Studi Komparatif Metode Pengeringan *Biodrying*, Termal, dan Solar dalam Optimalisasi Kualitas *Refuse-Derived Fuel* (RDF): Sebuah Tinjauan Literatur

Muhammad Akmal Muzakkiy[1], Rita Anggraeni[2], Saskia Amelia Setiawan[3], Arsya Naovarrahma[4], Hilda Hasanah[5], Firya Naurah Triadika[6], Halimah Nisa Tauqida[7], Aqila Ramadhani Syafiqa Wahab[8], Teguh Taufiqurohim[9*]

[1]*Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia. E-mail: muhammad.akmal.tki24@polban.ac.id*
[2]*Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia. E-mail: rita.anggraeni.tki24@polban.ac.id*
[3]*Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia. E-mail: saskia.amelia.tki25@polban.ac.id*
[4]*Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia. E-mail: arsya.naovarrahma.tki25@polban.ac.id*
[5]*Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia. E-mail: hilda.hasanah.tki25@polban.ac.id*
[6]*Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia. E-mail: firya.naurah.tki25@polban.ac.id*
[7]*Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia. E-mail: halimah.nisa.tki25@polban.ac.id*
[8]*Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia. E-mail: aqila.ramadhani.tki25@polban.ac.id*
[9]*Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia. [*]E-mail Korespondensi: teguh.taufiqurohim@polban.ac.id*

ABSTRAK

Peningkatan timbulan sampah dan tingginya ketergantungan terhadap bahan bakar fosil mendorong pengembangan *Refuse-Derived Fuel* (RDF) sebagai bahan alternatif yang mendukung pengelolaan sampah berkelanjutan sekaligus penyediaan energi. Kualitas RDF sangat dipengaruhi oleh proses pengeringan, karena kadar air yang tinggi dapat menurunkan nilai kalor dan efisiensi pembakaran. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan karakteristik berbagai metode pengeringan RDF, meliputi *biodrying*, pengeringan termal, dan pengeringan solar. Penelitian ini dilakukan menggunakan metode studi kepustakaan dengan mengumpulkan dan mengevaluasi berbagai artikel ilmiah nasional maupun internasional yang relevan. Hasil kajian menunjukkan bahwa *biodrying* memiliki efisiensi energi yang baik karena proses ini mampu mencapai rentang suhu 40–70°C secara internal melalui pemanfaatan panas dari aktivitas mikroorganisme aerob. Pengeringan termal memberikan laju pengeringan paling cepat yang dapat selesai dalam hitungan menit hingga jam, namun menuntut konsumsi energi termal eksternal serta biaya operasional yang mahal. Pengeringan solar menawarkan biaya operasional yang paling ekonomis dan bebas emisi gas buang, akan tetapi durasi kinerjanya sangat fluktuatif karena bergantung pada intensitas panas matahari dan kondisi cuaca. Oleh karena itu, pemilihan metode pengeringan perlu disesuaikan dengan karakteristik bahan baku, kebutuhan produksi, ketersediaan energi, dan kondisi operasional untuk menghasilkan RDF yang memenuhi standar kualitas sebagai bahan bakar alternatif berdasarkan SNI 9313:2024.

Kata Kunci
Refuse-Derived Fuel (RDF), *Biodrying*, Pengeringan Solar, Pengeringan Termal

The increase in solid waste generation and the high reliance on fossil fuels have driven the development of Refuse-Derived Fuel (RDF) as an alternative resource that supports both sustainable waste management and energy provision. The quality of RDF is significantly influenced by the drying process, as high moisture content can decrease the calorific value and combustion efficiency. This study aims to analyze and compare the characteristics of various RDF drying methods, including biodrying, thermal drying, and solar drying. This research was conducted using a literature review method by collecting and evaluating various relevant national and international scientific articles. The results of the review indicate that biodrying exhibits good energy efficiency, as the process is capable of internally reaching a temperature range of 40–70°C by utilizing the heat generated from aerobic microbial activity. Thermal drying provides the fastest drying rate, which can be completed within minutes to hours; however, it demands external thermal energy consumption and high operational costs. Solar drying offers the most economical operational costs and zero exhaust emissions, but its processing duration is highly fluctuating as it strictly depends on solar heat intensity and weather conditions. Therefore, the selection of an appropriate drying method must be adapted to feedstock characteristics, production requirements, energy availability, and operational conditions to produce RDF that meets the quality standards for alternative fuels in accordance with SNI 9313:2024.

