



Analisis Emisi dari Penggunaan *Refuse Derived Fuel* sebagai Bahan Bakar Alternatif di Industri Semen (Studi Kasus di PT Solusi Bangun Indonesia Cilacap)

Dita Prariesta¹, Luluk Edahwati^{2*}, Novel Karaman¹

¹ Program Magister Ilmu Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

² Teknik Kimia, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

Email Korespondensi : lulukedahwati@gmail.com

Diterima: 08 Oktober 2023

Disetujui: 24 Oktober 2023

Diterbitkan: 30 Oktober 2023

Kata Kunci:

Emisi Cerobong, Industri Semen, Pengelolaan Sampah, Refuse Derived Fuel

ABSTRAK

Sampah adalah masalah bagi setiap orang karena selalu dihasilkan setiap harinya dan sepanjang tahun. Untuk menghindari terjadinya kekurangan lahan untuk tempat pembuangan akhir perlu dilakukan penanganan pada sampah yakni salah satunya dapat dengan mengubah sampah menjadi sumber energi seperti misalnya pembuatan RDF (*Refuse Derived Fuel*). Sejauh ini pemanfaatan RDF skala besar sebagai bahan bakar alternatif baru diterapkan di PT. Solusi Bangun Indonesia Cilacap. Studi ini mengkaji tiga aspek, yaitu spesifikasi bahan bakar alternatif yang digunakan, data emisi dari cerobong, dan data kualitas udara ambien. Dari data produksi diketahui RDF yang dipakai mempunyai spesifikasi nilai kalor sebesar 3991 Kcal/kg, persentase abu sebesar 17,31%, dan kandungan air sebesar 24,23%. Data emisi dari cerobong Kiln-Raw Mill menunjukkan bahwa untuk parameter partikulat, SO₂, NO_x, HF, HCl, dan CO sebesar 16 mg/Nm³, 36 mg/Nm³, 178 mg/Nm³, 0,4 mg/Nm³, 14 mg/Nm³, dan 16 mg/Nm³. Sedangkan rata-rata hasil pengukuran ambien untuk 10 lokasi di sekitar pabrik untuk parameter partikulat debu (TSP), PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂, NO₂, CO, O₃, HC, dan Pb sebesar 75 mg/Nm³, 30 mg/Nm³, 16 mg/Nm³, 31,5 mg/Nm³, 25,5 mg/Nm³, 1164 mg/Nm³, 34 mg/Nm³, <66 mg/Nm³, <0,002 mg/Nm³. Data hasil pengukuran emisi maupun ambien mempunyai nilai di bawah baku mutu yang berlaku.

Received: 08 October 2023

Accepted: 24 October 2023

Published: 30 October 2023

Keywords:

Stack Emissions, Cement Industry, Waste Management, Refuse Derived Fuel

ABSTRACT

Waste is a problem because it is generated every day and throughout the year. To avoid a shortage of land for landfills, it is necessary to handle waste by converting it into an energy source, such as with the RDF (*Refuse Derived Fuel*) method. So far, large-scale use of RDF as an alternative fuel has only been implemented at PT. Solusi Bangun Indonesia Cilacap. This study examines three aspects, namely specifications of the alternative fuel used, emission data from stacks and ambient air quality data. From production data, it is known that the RDF used has a calorific value specification of 3991 Kcal/kg, ash percentage of 17.31% and water content of 24.23%. Emission data from the Kiln-Raw Mill stack shows that for particulate parameters, SO₂, NO_x, HF, HCl, and CO are 16 mg/Nm³, 36 mg/Nm³, 178 mg/Nm³, 0.4 mg/Nm³, 14 mg/Nm³, and 16 mg/Nm³. Meanwhile, the average ambient measurement results for 10 locations around the factory for parameters TSP, PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂, NO₂, CO, O₃, Hydrocarbon and Pb were 75 mg/Nm³, 30 mg/Nm³, 16 mg/Nm³, 31.5 mg/Nm³, 25.5 mg/Nm³, 1164 mg/Nm³, 34 mg/Nm³, <66 mg/Nm³, <0.002 mg/Nm³. Data from emission and ambient air quality measurements have values below the quality standards.

1. PENDAHULUAN

Sampah adalah masalah bagi setiap orang karena selalu dihasilkan setiap harinya dan sepanjang tahun. Menurut data dari Bank Dunia pada tahun 2020, dunia diperkirakan

menghasilkan 2,24 miliar ton sampah padat per tahun, atau setara dengan 0,79 kilogram per orang per hari. Dengan pertumbuhan penduduk dan urbanisasi yang cepat, timbulan sampah tahunan diperkirakan akan meningkat sebesar 73% dari tahun 2020 menjadi 3,88 miliar ton pada tahun 2050 (Kaza et al., 2021).

