

KAJIAN PENGGUNAAN LIMBAH K3 SEBAGAI ALTERNATIVE FUEL RAW MATERIAL DI PT SEMEN GRESIK PABRIK REMBANG

Nabilah Fauziah Agustina¹, Prayitno¹, Alfi Fadhli²

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

nabilahfauziaha@gmail.com ; prayitno@polinema.ac.id

ABSTRAK

Industri semen secara global sedang mencari dan menerapkan berbagai sumber energi baru yang mampu mengurangi dampak negatif pada lingkungan, mengurangi ketergantungan pada bahan bakar batubara, menghemat biaya, dan mendukung keberlanjutan dalam produksi. PT Semen Gresik Rembang telah menginisiasi penggunaan beberapa bahan bakar alternatif pada unit AFR (*Alternative Fuel Raw Material*), antara lain: penggunaan limbah biomassa pertanian, limbah kemasan, oli bekas, dan majun bekas. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penggunaan limbah padat K3 (Kesehatan dan Keselamatan Kerja) sebagai bahan bakar alternatif pengganti Batubara. Limbah padat berupa K3 yang digunakan selama percobaan, antara lain *safety helmet*, *chinstrap*, dan sepatu *safety*. Percobaan dilakukan dengan memasukkan limbah K3 ke dalam kalsiner yang selanjutnya dilakukan analisis pengujian di laboratorium QA (*quality assurance*). Parameter yang digunakan selama penelitian, antara lain: penghematan biaya (*saving cost*), *torci kiln*, massa batubara, temperature kalsiner, *Freelime*, dan parameter hasil CEMs. Sedangkan parameter yang diujikan, antara lain: *ash content*, *moisture*, dan kadar kalori. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa dengan komposisi campuran limbah K3 terbaik adalah (80% helm, 10% *chinstrap*, dan 10% sepatu) yang menghasilkan kadar *ash content* (1,180%), kadar *moisture* (0,620%), dan kadar kalori (10075 kalori/gram). Selanjutnya limbah padat K3 sebesar 2,4% pada pemasukkan kalsiner dapat memberikan kontribusi dengan *saving cost* (Rp 803.615,07/jam), *torci kiln* (35,4%), massa batubara (28,4 ton/jam), temperature kalsiner (891 °C), dan *Freelime* (0%). Sedangkan gas buang yang dihasilkan jauh di bawah batas baku mutu pada Peraturan Lingkungan Hidup dan Kehutanan No 19, 2017 yaitu *Dust* 20,73 mg/m³, SO₂ 17,89 mg/Nm³, NO_x 56,13 mg/Nm³, CO 301,51 mg/Nm³, O₂ 10,1%.

Kata kunci: bahan bakar, bahan baku alternatif, batubara, limbah K3, PT Semen Gresik

ABSTRACT

The cement industry globally is seeking and implementing various new energy sources that can reduce negative impacts on the environment, reduce dependence on coal fuel, save costs, and support sustainability in production. PT Semen Gresik Rembang has initiated the use of several alternative fuels in the AFR (*Alternative Fuel Raw Material*) unit, including: the use of agricultural biomass waste, packaging waste, used oil, and used majun. This study aims to analyze the use of K3 (*Occupational Health and Safety*) solid waste as an alternative fuel to replace coal. Solid waste in the form of OHS used during the experiment included *safety helmet*, *chinstrap*, and *safety shoes*. The experiment was carried out by putting K3 waste into a calciner which was then analyzed in the QA (*quality assurance*) laboratory. The parameters used during the research included: *saving cost*, *torci kiln*, coal mass, calciner temperature, *Freelime*, and CEMs result parameters, while the parameters tested included: *ash content*, *moisture*, and calorie content. The results showed that the best K3 waste mixture composition was (80% helmets, 10% *chinstrap*, and 10% shoes) which produced *ash content* (1.180%), *moisture*

Corresponding author: Prayitno

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang

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

E-mail: prayitno@polinema.ac.id



content (0.620%), and calorie content (10075 calories/gram). Furthermore, K3 solid waste of 2.4% in the calciner intake can contribute with saving cost (Rp 803,615.07 / hour), torci kiln (35.4%), coal mass (28.4 tons / hour), calciner temperature (891 ° C), and Frelime (0%). While the exhaust gas produced is far below the quality standard limits in the Environment and Forestry Regulation No. 19, 2017, namely Dust 20.73 mg / m³, SO₂ 17.89 mg / nm³, NO_x 56.13 mg / nm³, CO 301.51 mg / nm³, O₂ 10.1%.

