

Pengaruh Rasio RDF MSW Dan Batubara Terhadap Nilai *Net Plant Heat Rate* (NPHR) Pada Co-Firing Insinerator *Fluidized Bed*

Michael Wor Winner, I Nyoman Suprpta Winaya, Ketut Astawa, I Putu Angga Yuda Pratama

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Teknologi yang berkembang saat ini dengan memanfaatkan sampah sebagai bahan bakar alternatif campuran adalah teknologi *direct co-firing*. Salah satu teknologi yang sedang berkembang adalah insinerator *fluidized bed* dengan memanfaatkan *Refuse Derived Fuel* (RDF) sebagai bahan bakar alternatif. RDF adalah bahan bakar yang pada dasarnya terbuat dari sampah perkotaan yang telah diproses dengan nilai kalor yang cukup tinggi. Rasio pencampuran bahan bakar memiliki pengaruh terhadap kinerja hasil insinerator *fluidized bed*, maka dalam penelitian ini berfokus pada variasi rasio RDF terhadap batubara sebesar 5%, 10%, dan 15%. Melalui konversi fraksi massa didapati kebutuhan massa bahan bakar sebesar 140 gram, sehingga persentase RDF 5% terhadap batubara yaitu 7 gram RDF dan 133 gram batubara. Dalam penelitian ini temperatur insinerator dijaga stabil pada 850 °C dengan suplai heater yang terkontrol melalui panel kontrol dan menggunakan kecepatan *superficial* sebesar 9m/s untuk menjaga kualitas pembakaran. Hasil penelitian eksperimental ini menunjukkan penambahan RDF terlalu besar kedalam campuran bahan bakar akan mengakibatkan peningkatan nilai NPHR. Semakin besar nilai NPHR mengidentifikasi terjadinya penurunan performansi insinerator. Hal ini ditunjukkan oleh variasi 85% batubara + 15% RDF, dengan nilai *Net Plant Heat Rate* (NPHR) sebesar 935,2 kcal/kWh, dan lama pembakaran 940s.

Kata kunci: *Co-firing*, RDF MSW, *Fluidized Bed*, Insinerator, NPHR

Abstract

The technology that is currently developing by utilizing waste as a mixed alternative fuel is direct co-firing technology. One of the emerging technologies is the fluidized bed incinerator utilizing Refuse Derived Fuel (RDF) as an alternative fuel. RDF is a fuel that is basically made from processed municipal waste with a high calorific value. The fuel mixing ratio has an effect on the performance of the fluidized bed incinerator, so this study focuses on variations in the ratio of RDF to coal by 5%, 10%, and 15%. Through the mass fraction conversion process, it was determined that the fuel mass requirement was 140 grams to fill the fuel volume inside the reactor. Thus, the 5% RDF percentage resulted in a mass ratio of 7 grams RDF and 133 grams coal, following the predetermined percentage of RDF MSW in this study. In this study, the incinerator temperature was kept stable at 850 °C with a controlled heater supply through the control panel and used a superficial velocity of 9m/s to maintain combustion quality. The results of this experimental study show that adding too much RDF to the fuel mixture will result in an increase in the NPHR value. As the value of NPHR increases, this indicates the performance of the incinerator decreases. This is shown by the 85% coal + 15% RDF variation, with the Net Plant Heat Rate (NPHR) value of 935.2 kcal/kWh, and burning time 940s.

Keywords: *Co-firing*, RDF MSW, *Fluidized Bed*, Incinerator, NPHR

1. Pendahuluan

Permasalahan sampah di Indonesia sering dibahas untuk dieksplorasi potensi pemanfaatan atau penggunaan kembali sebagai sumber energi yang terbarukan. Dewasa ini, jumlah volume timbunan sampah akan terus meningkat seiring dengan meningkatnya pertumbuhan penduduk, urbanisasi, industrialisasi, serta pembangunan ekonomi. Bila laju timbunan sampah terus meningkat dan tidak diikuti dengan sarana dan infrastruktur persampahan yang memadai, ini akan menghasilkan timbunan sampah yang tidak terkelola dan mencemari lingkungan [1]. Data dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) menunjukkan bahwa Indonesia

menghasilkan volume sampah 68,5 juta ton pada tahun 2021 dengan sisa 24% atau sekitar 16 juta ton sampah yang tidak terkelola (DPR RI, 2022).

Salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan sampah yaitu dengan teknologi *Waste to Energy* (WTE). Sampah perkotaan baik berupa *organic* maupun *non-organic* diolah menjadi bahan bakar padat alternatif atau disebut dengan *Refuse Derived Fuel Municipal Solid Waste* (RDF MSW) dengan nilai kalor cukup tinggi. Dengan penggunaan RDF MSW sebagai bahan bakar alternatif dapat memberikan kontribusi positif dalam usaha mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil serta menjaga keberlanjutan ekosistem lingkungan

dengan mengurangi volume sampah dan emisi gas rumah kaca [2].

Tujuan dari penelitian ini ialah untuk menganalisis pengaruh dari variasi rasio RDF terhadap performansi *co-firing* menggunakan insinerator *fluidized bed*. Untuk mencapai hasil yang diinginkan dari luasnya permasalahan yang ada, maka diperlukan adanya pembatasan masalah, antara lain:

- Variasi rasio RDF terhadap batubara sebesar 5%, 10%, dan 15%.
- *Bed* material yang digunakan adalah pasir silika dengan ukuran partikel 0,5 – 0,8 mm.
- Uji penelitian ini meliputi perhitungan nilai *Net Plant Heat Rate* (NPHR).

2. Dasar Teori

Sampah adalah material sisa yang tidak memiliki kegunaan atau nilai lagi dan dibuang berbentuk padat, cair, maupun gas. Sampah terbagi dua menjadi sampah organik dan anorganik yang berasal dari hewan, manusia, serta tumbuhan. Sampah organik merupakan material sisa yang berasal dari makhluk hidup seperti sampah kayu, daun kering, sisa makanan dan sejenisnya. Sedangkan sampah anorganik merupakan yang tidak berasal dari makhluk hidup seperti plastik jajanan, kaleng, gelas, botol minuman dan sejenisnya. Sampah akan selalu menjadi bagian dalam kehidupan manusia, namun jika tidak ditangani dengan baik, sampah dapat memberikan dampak negatif bagi kesehatan dan lingkungan.

RDF MSW adalah hasil pemisahan fraksi sampah yang mudah terbakar dan tidak mudah terbakar, seperti kaca dan logam, dari sampah padat perkotaan. Dengan teknologi RDF dapat mengurangi jumlah volume timbunan sampah dan sebagai bahan bakar padat alternatif dalam industri pembangkit listrik dan industri semen. Dalam pembuatannya, fraksi sampah yang telah melalui proses pemisahan dilakukan penghancuran untuk mereduksi ukurannya kemudian dikeringkan [3]. RDF MSW memiliki keunggulan dengan nilai kalorinya yang cukup tinggi dan stabil, komposisi kimia dan ukuran yang seragam, mudah disimpan, ditangani dan diangkut, serta menghasilkan emisi polutan yang rendah.

Pembakaran bersama RDF MSW dan batubara dengan konsentrasi tertentu disebut metode *co-firing*. Teknologi *direct co-firing* digunakan karena relatif lebih murah sebab tidak ada biaya investasi untuk peralatan khusus yang dibutuhkan dibandingkan metode *co-firing* lainnya. Dengan *direct co-firing* batubara dan biomassa dapat membantu menurunkan emisi CO₂ dan jumlah polutan NO_x dan SO_x dari bahan bakar fosil [4].

Pembakaran *direct co-firing* dilakukapan pada unit insinerator *fluidized bed*. Insinerator jenis ini telah digunakan secara luas untuk berbagai jenis limbah, termasuk sampah kota dan limbah lumpur. Reaktor fluidisasi dapat meningkatkan penyebaran sampah yang masuk sekaligus memberikan proses pemanasan yang relatif cepat hingga mencapai suhu penyalaan

dan meningkatkan waktu kontak yang cukup dan kondisi fusi yang menguntungkan dalam proses pembakaran. Dalam kondisi normal pembakaran terjadi dengan sendirinya, kemudian sampah dihancurkan dengan waktu yang cukup cepat, mengering, dan terbakar dalam hamparan pasir yang ada.

