

ANALISIS KINERJA NILAI KALOR REFUSE DERIVED FUEL (RDF) DALAM PERSENTASE PENGURANGAN BATU BARA PADA INDUSTRI SEMEN. (STUDI KASUS DI PT. SINAR TAMBANG ARTHALESTARI)

Muhammad Maulana Akbar Rahmadtullah¹⁾ ✉, Mastur²⁾

^{1,2)} Jurusan Teknik Mesin,
Sekolah Tinggi Teknik Wiworotomo
Purwokerto
Rejasari, Kec. Purwokerto Barat.,
Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah,
Indonesia 53134

Abstract

The utilization of Refuse Derived Fuel (RDF) as an alternative fuel in the cement industry aims to reduce dependence on coal and support environmental sustainability efforts. This study analyzes the performance of RDF's calorific value and its potential contribution to coal reduction, with a case study conducted at PT. Sinar Tambang Arthalestari. The research employed an experimental quantitative method using a bomb calorimeter to measure the calorific value, moisture content, and carbon content of both RDF and coal samples. The RDF used consisted of three types RDF A, RDF B, and RDF C derived from plastic-based waste materials. The results showed that the calorific value of coal was 4808 kJ/kg, while RDF A, RDF B, and RDF C had calorific values of 4131 kJ/kg, 3998 kJ/kg, and 4615 kJ/kg, respectively. Although RDF generally has a lower calorific value than coal, RDF C demonstrated performance closest to coal. In terms of substitution, RDF A, B, and C could reduce coal consumption by 3.719%, 3.689%, and 4.234%, respectively. Factors affecting the calorific value included moisture content (RDF: 36.93%–40.81%; coal: 26.91%) and carbon content (RDF: 2.57%–4.49%; coal: 6.48%). The findings indicate that the higher moisture content in RDF reduces combustion efficiency, while its lower carbon content potentially lowers CO₂ emissions. Overall, the implementation of RDF in cement production provides environmental and economic benefits by reducing coal dependency, optimizing fuel costs, and enhancing waste-to-energy management.

Keywords: Refuse Derived Fuel (RDF), calorific value, moisture content, ash content.

1. PENDAHULUAN

Industri semen merupakan salah satu sektor dengan konsumsi energi yang sangat besar sekaligus penyumbang emisi CO₂ terbesar dari sektor industri (Adelia, F., P., A., & T., 2014). Proses produksi semen, khususnya pada tahap pembakaran klinker, secara tradisional bergantung pada batu bara sebagai bahan bakar utama. Ketergantungan ini menimbulkan tantangan serius dalam konteks keberlanjutan dan mitigasi perubahan iklim global. Oleh karena itu, upaya mencari bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan dan efisien menjadi semakin mendesak.

Salah satu opsi yang berkembang adalah pemanfaatan *Refuse Derived Fuel* (RDF), yaitu bahan bakar padat hasil pengolahan sampah non-organik seperti plastik, kertas, dan tekstil (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, Kementerian PPN/Bappenas, 2023). RDF tidak hanya berpotensi mengurangi emisi polutan, tetapi juga mengurangi volume sampah yang masuk ke TPA. Dengan demikian, RDF mendukung konsep ekonomi sirkular dengan mengubah limbah menjadi sumber daya energi yang bernilai.

Manfaat lingkungan dari RDF cukup signifikan, meliputi penurunan emisi CO₂, SO_x, dan NO_x dibandingkan dengan batu bara (Novita & Damanhuri, 2010). Dari sisi ekonomi, RDF seringkali lebih murah karena berbahan dasar limbah, sehingga dapat menekan biaya operasional industri semen dan sekaligus mengurangi beban pengelolaan sampah bagi pemerintah daerah (Rania, Lesmana, & Maulana, 2019). Namun, implementasi RDF menghadapi kendala teknis, terutama terkait variasi kualitas bahan baku yang memengaruhi kadar air, kadar karbon, dan nilai kalor.

Rumusan masalah penelitian ini dapat dijabarkan dalam beberapa pertanyaan utama: (1) bagaimana nilai kalor RDF dibandingkan dengan batu bara? (2) sejauh mana RDF dapat mengurangi konsumsi batu bara di industri semen? (3) bagaimana efisiensi biaya penggunaan RDF? dan (4) faktor-faktor apa saja yang memengaruhi nilai kalor RDF?

