

ANALISIS KELAYAKAN RDF (*REFUSE DERIVED FUEL*) SEBAGAI BAHAN BAKAR PENGGANTI BATUBARA DI PT SEMEN GRESIK PABRIK REMBANG

Marsanda Aqillah Naura¹, Windi Zamrudy¹, Ilham Dirga Laksono²

¹Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

²PT Semen Gresik Rembang, Desa Kajar, Kecamatan Gunem, Rembang 59263, Indonesia

marsandaaqillah2303@gmail.com ; [\[windi.zamrudy@polinema.ac.id\]](mailto:[windi.zamrudy@polinema.ac.id])

ABSTRAK

Produksi semen memiliki beberapa tahapan produksi, salah satunya yaitu proses pembakaran yang menggunakan bahan bakar utama batubara. Kebutuhan batubara di pabrik semen berkisar antara 1.600 – 1.800 ton per harinya. Oleh karena itu, pabrik semen berinovasi untuk mengganti bahan bakar ini dengan harga yang lebih ekonomis, dan mudah didapat. *Refuse Derived Fuel* (RDF) yang merupakan bahan bakar alternatif yang berasal dari sampah perkotaan yang tercampur dengan memisahkan sampah *non-combustible* untuk menghasilkan campuran yang homogen. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan RDF terhadap kestabilan proses meliputi temperatur *stage 5 preheater*, torsi *kiln*, dan *pressure inlet kiln*, serta kualitas klinker pada parameter *freelime*, C_3S , dan C_2S yang dihasilkan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode deskriptif - kuantitatif dengan mengolah data dari *Control Room* PT Semen Gresik Rembang. RDF yang dihasilkan dapat menjadi bahan bakar alternatif karena memenuhi syarat dengan nilai kalor sebesar 4.811 kkal/kg, dan nilai *moisture* sebesar 9,5%. Hasil analisis kestabilan operasi setelah pemasukan RDF pada parameter temperatur *stage 5 preheater* menunjukkan kondisi yang stabil, torsi *kiln* menunjukkan kondisi yang fluktuatif dengan nilai standar deviasi yang lebih rendah, *pressure inlet kiln* menunjukkan kondisi yang fluktuatif, hingga indeks kebutuhan batubara yang menurun sebesar 0,01 ton batubara/ton klinker. Analisis kualitas klinker menunjukkan hasil yang semakin baik setelah pemasukan RDF apabila ditinjau dari parameter *freelime* yang nilainya berkisar dari 1 – 1,5% kurang dari batas maksimal (2%), serta kuat tekan semen yang semakin baik ditinjau dari kandungan C_3S dan C_2S -nya. Oleh karena itu, RDF dapat memenuhi klasifikasi sebagai bahan bakar alternatif pengganti batubara.

Kata kunci: batubara, emisi, klinker, RDF, sampah

ABSTRACT

The production of cement involves several stages, one of which is the combustion process that primarily uses coal as fuel. The coal requirement in a cement plant ranges between 1.600 to 1.800 tons per day. Therefore, cement plants are innovating to replace this fuel with more economical and easily obtainable alternatives. *Refuse Derived Fuel* (RDF) is an alternative fuel derived from urban waste by separating *non-combustible* waste to produce a homogeneous mixture. This study aims to determine the impact of RDF usage on process stability, including the temperature of the *stage 5 preheater*, kiln torque, and kiln inlet pressure, as well as clinker quality based on the parameters of free lime, C_3S , and C_2S produced. The method used in this study is descriptive-quantitative by processing data from the *Control Room* of PT Semen Gresik Rembang. The produced RDF can be an alternative fuel because it meets the requirements with a calorific value of 4.811 kkal/kg and a moisture content of 9,5%. The results of the operational stability analysis after RDF input on the *stage 5 preheater* temperature parameter showed stable conditions, kiln torque showed fluctuating conditions with lower standard deviation values, kiln inlet pressure showed fluctuating conditions, and the coal requirement index

Corresponding author: Windi Zamrudy

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang

Jl. Soekarno-Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

E-mail: windi.zamrudy@polinema.ac.id



decreased by 0.01 tons of coal per ton of clinker. Clinker quality analysis showed better results after RDF input, as seen from the free lime parameter ranging from 1-1,5%, which is below the maximum limit (2%), and improved cement compressive strength seen from its C_3S and C_2S content. Therefore, RDF can meet the classification as an alternative fuel to replace coal.

Keywords: coal, emission, clinker, RDF, trash

1. PENDAHULUAN

Industri semen memiliki proses pembakaran yang menggunakan batubara dalam produksinya yang digunakan sebagai bahan bakar utama untuk membakar klinker. PT Semen Gresik Rembang memiliki alat *rotary kiln* yang memiliki kapasitas 8.000 ton per hari yang membutuhkan batu bara sebanyak 1.600 hingga 1.800 ton per harinya. Dengan banyaknya batu bara yang digunakan juga membutuhkan biaya yang besar yaitu sekitar 30-40% biaya operasional [1]. Selain itu, kandungan emisi CO_2 yang dihasilkan besar, sehingga PT Semen Gresik Rembang membutuhkan inovasi untuk mengurangi pengeluaran untuk bahan bakar, serta peduli terhadap lingkungan untuk mengurangi emisi CO_2 yang dihasilkan oleh batubara ini, cara yang digunakan yaitu dengan mencari bahan bakar alternatif. Adapun pertimbangan lain selain biaya yang besar, batu bara merupakan bahan yang tidak dapat diperbaharui. Dapat disebut dengan bahan bakar alternatif ketika bahan tersebut memiliki nilai kalor yang tinggi dengan nilai *moisture* yang rendah [2]. Bahan bakar alternatif yang sering digunakan oleh industri yaitu biomassa seperti sekam padi, gulma kayu, tongkol jagung, serta ampas tebu. Dengan kebutuhan bahan bakar yang tinggi maka diperlukan bahan bakar alternatif lain untuk menunjang kekurangan dari biomassa ini.