Keywords: fuel, alternative raw materials, coal, K3 waste, PT Semen Gresik

1. PENDAHULUAN

PT Semen Gresik Rembang adalah produsen semen di Indonesia yang berlokasi di Rembang dengan kapasitas produksinya sebesar 3 juta ton/tahun. Penggunaan bahan bakar konvensional seperti batubara dan biomassa masih digunakan dalam proses produksi semen. Industri semen memerlukan sekitar 25% hingga 35% dari total biaya produksi untuk energi, menjadikannya salah satu industri yang boros energi [1]. Rata-rata kebutuhan bahan bakar batubara adalah 1928 ton per hari [2]. Dengan mengoptimalkan bahan bakar alternatif, kita akan semakin mengurangi penggunaan batubara sebagai bahan bakar utama. Menurunnya harga batu bara disebabkan cadangan bahan bakar tak terbarukan tersebut akan semakin menipis di masa depan. Sementara itu, industri semen secara global mulai mengeksplorasi dan mengadopsi berbagai alternatif bahan bakar untuk mengurangi dampak lingkungan dan ketergantungan pada sumber daya fosil. Oleh karenanya, perusahaan Semen Gresik telah memiliki unit AFR (*Alternative Fuel Raw Material*) yang bertujuan untuk menambah bahan bakar alternatif dalam industri semen seperti biomassa. Pada tahun 2022, potensi *alternative fuel* dalam peningkatan substitusi batubara sebesar 18.800 ton/tahun. *Source alternative fuel* didominasi oleh limbah internal yang memiliki rata-rata pemanfaatan 1,6 ton/bulan dengan jenis limbah berupa, oli bekas, majun bekas, dan filter PPU [2]. Hal ini, tidak menutup kemungkinan untuk mengolah jenis limbah Internal lainnya dalam penambahan bahan alternatif di PT Semen Gresik. Pada unit SHE (*Safety Health and Environment*) atau yang lebih dikenal dengan unit K3 terdapat material limbah seperti APD (Alat Pelindung Diri) para pekerja lapangan. Penelitian ini dapat memanfaatkan limbah K3 (*Safety Helmet, Chinstrap*, dan Sepatu *Safety* Bekas) sebagai *alternative fuel raw material* dan menganalisis potensinya dalam mensubstitusi bahan bakar batubara dalam industri semen.

Menurut penelitian oleh Lestari, dkk. (2023) menyatakan limbah B3 berupa pelumas bekas yang dihasilkan dari pabrik semen mampu dimanfaatkan sebagai AFR atau bahan bakar alternatif melalui proses *Co-Processing* dengan total kalori pelumas selama 3 bulan terakhir sebesar 46,64 kkal dan penghematan batubara sebanyak 11,104 ton serta 8,96 ton [3]. Sedangkan pada penelitian limbah K3, kandungan kalori sampah terpilih berupa kertas/kardus dan plastik dihitung masing-masing sebesar 3.645,67 kkal/kg dan 9.590,72 kkal/kg sehingga memenuhi kriteria untuk digunakan sebagai bahan bakar alternatif oleh pabrik semen. Oleh karena itu diperlukan 68 bank sampah untuk memenuhi pasokan limbah AFR [4]. Penelitian Nugraha, dkk. (2018) mengungkapkan bahwa bahan bakar alternatif dalam rangka penggunaan serbuk gergaji dapat digunakan sebagai bahan bakar pengganti di pembakaran kiln pabrik semen, dengan tujuan menganalisis input, output dan dampak lingkungan serta menghitung pengurangan emisi CO₂ dari sistem tersebut telah digunakan dalam *co-processing* [5].

Dengan demikian, pemanfaatan limbah K3 menjadi bahan bakar alternatif dapat memberikan dampak yang besar dalam menggantikan bahan bakar batubara. Hal tersebut disebabkan limbah K3 didominasi oleh *Safety Helmet* berbahan plastik dengan kadar kalori lebih besar dibandingkan limbah AFR lainnya. Berdasarkan data jenis limbah dan kadar kalori bahan AFR di Semen Gresik, dikelompokkan sebagai berikut (kadar kalori tongkol jagung 2400 kalori/gram, kadar kalori *bag cloth* 2200 kalori/gram, kadar kalori majun bekas 4700 kalori/gram, dan oli bekas 10500 kalori/gram) [5]. Adapun jenis limbah yang digunakan pada PT Semen Gresik masih terbatas, dengan mayoritas berupa limbah internal dan limbah eksternal, sehingga diperlukan tambahan source untuk *alternative fuel* dengan kalori >3800 kalori/gram [6]. Kandungan kalori plastik sangat tinggi, berkisar antara 5.000 hingga 13.000 kkal/kg. Hal ini dikarenakan plastik terbuat dari minyak atau gas alam sehingga memiliki kandungan energi yang sangat tinggi dibandingkan komponen lain pada sampah [6]. Pernyataan tersebut merujuk bahwa plastik dapat berpotensi menggantikan bahan bakar batubara. Oleh karena itu, dilakukan percobaan menggunakan limbah K3 di kalsiner dan pengujian pada laboratorium *quality assurance* untuk mengetahui potensinya dalam mensubstitusi batubara di PT Semen Gresik.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini merupakan jenis penelitian kuantitatif yang menggunakan pendekatan eksperimen dengan pengukuran numerik untuk mengumpulkan dan menganalisis data. Metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini dilakukan di lapangan, untuk gabungan data berasal dari lapangan dengan teori yang relevan untuk mendapatkan solusi masalah yang diinginkan.