Secara ilmiah, relevansi penelitian ini terletak pada upaya menjawab research gap terkait performa termal RDF dalam skala industri semen di Indonesia. Studi sebelumnya menunjukkan potensi RDF dalam menurunkan emisi karbon hingga 30% (Suhendi, Heriyanto, Jundika, & Rizkiantika, 2023), tetapi masih sedikit kajian yang mengukur kontribusinya secara langsung terhadap konsumsi batu bara dalam konteks pabrik semen lokal. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berkontribusi pada pengembangan ilmu energi alternatif, tetapi juga memberikan masukan praktis bagi industri semen dalam merancang strategi substitusi energi yang lebih efisien.

2. METODE DAN BAHAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode studi kasus eksperimental. Fokus penelitian adalah analisis kinerja Refuse Derived Fuel (RDF) sebagai substitusi parsial batu bara pada industri semen dengan studi kasus di PT Sinar Tambang Arthalestari. Penelitian dilakukan secara langsung di laboratorium melalui serangkaian pengujian fisik untuk memperoleh data nilai kalor, kadar air, dan kadar karbon, serta perhitungan persentase pengurangan konsumsi batu bara.



Gambar 1. Proses Uji, Proses memasukan sample kedalam Furnes (kiri) dan Proses memasukan Baki Tray kedalam Oven 105°C (kanan).

2.1. Metode Penelitian

1. Pembuatan Sampel

Tahapan awal penelitian ini adalah pembuatan sampel. Material Refuse Derived Fuel (RDF) dan batu bara diambil dari tempat penyimpanan PT. Sinar Tambang Arthalestari. Setiap sampel disimpan di dalam wadah yang bersih dan kedap udara untuk mencegah kontaminasi serta menjaga kestabilan kadar air. Selanjutnya, dilakukan proses penimbangan menggunakan timbangan analitik digital untuk memperoleh massa awal

masing-masing sampel. Data hasil penimbangan dicatat secara teliti sebagai acuan pada tahap pengujian berikutnya.

2. Uji Nilai Kalor (Calorific Value Test)

Uji nilai kalor dilakukan untuk mengetahui besarnya energi panas yang dihasilkan dari pembakaran RDF dan batu bara. Sampel dimasukkan ke dalam ruang pembakaran pada alat bomb kalorimeter, kemudian dilakukan penyegelan bomb vessel agar tertutup rapat dan kedap udara. Setelah itu, bomb vessel dimasukkan ke dalam alat kalorimeter dan disambungkan ke sumber listrik untuk memicu pembakaran. Proses pembakaran berlangsung di ruang tertutup hingga energi panas sepenuhnya dilepaskan. Nilai kalor yang dihasilkan kemudian dibaca dan dicatat dari tampilan monitor alat dalam satuan kilojoule per kilogram (kJ/kg).

3. Uji Kadar Air (Moisture Content Test)

Uji kadar air bertujuan untuk mengetahui persentase air yang terkandung di dalam sampel RDF dan batu bara. Pertama, sampel ditimbang untuk mendapatkan massa awal (a), kemudian dimasukkan ke dalam oven bersuhu 105°C dan dipanaskan hingga beratnya stabil. Setelah proses pengeringan selesai, sampel ditimbang kembali untuk memperoleh massa akhir (b). Selisih antara massa awal dan massa akhir menunjukkan jumlah air yang menguap selama proses pengeringan. Nilai kadar air dihitung menggunakan rumus:

$$MC = \frac{a - b}{b} \times 100\%$$

4. Uji Kadar Karbon (Carbon Content Test)

Uji kadar karbon dilakukan untuk menentukan jumlah karbon yang terkandung dalam RDF dan batu bara. Sampel terlebih dahulu ditimbang untuk mendapatkan massa awal (d), kemudian dipanaskan di dalam furnace pada suhu 750°C untuk membakar seluruh komponen organik hingga tersisa abu. Setelah pembakaran selesai, residu abu ditimbang untuk mendapatkan massa akhir (e). Perbedaan antara massa awal dan massa akhir menunjukkan kandungan karbon yang terbakar. Nilai kadar karbon dihitung menggunakan rumus:

$$AC = \frac{d - e}{d} \times 100\%$$

2.2. Bahan Penelitian

Bahan penelitian terdiri dari sampel RDF dan batu bara yang diperoleh dari PT Sinar Tambang Arthalestari. Tiga jenis RDF digunakan dalam penelitian ini, yaitu RDF A, RDF B, dan RDF C, yang masing-masing berasal dari pengolahan limbah plastik. Batu bara dipilih sebagai bahan pembanding karena merupakan bahan bakar utama yang lazim digunakan dalam industri semen.