Sampah merupakan sisa dari hasil kegiatan sehari-hari manusia yang sudah tidak dipakai, atau sudah dibuang oleh manusia karena kegiatan sehari-hari. *Refuse Derived Fuel* (RDF) adalah teknologi untuk mengolah sampah dengan melalui proses *homogenizer* dan diubah menjadi produk yang lebih kecil atau menjadi bentuk pelet [3]. Penggunaan RDF ini juga mendukung pemerintah dalam mengurangi jumlah sampah di masyarakat dan ramah terhadap lingkungan karena dengan pengurangan sampah juga akan mengurangi gas metana yang dihasilkan oleh sampah tersebut [4]. Salah satu daerah yang menerapkan pengolahan sampah menjadi RDF adalah Kota Denpasar yang memiliki tiga tempat pengolahan sampah terpadu yang dapat menampung 1.020 ton sampah per harinya. Pada tahun 2023 sampah yang dihasilkan sebanyak 133.594,18 ton, dari jumlah tersebut sebanyak 2.380,38 ton atau hanya sekitar 1,8% yang dimanfaatkan sebagai produk lain. Berdasarkan penelitian, nilai kalor RDF berada pada rentang sebesar 3.500 - 4.000 kkal/kg yang mengindikasikan bahwa nilai kalor RDF cukup tinggi dan dapat dimanfaatkan sebagai substitusi batubara karena mengandung sampah organik, plastik, dan kertas [5]. Dalam proses pengolahan sampah menjadi RDF dibutuhkan proses pengeringan untuk mengurangi nilai kadar kelembaban pada RDF sehingga dapat memudahkan untuk dilakukan pembakaran juga berpengaruh pada kualitas klinker yang dihasilkan [2]. Dari penelitian yang telah dilakukan, penggunaan RDF dalam industri semen dapat mengurangi penggunaan batubara, mengurangi biaya produksi, mengurangi produksi CO_2 , serta dapat meningkatkan kualitas klinker dengan penggunaan RDF yang tidak lebih dari 15% [6, 7, 8]. Namun, dari penelitian-penelitian sebelumnya memiliki kekurangan dalam hal membahas hasil dari kestabilan proses dari

produksi semen, maka dalam penelitian ini dilakukan percobaan pengumpanan RDF ke dalam kalsiner.

Percobaan pengumpanan RDF ke dalam kalsiner dilakukan selama 24 jam dengan jumlah 20,6 ton untuk mengetahui pengaruh penggunaan RDF terhadap kestabilan proses meliputi temperatur *stage 5 preheater*, torsi *kiln*, dan *pressure inlet kiln*, serta kualitas klinker pada parameter *freelime*, C_3S , dan C_2S yang dihasilkan. Hasil pengumpanan RDF kemudian dilakukan analisis kestabilan terhadap proses kinerja *preheater*, *kiln*, dan *cooler*, analisis dampak abu RDF terhadap kualitas klinker yang dihasilkan, serta seberapa besar batubara yang tersubstitusi dengan penggunaan RDF sebagai bahan bakar alternatif.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode deskriptif – kuantitatif dengan studi literatur, percobaan skala pabrik, pengambilan data, dan uji laboratorium. Studi literatur untuk memahami lebih dalam mengenai RDF, serta pengaruhnya terhadap proses produksi klinker. Penelitian ini dilakukan di PT Semen Gresik Pabrik Rembang.

2.1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mencari data dan informasi yang dapat mendukung proses penelitian. Studi literatur didapatkan dari buku, jurnal penelitian, skripsi, maupun sumber lainnya yang masih berkaitan dengan topik penelitian yang membahas penggunaan RDF di pabrik semen, kualitas kimia dan fisika dari RDF, pengaruh RDF terhadap kestabilan proses, serta pengaruh RDF terhadap kualitas klinker.

2.2. Pengujian Kimia dan Fisika RDF

2.2.1 Pengujian Kadar Air dari RDF

Pengujian kadar air RDF berpedoman pada SNI 03-1971-1990 mengenai metode pengujian kadar air agregat [9]. Tahapan awal pengujian ini dilakukan dengan menimbang dan mencatat massa awal cawan, kemudian menimbang sampel RDF yang telah dihomogenkan sebanyak 1 gram. Meletakkan cawan yang berisi sampel RDF di atas *tray* dan memasukkan ke dalam *oven* dengan suhu 110°C selama 1 jam. Setelah itu, mendinginkan cawan dengan alat desikator selama 30 menit kemudian menimbang kembali hingga massanya konstan.

2.2.2 Pengujian Kadar Abu dari RDF

Kadar abu RDF diuji dengan mengikuti prosedur dari SNI 3478 – 2010 yang menjelaskan analisis kadar abu contoh batubara [10]. Langkah awal yang dilakukan dalam pengujian ini yaitu dengan menimbang dan mencatat massa awal cawan *porcelain*, kemudian menimbang sampel RDF sebanyak 1 gram. Kemudian memasukkan benda uji ke dalam *furnace* dengan suhu sebesar 950°C selama 1 jam. Setelah 1 jam, mendinginkan benda uji dan menimbang ulang hingga massanya konstan.

2.2.3 Pengujian Nilai Kalor dari RDF

Pengujian nilai kalor dilakukan menggunakan alat *bomb calorimeter* yang dilakukan di laboratorium jaminan mutu PT Semen Gresik pabrik Rembang.

2.3. Observasi Lapangan

Observasi lapangan dilakukan untuk mendapatkan data dari kestabilan proses dari alat *preheater*, *kiln*, dan *cooler*, mendapatkan hasil kualitas klinker dari percobaan RDF,

serta untuk mendapatkan data tonase dari RDF yang akan dimasukkan ke dalam kalsiner.

2.4. Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan adalah parameter kunci dari peralatan preheater, *kiln*, dan *cooler* yang akan dianalisis untuk dijadikan parameter kestabilan operasi yang didapatkan dari *Central Control Room* PT Semen Gresik Pabrik Rembang, sedangkan data kualitas klinker didapatkan dari *Laboratorium Quality Control* PT Semen Gresik Pabrik Rembang.

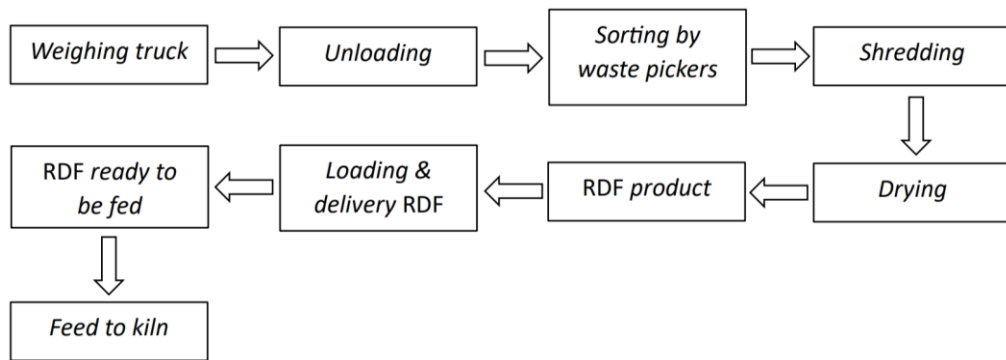
2.5. Analisis Data

Analisis data yang didapat dari *Central Control Room* dan *Laboratorium Quality Control* PT Semen Gresik Pabrik Rembang menggunakan Microsoft Excel dengan keluaran grafik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