Keywords:
Refuse-Derived Fuel (RDF), Biodrying, Solar Drying, Thermal Drying

1. PENDAHULUAN

Peningkatan timbulan sampah dan tingginya ketergantungan terhadap bahan bakar fosil menjadi dua tantangan utama dalam mewujudkan pembangunan yang berkelanjutan. Di Indonesia, permasalahan sampah telah memasuki kondisi darurat akibat belum optimalnya sistem pengelolaan yang diterapkan. Kementerian Lingkungan Hidup/Badan Pengendalian Lingkungan Hidup (KLH/BPLH) melaporkan bahwa Indonesia menghasilkan sampah 56,63 juta ton per tahun, hingga akhir tahun 2025 pengelolaan sampah nasional baru mencapai sekitar 25% atau setara 36.684 ton per hari, sedangkan sekitar 75% atau 105.483 ton per hari masih belum tertangani secara memadai (1). Kondisi tersebut menyebabkan meningkatnya risiko pencemaran lingkungan, penurunan kualitas kesehatan masyarakat, serta bertambahnya beban tempat pemrosesan akhir (TPA). Di sisi lain, kebutuhan energi nasional terus mengalami peningkatan, sementara ketergantungan terhadap bahan bakar fosil masih relatif tinggi sehingga turut meningkatkan emisi gas rumah kaca dan memperburuk dampak perubahan iklim (2). Oleh karena itu, diperlukan teknologi pengelolaan sampah yang tidak hanya mampu mengurangi volume limbah, tetapi juga memberikan nilai tambah melalui pemanfaatannya sebagai sumber energi alternatif.

Salah satu teknologi yang berkembang sebagai solusi dalam pengelolaan sampah sekaligus penyediaan energi alternatif adalah *Refuse- Derived Fuel* (RDF). RDF merupakan bahan bakar padat yang dihasilkan dari pengolahan fraksi sampah yang memiliki nilai kalor tinggi, seperti plastik, kertas, tekstil, dan biomassa, melalui serangkaian proses pengolahan sehingga memenuhi spesifikasi sebagai bahan bakar alternatif (3). RDF menawarkan solusi ganda, yaitu sebagai energi alternatif sekaligus menjadi solusi dari timbulan sampah yang menjadi masalah utama di beberapa daerah di Indonesia saat ini (4). Pemanfaatan RDF telah diterapkan sebagai bahan bakar substitusi batu bara di berbagai sektor industri, terutama industri semen, karena mampu mengurangi timbulan sampah yang berakhir di tempat pemrosesan akhir (TPA) sekaligus menekan konsumsi bahan bakar fosil dan emisi karbon (5). Oleh karena itu, kualitas RDF menjadi aspek penting yang menentukan keberhasilan pemanfaatannya sebagai sumber energi alternatif.

Produksi RDF umumnya mencakup serangkaian tahap *pretreatment* mulai dari pencacahan, pengeringan, pemilahan, hingga proses densifikasi seperti peletisasi untuk menghasilkan bahan bakar terstandarisasi yang kompatibel dengan berbagai teknologi konversi termal (6). Kualitas RDF yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh kadar air bahan baku. Berdasarkan data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) Kementerian Lingkungan Hidup (KLH) tahun 2025, sampah domestik di Indonesia didominasi oleh sampah sisa makanan sebesar 39,62% dari total timbulan sampah nasional (7). Sampah sisa makanan tersebut umumnya memiliki kadar air yang tinggi sehingga apabila diolah menjadi RDF akan menghasilkan nilai kalor yang rendah, karena sebagian besar energi terbuang untuk menguapkan air sebelum proses pembakaran berlangsung optimal (8). Kadar air yang tinggi menjadi hambatan utama karena dapat menurunkan nilai kalor RDF dan menyulitkan proses pembakaran sebagai bahan bakar. Untuk menjaga stabilitas operasional pada proses pembakaran bersama (*co-processing*) di tanur semen, bahan bakar alternatif seperti RDF umumnya dipersyaratkan memiliki nilai kalor bersih di atas 14 MJ/kg dengan kadar air di bawah 15% (9). Dengan demikian, proses pengeringan menjadi tahapan yang menentukan kualitas akhir produk RDF agar memenuhi standar yang dipersyaratkan.