Kriteria pemilihan bahan didasarkan pada representasi bahan bakar yang tersedia dan digunakan secara nyata dalam proses produksi semen. Dengan demikian, hasil penelitian diharapkan memberikan relevansi praktis bagi implementasi substitusi energi di lapangan. Setiap bahan ditimbang sesuai kebutuhan percobaan agar pengujian dapat dilakukan dengan perbandingan yang setara.

Selanjutnya, sampel RDF dan batu bara disiapkan dalam bentuk serbuk halus untuk memudahkan proses uji laboratorium. Perlakuan awal ini dilakukan untuk memastikan homogenitas sampel sehingga hasil pengujian dapat lebih akurat. Semua bahan diuji lebih dari satu kali guna meminimalkan kesalahan pengukuran dan meningkatkan validitas data yang diperoleh.

Table 1. Tabel Pengisian data pengujian Kadar Air dan Kadar Karbon

No	Bahan	Hasil
----	-------	-------

		Pengujian ke :	Kadar Air		Kadar Karbon	
			Massa sebelum Pemanasan 105°C (gr)	Massa Setelah Pemanasan 105°C (gr)	Massa sebelum Pemanasan 750°C (gr)	Massa Setelah Pemanasan 750°C (gr)
1	RDF A	1				
		2				
		3				
2	RDF B	1				
		2				
		3				
3	RDF C	1				
		2				
		3				

Table 2. Tabel Hasil Nilai Kalor, Kadar Air, dan Kadar Karbon

No	Bahan	Pengujian ke :	Hasil		
			Nilai Kalor (Q) (J/gram)	Kadar Air (MC) (%)	Kadar Karbon (AC) (%)
1	Batu Bara	1			
2	RDF A	1			
		2			
		3			
3	RDF A	1			
		2			
		3			
4	RDF C	1			
		2			
		3			

2.3. Instalasi Penelitian

Pengujian dilakukan di laboratorium menggunakan beberapa peralatan utama, yaitu kalorimeter bom untuk uji nilai kalor, oven pemanas bersuhu 105°C untuk uji kadar air, dan furnace bersuhu 750°C untuk uji kadar karbon. Seluruh peralatan dipilih karena mampu memberikan hasil pengukuran yang presisi dan sesuai dengan parameter penelitian.

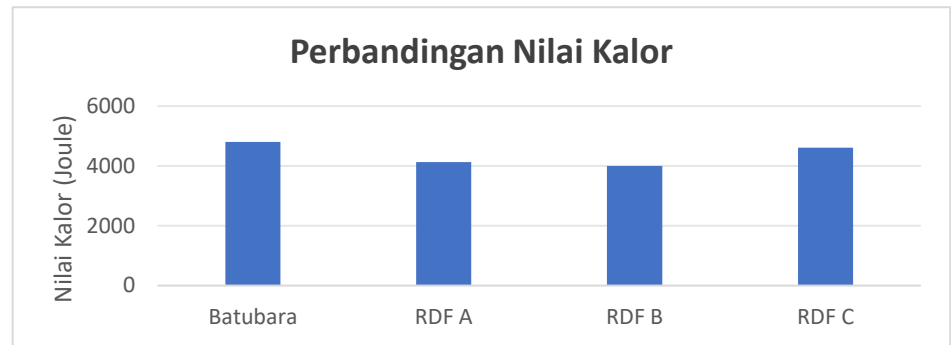
Proses pengumpulan data dilakukan secara sistematis. Pertama, sampel RDF dan batu bara ditimbang, kemudian dimasukkan ke dalam alat uji sesuai dengan prosedur. Setelah pengujian selesai, hasil yang diperoleh berupa data nilai kalor, kadar air, dan kadar karbon dicatat dalam tabel pengamatan. Setiap jenis sampel diuji berulang kali untuk memastikan konsistensi hasil.

Data yang terkumpul dianalisis menggunakan metode deskriptif kuantitatif. Hasil nilai kalor RDF dibandingkan dengan batu bara, kemudian dihitung persentase pengurangan konsumsi batu bara berdasarkan substitusi energi yang dihasilkan RDF. Selain itu, dilakukan analisis sederhana terkait efisiensi biaya bahan bakar. Dengan demikian, metode ini memberikan gambaran nyata tentang kinerja RDF sebagai alternatif bahan bakar pada industri semen.