2.1 Alat dan Bahan

Pada penelitian percobaan dan pengujian limbah K3 ini menggunakan alat berupa Hopper kalsiner area AFR, timbangan hybrid, sarung tangan, *cutter* dan gunting, gerinda, wadah limbah adalah bagian dari peralatan limbah K3, timbangan analitik, *cutter* dan gunting, plastik klip, suntikan 5 ml, sarung tangan, seperangkat alat bomb kalorimeter, tabung oksigen, bucket, dan kawat nikel, pinset, furnace, oven, desikator, dan besi penjepit. Jika bahan yang perlu disiapkan pada percobaan adalah limbah K3 berupa (Sepatu *safety*, *safety helmet*, dan *chinstrap*), aquades, dan benang. Pengujian ini dilakukan dengan 3 sampel menggunakan bahan dari sumber yang berbeda. Sampel 1 didapatkan pada material unit SHE sebelum dilakukan pemasukkan di kalsiner. Kemudian sampel 2 dan 3 adalah bahan dari pihak 1 dan 2 yang telah lama digunakan, seperti APD bekas. Pada analisis limbah K3 di laboratorium *quality assurance* meliputi beberapa komposisi, sebagai berikut:

1. Komposisi A : 80% helm, 10% *chinstrap*, 10% sepatu
2. Komposisi B : 60% helm, 20% *chinstrap*, 20% sepatu
3. Komposisi C : 40% helm, 30% *chinstrap*, 30% sepatu
4. Komposisi D : ketiga bahan (helm, *chinstrap*, dan sepatu) dicampur dengan komposisi masing-masing sebesar 33,333%.
5. Komposisi E : 100% helm
6. Komposisi F : 100% *chinstrap*
7. Komposisi G : 100% sepatu

2.2 Prosedur Percobaan

Prosedur Percobaan memasukkan limbah K3 di kalsiner, diawali dengan mempersiapkan alat dan bahan berupa *safety helmet*, sepatu *safety*, dan chinstrap. Limbah K3 yang dikumpulkan dihitung total beratnya. Selanjutnya dikecilkan/ *size reduction* agar mempermudah partikel limbah K3 masuk ke tahap berikutnya. Dilakukan penimbangan pada setiap jenis limbah tersebut, dan selanjutnya dimasukkan ke dalam kalsiner. Kemudian dilakukan pengamatan trading pada CCR dan *exhaust gas conditioning* untuk ditentukan besarnya saving cost, torci kiln, massa batubara, temperature kalsiner, dan Freeline. Sedangkan gas buangnya, yaitu *Dust*, SO_2 , NO_x , CO , dan O_2 .

Pada pengujian analisis di laboratorium *quality assurance* dilakukan pengambilan sampel (berdasarkan setiap jenis limbah K3, banyak persentase dari setiap komposisi, dan Campuran Limbah K3). Setelah itu, dilakukan analisis hasil berupa uji kadar kalori, kadar *moisture*, dan kadar *ash content*.

2.3 Metode Analisis

Analisis percobaan ini mengacu pada standar American Society for Testing and Materials dan terdiri dari analisis kadar abu, air, dan kalori limbah K3 [7]. Adapun uji yang diamati, seperti kadar kalori. Analisis ini menggunakan ASTM D5865-13 dengan alat yang digunakan adalah bomb kalorimeter dan gas oksigen dari tabung [8]. Kemudian untuk analisis kadar abu menggunakan ASTM D3174-12 [8]. Kalsinasi dilakukan dalam tanur pada suhu 750°C selama 2 jam, dilanjutkan dengan pendinginan dalam desikator selama 15 menit. Untuk analisis dari kadar air digunakan ASTM D3302/D3302M-17 [8]. Sampelnya dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 1 jam kemudian didinginkan dalam desikator selama 15 menit.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Limbah K3 di Kalsiner

Pada pengujian limbah K3 di kalsiner bertujuan untuk mengetahui efektifitas penggantian batu bara dengan limbah sebagai *Alternative Fuel Raw Material*. Selain itu, dapat mensubstitusi batubara sehingga mengurangi ketergantungan pada batubara saat pembakaran semen, memaksimalkan pemulihan energi, dan mendukung keberlanjutan serta optimalisasi proses pembakaran industri semen.

Alat pembakaran kalsiner ini merupakan alat bantu pemanasan untuk semua produk rotary kiln modern dan peralatan untuk proses kalsinasi. Proses kalsinasi merupakan proses penguraian karbonat menjadi oksida CaO dan MgO serta CO_2 dalam bentuk gas [10]. Kemudian, limbah yang diproses sebagai bahan bakar/AFR pada tempat pembakaran semen akan ditimbun atau dimusnahkan di kalsiner dan bercampur dengan material lainnya kemudian akan menjadi klinker, tetapi hal ini dapat menimbulkan emisi tambahan sebagai konsekuensinya. Penggunaan AFR di tempat pembakaran semen akan menggantikan bahan bakar fosil (batubara) dan memaksimalkan pemulihan energi. Penggunaan bahan bakar alternatif di pabrik semen merupakan cara yang penting dalam kebijakan pengelolaan limbah yang baik. Praktik ini mendorong industri pemulihan dan daur ulang material yang kuat dan berkembang [9]. Selain itu, penggunaan *alternative fuel* dalam alat kalsiner di industri semen merupakan langkah penting untuk mencapai keberlanjutan dan pengoptimalan proses pembakaran. Sehingga hal ini menjadi kunci

untuk memastikan bahwa *alternative fuel* dapat digunakan secara efisien tanpa mengorbankan kualitas produk semen.