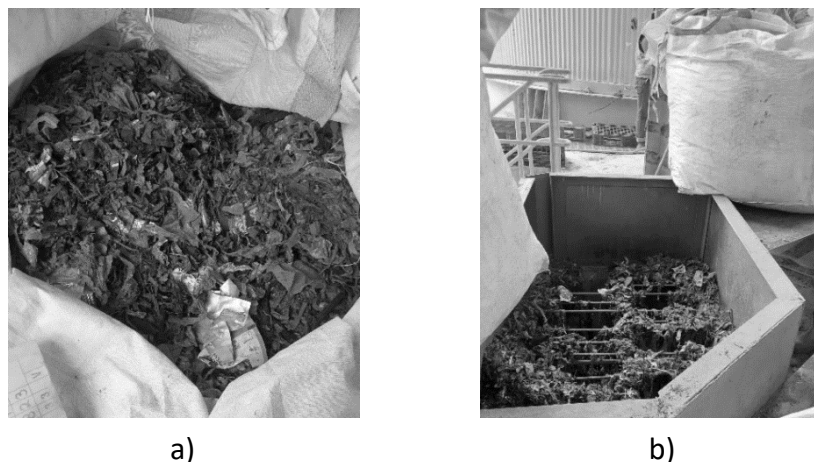
3.1 Karakteristik RDF

RDF (*Refuse Derivied Fuel*) merupakan bahan bakar alternatif yang dapat diperbaharui yang berasal dari limbah perkotaan. Pemanfaatan RDF dalam pengolahan limbah adalah salah satu upaya untuk mengolah hingga mengurangi sampah perkotaan agar tidak menumpuk. RDF terbuat dari *Municipal Solid Waste* (MSW) berupa sampah dari masyarakat yang akan terkumpul di tempat pembuangan akhir (TPA) [11]. Proses produksi RDF menggunakan teknik pengolahan mekanis biologis atau yang biasa disebut dengan metode *Mechanical Biological Treatment* (MBT). Metode MBT merupakan metode mekanis/fisik dan biologis untuk komponen limbah yang mudah terurai secara biologis (*biodegradable*). Sampah ini akan diolah dengan beberapa tahapan untuk selanjutnya menjadi RDF, yaitu tahap pengumpulan sampah, pemilahan sampah yang masih bisa didaur ulang dengan yang tidak, pencacahan awal untuk menyeragamkan sampah menjadi partikel yang lebih kecil dan sesuai untuk proses berikutnya, pengeringan, pengayakan, pencacahan akhir, dan penyimpanan produk RDF. Pengeringan yang dilakukan pada metode MBT menggunakan bakteri aerobik yang dapat mendekomposisi untuk mengeringkan dan sebagian menstabilkan sampah [12]. Dekomposisi bakteri aerobik menghasilkan uap air, karbon dioksida, dan panas sehingga meninggalkan sisa massa organik, sehingga ketersediaan oksigen harus dijaga. Adapun skema dari pembuatan RDF dari MSW pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan proses pembuatan RDF dengan metode *mechanical biological treatment* [13]

RDF memiliki kondisi kering, mengandung banyak sampah organik (daun, batang pohon, plastik, dan kertas) seperti ditunjukkan pada Gambar 2. PT Semen Gresik Rembang mendapatkan RDF yang di-supply dari Kota Denpasar. Sebagian besar limbah kayu yang dihasilkan dari Kota Denpasar memiliki komposisi di atas 40%, dan diikuti oleh komposisi jenis sampah lain yang ditunjukkan pada Tabel 1. Selain itu, Kota Denpasar memiliki limbah makanan yang tidak terlalu banyak karena limbah makanan juga jarang digunakan untuk dicampur ke dalam pembuatan RDF karena memiliki nilai kalor yang rendah [14].



Gambar 2. (a) Sampel RDF dari Kota Denpasar, (b) Pengumpanan RDF ke dalam kalsiner

Tabel 1. Komposisi sampah di Kota Denpasar [15]

Jenis Sampah	Komposisi (%)
Sisa makanan	26,28
Kayu-ranting	43,38
Kertas-karton	8,26
Plastik	11,10
Logam	2,91
Kain	1,04
Karet-kulit	3,09
Kaca	1,94
Lainnya	2,00

Bahan bakar alternatif diperoleh dengan beberapa pertimbangan, seperti kandungan fisika dan kimianya, yaitu nilai kalor, *ash content*, dan nilai *moisture* [7]. Nilai kalor merupakan parameter utama dalam menentukan kelayakan bahan tersebut untuk dijadikan bahan bakar alternatif, semakin tinggi nilai kalor yang dimiliki oleh RDF maka semakin baik kualitasnya [16]. Kadar abu atau *ash content* merupakan nilai kandungan abu tersisa setelah sampel dibakar, semakin tinggi nilainya maka potensi untuk dijadikan bahan bakar alternatif semakin rendah karena dapat mempengaruhi proses pembakaran menjadi tidak efektif, sedangkan nilai *moisture* pada bahan bakar akan berpengaruh pada nilai kalor, yaitu semakin tinggi nilai *moisture* maka akan semakin rendah nilai kalornya [17, 18].

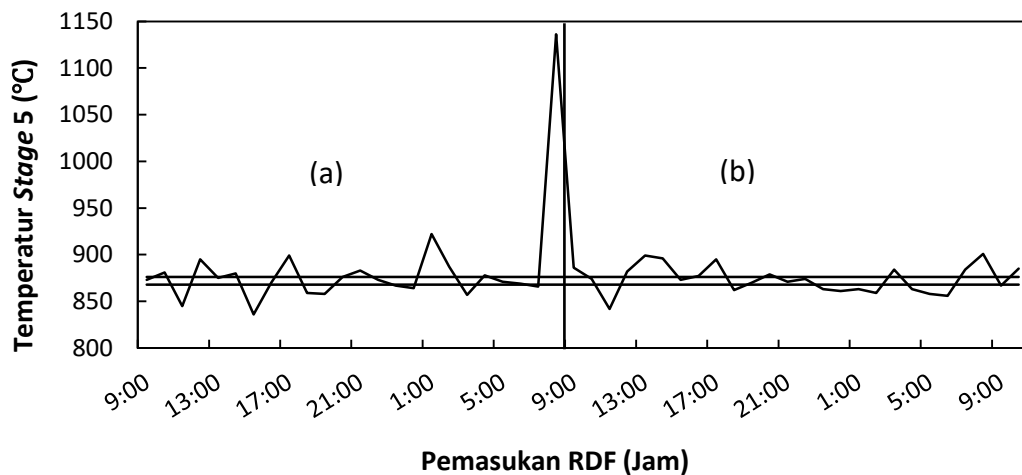
Sampel RDF dilakukan beberapa pengujian yang didapatkan hasil nilai kalor sebesar 4.811 kkal/kg, *ash content* sebesar 19,14%, serta nilai *moisture* sebesar 9,5%. Dengan nilai yang didapatkan, maka sampel RDF yang berasal dari Kota Denpasar dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif karena nilai kalornya lebih dari 2.500 kkal/kg dan nilai total *moisture* di bawah 20%. Karakteristik RDF di beberapa kota ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik RDF di beberapa kota