Berbagai metode pengeringan RDF telah dikembangkan, mulai dari pengeringan termal yang memanfaatkan panas eksternal (gas buang, boiler, atau bahan bakar tambahan), *biodrying* yang mengandalkan panas dari aktivitas mikroorganisme, dan pengeringan solar yang memanfaatkan energi matahari sebagai sumber panas alami. Masing-masing metode memiliki karakteristik tersendiri dalam hal efisiensi energi, biaya operasional, waktu proses, serta dampak terhadap kualitas akhir RDF. Perkembangan penelitian di bidang ini menunjukkan adanya upaya berkelanjutan untuk mengoptimalkan proses pengeringan agar lebih efisien secara energi, ekonomis, dan ramah lingkungan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini berfokus pada metode pengeringan RDF. Fokus utama dari pembahasan ini adalah mengevaluasi dan membandingkan berbagai efektivitas teknologi pengeringan RDF yang ada saat ini, seperti *biodrying*, pengeringan termal, dan pengeringan solar. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengumpulkan data parameter operasional optimum seperti suhu, waktu tinggal, dan sirkulasi udara yang menghasilkan laju pengeringan terbaik dengan konsumsi energi minimal. Dari data yang yang dihimpun, maka diharapkan dapat memberikan rekomendasi mengenai teknologi pengeringan RDF yang paling layak secara teknis dan ekonomis untuk diterapkan pada karakteristik sampah kota tertentu. Penelitian ini secara garis besar diharapkan dapat memberikan referensi ilmiah bagi akademisi untuk riset lanjutan terkait metode pengeringan bahan baku sampah untuk diolah menjadi RDF.

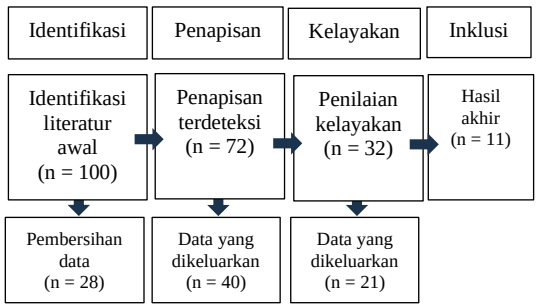
2. METODOLOGI

Penelitian ini merupakan *Systematic Literature Review* (SLR) yang disusun mengacu pada pedoman *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) 2020. Pendekatan SLR digunakan untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis literatur yang relevan secara terstruktur, sistematis, dan transparan mengenai efektivitas berbagai metode pengeringan dalam proses pembuatan *refuse-derived fuel* (RDF).

2.1 Strategi Pencarian Literatur

Pencarian literatur dilakukan secara komprehensif melalui basis data akademik utama, yaitu *ScienceDirect*, *Scopus*, dan *Google Scholar*. Pencarian dibatasi pada artikel yang diterbitkan dalam rentang waktu 10 tahun terakhir (2017 – 2026) yang relevan dengan perkembangan teknologi terkini. Kata kunci pencarian literatur meliputi: *refuse-derived fuel* / RDF, *biodrying* / pengeringan biologi, *thermal drying* / pengeringan termal, *solar drying* / pengeringan solar, *moisture content* / kadar air, dan *calorific value* / nilai kalor.

2.2 Proses Seleksi data



Gambar 1. Diagram Alir Proses Seleksi Data

Seluruh artikel yang diperoleh dari proses pencarian awal pada ketiga basis data dimasukan pada manajemen referensi untuk mengidentifikasi dan menghapus duplikasi data. Selanjutnya, dilakukan proses penapisan (*screening*) secara berjenjang, mulai dari peninjauan kesesuaian judul dan abstrak, hingga evaluasi kelayakan naskah secara utuh (*full-text review*). Proses seleksi ini menghasilkan sejumlah 11 artikel final yang memenuhi seluruh kriteria untuk diekstraksi datanya. Alur sistematis penyeleksian literatur ini diilustrasikan melalui Diagram Alir PRISMA 2020 pada Gambar 1.

2.3 Ekstraksi dan Sintesis Data

Data dari artikel yang terpilih kemudian diekstraksi menggunakan instrumen tabel tabulasi. Variabel utama yang diekstraksi meliputi metode pengeringan, mekanisme prinsip kerja, durasi waktu proses, kelebihan, serta kelemahan masing-masing metode. Keseluruhan data tersebut kemudian disintesis secara deskriptif-komparatif guna merumuskan perbandingan efektivitas teknologi *biodrying*, termal, dan solar dalam optimalisasi kualitas produk RDF.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Literatur

Literatur yang digunakan merupakan hasil kajian dari berbagai jurnal ilmiah nasional dan internasional yang membahas teknologi pengeringan pada proses produksi (RDF). Artikel yang dipilih mencakup penelitian mengenai *biodrying,* pengeringan termal, dan pengeringan solar, serta pengaruhnya terhadap karakteristik RDF seperti kadar air, nilai kalor, dan efisiensi proses. Ringkasan literatur yang digunakan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Ringkasan Literatur Metode Pengeringan Bahan Baku RDF