Selanjutnya, percobaan ini dilakukan untuk mengetahui perhitungan biaya dari limbah, seperti penghematan biaya (*saving cost*) limbah K3 dalam mesubstitusi batubara. Selain itu juga dapat mengetahui kondisi trading CCR dan gas buang pada industri semen saat percobaan berlangsung. Banyak komposisi saat memasukkan limbah K3 ke dalam kalsiner adalah helm proyek sebesar 28,915%, chinstrap 10,803%, sepatu 60,281% dengan massa total sebesar 142,83 kg. Dengan begitu hasil dari jumlah limbah K3 yang dimasukkan ke dalam kalsiner sebesar 2,4% per jam. Lalu untuk perhitungan limbah K3 dalam menghemat biaya kebutuhan batubara senilai Rp 803.615,07 selama per jam nya. Jika dibandingkan dengan data batubara ketika penelitian di industri, massa batu bara di kalsiner sebesar 32,2 ton/jam membutuhkan biaya Rp 28,785,061.20 sehingga penambahan limbah K3 di kalsiner masih tergolong rendah. Hal ini akan menguntungkan jika percobaan dapat dilakukan secara konsisten. Dengan peningkatan pemanfaatan *alternative fuel* harapannya bisa menurunkan konsumsi batubara [6]. Jadi, tidak hanya dari unit AFR saja yang mencari limbah eksternal, tetapi penggunaan limbah K3 juga berpotensi menambahkan penurunan konsumsi batubara. Cara yang dapat dilakkan, seperti melakukan kerjasama/Kesepakatan antara unit SHE dengan perusahaan industri limbah APD sehingga nantinya menguntungkan perusahaan.

Hasil perhitungan percobaan limbah K3 terpantau tidak terlalu tinggi. Untuk meningkatkan penggunaan bahan alternatif dalam mensubstitusi batubara di pabrik semen dapat dilakukan dengan cara memanfaatkan berbagai macam jenis limbah internal maupun eksternal. Sementara itu, percobaan limbah K3 akan menguntungkan jika dilakukan memasukkan ke kalsiner secara konsisten dan massa yang digunakan banyak agar proses di kiln semen lebih stabil.

Data kondisi operasi percobaan limbah K3 diperoleh secara langsung ketika wawancara di *Central control Room* (CCR) Kiln. Memasukkan limbah K3 ini dilakukan pada PT Semen Gresik rembang pada tanggal 06 Oktober 2023, pukul 08.59-09.10. Dengan angka *torci kiln* sebesar 35,4%, massa batubara 28,4 ton/jam, temperature kalsiner 891 °C, dan *Freelime* 0%. Ketika pengujian tersebut berlangsung, waktu yang dibutuhkan singkat karena massa yang digunakan tidak besar sehingga mempengaruhi hasil trading yang kurang stabil. Untuk nilai standar dari perusahaan semen sebagai berikut: *torci kiln* sebesar 35 – 55%, massa batubara 3 – 25 ton/jam, temperatur kalsiner 850 – 950°C, dan *freelime* 0,5 – 2%.

Namun berdasarkan hasil kondisi CCR ini, diketahui bahwa tradingnya tidak melebihi ketentuan batas minimum rata-rata, hanya saja massa batubara sedikit melebihi. Sedangkan parameter dari massa batu bara tidak mempengaruhi kondisi operasi secara signifikan karena tergantung jenis batu bara yang digunakan dan kadar kalorinya. Penggunaan batu bara berkalori rendah memerlukan penambahan bahan bakar, seperti gas alam atau bahan bakar, untuk mempertahankan profil suhu yang diinginkan dalam prosesnya. Dalam menghasilkan trading yang stabil pada kondisi operasi semen, diperlukan beberapa faktor seperti pemasukan bahan AFR yang konsisten dan *continue*, ukuran bahan AFR yang seragam, dan persen *moisture* yang kecil agar mudah terbakar saat diproses.

Karena tingginya konsumsi energi dalam proses produksinya, pabrik semen merupakan industri yang menghasilkan emisi CO₂ dalam jumlah besar, baik melalui konsumsi bahan bakar maupun listrik. Karbon dioksida merupakan gas rumah kaca (GRK) yang utama, dan emisinya terutama dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil. Efek rumah kaca terjadi ketika gas rumah kaca terakumulasi melebihi ambang batas. Hal ini merupakan suatu kondisi yang disebabkan oleh meningkatnya jumlah gas buang yang masuk ke lapisan atmosfer, yang telah memiliki sifat menyerap panas, baik yang diakibatkan oleh radiasi matahari maupun panas yang dihasilkan oleh pendinginan bumi. Radiasi matahari dan panas kemudian dipancarkan ke permukaan bumi [10]. Proses *exhaust gas conditioning* melibatkan berbagai metode untuk mengurangi atau mengubah komposisi gas buang, termasuk penurunan kandungan polutan, pendinginan gas, penghilangan partikel, atau peningkatan kadar kalori. Hal ini bertujuan untuk mencapai kepatuhan terhadap peraturan emisi, mengurangi dampak lingkungan, dan memanfaatkan kembali gas buang untuk tujuan tertentu.