Di Indonesia sendiri, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) mencatat jumlah sampah di Indonesia mencapai 30,97 juta ton pada 2021. Berdasarkan sumbernya, rumah tangga menyumbang paling banyak terhadap sampah nasional yakni 39,71%. Sumber sampah terbesar berikutnya berasal dari perniagaan dengan persentase mencapai 20,88% (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2022).

Data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan pada tahun 2021 mencatat sampah yang terkelola dengan baik hanya sebanyak 20,05 juta ton/tahun atau 65,14%. Ini terjadi karena masih terbatasnya daya tampung tempat pembuangan sampah baik tempat pemrosesan akhir (TPA) maupun tempat penampungan sementara (TPS), hingga minimnya standar dalam pengelolaan sampah yang sudah diterapkan.

Pengelolaan sampah untuk dikirim ke TPA saat ini merupakan pilihan yang tidak ramah lingkungan karena TPA menghasilkan metana dalam jumlah besar. Peningkatan jumlah timbulan sampah juga menyebabkan meningkatnya kebutuhan lahan pada tempat pembuangan akhir. Untuk menghindari terjadinya kekurangan lahan perlu dilakukan penanganan pada sampah, yakni dengan mengubah sampah menjadi sumber energi seperti bahan baku RDF (*Refuse Derived Fuel*). RDF merupakan salah satu teknik penanganan sampah dengan mengubah sampah menjadi sesuatu yang bermanfaat yaitu bahan bakar.

Prinsip produksi RDF adalah mendapatkan bahan bakar berkualitas dari limbah dengan cara menghilangkan partikel yang dapat didaur ulang seperti logam dan kaca serta mengubah limbah rumah tangga menjadi bahan bakar yang bermanfaat dengan ukuran partikel seragam dan nilai kalor yang tinggi (Saha & Karstensen, 2019). RDF selanjutnya dapat menjadi bahan bakar alternatif dalam industri semen. Hal positif lain dari penggunaan RDF dalam industri semen adalah sifat unik dari pembakaran dalam *kiln* semen dengan suhu nyala api melebihi 2000°C yang berarti bahwa bahan baku atau bahan bakar alternatif seperti RDF dapat dihancurkan sepenuhnya tanpa menghasilkan abu atau limbah berbahaya (Kara, 2012).

Di Indonesia sendiri memiliki dua fasilitas RDF skala besar yang terletak di TPST Jeruklegi Cilacap yang telah beroperasi sejak tahun 2020 dan TPST Bantargebang Bekasi yang baru beroperasi di pertengahan tahun 2023. Data yang diperoleh dari Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) yang dikelola oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan menyebutkan bahwa sepanjang tahun 2021 dan 2022, sampah yang telah dikelola oleh TPST Jeruklegi Cilacap mencapai 104 ribu ton (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2023).

Fasilitas RDF di Jeruk Legi Cilacap, dibangun dengan dana dari beberapa pihak termasuk dana bantuan dari pemerintah Denmark (Proyek ESP3) dan Semen Indonesia Group (Ismawati et al., 2022). Dalam kolaborasi untuk meningkatkan volume terolah di fasilitas RDF, Unilever mendukung pembiayaan perbaikan kinerja alat (*maintenance cost*) dan penyempurnaan fasilitas RDF. Sedangkan penyediaan armada pengangkutan sampah dan perluasan area pengangkutan hingga ke Kroya, Sidareja, dan Majenang menjadi tanggung jawab DLH Cilacap.

Fasilitas RDF yang sebelumnya didesain berkapasitas 120 ton/hari saat ini sudah dapat menerima sampah segar sebanyak rata-rata 150 ton per hari dan akan terus dikembangkan sampai dengan 200 ton/hari (PT Solusi Bangun Indonesia, 2021).

Sebagai informasi, teknologi RDF di TPST tersebut menggunakan metode *biodrying* dalam mengolah sampah. Proses *biodrying* bertujuan untuk mengurangi kandungan air dalam sampah. Metode *biodrying* adalah pengeringan secara biologis yang disertai dengan aerasi. Secara umum, *drying* berarti proses mengurangi kandungan air dalam material. (Purnomo, 2020).

Konsep *Waste to Energy* saat ini sedang dikembangkan sebagai salah satu solusi pengelolaan sampah dan stabilitas energi. Namun penelitian lebih lanjut perlu dilakukan demi mengetahui dampak lingkungan dari teknologi ini dikarenakan teknologi RDF yang terbilang baru di Indonesia. Sejauh ini pemanfaatan RDF skala besar sebagai bahan bakar alternatif baru diterapkan di PT Solusi Bangun Indonesia Cilacap. Sebagai teknologi baru, pengkajian lebih lanjut diperlukan untuk mengetahui optimalisasi pemanfaatan yang dapat dicapai dan dampak lingkungan yang ditimbulkan.

