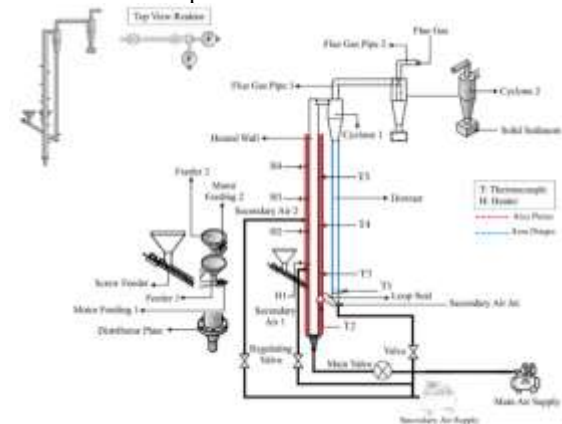
2.2 Insinerator *circulating fluidized bed*

Insinerator *fluidized bed* adalah jenis insinerator yang menggunakan teknologi fluidisasi untuk membakar limbah. Fluidisasi merupakan proses di mana suatu hamparan partikel padat diperlakukan layaknya fluida melalui aliran gas atau cairan. Pada kondisi terfluidisasi, gaya gravitasi yang bekerja pada partikel-partikel tersebut tertahan oleh gaya gesek fluida yang mengalir melewatinya. Bahan hamparan (*bed material*) yang umum digunakan untuk menyerap panas dalam sistem fluidisasi adalah pasir silika.

Pada *circulating fluidized bed*, kecepatan udara yang digunakan lebih tinggi dari 3.0 hingga 9.0 m/s dan partikel padat secara konstan dibawa keluar secara konstan dari pembakaran. Partikel yang terbawa dalam aliran udara dipisahkan dalam sebuah siklon eksternal dan hampir sepenuhnya dan hampir sepenuhnya dikembalikan ke dasar tangki reaktor. Partikel yang berukuran lebih kecil dari ukuran potong siklon seperti abu dibawa menuju boiler dan disaring kembali oleh penyaring debu yang ada [10].

3. Metode Penelitian

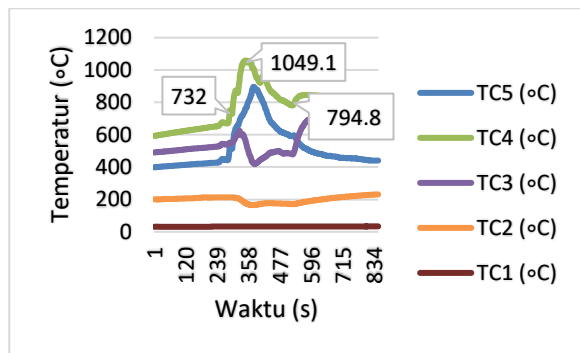
Dalam metode insinerasi direct *co-firing* briket MSW dan batubara menggunakan teknologi CFBC. (1) *Thermocouple* tipe-K berfungsi untuk mengukur temperatur dari reaktor. (2) Panel kontrol berfungsi untuk mengatur suhu pada reaktor. (3) Jalur masuk udara kompresor untuk mengaktifasi fluidisasi pada reaktor. (4) laju keluarnya gas buang yang akan diukur. (5) gas buang di filter terlebih dahulu. kemudian data gas buang dapat di analisa dengan *gas analyzer*. (6) *fuel feeder* berperan sebagai tempat untuk memasukkan bahan bakar dan bahan penelitian. (7) heater tambahan digunakan untuk memanaskan suhu operasi mencapai 700°C. (8) plat distributor berfungsi sebagai penyangga pasir silika dan berfungsi untuk membantu terjadinya fluidisasi. (9) ruang bakar merupakan dimana terjdinnya proses *co-firing* antara bahan bakar dengan RDF MSW berlangsung. (10) loop seal merupakan tempat terjadinya sirkulasi bahan bakar. (11) udara sekunder berfungsi untuk menyempurnakan pembakaran dan untuk mengantarkan bahan bakar ke reaktor pertama. (12) *loop seal* berfungsi untuk mengembalikan bahan bakar ke reaktor pertama.



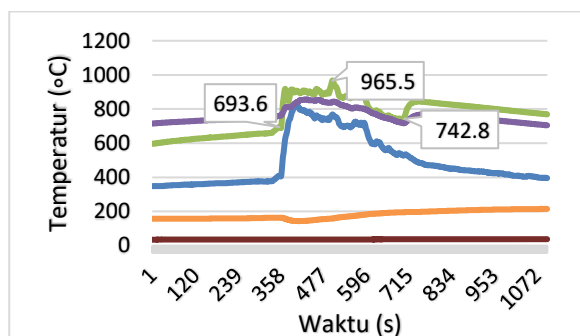
4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Distribusi temperatur

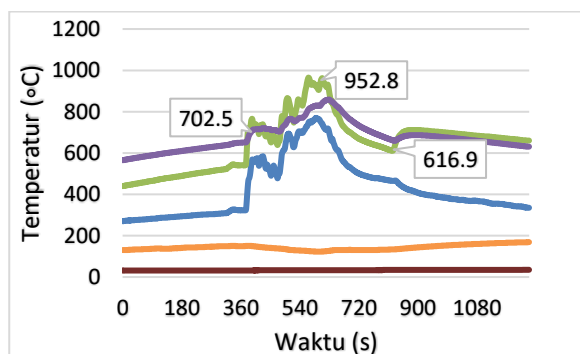
Dari hasil eksperimen yang telah dilakukan, maka didapatkan distribusi temperatur pada setiap variasinya