Lokasi	Moisture Content (%)	Ash Content (%)	Nilai Kalor (kkal/kg)	Sumber
Denpasar	9,50	19,14	4.811	Hasil pengujian
Yogyakarta	4,50	40,60	1.865	[19]
Tangerang	6,90	58,30	2.086	[19]
Semarang	2,60	45,92	1.607	[19]
Gresik	36,62	9,61	3.206	[20]
Cilacap	24,23	17,31	3.990	[21]

3.1 Analisis Kestabilan Proses Parameter Temperatur *Stage 5*

Hasil analisis kimia dan fisika RDF sudah memenuhi standar untuk dapat dijadikan bahan bakar alternatif, maka dilakukan pengumpanan RDF ke dalam kalsiner untuk dilakukan analisis kestabilan prosesnya. Pengumpanan RDF dilakukan pada tanggal 17 November 2023 pukul 10.00 WIB hingga 18 November 2023 pukul 10.00 WIB dengan mengumpankan sebanyak 20,6 ton RDF ke dalam kalsiner yang dilakukan selama 24 jam tanpa menggunakan bahan bakar lain. Setelah dilakukan proses pengumpanan RDF, maka dilakukan analisis kestabilan proses dari kondisi operasi peralatan *preheater*, *kiln*, dan *cooler*. Data temperatur *stage 5* dari *preheater*, *pressure inlet kiln*, torsi *kiln*, dan indeks batubara diperoleh dari *Central Control Room* PT Semen Gresik Rembang. Parameter temperatur *stage 5 preheater* mengindikasikan nilai derajat kalsinasi *raw mix* yang masuk ke dalam *kiln* yang memiliki nilai optimal di antara 868°C hingga 876°C.



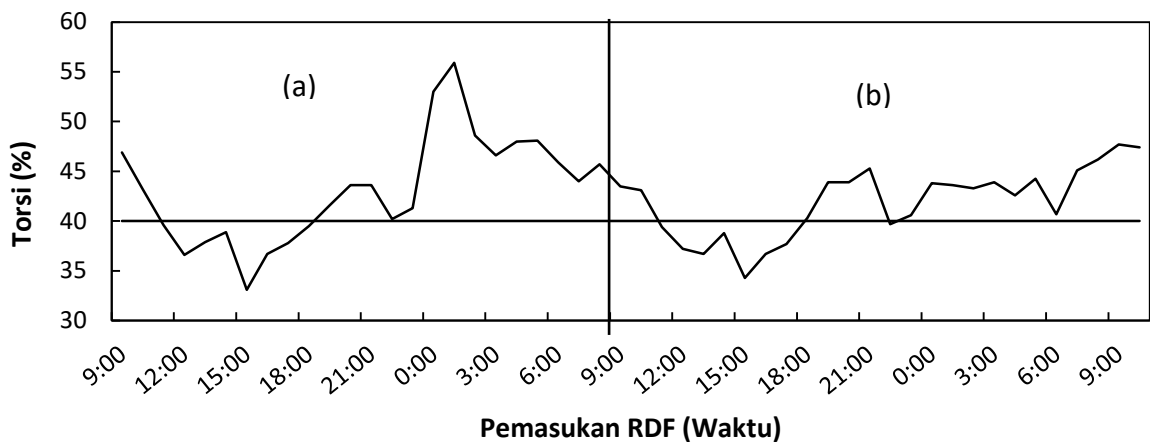
Gambar 3. Kondisi temperatur *stage 5* (°C) pada kestabilan proses saat (a) sebelum pemasukan RDF, dan (b) sesudah pemasukan RDF pukul 10.00 pagi tanggal 17 November 2023 hingga pukul 10.00 pagi tanggal 18 November 2023

Dengan temperatur yang optimal, *kiln feed* memiliki derajat kalsinasi yang berada di nilai sekitar 90%, ketika nilai derajat kalsinasinya terlalu rendah, maka beban pembakaran di dalam *kiln* terlalu tinggi dan tidak cukup efektif. Akan tetapi, nilai derajat kalsinasinya terlalu tinggi maka *kiln feed* akan terbentuk fase cair lebih awal sebelum masuk *kiln* yang menyebabkan kebuntuan pada jalur *raw mix*. Sebelum pemasukan RDF temperatur *stage 5* menunjukkan kondisi fluktuatif yang memiliki standar deviasi yang tinggi, ketika pukul 8 pagi tanggal 17 November 2023 terdapat kondisi yang menunjukkan nilai temperatur *stage 5* sangat tinggi. Apabila ditinjau dari kondisi setelah pengumpanan RDF, temperatur *stage 5* kembali stabil dibandingkan dengan operasi ketika sebelum pengumpanan RDF. Kondisi yang sama ditunjukkan oleh penelitian terdahulu yang membahas insinerasi pada *kiln* yang optimal, suhu *preheater* cukup tinggi $>950^{\circ}\text{C}$ yang melebihi suhu yang diperlukan untuk pembakaran sempurna hidrokarbon berbobot molekul tinggi, maka masih aman apabila menggunakan RDF sebagai substitusi batubara [22].

