

ANALISIS EMISI DEBU DAN PARTIKULAT TERHADAP PENGUNAAN BAHAN BAKAR ALTERNATIF DI INDUSTRI SEMEN

PARTICULATE EMISSION ANALYSIS OF CEMENT INDUSTRY USING ALTERNATIVE FUEL

Prayudha Nur Alfianto¹ dan Puji Lestari²

Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung
Jl Ganesha 10 Bandung 40132
¹prayudha.nur.a@gmail.com dan ²pujilest@indo.net.id

Abstrak : Penggunaan bahan bakar alternatif sebagai aplikasi co-processing di Indonesia telah banyak dilakukan oleh beberapa industri semen di Indonesia. Bahan bakar alternatif yang digunakan antara lain biomassa yang berupa sekam padi, ban bekas, waste oil, limbah padat, dan kemasan bekas, dengan presentase hingga 33%. Dengan substitusi bahan bakar ini akan berpengaruh pada emisi debu dan partikulat yang dikeluarkan melalui cerobong kiln. Sehingga analisis konsentrasi partikulat yang dihasilkan setelah bahan bakar alternatif digunakan pada kiln serta dibandingkan dengan bahan bakar batu bara. Data yang dianalisis berasal dari plant pada industri semen dari tahun 2011 hingga 2013. Dari analisis statistika deskriptif didapat konsentrasi rata – rata partikulat 41,4 mg/m³ dan masih di bawah baku mutu. Sementara energi yang disubstitusi oleh bahan bakar alternatif rata – rata sebesar 10,17% dan emisi partikulat dengan nilai rata – rata 6,55245 x10⁴ ton partikulat/ton.

Kata kunci : emisi debu dan partikulat, co-processing, bahan bakar alternatif

Abstract : The use of alternative fuels as co-processing application in Indonesia have been used by some of the cement industry in Indonesia. Alternative fuels that have been used there are, rice husk biomass, used tires, waste oil, solid waste, and used packaging, with a percentage of up to 33%. With this fuel substitution will affect the emissions released through the kiln stacks. So the analysis of the concentration of ash and particulates generated after alternative fuels used in kilns and fuel compared to coal. The data analyzed comes from the plant in the cement industry from 2011 to 2013. From Statistic descriptive analysis obtained average concentrations - average 41.4 mg/m³ particulate and still below the standards. While energy is substituted by alternative fuels average 10.17% and particulate emissions by value average 6.55245x10⁴ tons of particulate / ton.

Key words : Ash and particulate emission, co-processing, alternative fuel

PENDAHULUAN

Semen adalah agen perekat yang penting untuk industri konstruksi dan diproduksi dalam jumlah yang besar di dunia. Pabrik semen adalah industri yang sebagian besar produksinya berupa pengecilan ukuran material (*Size reduction*) dan pembakaran (*Pyroprocessing*) sehingga merupakan salah satu penyumbang polutan yang cukup besar pada pencemaran udara seperti emisi gas dan partikel debu. Pada tahun 2012 produksi semen dunia mencapai 3.600 juta ton (Cembureau, 2013) sedangkan di Indonesia sendiri pada tahun 2011 mencapai 77,517 juta ton (Agenda 21 Indonesia).

Proses produksi semen adalah proses yang membutuhkan banyak energi termal hingga sebanyak 3,3 GJ/ton clinker terproduksi (Giddings, et al, 2000). Tingginya kebutuhan semen dan makin terbatasnya energi tak terbarukan dan bahan baku alam mendorong industri semen untuk mencari alternatif sumber energi dan bahan baku. Disisi lain, terdapat kebutuhan akan penanganan dan pengelolaan limbah dengan cara benar dan aman sejalan dengan meningkatnya jumlah limbah sebagai konsekuensi kegiatan industri dan komersial yang terus meningkat dan tuntutan masyarakat akan terjaganya kualitas lingkungan. Salah satu upaya untuk mengatasi berbagai persoalan tersebut adalah memanfaatkan limbah sebagai sumber energi dan/atau bahan baku produksi semen dengan cara co-processing sehingga membantu pengelolaan limbah sekaligus mengamankan pasokan bahan bakar. Proses produksi semen merupakan alternatif yang efisien untuk penanganan beberapa jenis limbah, baik yang tergolong limbah B3

ataupun non B3, secara ramah lingkungan dan ekonomis. (Pedoman Pemanfaatan Limbah B3 dalam Kegiatan Co-processing di Industri Semen, 2009).