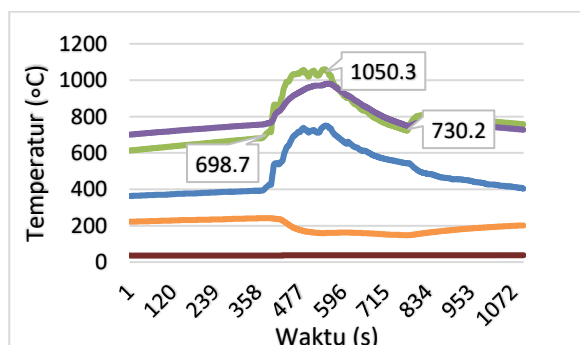
Gambar 1 Grafik Distribusi Temperatur *excess air* 5%



Gambar 2 Grafik Distribusi Temperatur *excess air* 15%



Gambar 3 Grafik Distribusi Temperatur *excess air* 25%



Gambar 4 Grafik Distribusi Temperatur Stoikiometri

Berdasarkan grafik pada gambar 1 hingga 4 menunjukkann profil distribusi temperatur ketika bahan bakar mulai terbakar sampai habis, hal ini

ditunjukkan dengan naiknya suhu reaktor yang mana pada *excess air* 0% menunjukkan nilai yang paling tinggi yaitu 1050,3°C. Hal ini dapat terjadi karena jumlah udara yang masuk sesuai dengan kebutuhan pembakaran dari bahan bakar, Namun fenomena yang berbeda terjadi pada *exces air* 25% yang menunjukkan penurunan nilai menjadi 952,8°C yang dimana hal ini terjadi karena jumlah udara yang masuk semakin banyak dan mendorong pengeluaran panas melalui gas buang, seperti yang dilakukan oleh penelitian sebelumnya [11].

5. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan pada pengaruh persentase *Excess air* pada *Co-firing* batu bara dan RDF, profil temperatur insinerator *circulating fluidized bed* dapat disimpulkan bahwa: *Excess air* dalam *co-firing* batu bara dan RDF sangat berpengaruh terhadap profil temperatur insinerator *fluidized bed*. Karena profil temperatur cenderung menurun pada setiap variasinya.

Daftar Pustaka

- [1] R. Ridlo Al-Hakim, 2020, *Model Energi Indonesia, Tinjauan Potensi Energi Terbarukan Untuk Ketahanan Energi Di Indonesia: Sebuah Ulasan*. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/344173861>
- [2] SIPSN, “Data Timbulan Sampah di Provinsi Bali.”
- [3] E. Mega Maulidayanti, M. Yuliani, M. Haqqiyuddin Robbani, E. Hambali, and D. Setyaningsih, 2024, *Evaluasi Produksi Refuse-Derived Fuel (RDF) dari Sampah Perkotaan (Studi Kasus: RDF Plant di Kabupaten Cilacap) Evaluating Refuse-Derived Fuel (RDF) Production from Municipal Solid Waste (Case Study: Cilacap Regency RDF Plant)*, vol. 25, no. 2, pp. 179–189.
- [4] I. W. Temaja *et al.* 2024, *Optimizing Syngas Production from Municipal Solid Waste Gasification: A Dual Reactor Fluidized Bed Study with Steam and CO₂ as Gasification Agents*, *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, vol. 123, no. 1, pp. 222–232, doi: 10.37934/arfmts.123.1.222232.
- [5] B. Martana *et al.*, 2017, *Perencanaan Dan Uji Performa Alat Pembakar Sampah Organik*.
- [6] A. Jasmine Rudend and J. Hermana, 2020, *Kajian Pembakaran Sampah Plastik Jenis Polipropilena (PP) Menggunakan Insinerator*.
- [7] S. De Gisi, A. Chiarelli, L. Tagliente, and M. Notarnicola, 2018 “*Energy, environmental and operation aspects of a SRF-fired fluidized bed waste-to-energy plant*,” *Waste Management*, vol. 73, pp. 271–286, Mar. 2018, doi: 10.1016/j.wasman..04.044.
- [8] Y. Jiang, L. Zhuo, X. Wu, Z. Zhang, X. Guo, and J. Fan, 2024, *Study on the interaction between inherent minerals of coal with refuse derived fuel (RDF) during co-firing*, *Carbon Resources Conversion*, vol. 7, no. 3, Sep. 2024, doi: 10.1016/j.crcon.2023.100208.
- [9] S. Winaya, I. B. Agung, and D. Susila, 2010, *Co-firing Sistem Fluidized Bed Berbahan Bakar Batubara dan Ampas Tebu*.
- [10] J. Van Caneghem *et al.*, 2012, *Fluidized bed waste incinerators: Design, operational and environmental issues*, Elsevier Ltd. doi: 10.1016/j.pecs.2012.03.001.
- [11] T. Unchaisri, S. Fukuda, A. Phongphiphat, S. Saetia, and B. Sajjakulnukit, 2019, *Experimental Study on Combustion Characteristics in a CFB during Co-firing of Coal with Biomass Pellets in Thailand*.
- [12] P. Adhitya *et al.*, 2024, *Pengaruh Co-firing Biomasa Kayu Kaliandra Dan Batu Bara Terhadap Performa Dan Emisi Gas Buang PLTU*, doi: 10.24127/trb.v13i2.3397.



Angga Prayoga Tarigan menyelesaikan studi sarjana di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Udayana, dari tahun 2021 hingga 2025, dengan fokus utama pada bidang konversi energi.

Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan renewable energy, khususnya produksi hidrogen yang kemudian ditekuni sebagai topik penelitian tugas akhir.