Pada *bubbling fluidized bed*, pada tahap awal hamparan solid berada di posisi bawah insinerator, lalu diperlakukan seperti fluida oleh udara yang masuk dari inlet udara primer. Untuk aplikasinya, distribusi bahan bakar harus diperhatikan dengan hati-hati untuk menghindari *carry-over* yang berlebihan dari partikel halus sebelum terbakar sepenuhnya atau tersegregasi dengan baik. *Bubbling fluidized bed* baik digunakan untuk batubara, biomassa dan limbah padat plastik. Partikel yang dikumpulkan dalam siklon primer *bubbling fluidized bed* biasanya dikembalikan ke hamparan untuk mencapai tingkat pembakaran yang tinggi [5].

3. Metode Penelitian

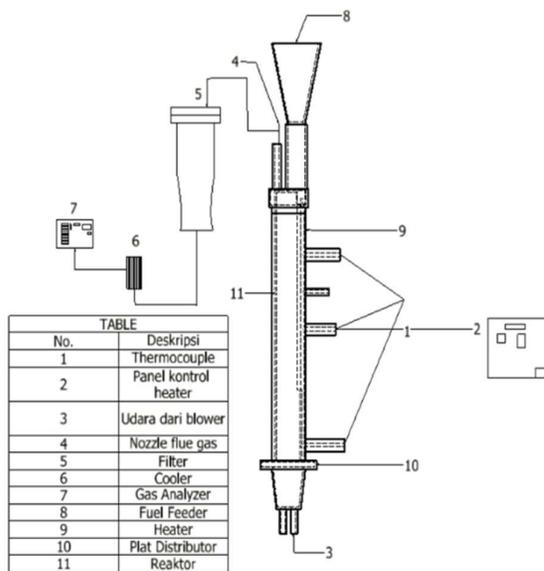
3.1. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Reaktor
2. *Heater*
3. *Thermocouple*
4. *Data logger*
5. *Gas analyzer*
6. Plat distributor
7. Isolator *glasswool*
8. Kompresor
9. Kontrol Panel
10. Anemometer
11. Timbangan
12. Batubara
13. RDF MSW
14. *Bed* material (pasir silika).

3.2. Skematik dan Digram Alir Penelitian

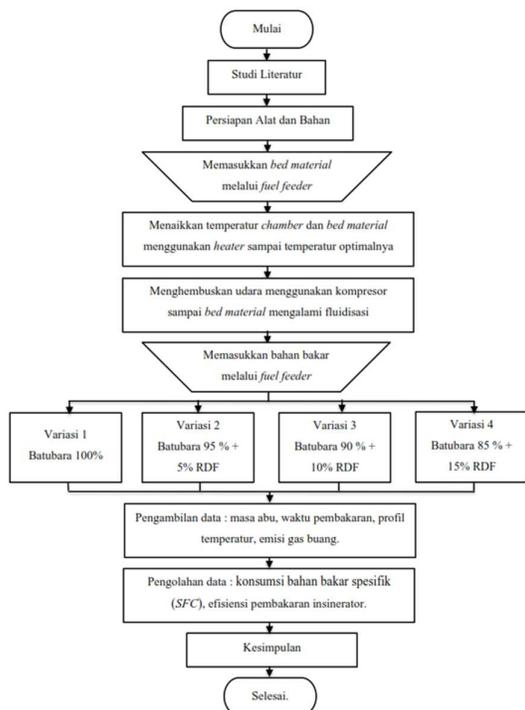
Pelaksanaan penelitian dilakukan pada unit insinerator dalam skala laboratorium. Unit insinerator beserta alat ukur yang digunakan didesain dalam sebuah gambar diagram skematik yang terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skematik Alat

3.3. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan bertempat di laboratorium *New Renewable - Conservation of Energy (NRCE)* dengan langkah penelitian yang dapat dilihat pada diagram alir pelaksanaan penelitian pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian

3.4. Pelaksanaan Penelitian

Proses insinerasi RDF MSW dan batubara dilakukan dengan teknologi insinerator *fluidized bed*. Bahan bakar yang digunakan ialah campuran batubara

dan RDF MSW yang telah mengalami perlakuan berupa proses penghancuran dan pengayakan (Gambar 3) untuk mencapai ukuran yang homogen sebesar 0,5 – 1 mm. Pengkonversian energi dilakukan pada reaktor dengan sumber panas secara eksternal menggunakan *heater* dan terdapat plat distributor pada dasar reaktor. Setelah alat dan bahan penelitian disiapkan dalam kondisi siap pakai, masukkan bahan *bed* material berupa pasir silika ke dalam reaktor. Panaskan reaktor menggunakan alat bantu *heater* hingga mencapai temperatur operasi 850 °C. Setelah temperatur operasi tercapai, variasi bahan bakar batubara dan RDF MSW dimasukkan ke dalam reaktor, kemudian dialirkan udara menggunakan kompresor dengan kecepatan *superficial* 9m/s yang dijaga konstan dan di *setting* menggunakan anemometer sehingga terjadi proses pembakaran. Selama terjadinya proses pembakaran dilakukan pengambilan data melalui alat gas analyzer. Gas sisa pembakaran di buang ke udara bebas setelah melalui filtrasi dan penurunan temperatur menggunakan *cooling box*.



Gambar 3. Proses penghancuran dan pengayakan batubara.

3.5. Parameter performansi (NPHR)

Uji heat rate atau disebut juga *Net Plant Heat Rate (NPHR)* adalah pengujian nilai termal yang dilakukan dengan tujuan mengetahui besaran input energi dari bahan bakar yang digunakan untuk menghasilkan 1kWh daya. NPHR didefinisikan juga sebagai perbandingan antara jumlah energi panas masuk terhadap daya yang dihasilkan. Perhitungan NPHR dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$NPHR = \frac{Q_{in}}{P} \quad (1)$$

$$NPHR = \text{Net Plant Heat Rate (kcal/kWh)}$$

$$Q_{in} = \text{Energi yang masuk (kcal)}$$

$$P = \text{Daya yang dihasilkan (kWh)}$$

4 Hasil dan Pembahasan

4.1 Karakterisasi Bahan Bakar

Karakterisasi bahan bakar diperlukan guna menganalisis kandungan bahan yang digunakan sebelum dan sesudah dilakukan penelitian. Karakterisasi bahan bakar melalui pengujian uji *proximate* dilakukan menggunakan alat

Termogravimetri Analyst 701 dengan metode ASTM-D-7582 MVA BIOMA.

Tabel 1. Hasil Uji Proximate Bahan Bakar

Bahan Bakar	Kadar Air (%)	Bahan Menguap (%)	Karbon Tetap (%)	Abu (%)
100 % Batubara	19,29	36,56	37,38	6,77
95% Batubara + 5% RDF	18,62	39,53	36,21	5,64
90% Batubara + 10% RDF	18,02	40,35	35,61	6,02
85% Batubara + 15% RDF	17,93	43,13	33,79	5,15

4.2 Karakterisasi Nilai Kalor Bahan Bakar

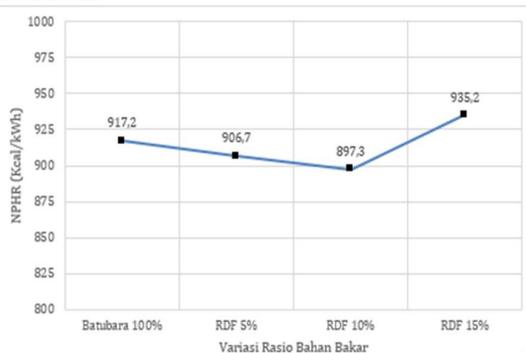
Karakterisasi nilai kalor dilakukan untuk menganalisis jumlah energi panas yang terlepas untuk tiap satuan massa bahan bakar. Dilakukan pengukuran nilai kalor dengan alat Parr 1341 Oxygen Bomb Calorimeter menggunakan standar ASTM *Standard Test Method D5865*. Berikut adalah hasil pengujian nilai kalor dari bahan bakar.

Tabel 2. Analisis Nilai Kalor Bahan Bakar

Bahan Bakar	Massa (gram)	Nilai Kalor Sampel Bahan Bakar			
		Temperatur		Nilai Kalor	
		T ₁	T ₂	(Cal/gr)	(Mj/Kg)
Batubara 100%	140	27,69	30,47	4817,44	20,156
95% Batubara + 5% RDF	140	26,54	29,40	4788,11	20,033
90% Batubara + 10% RDF	140	27,47	30,03	4658,91	19,492
85% Batubara + 15% RDF	140	26,82	29,40	4605,38	19,268

4.3 NPHR

Perhitungan NPHR dilakukan untuk mengetahui besarnya input energi kalor bahan bakar digunakan untuk menghasilkan satuan daya. Adapun hasil dari perhitungan NPHR yang dilakukan tiap variasi menunjukkan nilai NPHR pada variasi 5% RDF, 10% RDF, dan 15% RDF; secara berurutan adalah 901,53 kcal/kWh, 897,31 kcal/kWh, dan 935,24 kcal/kWh.