3.2 Analisis Kestabilan Proses Parameter Torsi *Kiln*

Parameter torsi menunjukkan ampere motor dari *main drive kiln* dengan nilai parameter torsi berputar pada nilai optimal 40%, apabila nilainya semakin tinggi maka fase cair dalam *kiln* akan bertambah sehingga kualitas produk yang didapatkan semakin baik. Namun sebaliknya, apabila nilai torsi di bawah nilai optimal menunjukkan berkurangnya fase cair dalam *kiln*, kualitas klinker yang semakin buruk, dan tidak matang karena temperatur zona pembakaran menurun [23]. Sebelum pemasukan RDF terdapat data yang fluktuatif dan standar deviasi yang tinggi seperti ditunjukkan pada Gambar 4 (a), tetapi setelah pemasukan RDF yang ditunjukkan pada Gambar 4 (b) nilainya menunjukkan kecenderungan lebih stabil dengan nilai standar deviasi yang rendah. Hal ini menunjukkan kondisi yang sama dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan nilai torsi *kiln* setelah pemasukan RDF menunjukkan kondisi yang konstan dengan nilai 240 amps [22]. Selain itu, dengan penggunaan RDF sebanyak 15% dari jumlah batubara

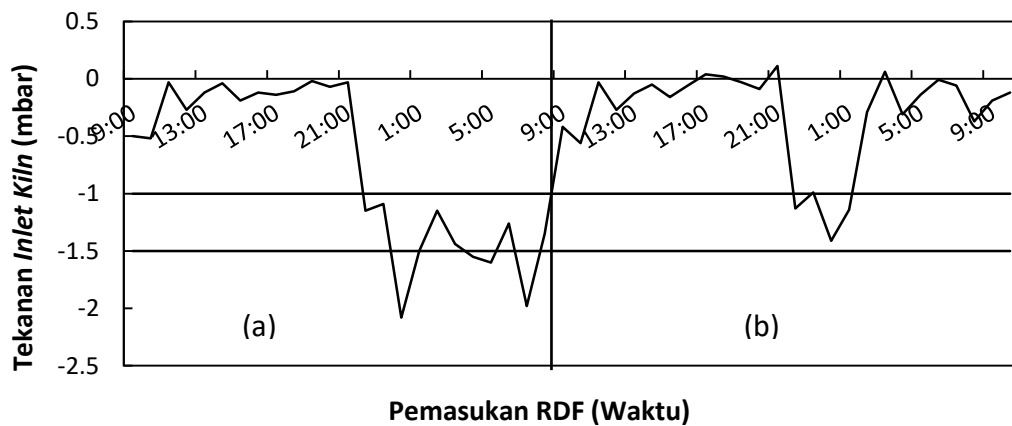
tidak menunjukkan pengaruh yang besar bagi proses pembakaran yang ada di dalam kiln apabila dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar batubara penuh [18].



Gambar 4. Torsi atau kondisi material di dalam *kiln* (%) pada kestabilan proses saat (a) sebelum pemasukan RDF, dan (b) sesudah pemasukan RDF pukul 10.00 pagi tanggal 17 November 2023 hingga pukul 10.00 pagi tanggal 18 November 2023

3.3 Analisis Kestabilan Proses Parameter *Pressure Inlet Kiln*

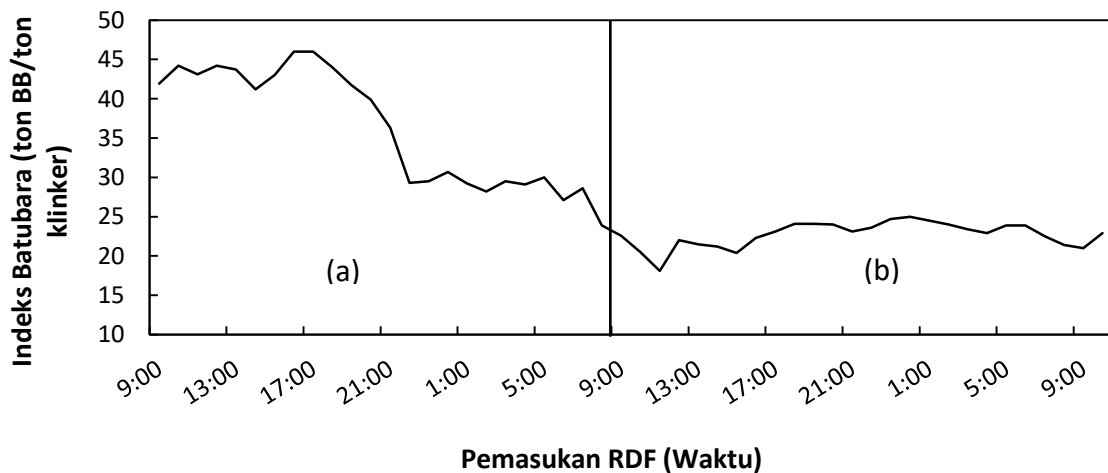
Parameter *pressure inlet kiln* memiliki nilai optimal -1,5 hingga -1 mbar. Tekanan *inlet kiln* menunjukkan terjadinya *coating* di dalam *kiln* yang berhubungan dengan tekanan di ID *fan* sehingga harus dijaga optimal. Hasil uji analisis parameter *pressure inlet kiln* terdapat pada Gambar 5. *Coating* yang terjadi di dalam *kiln* merupakan suatu fenomena pengerasan atau timbulnya kerak material pada *fire bricks kiln*. Hal ini disebabkan karena terlalu banyaknya fase cair pada *kiln feed*, proses kalsinasi yang tidak sempurna, serta kondisi *kiln feed* yang memiliki kadar sulfur dan alkali yang tinggi. Ketika *coating* terbentuk, maka nilai *pressure inlet kiln* akan berada di atas batas nilai optimal, dapat menyebabkan *kiln* berdebu, area aliran gas berkurang, serta kadar oksigen dalam *kiln* menurun sehingga pembakaran memburuk dan klinker tidak matang. Ditinjau dari Gambar 5 (a) dan (b) terdapat kondisi yang fluktuatif, tetapi ketika setelah pemasukan RDF tidak terdapat kondisi di bawah nilai optimal yang telah ditetapkan. Dari hasil yang didapatkan sesuai dengan penelitian sebelumnya yang menyebutkan bahwa kondisi debu selama kalsinasi ditunjukkan oleh kecepatan *fan* dan jumlah material yang dibutuhkan untuk menstabilkan proses kalsinasi tidak terjadi *coating* material di dalam sistem yang dibuktikan dengan laju material yang masuk dalam kondisi stabil, serta di dalam *kiln* menunjukkan memiliki kadar oksigen yang tinggi [22].



Gambar 5. Kondisi tekanan *inlet kiln* (mbar) pada kestabilan proses saat (a) sebelum pemasukan RDF, dan (b) sesudah pemasukan RDF pukul 10.00 pagi tanggal 17 November 2023 hingga pukul 10.00 pagi tanggal 18 November 2023

3.4 Indeks Kebutuhan Batubara

Kebutuhan batubara memiliki peran penting dalam proses pembakaran *kiln* karena memengaruhi beberapa hal yang ada di dalam *kiln* seperti temperatur zona pembakaran di dalam *kiln* naik, temperatur gas buang masuk *kiln* naik, hingga konsentrasi oksigen yang menurun [24]. Indeks kebutuhan batubara dari pemakaian RDF ditunjukkan pada Gambar 6.