Penelitian ini diharapkan dapat mengawali pengkajian lebih lanjut mengenai pemanfaatan RDF di industri semen di Indonesia. Penelitian ini mengkaji emisi yang ditimbulkan dari penggunaan RDF sebagai bahan bakar alternatif di industri semen dan bertujuan untuk mengetahui lebih lanjut mengenai karakteristik RDF yang dihasilkan oleh Tempat Pengelolaan Sampah Terpadu (TPST) Jeruklegi Cilacap serta mempelajari perbedaan kualitas udara emisi sebelum dan sesudah penggunaan RDF di PT Solusi Bangun Indonesia Cilacap.

2. METODE

Penelitian dilakukan di PT Solusi Bangun Indonesia Cilacap selama bulan Oktober hingga November 2022. Data dikumpulkan dari data internal PT Solusi Bangun Indonesia Cilacap serta penelitian terkait yang telah dilakukan sebelumnya. Pengumpulan data primer dilakukan dengan wawancara dengan karyawan PT Solusi Bangun Indonesia Cilacap dan permintaan data terkait dari PT Solusi Bangun Indonesia Cilacap. Kriteria data yang diminta adalah data emisi dari cerobong sebelum dan sesudah penggunaan bahan bakar alternatif RDF serta data kualitas udara ambien setelah menggunakan bahan bakar alternatif RDF. Pengumpulan data sekunder adalah data dari penelitian terkait RDF di dalam maupun luar negeri. Studi ini mengkaji tiga aspek, yaitu spesifikasi bahan bakar alternatif yang digunakan, data emisi dari cerobong, dan data kualitas udara ambien. Aspek 1 didapat dari data internal PT Solusi Bangun Indonesia Cilacap. Aspek 2 dan 3 dianalisis dengan membandingkan data dari PT SBI Cilacap dengan baku mutu sesuai dengan peraturan yang berlaku di Indonesia.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

PT Solusi Bangun Indonesia (SBI) Cilacap menggunakan RDF dari TPST Jeruklegi Cilacap. Produk RDF dari TPST Jeruklegi seluruhnya diolah dari plastik dan sampah kota. Jumlah sampah yang masuk ke TPST sebanyak 120 ton/hari dan dari total sampah tersebut terbagi menjadi tiga bagian setelah diproses di TPST Jeruklegi Cilacap. Sebanyak 12 ton merupakan residu yang nantinya akan dibuang ke TPA Tritih Wetan, 40-50 ton merupakan hasil RDF yang nantinya akan digunakan sebagai bahan bakar pengganti batu bara oleh PT Solusi Bangun Indonesia (SBI) Cilacap dan

sebanyak 3-5 ton akan dilakukan daur ulang menjadi kompos (Purnomo, 2020).

Setelah dipilah oleh pemulung, bahan baku diolah dengan metode *bio-drying* lalu sampah yang sudah kering dipotong menjadi bagian kecil dengan hasil tiga macam produk yaitu produk RDF dengan ukuran 20-50 mm, inert dengan ukuran <20 mm dan produk *oversize* dengan ukuran >50 mm yang nantinya akan diproses untuk menjadi RDF dengan dilakukan pencacahan ulang sehingga ukurannya dapat memenuhi kriteria. PT Solusi Bangun Indonesia kemudian menggunakan RDF ini sebagai bahan baku alternatif untuk *kiln* semen di Cilacap bersama dengan bahan inert sebagai tambahan. Penambahan bahan inert pada RDF bertujuan untuk menambah bobot pada massa RDF sebelum diumpangkan ke dalam *kiln* semen. (Ministry of Foreign Affairs of Denmark, 2022).

Selain RDF, PT Solusi Bangun Indonesia (SBI) Cilacap menggunakan berbagai macam bahan bakar alternatif. Secara rutin, bahan bakar alternatif yang digunakan adalah *Refuse Derived Fuel* (RDF) dari TPST Jeruklegi Cilacap, *oil sludge*, dan *rice husk*.

3.1 Karakteristik Bahan Bakar Alternatif

Data yang diperoleh adalah data persentase abu dan air yang terkandung di dalam material serta nilai kalor dari masing-masing bahan bakar alternatif. Data yang diperoleh berasal dari laporan harian *raw material* dan bahan bakar alternatif bulan September hingga November 2022.

Tabel 1. Karakteristik Bahan Bakar Alternatif

| Parameter | RDF | Oil Sludge | Rice Husk |
|---------------------------|---------|------------|-----------|
| Moisture (%) | 24,23 | 27,27 | 16,30 |
| Ash (%) | 17,31 | 13,25 | 18,23 |
| Calorific Value (Kcal/kg) | 3990,95 | 5353,78 | 2900,80 |

(Sumber: PT Solusi Bangun Indonesia, 2022)

Oil Sludge memiliki nilai kalor paling tinggi namun dari data produksi PT Solusi Bangun Indonesia (SBI) Cilacap sepanjang bulan Oktober dan November 2022 didapatkan jumlah yang diumpangkan ke dalam *kiln* semen hanya mempunyai nilai *thermal substitution rate* sebesar 0,2% karena jumlah yang dikirim ke PT Solusi Bangun Indonesia (SBI) Cilacap terbatas. *Oil Sludge* yang diumpangkan ke *kiln* semen didapatkan dari limbah pengolahan minyak.