Gambar 4 Grafik NPHR Tiap Variasi

Berdasarkan gambar 5 nilai NPHR terendah didapatkan pada variasi III yaitu 90% batubara dan

10% RDF yang memiliki nilai NPHR sebesar 897,3 kcal/kWh. Dengan penambahan RDF semakin banyak hingga persentase 10% kedalam campuran bahan bakar mengakibatkan penurunan nilai NPHR. Semakin kecil nilai NPHR maka semakin tinggi efisiensi pembakaran yang terjadi.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dengan tujuan menganalisis pengaruh variasi persentase RDF terhadap performansi *direct co-firing* menggunakan insinerator *fluidized bed*, maka diperoleh kesimpulan bahwa:

- Rasio RDF MSW dan batubara sangat berpengaruh terhadap performansi insinerator *fluidized bed*. Semakin besar rasio RDF terhadap batubara mengakibatkan terjadinya peningkatan nilai NPHR pada insinerator *fluidized bed*. Hal ini ditunjukkan oleh variasi 85% batubara + 15% RDF, dengan nilai *Net Plant Heat Rate* (NPHR) sebesar 935,24 kcal/kWh, lama pembakaran 940s.

Daftar Pustaka

- [1] Artiningrum, T., 2017, Potensi Emisi Metana (Ch 4) Dari Timbulan Sampah Kota Bandung, Geoplanart, vol. 1, no. 1, pp. 36–44.
- [2] Atmika I.G.N.A. and Suryawan G.P., 2022, Pengelolaan Limbah Banten sebagai Sumber Energi Terbarukan dengan Teknologi RDF Berkualitas Tinggi, Jurnal Bakti Saraswati, vol. 11, no. 2, pp. 97–106.
- [3] Rania M.F. *et al.*, 2019, Analisis Potensi *Refuse Derived Fuel* (RDF) Dari Sampah Pada Tempat Pembuangan Akhir (Tpa) Di Kabupaten Tegal Sebagai Bahan Bakar Incinerator Pirolisis, Sintek Jurnal: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, vol. 13, no. 1, pp. 51, doi: 10.24853/sintek.13.1.51-59.
- [4] Winaya I N.S., and Susila I.B.A.D., 2010, Co-Firing Sistem *Fluidized Bed* Berbahan Bakar Batubara dan Ampas Tebu, Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, vol. 4, no. 2, pp. 180–188.
- [5] J. Van Caneghem *et al.*, 2012, *Fluidized bed waste incinerators: Design, operational and environmental issues*, *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 38, no. 4, pp. 551–582, doi: 10.1016/j.pecs.2012.03.001.

	<p>Michael Wor Winner menyelesaikan program sarjana di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana pada tahun 2024.</p>
<p>Judul tugas akhir Pengaruh Rasio RDF MSW Dan Batubara Terhadap Performansi <i>Direct Co-firing</i> Pada Insinerator <i>Fluidized Bed</i>.</p>	

	<p>Prof. I Nyoman Suprapta Winaya, S.T., MA.Sc., Ph.D. menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana pada tahun 1994, S2 di Dalhousie University pada tahun 2000, dan S3 di Niigata University pada tahun 2008. Prof. I Nyoman Suprapta Winaya, S.T., MA.Sc., Ph.D., memiliki konsentrasi ilmu dalam bidang konversi energi.</p>
---	--

	<p>Ketut Astawa, S.T., M.T., menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana, S2 di Universitas Brawijaya pada tahun 2006. Ketut Astawa, S.T., M.T., memiliki konsentrasi ilmu dalam bidang konversi energi.</p>
--	--

	<p>I Putu Angga Yuda Pratama, S.T., M.T., menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana pada tahun 2019 dan S2 di Universitas Udayana pada tahun 2021. I Putu Angga Yuda Pratama, S.T., M.T., memiliki konsentrasi ilmu dalam bidang konversi energi.</p>
---	---