Tingginya kebutuhan semen, terbatasnya energi tak terbarukan, dan terjadinya pemanasan global akibat gas rumah kaca membuat industri semen mencari sumber energi alternatif yang ramah lingkungan. Perolehan hasil CEM (*Continuous Emission Monitoring System*), alat pemantauan emisi limbah K3, sebagai berikut: dust 20,73 mg/m³, SO₂ 17,89 mg/m³, NO_x 56,13 mg/m³, dan CO 301,51 mg/m³. Pada nilai dari tersebut dapat dibandingkan dengan batas baku mutu Peraturan Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 19 Tahun 2017 tentang Baku Mutu Emisi Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Industri Semen. Oleh karena itu, dapat diasumsikan bahwa kondisi yang ada dalam sistem pengolahan/pembuangan gas buang tidak mempengaruhi operasi pabrik [11].

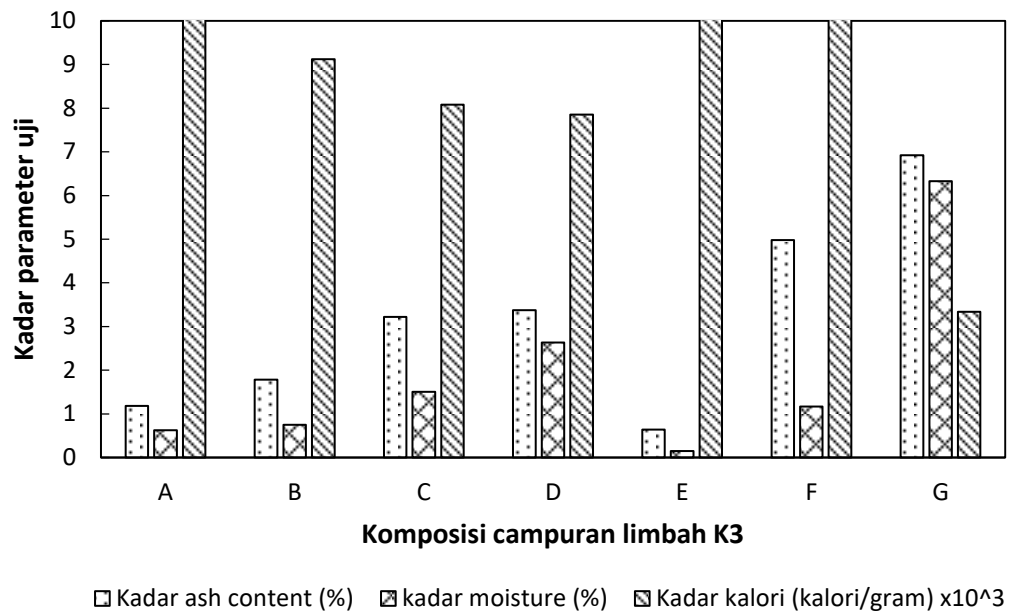
Nilai CO menunjukkan pembakaran tidak sempurna. Jumlah panas yang dilepaskan jauh lebih rendah dibandingkan pembakaran sempurna (CO yang dihasilkan), dan reaksi lebih lanjut dengan oksigen menghasilkan panas (ledakan), sehingga akan lebih baik jika tidak ada sama sekali. Kandungan oksigen yang cukup diperlukan untuk pembakaran yang tepat. Untuk menentukan jumlah udara yang dibutuhkan untuk pembakaran dapat dihitung setelah mengetahui jumlah komponen yang dapat terbakar pada bahan bakar. Tentu saja hal ini sulit dicapai saat pengoperasian. Oleh karena itu, kandungan oksigen pada gas pembakaran digunakan sebagai parameter pengatur proses pembakaran dan menentukan udara pembakaran. Kadar gas pembakaran NO yang ada merupakan hasil dari proses termal NO_x dan bahan bakar NO_x. NO_x termal dihasilkan oleh udara yang dipanaskan hingga suhu tinggi. Pada suhu tinggi, oksigen dan nitrogen berdisosiasi, menghasilkan NO_x. Besarannya tergantung pada suhu gas, lamanya gas terkena suhu tinggi, dan laju pendinginan campuran gas. Jika NO_x sebagai bahan bakarnya, batubara biasanya mengandung komponen nitrogen organik. Komponen-komponen ini terbakar membentuk NO_x, yang bergantung pada jumlah udara berlebih. Semakin tinggi kandungan oksigen maka semakin banyak NO_x yang dihasilkan. Sementara itu, *dust*/debu terbentuk dari partikel-partikel padat yang terlepas dari proses pembakaran dan penanganan material. Alat pemantau akan mengukur konsentrasi debu dalam gas buang untuk memastikan bahwa jumlahnya berada dalam batas yang diizinkan oleh peraturan lingkungan. Pengukuran debu ini penting karena partikel-partikel halus dapat menyebabkan polusi udara dan masalah kesehatan jika tidak terkontrol dengan baik.