METODOLOGI

Penelitian ini dilaksanakan pada seluruh Industri semen di Indonesia yang telah menerapkan penggunaan bahan bakar alternatif (BBA) dan berkapasitas besar, yaitu sejumlah 4 industri yakni Indocement, Holcim, Semen Gresik, dan Semen Tonasa. Pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan kuisisioner yang disebar kepada empat industri semen yang tergabung dalam ASI (Asosiasi Semen Indonesia), hasil penelitian Ir. Puji Lestari, Ph.D. Data-data yang dikumpulkan merupakan data pada beberapa plant setiap kuartal dari tahun 2011 hingga 2013.

A. Pengumpulan data

Data primer diperoleh dari empat industri semen di Indonesia dengan menggunakan metode kuisisioner. Kolom – kolom pada kuisisioner telah diisi oleh industri – industri semen berdasarkan hasil pemantauan per triwulan. Data lain juga diperoleh dari dokumen pemantauan yaitu mencakup :

- Aktivitas penggunaan bahan bakar

Data – data yang didapat berupa jenis dan jumlah bahan bakar yang dipakai industri semen dari tiap plant, bahan bakar tersebut berupa batu bara sebagai bahan bakar utama dan berbagai limbah yang merupakan bahan bakar alternatif yang mengsubstitusi batu bara. Dari kuisisioner juga diperoleh data nilai kalor dari tiap bahan bakar batu bara dan bahan bakar alternatif dari penggunaan setiap plant.

- Emisi dari cerobong

Diperoleh data emisi partikulat laporan PT Ganesha Enviromental and Services dan dilakukan perekapan data selama 3 tahun .

Analisis dilakukan dengan metode regresi linear sederhana dan korelasi terhadap dua variabel. Berdasarkan data yang tersedia, persen kebutuhan bahan bakar (dalam satuan energi) yang disubstitusi oleh BBA pada suatu pabrik semen disebut dengan *thermal substitution rate* yang dihitung dengan **Persamaan 1**.

$$TSR = \frac{\sum_1^n \left(\text{Jumlah} \left(\frac{\text{ton}}{\text{jam}} \right) \times \text{Nilai Kalor} \left(\frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \right)_{BBA\ n} \right)}{\sum_1^n \left(\text{Jumlah} \left(\frac{\text{ton}}{\text{jam}} \right) \times \text{Nilai Kalor} \left(\frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \right)_{BBA\ n} \right) + \sum_1^n \left(\text{Jumlah} \left(\frac{\text{ton}}{\text{jam}} \right) \times \text{Nilai Kalor} \left(\frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \right)_{Batubara\ n} \right)}$$

Dimana, *Thermal Substitution Rate* (TSR) dinyatakan dalam persen (%), jumlah yang dimaksud adalah jumlah limbah yang digunakan di plant industri semen dalam ton/jam, sedangkan Nilai kalor adalah nilai kalor limbah yang digunakan sebagai bahan bakar pada pembuatan semen (MJ/kg).

Sedangkan emisi partikulat persatuan bahan bakar pada suatu pabrik semen, atau disebut dengan emisi partikulat dihitung dengan **Persamaan 2** agar memiliki satuan ton partikulat/ton fuel.

$$\text{Emisi Particulate} \left(\frac{\text{ton particulate}}{\text{ton fuel}} \right) = \frac{\text{Emisi particulate} \left(\frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right) \times \text{Flowrate} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \right) \times 10^{-9} \frac{\text{ton}}{\text{mg}}}{\sum_1^n \left(\text{Jumlah} \left(\frac{\text{ton}}{\text{jam}} \right)_{BBA\ n} \right) + \sum_1^n \left(\text{Jumlah} \left(\frac{\text{ton}}{\text{jam}} \right)_{Batubara\ n} \right)}$$

Dimana, emisi partikulat merupakan emisi dari cerobong industri pada setiap plant yang beroperasi per ton bahan bakar (ton partikulat/ton bahan bakar) dan flowrate adalah debit emisi pada cerobong yang beroperasi (m^3/jam).