No	Objek Kajian	Hasil Utama
1	Berbagai metode pengeringan *municipal solid waste* untuk meningkatkan kualitas bahan baku RDF (10).	Metode pengeringan memiliki karakteristik, kebutuhan energi, waktu proses, serta efektivitas yang berbeda dalam menurunkan kadar air dan meningkatkan kualitas RDF. Pemilihan metode perlu disesuaikan dengan karakteristik sampah dan kondisi operasional.
2	Pengeringan RDF menggunakan *solar tunnel dryer* yang diintegrasikan dengan *flat-plate solar collector* sebagai sumber panas (11).	Pengeringan dengan *solar tunnel dryer* mampu menurunkan kadar air RDF dari 35,6% menjadi 9,6%, 28,3% menjadi 8,5%, dan 43,5% menjadi 14,0%. Metode ini menghasilkan penurunan kadar air yang lebih baik dibandingkan penjemuran langsung di bawah sinar matahari, dengan peningkatan efisiensi pengeringan hingga sekitar 17,7–50,9%.
3	Perancangan dan pengujian *solar dryer tipe greenhouse* dengan variasi penggunaan fan untuk menurunkan kadar air RDF dan meningkatkan kualitasnya sebagai bahan bakar alternatif (12).	Penggunaan *solar dryer* terbukti meningkatkan kualitas RDF melalui penurunan kadar air hingga memenuhi standar (sekitar 14,75–17%), jauh lebih baik dibanding pengeringan konvensional (21,58%). Variasi 1 fan memberikan performa terbaik dengan laju pengeringan 0,73 kg/jam dan efisiensi sistem 16,3%, sehingga direkomendasikan sebagai konfigurasi pengering RDF yang paling efektif.
4	Perbandingan metode *pretreatment* pengeringan RDF dari sampah domestik di Indonesia, meliputi *waste fermentation, sun drying*, dan *biodrying* (13).	Ketiga metode pengeringan mampu meningkatkan kualitas RDF melalui penurunan kadar air dan peningkatan nilai kalor. *Biodrying* menghasilkan performa terbaik dengan kadar air akhir 24,2% dan nilai kalor rata-rata 3.536 kcal/kg, lebih baik dibandingkan *sun drying* (30,8%; 2962 kcal/kg) dan *waste fermentation* (34,9%; 2647,5 kcal/kg).
5	Peningkatan kualitas RDF dari sampah *landfilled waste* menggunakan metode *Solar Greenhouse Biodrying* (SGB) dengan variasi komposisi sampah lama dan sampah organik segar (14).	Metode *Solar Greenhouse Biodrying* (SGB) berhasil menurunkan kadar air sampah sebesar 27,05–62,25% serta meningkatkan nilai kalor RDF hingga 7,5–14 MJ/kg. Variasi campuran sampah lama dan sampah organik segar memengaruhi kualitas RDF yang dihasilkan, dengan komposisi 1:2 menghasilkan keseimbangan terbaik antara penurunan kadar air dan nilai kalor, sedangkan sampah lama 100% menghasilkan nilai kalor tertinggi.
6	Kajian literatur mengenai penerapan proses *biodrying* pada *municipal solid waste* sebagai *pretreatment* dalam produksi RDF (3).	*Biodrying* merupakan metode *pretreatment* yang efektif untuk menurunkan kadar air sampah dengan memanfaatkan panas dari aktivitas mikroorganisme aerob. Proses ini mampu meningkatkan nilai kalor RDF, mengurangi massa sampah, serta menghasilkan bahan bakar alternatif yang lebih

No	Objek Kajian	Hasil Utama
		stabil dan sesuai untuk proses pembakaran. Kinerja *biodrying* dipengaruhi oleh parameter operasi seperti aerasi, kelembapan awal, ukuran partikel, dan waktu tinggal.
7	Modifikasi konfigurasi suplai aerasi di dalam reaktor pada proses biodrying untuk optimalisasi produksi RDF (15).	Modifikasi laju dan pola suplai aliran udara (aerasi) secara langsung memengaruhi efisiensi penyisihan kadar air pada matriks sampah, sekaligus memudahkan penanganan dan penyimpanan material pascapengeringan.
8	Peningkatan nilai kalor sampah domestik (skala kampus) melalui penambahan agen biokatalis berupa enzim selulase pada proses *biodrying* (16).	Penambahan enzim selulase mampu mempercepat pemecahan organik kompleks, yang berkontribusi pada pengoptimalan rentang suhu internal reaktor (40–70°C) sehingga berdampak pada peningkatan nilai kalor RDF yang dihasilkan.
9	Analisis siklus hidup (*Life Cycle Analysis*), kinerja energi, biaya, dan dampak lingkungan dari sistem pengeringan termal (17).	Pengeringan termal menuntut konsumsi energi yang masif, namun implementasi teknologi pemulihan panas (*heat recovery*) dari proses industri dapat menekan beban biaya operasional dan emisi lingkungan secara substansial.
10	Efek penambahan agen penggembur (*bulking agents*) terhadap stabilisasi biologi dan proses pengeringan limbah padat perkotaan (18).	Penambahan matriks *bulking agents* dapat memperbaiki distribusi porositas sehingga mempercepat pemerataan panas dan laju penurunan kadar air, membantu proses dehidrasi matriks sampah tercapai secara efisien.
11	Pemanfaatan limbah panas (*waste heat*) menggunakan teknologi *Low Temperature Belt Dryer* (LTBD) untuk pengeringan termal bahan baku RDF (19).	Pemanfaatan limbah panas dengan sistem LTBD menghasilkan dehidrasi yang sangat cepat. Dengan suhu operasi 75-85°C dan waktu retensi hanya 6-30 menit, proses termal ini mampu menurunkan kadar air drastis dari 38,3% menjadi 8,2%.