Thermal substitution rate adalah persen kebutuhan bahan bakar (dalam satuan energi) yang disubstitusi oleh bahan bakar alternatif pada suatu pabrik semen. (Nur Alfianto & Puji Lestari, 2014). Sedangkan untuk RDF dan *rice husk* yang diumpangkan ke dalam *kiln* mempunyai nilai *thermal substitution rate* masing-masing 6,6% dan 8% dari total energi panas yang dibutuhkan untuk pembentukan klinker. Nilai RDF tersebut merupakan peningkatan dari tahun 2021 yang mempunyai nilai rata-rata sebesar 4% dari total energi panas yang dibutuhkan untuk pembentukan klinker (PT Solusi Bangun Indonesia, 2021).

RDF diumpangkan ke dalam proses pembakaran di dalam *calciner* melalui fasilitas pengumpanan terpisah dari batu bara. *Co-processing* dalam proses produksi semen memiliki

keuntungan dimana proses klinkerisasi yang terjadi pada suhu tinggi pada 1450°C memungkinkan proses pembakaran terjadi secara sempurna dan semua abu hasil pembakaran serta pengikatan logam secara kimiawi akan terikat bersama klinker.

Senyawa organik beracun hancur dalam nyala api pada suhu >2000°C. Substitusi langsung bahan bakar primer dalam proses produksi menunjukkan pemulihan energi yang jauh lebih efisien daripada teknologi WtE lainnya, biasanya mencapai 85-95% tergantung pada karakteristik limbah. Nilai kalor RDF sekitar 10 - 15 MJ/kg atau sekitar 2400 - 3600 kcal/kg dibutuhkan untuk operasi yang ekonomis (Mutz et al., 2017) dan RDF yang dihasilkan oleh TPST Jeruklegi Cilacap memenuhi kriteria tersebut.

Dari analisa data, diperoleh hasil bahwa nilai kalor dari RDF sekitar 3990 kcal/kg, lebih tinggi dari nilai kalor *rice husk* dan lebih tinggi dari penelitian sebelumnya yang dilakukan pada proses eksperimen (Paramita et al., 2018). Berdasarkan literatur yang ada, dari sejumlah sampah yang masuk ke dalam proses pengolahan RDF di TPST Jeruklegi sejumlah 30% terkonversi menjadi RDF (Ministry of Foreign Affairs of Denmark, 2022). Sehingga dapat disimpulkan dari jumlah konsumsi RDF yang berkisar antara 2500 ton/bulan juga berarti sekitar 8333 ton sampah telah dimanfaatkan menjadi bahan bakar alternatif.

Secara teoritis, 50 Nm³ metana dilepaskan dari satu ton sampah yang tertimbun dalam tempat pembuangan sampah sehingga sebanyak 416 ribu ton Nm³ metana yang terlepas ke atmosfer dapat dicegah per bulannya (Themelis & Ulloa, 2007).

3.2 Data Pengukuran Emisi

Data emisi yang diperoleh berasal dari laporan hasil pengujian yang dilakukan oleh pihak eksternal yaitu PT Sky Pacific Indonesia dan baku mutu emisi berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 19 Tahun 2017 tentang Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak bagi Usaha dan/atau Kegiatan Industri Semen yang Melakukan Pemanfaatan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun. Peraturan tersebut menetapkan standar emisi dioksin dan furan (PCDD/F) adalah 0,1 ng TEQ/Nm³ dan perlu diukur/dipantau setiap empat tahun setelah pabrik mulai beroperasi.

Data di Tabel 2 adalah hasil rata-rata dari tiga kali pengukuran emisi yang dilakukan di Cerobong *Kiln-Raw Mill* pada bulan April 2022.

Tabel 2. Data Pengukuran Emisi di Cerobong *Kiln-Raw Mill*

| Parameter | Nilai Baku Mutu Emisi | Hasil Pengukuran | Satuan |
|------------------------------------|-----------------------|------------------|--------------------|
| Partikulat | 70 | 16 | mg/Nm ³ |
| Sulfur Dioksida (SO ₂) | 650 | 36 | mg/Nm ³ |
| Nitrogen Oksida (NOx) | 800 | 178 | mg/Nm ³ |
| Hidrogen Fluorida (HF) | 2 | 0,4 | mg/Nm ³ |
| Hidrogen Klorida (HCl) | 20 | 14 | mg/Nm ³ |