Pengukuran SO₂ (Sulfur Dioksida) adalah gas yang dihasilkan dari pembakaran dari batu bara atau bahan bakar yang mengandung sulfur. Pengukuran SO₂ pada pemantau *exhaust gas condition* membantu mengontrol emisi gas beracun ini ke lingkungan. Tingkat SO₂ yang tinggi dalam udara dapat menyebabkan pencemaran udara, kerusakan lingkungan, dan dampak kesehatan.

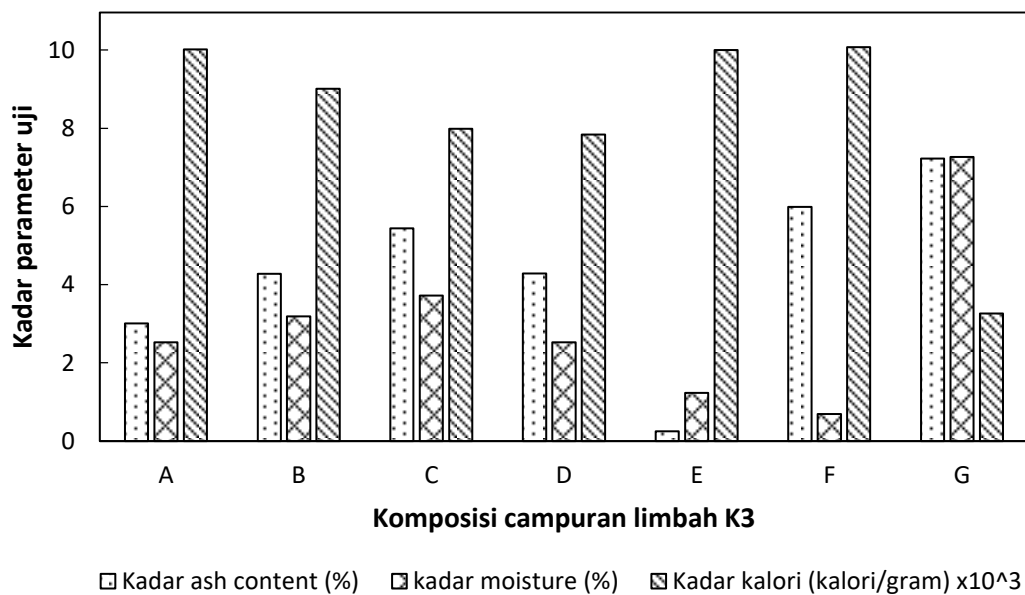
3.2 Pengujian Analisis Limbah K3 di Laboratorium *Quality Assurance*

Berdasarkan dari hasil analisis yang dilakukan pada laboratorium kimia *quality assurance* PT Semen Gresik, maka didapatkan hasil kadar *ash content*, *moisture*, dan kalori terhadap berbagai jenis komposisi persentasi bahan pengujian.

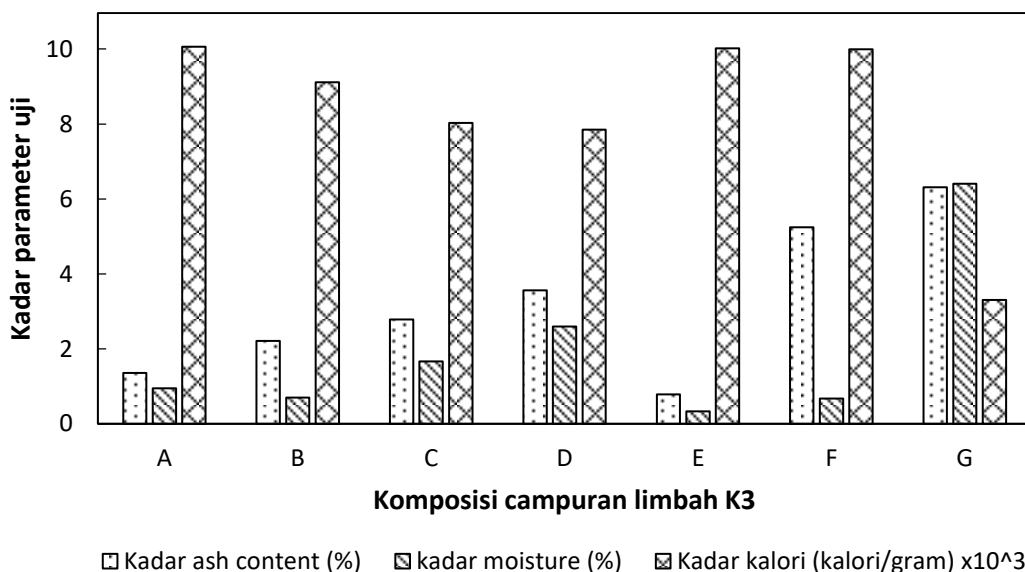
Tujuan dari pengujian dengan mencampurkan/homogenisasi setiap bahan dari limbah K3 agar memperoleh hasil nilai analisis yang efektif. Sepertin halnya yang dilakukan pada saat memasukkan limbah di kalsiner, dimana ketika memasukan bahan limbah K3 tersebut secara bersamaan di kalsiner, semua bahannya akan tercampur.