B. Metode Analisis Statistika

Analisis dilakukan dengan metode regresi linear sederhana dan korelasi terhadap dua variabel. Regresi linear sederhana, atau disebut dengan model linear dua-variabel (two- variable linear model) digunakan untuk menguji hipotesis mengenai hubungan antara variabel dependen Y dan variabel independen atau variabel penjelas X dan untuk prediksi (Salvatore dan Reagle, 2002). Energi yang disubstitusi bahan bakar

alternatif (%) sebagai variabel bebas (X) dan emisi partikulat (ton partikulat/ton bahan bakar) sebagai variabel terikat (Y). Bentuk hubungan antara variabel Y dan X dinyatakan dengan **Persamaan 3**.

$$y = a + bx$$

Dimana, a adalah intercept atau perpotongan dengan sumbu Y ketika X sama dengan nol yang merupakan konstanta (nilai Y' apabila X = 0) dan b adalah slope atau kemiringan (Walpole et al, 2007).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses pembuatan semen melalui proses pembakaran dengan suhu yang tinggi serta penggilingan bahan baku menjadi ukuran yang lebih kecil akan menghasilkan debu dan gas emisi yang dikeluarkan lewat cerobong kiln. Emisi yang dikeluarkan yaitu senyawa seperti N₂, CO₂, O₂, H₂O, SO₂, TOC, NO_x, HCl, dioksin, dan logam berat. Pencemar ini dapat menyebabkan berbagai dampak baik bagi lingkungan juga bagi makhluk hidup. Pada penelitian ini analisis difokuskan pada emisi partikulat terhadap bahan bakar alternatif yang digunakan pada industri semen di Indonesia.

A. Statistika deskriptif

Analisa statistika deskriptif terhadap variabel – variabel dapat diamati pada **Tabel 1**. Hasil pengolahan data pada emisi partikulat menunjukkan rata – rata 0,000655245 ton partikulat/ton fuel dari 74 sampel dengan standar deviasi 0,000515353 ton partikulat/ton fuel, yang mengindikasikan variasi yang signifikan diantara data tersebut. Hasil pengolahan data pada konsentrasi partikulat menunjukkan rata – rata 41,4126 mg/m³ dari 74 sampel dengan standar deviasi 28,0742mg/m³, yang mengindikasikan variasi yang signifikan diantara data tersebut. Hasil pengolahan data pada ener yang disubstitusi BBA menunjukkan rata – rata 10,17 % dari 74 sampel dengan standar deviasi 8,74 % , yang mengindikasikan variasi yang signifikan diantara data tersebut.

Tabel 1. Analisis Statistik emisi partikulat

	Energi yang disubstitusi BBA (%)	Konsentrasi Partikulat (mg/m ³)	Emisi Partikulat (ton/ton fuel)
R	10,1693870	41,41259009	0,000655245
M	7,12	34,97325	0,000545217
S	8,73728953	28,07415608	0,000515353
M	0,6	3,9545	3,17745E-07
M	35,89	150,1955	0,003051246
J	74	74	74

Nilai konsentrasi partikulat pada setiap plant dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti:

- Proses penggilingan pada *raw mill* terlalu lama yang menyebabkan hasil penggilingan terlalu halus, sehingga lebih banyak partikulat yang dapat terbawa oleh aliran udara.
- Efisiensi unit *Electrostatic Precipitator* (ESP) yang kurang maksimal. Efisiensi akan terus berkurang, berbanding terbalik dengan banyaknya debu yang telah disaring dan lama waktu operasi sejak *maintenance*.
- Saat dilakukan pengukuran, *plant* belum cukup stabil baik dalam input *raw mill* maupun bahan bakar sehingga dapat terjadi fluktuasi emisi.
- Proses pembakaran yang tidak sempurna, banyak karbon yang tidak bereaksi sehingga produksi partikulat meningkat
- Jenis bahan bakar yang digunakan serta kandungan senyawa didalamnya terhadap proses pembakaran suhu tinggi

Tabel 2. Emisi partikulat di beberapa negara

No	Negara	Emisi partikulat (mg/m ³)
1	Italia	2,1
2	Eropa	20,3
3	Jerman	3,5

Sumber: Fahri, 2013

Jika dibandingkan dengan emisi partikulat dari beberapa negara pada **Tabel 2**, emisi partikulat industri semen di Indonesia memiliki jumlah yang paling besar dengan konsentrasi rata-rata mencapai 41,4 mg/m³. Industri semen di dunia sudah mengalami banyak perkembangan dalam hal teknologi, mulai dari perawatan alat hingga teknologi proses pembuatannya. Kondisi unit yang sudah tua akan sangat berpengaruh pada kinerja unit tersebut dan dapat menjadi faktor semakin berkurangnya efisiensi sehingga emisi yang dikeluarkan semakin besar.