| Parameter | Nilai Baku Mutu Emisi | Hasil Pengukuran | Satuan |
|--|-----------------------|------------------|---------------------------|
| Karbon Monoksida (CO) | 3000 | 16 | mg/Nm ³ |
| Total Organic Carbon (TOC) sebagai CH ₄ | 100 | 5 | mg/Nm ³ |
| Chromium (Cr) | 1 | 0,019 | mg/Nm ³ |
| Lead (Pb) | 5 | 0,013 | mg/Nm ³ |
| Arsenik (As) | 1 | 0,005 | mg/Nm ³ |
| Cadmium (Cd) | 0,2 | 0,0006 | mg/Nm ³ |
| Merkuri (Hg) | 0,2 | 0,0001 | mg/Nm ³ |
| Thallium (Tl) | 0,2 | 0,0006 | mg/Nm ³ |
| Antimoni (Sb) | 0,5 | 0,0008 | mg/Nm ³ |
| Cobalt (Co) | 0,5 | < 0,0001 | mg/Nm ³ |
| Copper (Cu) | 0,5 | 0,0040 | mg/Nm ³ |
| Nikel (Ni) | 0,5 | 0,007 | mg/Nm ³ |
| Vanadium (V) | 0,5 | 0,021 | mg/Nm ³ |
| Selenium (Se) | 1 | 0,004 | mg/Nm ³ |
| Mangan | 5 | 0,077 | mg/Nm ³ |
| Berilium | 0,1 | < 0,0001 | mg/Nm ³ |
| PCDD/F (Dioxin dan Furan) | 0,1 | 0,00039 | nQ TEQ/Nm ³ |

(Sumber: PT Solusi Bangun Indonesia, 2022)

Dari data emisi, didapatkan untuk ke semua parameter memiliki nilai di bawah ambang baku mutu yang berlaku. Nilai kandungan dioksin furan di tahun 2022 juga memiliki nilai jauh di bawah nilai baku mutu emisi. Dioksin/furan merupakan produk sampingan dari beberapa industri dan proses pembakaran. Sumber utama dioksin berasal dari pembakaran sampah hasil sampingan proses produksi pestisida/produksi baja/air buangan industri kertas yang menggunakan klor sebagai pemutih. Membakar senyawa berbasah dasar klorin (misal plastik PVC) menghasilkan senyawa dioksin yang paling berbahaya. Kegiatan pembakaran sampah (*waste incenerator*) yang tidak terkontrol merupakan pembakaran tidak sempurna adalah sumber utama terbentuknya senyawa dioksin (Jeno dkk., 2021).

Polychlorinated dibenzo-p-dioxins/-furans (PCDD/F) adalah senyawa yang merupakan *persistent organic pollutants* (POPs) yang sangat beracun. Mengacu pentingnya senyawa ini sebagai racun pada lingkungan, istilah dioksin dan furan digunakan untuk merujuk pada jumlah senyawa (sebagai TEQ) yang menunjukkan toksisitas spesifik yang sama dengan dioksin *2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin* (TCDD). Ini termasuk 17 PCDD/F dan 12 PCB.

PCDD/F dapat terbentuk di *preheater kiln* semen dan perangkat pengontrol polusi udara jika terdapat cukup klorin, senyawa *chloro-aromatic*, dan senyawa *volatile* hidrokarbon dari pembakaran tidak sempurna atau dari kandungan bahan mentah. Pembentukan dioksin dan furan diketahui terjadi terutama dari reaksi sintesis *de novo* pada rentang suhu antara 250 – 450°C. Oleh karena itu, penting agar gas keluar didinginkan dengan cepat hingga lebih rendah dari 200°C. *Kiln preheater* dan *precalciner* modern mempunyai fitur ini yang sudah termasuk dalam desain proses (GIZ-LafargeHolcim, 2020).

Penelitian dari Agustina & Sutamiharja (2015) juga menyebutkan teknologi semen di Indonesia sudah cukup maju dan dengan suhu yang sangat tinggi di dalam *kiln* mencapai 2000°C dan waktu tinggal yang lama (lebih dari 2 menit), potensi terbentuknya dioksin/furan dapat berkurang. Hal ini bisa dilihat dari data PCDD/F di tabel di samping yang mempunyai nilai jauh di bawah baku mutu yang berlaku.

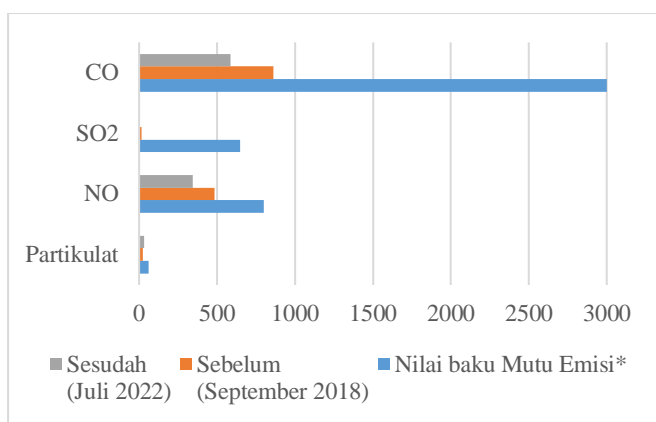
Kandungan dioksin furan dalam emisi harus diwaspadai mengingat timbulan sampah yang berasal dari Kabupaten Cilacap sebagai bahan baku RDF mengandung 16,42% plastik (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2023). Faktor utama pembentukan dioksin furan adalah pengumpulan bahan bakar yang mengandung klorin ke unit insinerasi cement *kiln*. RDF merupakan jenis bahan bakar yang mengandung klorin dalam jumlah tertentu namun pembentukan dioksin furan tidak hanya tergantung dengan jumlah klorin tetapi juga dengan reaksi kimia termo kompleks yang terjadi di unit insinerasi (Kara, 2012).