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Nilai Kalor RDF dan Batu Bara

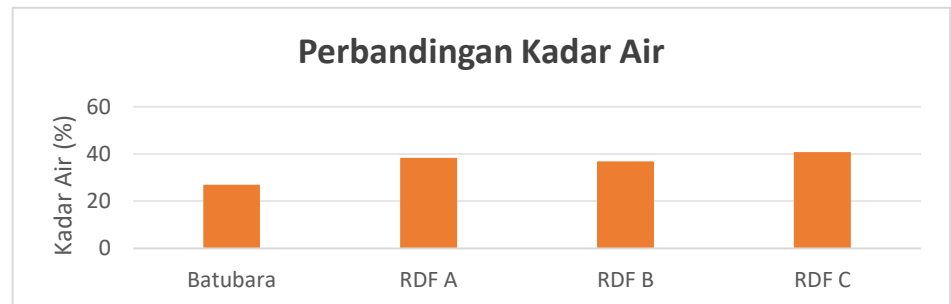
Hasil pengujian menunjukkan bahwa batu bara memiliki nilai kalor sebesar 4808 kJ/kg, sedangkan RDF A, B, dan C masing-masing sebesar 4131 kJ/kg, 3998 kJ/kg, dan 4615 kJ/kg. Secara umum, nilai kalor RDF lebih rendah dibandingkan batu bara, namun RDF C mendekati karakteristik energi batu bara. Temuan ini menegaskan bahwa kualitas RDF sangat dipengaruhi oleh komposisi bahan baku dan berimplikasi pada jumlah massa yang dibutuhkan untuk menghasilkan energi setara.



Gambar 2. Grafik Perbandingan Nilai Kalor

3.2 Kadar Air dan Efisiensi Pembakaran

RDF memiliki kadar air yang relatif tinggi, yaitu 36,93–40,81%, dibandingkan batu bara sebesar 26,91%. Tingginya kadar air menyebabkan sebagian energi terbuang untuk proses penguapan, sehingga menurunkan efisiensi pembakaran. Dari perspektif akademik, hal ini menunjukkan bahwa keberhasilan substitusi RDF tidak hanya ditentukan oleh nilai kalor, tetapi juga oleh kualitas pra-pengolahan untuk menurunkan kadar air.

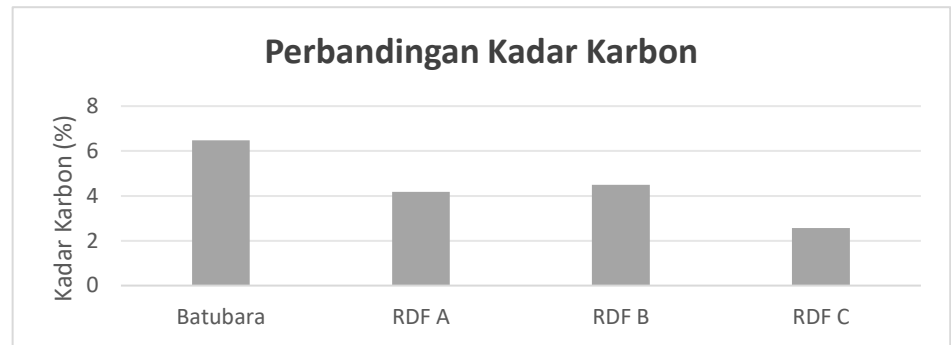


Gambar 3. Perbandingan Kadar Air

3.3 Kadar Karbon dan Potensi Lingkungan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kadar karbon batu bara mencapai 6,48%, sedangkan RDF berkisar antara 2,57–4,49%. Rendahnya kadar karbon ini mengindikasikan potensi penurunan emisi CO₂, sehingga RDF dapat dianggap sebagai bahan bakar alternatif yang lebih ramah lingkungan. Kandungan karbon yang lebih rendah menghasilkan pembakaran yang lebih bersih dan mendukung upaya dekarbonisasi pada industri semen.

Penelitian (Adelia, F., P., A., & T., 2014) memperkuat temuan ini dengan menunjukkan bahwa karakteristik kimia seperti kadar abu, kadar air, dan kadar volatil sangat memengaruhi efisiensi energi serta dampak lingkungan RDF. Kadar air dan abu yang tinggi cenderung menurunkan nilai kalor dan meningkatkan residu pembakaran, sehingga diperlukan proses pra-pengolahan untuk memperoleh RDF yang sesuai standar. Dengan demikian, RDF tidak hanya berperan sebagai substitusi parsial batu bara, tetapi juga sebagai solusi berkelanjutan dalam pengurangan emisi karbon dan pengelolaan limbah industri.