Gambar 1. Hasil analisis *quality assurance* pada sampel bahan 1



Gambar 2. Hasil analisis *quality assurance* pada sampel bahan 2



Gambar 3. Hasil analisis *quality assurance* pada sampel bahan 3

Setiap komponen dapat dibandingkan dengan hasil uji batu bara *raw coal* pada waktu yang sama. Perolehan terbaik akan mudah diamatai dari Gambar 1, 2, 3 dalam suatu grafik batang di masing-masing sampel. Terdapat beberapa hasil yang paling baik, yaitu pada komposisi A dan E dengan nilai paling tinggi pada sampel bahan 1, dibandingkan dengan komposisi persentase lainnya. Komposisi A yang dimaksud adalah dengan komposisi sebesar (80% helm, 10% *chinstrap*, dan 10% sepatu). Hal ini disebabkan dari besarnya persentase campuran bahan limbah K3, maka komposisi dari *safety helmet* dengan bahan plastik memiliki kadar kalori yang tinggi daripada kandungan lainnya seperti *ash content* dan *moisture* yang rendah. Sehingga hasil yang diperoleh komposisi A pada sampel bahan 1 sebesar 1,180% kandungan *ash content*, 0,620% kandungan

moisture, dan 10075 kalori/gram kadar kalori. Semakin banyak komposisi helm plastik di dalamnya akan mempengaruhi dari hasil analisis. Hal ini dikarenakan plastik terbuat dari minyak atau gas alam sehingga memiliki kandungan energi yang sangat tinggi dibandingkan komponen lain pada sampah [6]. Selain itu, Komposisi E dengan komposisi limbah K3 dari jenis *safety helmet* sebesar 100% juga efektif karena memiliki kadar *ash content* sebesar 0,635%, kadar air (*moisture*) 0,150%, dan kadar kalori 10965 kalori/gram. Hasil dari komposisi E tidak dapat dikatakan lebih efektif dibandingkan komposisi A, hal ini karena 100% *safety helmet* pada komposisi E tidak memanfaatkan komponen limbah K3 lainnya. Oleh karena itu, komposisi A merupakan hasil terbaik dengan perbandingan persentase komposisi yang optimal.

Jika kadar airnya rendah, maka makin tinggi pada kadar kalori sehingga mempunyai kualitas yang baik [12]. Jika kadar abu yang tinggi, maka kadar kalorinya akan semakin rendah. Dapat dikatakan bahwa salah satu yang menyebabkan rendahnya kadar kalori adalah tingginya kandungan abu. Apabila kandungan abu tinggi disebabkan material tidak terbakar sempurna dan kadar abu akan mempengaruhi tingkat korosi peralatan yang dilalui [13]. Untuk bahan *chinstrap* juga dapat dikatakan memiliki hasil cukup baik jika bahan plastik yang terkandung di dalamnya lebih dominan, tetapi sepatu *safety* memiliki hasil yang kurang efektif dibandingkan bahan lain karena kandungan terbanyak dalam komposisinya adalah karet yang memiliki karakteristik berbeda. Kadar abu dan *moisture* pada karet tergolong tinggi, tetapi kadar kalor yang kurang tinggi hampir mendekati nilai batu bara. Lain halnya dengan komposisi D berupa komposisi campuran Limbah K3, dimana hasilnya tidak bisa melebihi komposisi yang didominasi oleh bahan plastik.

Setelah dilakukan analisis di laboratoirum, maka dapat diketahui bahwa kadar kalor sangat berpengaruh terhadap banyak sedikitnya kebutuhan bahan bakar di kiln. Bahan bakar alternatif yang mudah menguap dan memiliki kadar kalor rendah memiliki penggunaan yang kurang efektif dalam sistem pembakaran primer kiln karena temperatur pembakarannya yang relatif kurang. Selain itu, kalori rendah akan menunjukkan bahwa sulit untuk memperoleh pembakaran sempurna ketika di kalsiner. Semakin tinggi kalori limbah, maka pembakaran akan lebih efisien. Di sisi lain, abu dapat mengurangi panas dan menimbulkan endapan/kerak pada peralatan. Oleh karena itu, kadar abunya tidak boleh terlalu tinggi. Kandungan zat terbang yang rendah memperlambat proses pembakaran [2]. Maka dari itu, kadar kalor sangat dipengaruhi oleh kadar abu dan kadar air.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Penggunaan bahan bakar limbah K3 sebesar 2,4% terhadap penghematan biaya yang dibutuhkan pada pembakaran di kiln tidak memberikan pengaruh yang signifikan dibandingkan penggunaan batubara secara penuh. Namun perolehan hasil kondisi trading CCR kiln tidak melebihi standar perusahaan semen, dengan nilai torci kiln 35,4%, massa batubara 28,4 ton/jam, temperature kalsiner 891 °C, dan Frelime 0%; dan hasil gas buang jauh dibawah batas baku mutu pada Peraturan Lingkungan Hidup dan Kehutanan No 19, 2017 dengan nilai Dust 20,73 mg/ m³, SO₂ 17,89 mg/Nm³, NO_x 56,13 mg/ Nm³, CO 301,51 mg/ Nm³, O₂ 10,1%. Sementara itu, hasil analisis pengujian limbah K3 pada *Quality*

Assurance, memiliki hasil terbaik pada komposisi campuran limbah K3 (80% helm, 10% *chinstrap*, dan 10% sepatu) yang menghasilkan *ash content* (1,180%), *moisture* (0,620%), dan kalori (10075 kalori/gram).