Data emisi yang berasal dari industri semen Amerika Serikat pada 1980-an dan awal tahun 1990-an telah menunjukkan bahwa industri semen yang menggunakan limbah sebagai bahan bakar alternatif mempunyai memiliki emisi PCDD/PCDF jauh lebih tinggi daripada industri semen yang menggunakan bahan bakar konvensional saja (van Loo, 2008). Namun, studi yang dilakukan Karstensen (2008) yang mengevaluasi lebih dari 2000 *kiln* semen yang mempunyai tingkat emisi PCDD/PCDF sebesar 0,1 ng I-TEQ/m³ menunjukkan bahwa *kiln* semen modern yang dikelola dengan baik umumnya memiliki emisi yang lebih rendah dibandingkan *kiln* semen yang lebih tua. Penelitian lain oleh Karstensen (2006) menyebutkan *co-processing* bahan bakar alternatif dan material bahan mentah yang disalurkan ke *main burner, inlet kiln, atau precalciner* tidak mempengaruhi atau mengubah emisi POP.

Penelitian dari Karpan dkk. (2021) mengenai pengembangan RDF dari bahan berbahaya dan beracun bahkan menyatakan bahwa substitusi RDF sebanyak 13% dan 23% dalam pembuatan semen tidak mempengaruhi kualitas emisi bila dibandingkan dengan kualitas emisi dengan penggunaan 100% batu bara.

3.3 Perbandingan Data Sebelum dan Sesudah Penggunaan RDF

Data emisi perbandingan sebelum dan sesudah penggunaan RDF didapatkan dari data *Continuous Emission Monitoring System* (CEMS). Parameter emisi yang dibandingkan adalah parameter CO, SO₂, NO, dan partikulat. Data sebelum penggunaan diambil dari laporan bulanan emisi pada bulan September 2018 dan data sesudah penggunaan RDF diambil dari laporan bulanan emisi pada bulan Juli 2022 yaitu saat kondisi pabrik berjalan *continuous* 24 jam. Kedua data ini kemudian dibandingkan dengan nilai baku mutu emisi sesuai dengan PERMENLHK No. 19 Tahun 2017 Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak bagi Usaha dan/atau Kegiatan Industri Semen yang Melakukan Pemanfaatan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun.



Sumber: PT Solusi Bangun Indonesia, 2022

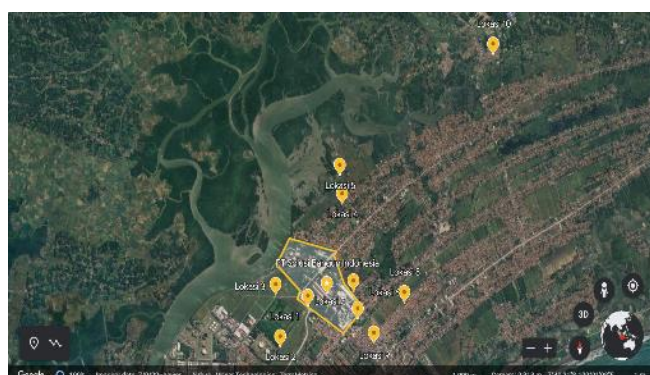
Gambar 1. Data Emisi Sebelum dan Sesudah Penggunaan RDF sebagai Bahan Bakar Alternatif

Dari keempat parameter emisi di atas menunjukkan nilai emisi baik sebelum maupun sesudah penggunaan RDF mempunyai nilai di bawah baku mutu yang berlaku. Teori pembakaran menunjukkan bahwa *kiln* semen menyediakan waktu reaksi, konsentrasi oksigen, dan suhu tinggi yang cukup untuk menghancurkan semua bahan organik yang ada dalam bahan bakar dan bahan bakar limbah dan bisa disimpulkan bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan dalam emisi ketika 20-40% bahan bakar konvensional diganti dengan bahan bakar dari limbah (Karstensen, 2008).

Seperti yang diamati selama studi, penggunaan RDF sebesar 15% sebagai bahan bakar tambahan dalam produksi semen tidak menyebabkan penurunan kualitas *klinker* dan nilai emisi gas cerobong (Kara, 2012).