3.2 Metode Pengeringan

Pengeringan merupakan tahap *pretreatment* penting dalam pengolahan RDF dan proses penurunan kadar air pada RDF hingga mencapai tingkat yang sesuai untuk meningkatkan nilai kalor, memperbaiki efisiensi pembakaran, dan memudahkan penanganan serta penyimpanan material (15). Metode pengeringan yang saat ini paling umum digunakan untuk mengoptimalkan kualitas RDF adalah sebagai berikut:

1. *Biodrying*
2. Pengeringan termal
3. Pengeringan solar

3.2.1 Biodrying

Biodrying atau pengeringan biologis merupakan salah satu metode dalam teknologi *Mechanical-Biological Treatment* (MBT) yang memanfaatkan panas dari aktivitas mikroorganisme aerob untuk mengurangi kadar air limbah tanpa memerlukan sumber energi eksternal (3). Sebelum proses berlangsung, limbah dipisahkan dari material inert, seperti kaca dan logam, lalu diperkecil ukurannya agar porositas dan distribusi udara di dalam reaktor tetap optimal (14). Selama *biodrying*, mikroorganisme mengurai bahan organik *biodegradable* melalui respirasi eksotermik yang menghasilkan CO_2, H_2O, dan panas. Panas ini meningkatkan suhu reaktor hingga sekitar 50–60°C sehingga air di dalam pori-pori limbah menguap dan dikeluarkan melalui sistem *forced aeration*, yang berfungsi menyuplai oksigen sekaligus mengalirkan uap air ke atmosfer (3) (16).

Berbeda dengan pengomposan, *biodrying* dikendalikan agar degradasi bahan bernilai kalor tinggi tetap minimal sehingga potensi energi limbah dapat dipertahankan (16). Metode ini mampu menurunkan kadar air limbah hingga di bawah 25%, sehingga menghasilkan RDF dengan karakteristik fisik dan nilai kalor yang memenuhi kebutuhan industri sebagai bahan bakar alternatif pengganti batu bara (8) (20).

3.2.2 Pengeringan Termal

Pengeringan Termal Adalah suatu proses dehidrasi produk yang lembap melalui mekanisme penguapan air yang melalui pemanasan. Panas untuk penguapan dialirakan ke produk yang akan dikeringkan, baik menggunakan udara atau gas panas (17). Pengeringan termal memungkinkan didapatkan produk dengan kandungan kadar air kurang dari 20% dalam periode waktu 2-3 jam, akan tetapi metode ini membutuhkan biaya yang mahal dan tidak ramah lingkungan karena mengonsumsi sumber energi yang relatif besar jika dibandingkan dengan metode lain (18). Penelitian tentang pemanfaatan limbah panas berlebih dari proses produksi pabrik semen untuk sistem pengeringan bahan bakar turunan limbah (RDF) sudah banyak dilakukan. Sistem pengeringan bahan bakar ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi termal industri dengan memanfaatkan panas buang untuk mengurangi kadar air Ketika teknologi *Low Temperature Belt Dryer* (LTBD) digunakan pada proses pengeringan (19). Proses pada peralatan tersebut menyebabkan RDF mengering melalui penguapan dengan menggunakan pemanasan konveksi, dipanaskan oleh arus udara dari atas ke bawah (19). Pengeringan LTBD dapat menghasilkan proses dehidrasi yang efisien dalam waktu retensi yang singkat yaitu 6-30 menit pada suhu 75-85 °C, yang pada akhirnya secara efektif menurunkan kadar air menjadi 8,2% yang awal nya kadar air di rata-rata 38,3% (19).