Berdasarkan hasil percobaan limbah K3 sebagai *alternative fuel*, disarankan pada trial selanjutnya untuk memiliki massa yang lebih besar dan meningkatkan penggunaan bahan plastik, terutama *safety helmet* sebagai komponen utama. Hal ini agar perusahaan dapat membuka kesempatan kerja sama antara pihak luar untuk memaksimalkan pemanfaatan limbah K3 agar menciptakan peluang bisnis baru dalam pengelolaan limbah. Selain itu, dapat meningkatkan potensi pemanfaatan limbah K3 sebagai *alternative fuel raw material* dan mengurangi biaya bahan bakar.

REFERENSI

- [1] T. Prayudi, "Penghematan Energi pada Industri Semen Studi Kasus : Pemasangan Vsd's pada Fan," *Jurnal Teknologi Lingkungan*, vol. 10, no. 1, hal. 62, 2016.
- [2] S. Wahyu, "Pemanfaatan Limbah Bag Filter Sebagai Bahan Bakar Alternatif," *PT. Semen Gresik Rembang*, vol. 15, no. 2, hal. 31, 2015.
- [3] S. Lestari, Safaruddin, dan R. Prayuda, "Co-Processing Limbah B3 Pelumas Bekas Sebagai Bahan Bakar Alternatif di PT Semen Baturaja Tbk," *Jurnal Lintas Ilmu*, vol. 1, no. 7, hal. 2210–1611, 2023.
- [4] D. E. Putri, S. Raharjo, dan R. Aziz, "Analisis SWOT Keberlanjutan Bank Sampah Kota Padang untuk Mendukung Penggunaan Alternative Fuel and Raw Material (AFR) pada PT. Semen Padang," *Jurnal Ilmu Lingkungan*, vol. 21, no. 3, hal. 675–683, 2023.
- [5] A. Z. Nugraha, E. I. Wiloso, dan M. Yani, "Pemanfaatan Serbuk Gergaji sebagai Substitusi Bahan Bakar pada Proses Pembakaran - Kiln di Pabrik Semen dengan Pendekatan Life Cycle Assesment (LCA)," *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, vol. 8, no. 2, hal. 188–198, 2018.
- [6] I. D. Laksono, "Meningkatkan Capaian Thermal Substitution Rate (TSR) dari 0,07% Menjadi 0,39% Sebesar 100% Selama 4 Bulan dengan Pemanfaatan Limbah Tas Sebagai Alternative Fuel," *PT Semen Gresik Rembang*, vol 12, no. 3. hal. 24, 2022.
- [7] P. M. Subramanian, "Plastics recycling and waste management in the US," *Resources Conservation and Recycling*, vol. 28, no. 3–4, hal. 253–263, 2020.
- [8] T. Anriani dan H. Eko Handayani, "Comparative Analysis of Coal Quality Te-67 at Mining Front and Stockpile in Tambang Air Laya PT. Bukit Asam (Persero) Tbk, Tanjung Enim Sumatera Selatan," *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya*, vol 13, no. 5, hal. 0–5, 2020.
- [9] D. Anggreini, S. Bahtiar, F Widyawati, dan S Hidayat, "Analisis Hubungan Kandungan Total Moisture, Total Sulphur dan Ash Content Terhadap Gross Calorific Value pada Batubara," *Jurnal Online Mahasiswa Universitas Teknologi Sumbawa*, vol. 5, no. 3, hal. 50–55, 2021.
- [10] A. Bunga, Safaruddin, dan R. Anugrah, "Analisis Kinerja Alat Calsiner Ditinjau dari Efisiensi Thermal di Pabrik Batuaraja PT Semen Baturaja (Persero) Tbk," *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Politeknik Negeri Sriwijaya*, vol. 1, no. 3, hal. 572–586, 2022.
- [11] Cembureau, "Sustainable cement production," *The European Cement Association*, vol.

- 10, no. 4, hal. 16, 2019.
- [12] F. Faizah, "Evaluasi Hasil Emisi Co₂ dari Proses Kalsinasi Pada PT Semen Padang Berdasarkan Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Guidelines 2006 Dalam Mewujudkan Green Cement Industry," *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Brawijaya*, vol. 7, no. 3, hal 20, 2018.
 - [13] G. Mardiana dan R. Mahardika, "Pemanfaatan Limbah Biomass Sebagai Bahan Bakar Alternatif dalam Kegiatan Co-Processing di Semen Gresik," *Seminar Rekayasa Kimia dan Proses*, vol. 3, no. 6, hal. 1–6, 2015.
 - [14] Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan, "Baku Mutu Emisi bagi Usaha dan atau Kegiatan Industri Semen," 2017.
 - [15] I. Karlinova, "Analisis Pengaruh Peringkat Batubara Terhadap Nilai Hardgrove Grindability Index," *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Brawijaya*, vol. 1, no. 3, hal. 18, 2020.
 - [16] Muchjidin, "Pengendalian Mutu dalam Industri Batubara," *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Institut Teknologi Bandung*, vol. 3, no. 2012, hal. 103–104, 2015.