3.4 Data Kualitas Udara Ambien

Data ambien diambil di 10 lokasi yaitu pemukiman di jalan Juanda, pemukiman di Jalan MH Thamrin, pemukiman di Jalan MT Haryono, pemukiman di Jalan Darusman, pemukiman di Jalan Keramik, pemukiman di Jalan Jati, pemukiman di Jalan Timah, perumahan Ketapang Indah, Perumahan Gumilir Indah, dan di Kampung Tritih Lor Jeruklegi. Lokasi pengambilan sampel berjarak 500 meter hingga 1 kilometer dari lokasi pabrik terkecuali lokasi 10 yang merupakan lokasi pengolahan RDF berada.



Gambar 2. Lokasi Titik Pengambilan Sampel Kualitas Udara Ambien

Data di bawah ini adalah data hasil rata-rata pengukuran ambien pada kesepuluh lokasi pada trimester ke empat tahun 2022. Baku mutu udara ambien yang digunakan berdasarkan Lampiran 7 Peraturan Pemerintah Nomor 22 tahun 2021 dan Keputusan Menteri LH Nomor 48 Tahun 1996 tentang Baku Tingkat Kebisingan untuk baku mutu parameter kebisingan.

Tabel 3. Data Pengukuran Kualitas Udara Ambien

| Parameter | Baku Mutu | Hasil | Satuan |
|-------------------|-----------|--------|--------------------|
| TSP | 230 | 74,7 | mg/Nm ³ |
| PM ₁₀ | 75 | 29,6 | mg/Nm ³ |
| PM _{2.5} | 55 | 15,9 | mg/Nm ³ |
| SO ₂ | 150 | 31,5 | mg/Nm ³ |
| NO ₂ | 200 | 25,5 | mg/Nm ³ |
| CO | 10000 | 1164 | mg/Nm ³ |
| O ₃ | 150 | 34 | mg/Nm ³ |
| HC | 160 | <66 | mg/Nm ³ |
| Pb | 2 | <0.002 | mg/Nm ³ |
| Kebisingan | 55 | 57,75 | dBA |

(Sumber: PT Solusi Bangun Indonesia, 2022)

Dapat diketahui dari data di atas terlihat bahwa semua parameter terkecuali kebisingan masih di bawah baku mutu yang berlaku. Dari studi yang terbaru juga ditemukan bahwa peningkatan persentase RDF disertai penurunan persentase bahan bakar solar dan batubara akan mengurangi konsentrasi polutan dalam emisi, serta meningkatkan kualitas udara ambien (Sayad dkk., 2023). Penelitian yang dilakukan oleh Ames dkk. (2012) juga menyebutkan meskipun data polutan yang diperoleh dari emisi cerobong *kiln* mempunyai nilai yang jauh berbeda dengan data hasil pengukuran udara ambien di sekitar lokasi pabrik semen namun karena pengontrolan emisi dari *kiln* yang baik membuat dampak pada kualitas udara ambien yang terukur menjadi terlalu kecil untuk dapat dibedakan dengan kondisi kualitas udara ambien di lokasi pedesaan.

Data intensitas kebisingan yang di atas baku mutu diperoleh pada 9 lokasi yaitu pemukiman di Jalan Juanda, pemukiman di Jalan MH Thamrin, pemukiman di Jalan MT Haryono, pemukiman di Jalan Darusman, pemukiman di Jalan Keramik, pemukiman di Jalan Jati, pemukiman di Jalan Timah, perumahan Ketapang Indah, Perumahan Gumilir Indah sedangkan pengambilan sampel intensitas kebisingan di Kampung Tritih Lor Jeruklegi yang berjarak 6 kilometer dari lokasi pabrik memperoleh data kebisingan sebesar 55 dB atau sama dengan ambang batas baku mutu yang berlaku. Dapat dilihat semakin jauh lokasi pengambilan sampel dari lokasi pabrik, data pengukuran intensitas kebisingan yang didapat pun semakin berkurang. Hal ini perlu diperhatikan karena paparan kebisingan yang terus-menerus dan berlebihan dapat mempengaruhi kesehatan masyarakat sekitar.

4. SIMPULAN

Pemanfaatan sampah menjadi RDF dapat menjadi salah satu solusi pengelolaan sampah rumah tangga karena selain bernilai ekonomis, teknologi ini lebih aman secara lingkungan

daripada penanganan sampah di tempat pembuangan akhir. RDF yang terbuat dari sisa sampah rumah tangga jika diolah secara tepat juga dapat memiliki nilai kalor yang memenuhi standar sebagai bahan bakar alternatif.

Studi lebih lanjut juga diperlukan mengenai potensi pemanfaatan RDF di tempat lain mengingat besarnya industri semen di Indonesia. Mempertimbangkan hasil yang didapatkan, penerapan program pemantauan kualitas udara harus dilakukan secara berkala untuk mengendalikan polusi udara industri untuk melindungi kesehatan masyarakat penduduk yang tinggal di sekitar lokasi hotspot seperti pabrik semen.