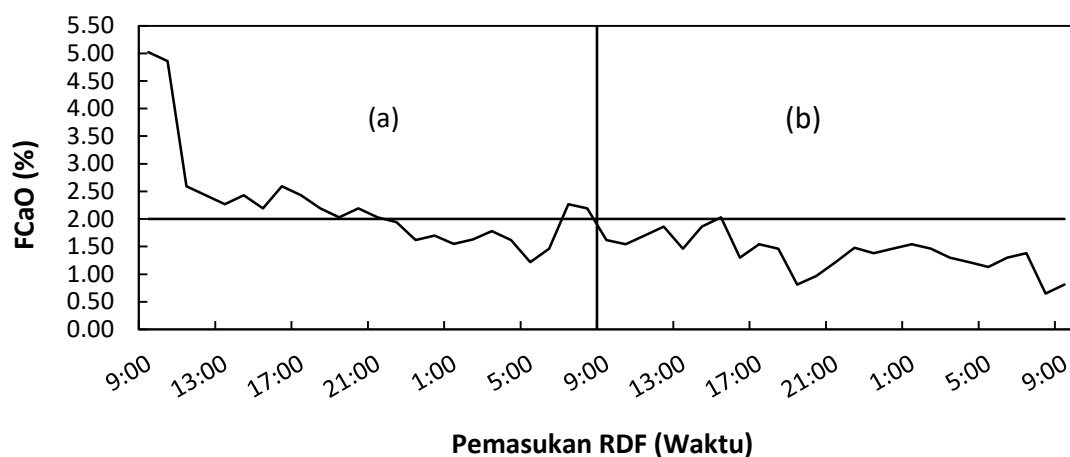
Gambar 6. Kondisi indeks batubara (ton batubara/ton klinker) pada kestabilan proses saat (a) sebelum pemasukan RDF sebesar 3%, dan (b) sesudah pemasukan RDF pemasukan RDF pukul 10.00 pagi tanggal 17 November 2023 hingga pukul 10.00 pagi tanggal 18 November 2023

Penambahan laju alir batubara akan menyebabkan temperatur zona pembakaran dan kebutuhan oksigen meningkat. Ditinjau dari Gambar 6 (a) indeks kebutuhan batubara menunjukkan penurunan yang disebabkan karena nilai kalor batubara yang selalu berubah dengan nilai yang berkisar pada 4.800 hingga 5.100 kkal/kg, sehingga batubara yang dibutuhkan semakin sedikit. Namun, ketika RDF diumpungkan ke dalam kalsiner terdapat kenaikan kebutuhan batubara yang ditunjukkan pada Gambar 6 (b)

disebabkan oleh nilai kalor batubara lebih tinggi dari RDF sehingga untuk memenuhi kebutuhan nilai kalor maka diperlukan bantuan dari batubara. Namun, ketika nilai kebutuhan batubara dirata-rata nilainya menunjukkan penurunan hingga 0,01 ton batubara/ton klinker. Dari penelitian sebelumnya menjelaskan bahwa dengan adanya penggunaan RDF sebagai bahan substitusi batubara dapat mengurangi emisi CO₂ hingga 40% [25]. Dengan adanya berkurangnya emisi CO₂ menunjukkan bahwa batubara yang digunakan sebagai bahan bakar juga berkurang.

3.5 Analisis Kualitas Klinker

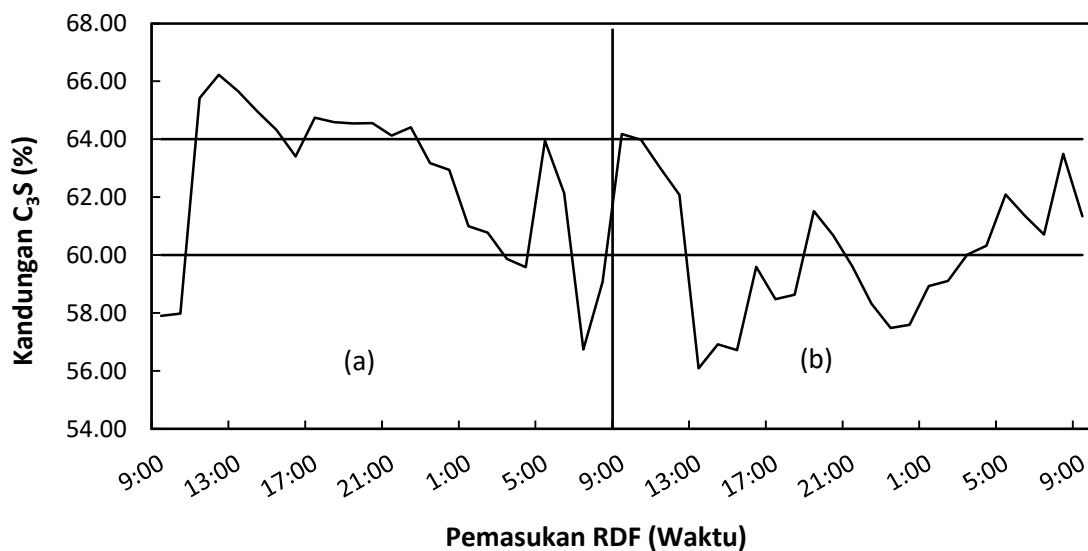
Kualitas klinker dilakukan analisis karena dengan adanya pengumpanan RDF ke dalam kalsiner terdapat jumlah logam-logam yang ikut tergabung dalam pembentukan klinker [26]. Parameter pertama yang diuji adalah kadar *freelime* atau kadar kapur bebas yang merupakan jumlah batu kapur yang tidak ikut bereaksi dengan oksida-oksida lain. Kadar *freelime* yang tinggi menunjukkan adanya penambahan batu kapur yang berlebih pada *raw mix*, serta menunjukkan batu kapur yang tidak bereaksi dengan oksida-oksida yang lain sehingga kualitas semen yang dihasilkan akan semakin buruk. Sebelum pengumpanan RDF diperoleh nilai kadar *freelime* yang tinggi, dan dibandingkan dengan setelah pengumpanan RDF masih di bawah nilai batas optimal yang berkisar pada nilai 1 – 1,5% dengan nilai maksimal 2% seperti ditunjukkan pada Gambar 7. Hal ini mengindikasikan bahwa setelah RDF diumpankan ke dalam kalsiner, batu kapur bereaksi dengan oksida-oksida lain yang akan menghasilkan kualitas semen yang baik. Namun, hasil yang didapatkan berbeda apabila dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang menghasilkan *freelime* yang tinggi setelah dilakukan pengumpanan RDF. Hal ini disebabkan oleh kandungan RDF yang digunakan dalam pembakaran kiln dari negara lain berbeda dengan komposisi RDF yang ada di Indonesia [26].