3.2.3 Pengeringan Solar

Pengeringan solar merupakan pengeringan yang menggunakan energi matahari untuk mengurangi kadar air bahan dengan menciptakan lingkungan pengeringan yang lebih terkendali

(21). Dalam proses pengeringan produk pertanian menggunakan tenaga surya, kadar air dihilangkan oleh udara yang dipanaskan matahari pada kisaran suhu 50-60°C. Meskipun metode ini memerlukan biaya investasi modal yang tinggi, pengeringan tenaga surya ini menguntungkan bagi lingkungan karena memanfaatkan sumber energi terbarukan dan tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca (10).

3.3 Kelebihan dan kekurangan

Berdasarkan Tabel 2. setiap metode pengeringan memiliki karakteristik yang berbeda. Perbedaan tersebut dapat terlihat pada mekanisme pengeringan, kebutuhan energi, waktu proses, serta biaya operasional yang dapat memengaruhi efektivitas masing-masing metode. *Biodrying* dapat menjadi alternatif yang efisien dari segi energi karena memanfaatkan aktivitas mikroorganisme untuk menghasilkan panas, namun metode ini memerlukan waktu pengeringan yang lebih lama dan pengendalian proses yang lebih baik. Metode ini cocok diterapkan pada limbah dengan kandungan organik dan kadar air yang tinggi karena mampu menurunkan kadar air sekaligus meningkatkan nilai kalor RDF dengan kebutuhan energi eksternal yang relatif rendah. Sementara itu pengeringan termal mampu menurunkan kadar air dalam waktu yang relatif singkat dan pengendalian prosesnya mudah sehingga sesuai untuk proses produksi RDF skala industri. Namun, metode ini membutuhkan konsumsi energi yang tinggi sehingga biaya operasionalnya lebih besar. Sebaliknya, pengeringan solar lebih ramah lingkungan karena memanfaatkan energi matahari dan memiliki biaya operasional yang rendah, meskipun memerlukan investasi awal yang relatif tinggi serta sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca. Untuk daerah tropis seperti Indonesia, pengeringan solar dapat menjadi potensi yang menjanjikan karena memiliki intensitas penyinaran matahari yang relatif tinggi sepanjang tahun. Oleh karena itu, Pemilihan metode pengeringan dalam proses produksi RDF perlu disesuaikan dengan karakteristik bahan baku.

Tabel 2. Kelebihan dan Kekurangan Metode Pengeringan

No	Metode	Prinsip	Kecepatan pengeringan	Kelebihan	Kekurangan
1	*Biodrying*	Memanfaatkan panas mikroorganisme aerobik alami (3)	7-21 hari	• Meningkatkan nilai kalor produk RDF • Konsumsi energi eksternal rendah. • Memanfaatkan aktivitas biologis sehingga lebih ramah lingkungan.	• Diperlukan pemisahan material *inert* dan pengecilan ukuran partikel • Diperlukan sistem aerasi paksa agar aktivitas mikroorgaisme berlangsung secara optimal
2	Pengeringan Termal	Menguapkan air melalui pemanasan sumber panas eksternal (17)	2-3 jam	• Dihasilkan produk dengan padatan tinggi secara cepat (yuan) • Pengurangan kadar air sangat tinggi • Proses pengeringan mudah dikontrol melalui pengaturan suhu	• Diperlukan biaya operasional yang tinggi • Konsumsi energi tinggi dan menghasilkan emisi lebih besar karena penggunaan bahan bakar fosil.
3	Pengeringan Solar	Memanfaatkan energi matahari sebagai sumber panas untuk menguapkan air (21)	3-7 hari	• Ramah lingkungan karena memanfaatkan sumber energi terbarukan • Biaya operasional rendah	• Diperlukan modal yang tinggi • Hasil pengeringan bergantung pada kondisi cuaca

3.4 Faktor yang memengaruhi

Efektivitas proses pengeringan RDF, baik melalui *biodrying,* pengeringan termal, maupun pengeringan solar, ditentukan oleh beberapa variabel lapangan yang saling berkaitan. Berdasarkan tinjauan pustaka, faktor-faktor utama yang mempengaruhi optimalisasi proses pengeringan meliputi:

a) Suhu dan Sumber Panas: Sumber panas menjadi pembeda utama antar metode. Pada *biodrying,* panas dihasilkan secara internal dari aktivitas eksotermis mikroorganisme dengan rentang suhu optimal 40-70°C (3) (16). Pada pengeringan termal, panas berasal dari sumber energi eksternal dan mampu menurunkan kadar air secara drastis pada suhu 107-167°C dalam waktu singkat (16). Sementara pada pengeringan solar, panas diperoleh dari radiasi matahari yang dikombinasikan dengan aliran udara, umumnya pada suhu 50-60°C (16).
b) Kadar Air Awal dan Ukuran Partikel Bahan Baku: Kadar air awal menentukan seberapa jauh proses harus berlangsung; pada *biodrying*, kadar air 50-70% menjadi rentang optimal untuk memulai proses (3). Ukuran partikel hasil pencacahan juga berpengaruh pada ketiga metode, karena partikel yang lebih kecil dan seragam memperluas permukaan kontak dengan udara/panas sehingga mempercepat pengeringan.
c) Aerasi dan Sirkulasi Udara: Pada *biodrying*, pola aerasi kontinu terbukti menghasilkan efisiensi penyisihan air lebih tinggi dibanding pola intermiten, meski biaya operasionalnya lebih besar (3). Pada pengeringan termal dan pengeringan solar, laju aliran udara panas turut menentukan kecepatan penguapan dan pemerataan proses pengeringan.
d) Waktu Proses dan Kondisi Cuaca: Durasi pengeringan berbanding lurus dengan penurunan kadar air yang dicapai. *Biodrying* umumnya optimal pada 7-15 hari (3), jauh lebih lama dibanding pengeringan termal yang dapat selesai dalam hitungan jam karena sumber panasnya lebih intensif (16). Pengeringan solar berada di antara keduanya, namun sangat bergantung pada intensitas matahari dan kondisi cuaca, sehingga kurang konsisten dibanding dua metode lainnya terutama pada musim hujan.

Secara umum, pemilihan dan optimalisasi metode pengeringan perlu disesuaikan dengan kondisi lapangan seperti ketersediaan lahan, anggaran, dan kebutuhan kecepatan produksi RDF. *Biodrying* unggul dari sisi biaya energi namun membutuhkan waktu lebih lama, pengeringan termal unggul dari sisi kecepatan namun berbiaya tinggi, sedangkan pengeringan solar paling murah namun paling bergantung pada cuaca.

4. Kesimpulan

Kajian kepustakaan ini menegaskan bahwa metode pengeringan merupakan tahap paling krusial untuk memastikan RDF memenuhi spesifikasi baku mutu bahan bakar alternatif industri semen sesuai SNI 9313:2024, khususnya pada parameter kadar air. Secara komparatif, pengeringan termal menunjukkan kapabilitas paling baik dan konsisten dalam memangkas kadar air secara drastis (hingga mencapai 8,2%) dalam waktu yang sangat singkat (2-3 jam), menjadikannya paling andal untuk skala industri. Namun, metode ini menuntut biaya operasional dan konsumsi energi eksternal yang sangat masif. Sebagai alternatif yang lebih efisien secara energi, metode *biodrying* mampu menekan penggunaan energi eksternal dengan memanfaatkan panas internal mikroorganisme, akan tetapi metode ini memerlukan waktu retensi yang jauh lebih lama (7–15 hari) untuk dapat mendekati ambang batas kelayakan kadar air SNI. Sementara itu, pengeringan solar murni menawarkan operasional yang paling ekonomis dan bebas emisi, namun keandalannya dalam mengejar target SNI sangat fluktuatif karena bergantung mutlak pada cuaca.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada politeknik negeri bandung, khususnya jurusan teknik kimia dan grup riset *resource conversion & valorization engineering research* (RECOVER). Dukungan ruang diskusi akademis sangat berperan penting dalam penyelesaian artikel ulasan (review article) ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Sasmita Nugroho. KLH-BPLH Tegaskan Arah Baru Menuju Indonesia Bebas Sampah 2029 dalam Rakornas Pengelolaan Sampah 2025. https://www.kemenlh.go.id/news/detail/klh-bplh-tegaskan-arah-baru-menuju-indonesia-bebas-sampah-2029-dalam-rakornas-pengelolaan-sampah-2025. 2025.
2. Kuncara J, Jamilatun S, Febriani AV, Idris M, Setyawan M. Potensi dan Tantangan Pemanfaatan Refuse Derived Fuel dalam Co-Firing PLTU di Indonesia: A Review. Yogyakarta; 2024 Nov.
3. Chaerul Mochammad, Wardhani Annisa Kusuma. Jurnal Presipitasi Refuse Derived Fuel (RDF) dari Sampah Perkotaan dengan Proses Biodrying: Review. Jurnal Presipitasi. 2020;17(1):62–74.
4. Taufiqurohim T, Mustika Krista G, Sajida GN, Sari HK, Ferawati YF. Studi Potensi Pengolahan Sampah Anorganik Menjadi Refuse Derived Fuel (RDF). Bandung; 2025. doi: 10.35313/irwns.v16i1.6677
5. Prihandoko D, Purnomo CW, Widyaputra PK, Nasirudin. Application of Refuse-Derived Fuel (RDF) Plant in Piyungan Landfill Municipal Solid Waste Management. ASEAN Journal of Chemical Engineering. 2022;22(2):296–305. doi: 10.22146/ajche.75560
6. Jiao H, Li J, Cao X, Zhang Z, Liu Y, Wang D, et al. Refuse-Derived Fuel (RDF) for Low-Carbon Waste-to-Energy: Advances in Preparation Technologies, Thermochemical Behavior, and High-Efficiency Combustion Systems. Vol. 19, Energies. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI); 2026. doi: 10.3390/en19030751
7. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (Sipsn). Komposisi Sampah Berdasarkan Jenis Sampah. kemenlh. 2025. [accessed 18 Jul 2026] Available from: https://sampahnasional.kemenlh.go.id/indikatif/public/data/komposisi
8. Mega Maulidayanti E, Yuliani M, Haqqiyuddin Robbani M, Hambali E, Setyaningsih D. Evaluasi Produksi Refuse-Derived Fuel (RDF) dari Sampah Perkotaan (Studi Kasus:

RDF Plant di Kabupaten Cilacap). Jurnal Teknologi Lingkungan. 2024;25(2):179–89.
9. Ige OE, Kabeya M. Thermo-Energetic and Environmental Assessment of Alternative Fuels in Cement Clinker Production: A Review. Sustainability (Switzerland). 2026;18(12). doi: 10.3390/su18126056
10. Tun MM, Juchelková D. Drying methods for municipal solid waste quality improvement in the developed and developing countries: A review. Vol. 24, Environmental Engineering Research. Korean Society of Environmental Engineers; 2019. p. 529–42. doi: 10.4491/eer.2018.327
11. Ismail TM, Ramzy K, Sherif H. Drying of refuse-derived fuel (RDF) using solar tunnel dryer integrated with flat-plate solar collector: An experimental approach. Detritus. 2020;13:140–7. doi: 10.31025/2611-4135/2020.14028
12. Arifianti MO, Abidin MR, Nugrahani EF, Ummatin KK. Rancang Bangun Solar Dryer Untuk Meningkatkan Kualitas Refuse-Derived Fuels (RDF) Sebagai Bahan Bakar Alternatif Di Kiln Burner Industri Semen. Jurnal Rekayasa Mesin. 2018;9(3):211–20.
13. Widyarsana IMW, Saraswati D. Comparative Analysis of Municipal Solid Waste to RDF Pretreatment Methods in Indonesia. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Institute of Physics; 2022. doi: 10.1088/1755-1315/1065/1/012058
14. Sevina R, Widyarsana IMW, Wulandari S. Quality Improvement of Refuse-Derived Fuel from Landfilled Waste Using Solar Greenhouse Biodrying System. Dampak: Jurnal Teknik Lingkungan Universitas Andalas. 2024;21(2):34–40. doi: 10.25077/dampak.21.2.34-40.2024
15. Bhatsada A, Patumsawad S, Towprayoon S, Chiemchaisri C, Phongphiphat A, Wangyao K. Modification of the Aeration-Supplied Configuration in the Biodrying Process for Refuse-Derived Fuel (RDF) Production. Energies (Basel). 2023;16(7). doi: 10.3390/en16073235
16. Pratiwi Masindar. Analisis Peningkatan Nilai Kalor Sampah Kampus Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Dengan Penambahan Enzim Selulase Pada Proses Biodrying. Makassar: Universitas Hasanuddin; 2023.
17. Urbano DG, Aquino A, Scrucca F. Energy Performance, Environmental Impacts and Costs of a Drying System: Life Cycle Analysis of Conventional and Heat Recovery Scenarios. Energies (Basel). 2023;16(3). doi: 10.3390/en16031523
18. Yuan J, Zhang D, Li Y, Chadwick D, Li G, Li Y, et al. Effects of adding bulking agents on biostabilization and drying of municipal solid waste. Waste Management. 2017;62:52–60. doi: 10.1016/j.wasman.2017.02.027
19. Conceição S, Rolim J. Using Waste Heat to Dry RDF: a Technical and Environmental Assessment of the Low Temperature Belt Dryer Technology. Environmental Management and Sustainable Development. 2019;8(2):113. doi: 10.5296/emsd.v8i2.14441
20. Fauzan AH, Najib M, Ardiatma D. Pemanfaatan Sampah Plastik Dan Sampah Umum Melalui Refuse-Derived Fuel Sebagai Bahan Bakar Alternatif. Action Research Literate. 2025;9(2).
21. Rahman MA, Hasnain SMM, Paramasivam P, Zairov R, Ayanie AG. Solar Drying for Domestic and Industrial Applications: A Comprehensive Review of Innovations and Efficiency Enhancements. Vol. 9, Global Challenges. John Wiley and Sons Inc; 2025. doi: 10.1002/gch2.202400301