Menurut PERMENLHK Nomor 19 Tahun 2017 Lampiran III tentang Baku Mutu Usaha dan/atau Industri Semen, industri semen yang menggunakan teknologi RDF dari sampah maupun bahan beracun dan berbahaya hanya wajib melakukan pemeriksaan dioksin empat tahun sekali. Dikarenakan teknologi RDF terbilang baru di Indonesia, data terkait tentang dioksin furan masih dalam jumlah terbatas.

Selain itu untuk industri semen, standar emisi bahan bakar alternatif dari RDF sudah tersedia namun berbanding terbalik dengan ketidak sediaannya laboratorium untuk menganalisis dioksin furan di Indonesia.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dapat dilaksanakan dengan baik berkat bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu peneliti bermaksud mengucapkan terima kasih kepada PT Solusi Bangun Indonesia Cilacap yang telah membantu menyediakan informasi terkait serta semua pihak yang telah membantu berkontribusi dalam menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, H., & Sutamiharja, R. (2015). *Emission Estimation Model of Dioxin / Furan Releases from Cement Industry Used Wastes in Co-Processing*. www.theinternationaljournal.org
- Ames, M., Zemba, S., Green, L., Botelho, M. J., Gossman, D., Linkov, I., & Palma-Oliveira, J. (2012). Polychlorinated dibenzo(p)dioxin and furan (PCDD/F) Congener Profiles in Cement Kiln Emissions and Impacts. *Science of the Total Environment*, 419, 37–43. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.12.062>
- GIZ-LafargeHolcim. (2020). *Guidelines on Pre-and Co-processing of Waste in Cement Production Use of waste as alternative fuel and raw material*. www.fhnw.ch
- Ismawati, Y., Proboretno, N., Septiono, M. A., & Zaki, K. (2022). *Refuse-Derived Fuel in Indonesia*. www.ipen.org
- Jeno, J. G. A., Rathna, R., & Nakkeeran, E. (2021). Biological Implications of Dioxins/Furans Bioaccumulation in Ecosystems. *Environmental Pollution and Remediation*. Springer, Singapore, 395–420. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-981-15-5499-5_14
- Kara, M. (2012). Environmental and Economic Advantages Associated with the Use of RDF in Cement Kilns. *Resources, Conservation and Recycling*, 68, 21–28. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.06.011>
- Karpan, B., Abdul Raman, A. A., & Taieb Aroua, M. K. (2021). Waste-to-energy: Coal-like refuse derived fuel from hazardous waste and biomass mixture. *Process Safety and Environmental Protection*, 149, 655–664. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.03.009>
- Karstensen, K. H. (2006). *Formation and Release of POPs in the Cement Industry Second Edition*.
- Karstensen, K. H. (2008). Formation, release and control of dioxins in cement kilns. In *Chemosphere* (Vol. 70, Issue 4, pp. 543–560). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.06.081>
- Kaza, S., Shrikanth, S., & Chaudhary, S. (2021). *More Growth, Less Garbage*. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0>
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2023). *Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional*. <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/public/home/fasilitas/rdf>
- Ministry of Foreign Affairs of Denmark. (2022). *Overview of Danish Support for Refuse-Derived Fuel (RDF) Cilacap*.
- Mutz, D., Hengevoss, D., Hugi, C., & Gross, T. (2017). *Waste-to-Energy Options in Municipal Solid Waste Management, A Guide for Decision Makers in Developing and Emerging Countries*. www.giz.de
- Nur Alfianto, P., & Puji Lestari, dan. (2014). Analisis Emisi Debu dan Partikulat Terhadap Penggunaan Bahan Bakar Alternatif di Industri Semen. In *Jurnal Teknik Lingkungan* (Vol. 20).
- Paramita, W., Hartono, D. M., & Soesilo, T. E. B. (2018). Sustainability of Refuse Derived Fuel Potential from Municipal Solid Waste for Cement's Alternative Fuel in Indonesia (A Case at Jeruklegi Landfill, in Cilacap). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 159(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/159/1/012027>
- PT Solusi Bangun Indonesia. (2021). *Laporan Tahunan 2021*.
- Purnomo, C. W. (2020). *Solusi Pengelolaan Sampah Kota*. Gadjah Mada University Press.
- Saha, P. K., & Karstensen, K. H. (2019). Co-processing of Alternative Fuels and Resources in Indian Cement Industry—Baseline and Potential. In *Waste Valorisation and Recycling* (pp. 19–29). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-2784-1_2
- Sayad, T., Moursy, F. I., El-Tantawi, A. M., Saad, M., & Morsy, M. (2023). Assessment the impact of different fuels used in cement industry on pollutant emissions and ambient air quality: a case study in Egypt. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 21(1), 107–121. <https://doi.org/10.1007/s40201-022-00844-9>
- Themelis, N. J., & Ulloa, P. A. (2007). Methane Generation in Landfills. *Renewable Energy*, 32(7), 1243–1257. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2006.04.020>
- van Loo, W. (2008). Dioxin/furan formation and release in the cement industry. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 25(2), 128–130. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2007.10.031>