Gambar 4. Grafik Perbandingan Kadar Karbon

3.4 Persentase Pengurangan Batu Bara

Substitusi dengan RDF menghasilkan pengurangan konsumsi batu bara sebesar 3,807% untuk RDF A, 3,708% untuk RDF B, dan 4,233% untuk RDF C. Angka ini terlihat kecil secara persentase, tetapi pada skala industri semen yang menggunakan ratusan ribu ton batu bara per tahun, dampaknya sangat signifikan. RDF C terbukti paling efisien karena nilai kalornya paling mendekati batu bara.

3.5 Implikasi Ekonomi dan Praktis

Dari sisi biaya, penggunaan RDF memberikan penghematan yang bervariasi: sekitar Rp32,5 juta untuk RDF A, Rp31,6 juta untuk RDF B, dan Rp36,3 juta untuk RDF C. Hasil ini memperkuat argumen bahwa RDF tidak hanya relevan secara teknis, tetapi juga menguntungkan secara ekonomi. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi akademik berupa bukti kuantitatif mengenai manfaat multi-dimensi RDF—energi, lingkungan, dan ekonomi—yang dapat menjadi dasar perumusan kebijakan energi alternatif di sektor semen.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini membuktikan bahwa nilai kalor RDF lebih rendah dibandingkan batu bara, dengan batu bara mencapai 4808 kJ/kg, sedangkan RDF A, B, dan C masing-masing sebesar 4131 kJ/kg, 3998 kJ/kg, dan 4615 kJ/kg. Di antara ketiganya, RDF C paling mendekati karakteristik batu bara sehingga lebih potensial sebagai bahan bakar substitusi. Penggunaan RDF mampu menurunkan konsumsi batu bara pada industri semen sebesar 3,807% (RDF A), 3,708% (RDF B), dan 4,233% (RDF C). Walaupun persentasenya relatif kecil, dampaknya signifikan pada skala industri semen yang beroperasi dalam jumlah besar.

Dari sisi karakteristik, RDF memiliki kadar air lebih tinggi (36,93–40,81%) dan kadar karbon lebih rendah (2,57–4,49%) dibandingkan batu bara (26,91% dan 6,48%), sehingga efisiensi pembakarannya menurun. Temuan ini menegaskan pentingnya proses pra-pengolahan RDF untuk meningkatkan performa energi. Secara praktis, RDF—khususnya RDF C—dapat menjadi alternatif bahan bakar yang layak digunakan dalam industri semen karena menawarkan manfaat energi, lingkungan, dan ekonomi. Secara teoretis, penelitian ini memberi bukti empiris mengenai hubungan antara karakteristik fisikokimia RDF, nilai kalor, dan potensi substitusi energi fosil.

PERNYATAAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Sekolah Tinggi Teknik Wiworotomo Purwokerto atas dukungan akademik, kepada Bapak Mastur, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing atas arahan dan bimbingannya, serta kepada PT Sinar Tambang Arthalestari yang telah menyediakan sampel penelitian dan memberikan kesempatan untuk melakukan studi kasus di lingkungan industri.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Adelia, A. A., F., M. B., P., N. G., A., R., & T., S. (2014). POTENSI SAMPAH KANTIN FAKULTAS ILMU BUDAYA, UNIVERSITAS AIRLANGGA (FIB UNAIR) SEBAGAI BAHAN BAKU Refuse Derived Fuel (RDF). Proceeding Seminar Nasional Biodiversitas V, 102-104.
- [2] Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, Kementrian PPN/Bappenas. (2023). Analisis Potensi Off-taker Refuse Derived Fuel (RDF) untuk Mendukung Pengembangan Pengolahan Sampah Ramah Iklim yang Terintegrasi. Kementrian PPN/Bappenas.
- [3] Novita, D. M., & Damanhuri, E. (2010). PERHITUNGAN NILAI KALOR BERDASARKAN KOMPOSISI DAN KARAKTERISTIK SAMPAH PERKOTAAN DI INDONESIA DALAM KONSEP WASTE TO ENERGY. Jurnal Teknik Lingkungan, 105-106.
- [4] Rania, M. F., Lesmana, G. E., & Maulana, E. (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, 53-54.
- [5] Suhendi, E., Heriyanto, H., Jundika, P., & Rizkiantika, N. (2023). Characteristics of Refuse-Derived Fuel (RDF) at The Waste Processing Facility (WPF) of The Faculty of Engineering, Untirta. WORLD CHEMICAL ENGINEERING JOURNAL, 8-10.