Gambar 7. Kondisi FCaO (%) pada klinker saat (a) sebelum pemasukan RDF, dan (b) sesudah pemasukan RDF pemasukan RDF pukul 10.00 pagi tanggal 17 November 2023 hingga pukul 10.00 pagi tanggal 18 November 2023

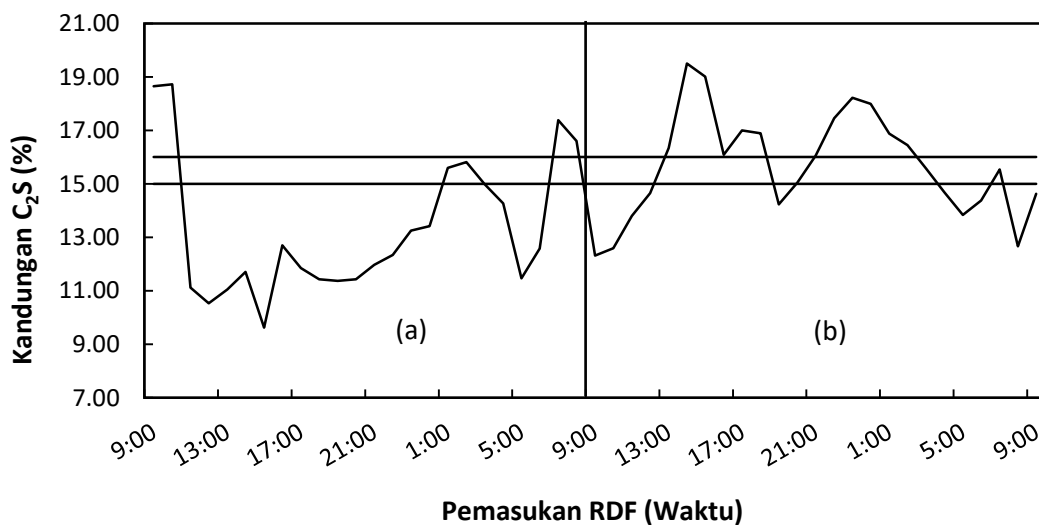
Percobaan RDF dilakukan untuk menganalisis kualitas klinker yang dihasilkan dari parameter kandungan C₃S yang mengindikasikan nilai kuat tekan awal dari semen. Nilai optimal dari C₃S semen berada di antara 60 hingga 64%, apabila nilai C₃S rendah maka akan berpengaruh ke kuat tekan awal dari semen tersebut. Kualitas C₃S ketika ditinjau

dari sebelum dan setelah pemasukan RDF menunjukkan yang fluktuatif, tetapi setelah pemasukan RDF semakin banyak nilai yang di bawah nilai standar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8 (b). Hal ini mengindikasikan bahwa kuat tekan awal semen akan rendah. Hal ini sejalan dengan yang dijelaskan dari penelitian sebelumnya bahwa ketika jumlah perbandingan RDF dengan batubara dinaikkan hingga 20% akan menurunkan kadar C_3S [2].



Gambar 8. Kondisi C_3S (%) pada klinker (a) sebelum pemasukan RDF, dan (b) sesudah pemasukan RDF pemasukan RDF pukul 10.00 pagi tanggal 17 November 2023 hingga pukul 10.00 pagi tanggal 18 November 2023

Nilai parameter C_2S memiliki nilai standar 15 hingga 16% yang berkontribusi pada nilai kuat tekan akhir semen, sehingga berbanding terbalik dengan nilai C_3S , ketika nilai C_3S -nya rendah maka nilai C_2S -nya akan tinggi. Dari kualitas klinker sebelum pemasukan RDF nilai kadar C_2S -nya banyak di bawah kondisi nilai standar, sedangkan setelah pemasukan RDF nilai C_2S -nya berada di atas batas nilai standar seperti ditunjukkan pada Gambar 9 (b). Hal ini menunjukkan bahwa nilai kuat tekan di akhir akan semakin tinggi. Namun, hasil ini berbeda dengan penelitian sebelumnya yang memberikan nilai C_2S lebih rendah dari nilai C_3S -nya. Hal ini disebabkan karena adanya variasi kandungan RDF yang digunakan, adanya nilai kelembaban RDF yang lebih tinggi yang mempengaruhi dari kualitas pembakaran di kiln, dan kualitas klinker yang dihasilkan [2, 16].



Gambar 9. Kondisi C_2S (%) pada klinker (a) sebelum pemasukan RDF, dan (b) sesudah pemasukan RDF pemasukan RDF pukul 10.00 pagi tanggal 17 November 2023 hingga pukul 10.00 pagi tanggal 18 November 2023

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil yang telah didapat, maka kesimpulan yang dapat diambil yaitu RDF memiliki kualitas yang memenuhi syarat untuk menjadi bahan bakar alternatif, yaitu dengan nilai kalor sebesar 4.811 kkal/kg, nilai total *moisture* sebesar 5,89%, serta RDF merupakan bahan bakar alternatif yang dapat diperbaharui. Parameter yang dianalisis adalah torsi yang menunjukkan beban *kiln* yang semakin stabil ketika dilakukan pemasukan RDF, parameter kedua yaitu *pressure inlet kiln* yang keadaannya fluktuatif, suhu *stage 5* yang mengindikasikan kondisi yang semakin stabil, dan indeks batubara yang apabila dirata-rata kebutuhan ton batubara per ton klinker menghemat sebesar 0,01. Analisis kualitas klinker ketika dilakukan pemasukan RDF juga dilakukan dengan memperhatikan parameter *freelime* yang menunjukkan bahwa nilainya berada di bawah batas optimal, kemudian nilai C_3S yang fluktuatif yang berarti kuat tekan awal semennya akan menurun. Parameter terakhir yang dianalisis adalah C_2S yang memiliki karakter yang berkebalikan dengan nilai C_3S yaitu semakin tinggi, C_2S menunjukkan kuat tekan di akhir, sehingga kuat tekan semen di akhir akan semakin kuat.

Dengan adanya pemasukan RDF yang telah dilakukan, maka RDF dapat dijadikan sebagai bahan bakar alternatif yang menjanjikan. Oleh karena itu, pada penelitian selanjutnya RDF dapat dijadikan sebagai substitusi batubara dengan skala yang lebih besar lagi agar dapat mengurangi pengeluaran yang besar untuk keperluan bahan bakar. Selain itu, untuk menjaga *moisture* RDF yang rendah, maka dibutuhkan *close storage* untuk menampung RDF ini agar tidak terkena hujan ataupun terkena kelembaban dari udara luar.

REFERENSI

- [1] E. Ziaee, M. Tahani, A. Hajinezhad, dan Z. Halimehjani, "Utilization of Refuse-Derived Fuel (RDF) from Urban Waste as an Alternative Fuel for Cement Factory: a Case Study," *International Journal Of Renewable Energy Research*, vol. 6, no. 2, 2016.

- [2] T. H. Tan, K. H. Mo, J. Lin, dan C. C. Onn, "An Overview of the Utilization of Common Waste as an Alternative Fuel in the Cement Industry," *Advances in Civil Engineering*, vol. 2023, 2023.
- [3] N. Chatziaras, C. S. Psomopoulos, dan N. J. Themelis, "Use of Waste Derived Fuels in Cement Industry: A Review," Emerald Group Publishing Ltd., 2016.
- [4] M. U. Ali, "A Techno-Economic Analysis of Alternative Fuels in Cement Industry in Pakistan," *International journal of Engineering Works*, vol. 8, no. 08, hal. 191–196, 2021.
- [5] W. Paramita, D. M. Hartono, dan T. E. B. Soesilo, "Sustainability of Refuse Derived Fuel Potential from Municipal Solid Waste for Cement's Alternative Fuel in Indonesia (A Case at Jeruklegi Landfill, in Cilacap)," dalam *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Institute of Physics Publishing, 2018.
- [6] G. L. Tihin, K. H. Mo, C. C. Onn, H. C. Ong, Y. H. Taufiq-Yap, dan H. V. Lee, "Overview of municipal solid wastes-derived refuse-derived fuels for cement co-processing," *Alexandria Engineering Journal*, 2023.
- [7] S. Hemidat, M. Saidan, S. Al-Zu'bi, M. Irshidat, A. Nassour, dan M. Nelles, "Potential utilization of RDF as an alternative fuel to be used in cement industry in Jordan," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 11, no. 20, 2019.
- [8] M. Kara, "Environmental and Economic Advantages Associated With the Use of RDF in Cement Kilns," *Resources Conservation and Recycling*, vol. 68, hal. 21–28, 2012.
- [9] Badan Standarisasi Nasional, "Metode Pengujian Kadar Air Agregat," 1990.
- [10] Badan Standarisasi Nasional, "Analisis Kadar Abu Contoh Batubara," 2011.
- [11] W. Zamrudy, S. Santosa, A. Budiono, dan E. Naryono, "A review of Drying Technologies for Refuse Derived Fuel (RDF) and Possible Implementation for Cement Industry," *International Journal of ChemTech Research*, vol. 12, no. 01, hal. 307–315, 2019.
- [12] M. Chaerul dan A. K. Wardhani, "Refuse Derived Fuel (RDF) dari Sampah Perkotaan dengan Proses Biodrying: Review," *Jurnal Presipitasi*, vol. 17, no. 1, hal. 62–74, 2020.
- [13] Solusi Bangun Indonesia, "Production of Refuse-Derived Fuel (RDF) as Alternative Fuel in Cement Kiln SBI-MSW to RDF," Yogyakarta, 2019.
- [14] I. W. K. Suryawan, I. M. W. Wijaya, N. K. Sari, I. Y. Septiariva, dan N. L. Zahra, "Potential of Energy Municipal Solid Waste (MSW) to Become Refuse Derived Fuel (RDF) in Bali Province, Indonesia," *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, vol. 10, no. 1, hal. 09–15, 2021.
- [15] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, "Komposisi Sampah Berdasarkan Jenis Sampah," Sistem Informasi Pengolahan Sampah Nasional, 2024.
- [16] M. Kara, E. Günay, Y. Tabak, dan Ş. Yildiz, "Perspectives for Pilot Scale Study of RDF in Istanbul, Turkey," *Waste Management*, vol. 29, no. 12, hal. 2976–2982, 2009.
- [17] M. Rusli, A. H. Hendra, D. Yunirsyam, dan M. Bur, "Shell Thickness Reduction Effect on Working Stress of Cement Kiln with Mechanic and Thermal Load," dalam *Prosiding SNTTM XVI*, Padang, hal. 91–94, 2017.
- [18] B. Karpan, A. A. Abdul Raman, dan M. K. Taieb Aroua, "Waste-to-Energy: Coal-Like Refuse Derived Fuel from Hazardous Waste and Biomass Mixture," *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 149, hal. 655–664, 2021.

- [19] A. L. Sihombing dan R. Darmawan, "Karakteristik Sampah Lama (Mining Landfill Waste) Tempat Pemrosesan Akhir sebagai Bahan Bakar Jumputan Padat," dalam *Seminar Nasional Penelitian dan Pengabdian Masyarakat*, Pangkalpinang, hal. 24–28, 2021.
- [20] M. Qidham, A. Aninuddin, dan F. Rosariawari, "Potensi Pemanfaatan SampahTPS di Kabupaten Gresik sebagai Bahan Bakar Refused Derived Fuel (Studi Kasus TPS Pegaden)," *ESEC Teknik Lingkungan*, vol. 2, no. 1, hal. 67–74, 2021.
- [21] D. Prariesta, L. Edahwati, dan N. Karaman, "Analisis Emisi dari Penggunaan Refuse Derived Fuel sebagai Bahan Bakar Alternatif di Industri Semen (Studi Kasus di PT Solusi Bangun Indonesia Cilacap)," *Envirotek: Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, vol. 15, no. 2, hal. 194–199, 2023.
- [22] A. L. H. R. El-Salamony, H. M. Mahmoud, dan N. Shehata, "Enhancing the efficiency of a cement plant kiln using modified alternative fuel," *Environmental Nanotechnology Monitoring and Management*, vol. 14, 2020.
- [23] J. Robert, M. Bisulandu, dan F. Huchet, "Rotary kiln process: An overview of physical mechanisms, models and applications," *Applied Thermal Engineering*, vol. 221, 2023.
- [24] B. R. Ramadhan dan Safaruddin, "Evaluasi Kinerja Pembakaran pada Unit Kiln di PT Semen Baturaja (PERSERO) Tbk.," *JUPITER (Jurnal Pengetahuan & Ilmu Terapan)*, vol. 3, no. 1, 2022.
- [25] Y. Yang, R. K. Liew, A. M. Tamothran, S. Y. Foong, P. N. Y. Yek, P. W. Chia, T. V. Tran, W. Peng, S. S. Lam, "Gasification of refuse-derived fuel from municipal solid waste for energy production: a review," *Springer Science and Business Media Deutschland*, 2021.
- [26] N. Haračić, N. Merdić, I. Bušatlić, dan N. Bušatlić, "The Influence of RDF (Refuse Derived Fuels) on Cement Clinker Reactivity," dalam *Metallic and Non Metallic Materials*, Zenica, hal. 1–5, 2021.