Partikel debu akan berada di udara dalam kurun waktu yang relatif lama dalam keadaan melayang-layang di udara kemudian masuk ke dalam tubuh manusia melalui pernafasan. Selain dapat membahayakan terhadap kesehatan juga dapat mengganggu daya tembus pandang mata dan dapat mengadakan berbagai reaksi kimia sehingga komposisi debu di udara menjadi partikel yang sangat rumit karena merupakan campuran dari berbagai bahan dengan ukuran dan bentuk yang relatif berbeda-beda.

B. Analisa Total Massa dan Ash yang terproduksi dari Proses Kiln Cement

Analisa dan perhitungan ini dilakukan untuk memperkirakan jumlah massa total bahan bakar dan *Ash* yang terproduksi dari proses *Cement Kiln*. Skenario yang digunakan adalah penggunaan bahan bakar *coal* akan disubstitusi oleh bahan bakar alternatif sebanyak 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50% dengan kebutuhan energi yang sama. Produksi *Ash* dari penggunaan bahan bakar ditentukan dengan menggunakan nilai kandungan *Ash (Ash Content)* dalam bahan bakar yang digunakan. Nilai *ash content* dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. *Ash Content* dalam beberapa jenis bahan bakar

Jenis Bahan Bakar	Ash content (% ton ash/ton bahan bakar)
Rice husk ¹	18-22
Municipal solid waste ¹	20-40
Used tyres ¹	3
Saw dust ²	0,5-1,1
Used oil ³	0,15-0,55
Indian coal ⁴	38,63
Indonesian coal ⁴	3,99

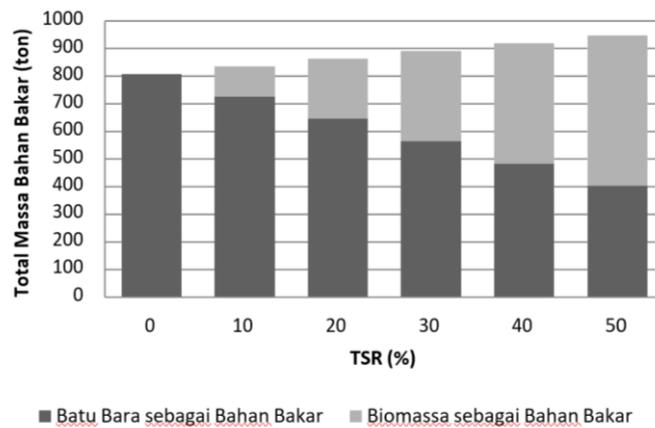
Sumber : (1)Cement Manufacturer Association, (2)Bjarte Oye, 2012, (3) Office of Air Quality Planning and Standards, 1996 , (4) Productivity Portal India

Biomassa

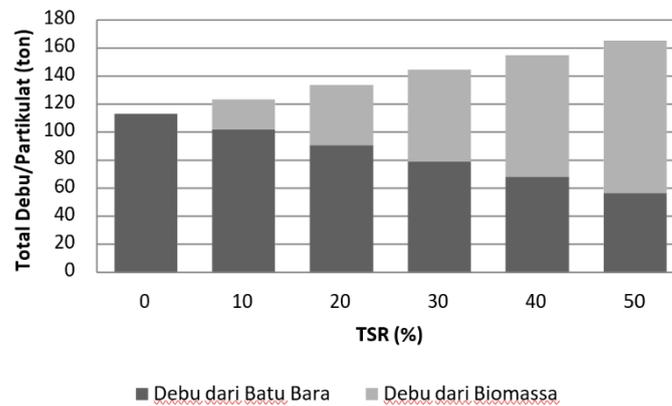
Pada **Gambar 1** menunjukkan adanya peningkatan total massa bahan bakar sebesar 17,4% apabila bahan bakar utama *coal* dikonversi dengan bahan bakar alternatif biomassa sekam padi. Pada konversi bahan bakar sebesar 50% total berat fuel meningkat dari 806,59 ton menjadi 946,85 ton. Salah satu penyebab kenaikan total massa ini dikarenakan *heating value* sekam padi sebesar 17,06 GJ ton/hour lebih kecil dibanding *heating value coal* pada kiln yang menggunakan *alternative fuel biomass* yakni sebesar 21,67 GJ ton/hour.

Pada **Gambar 1 dan 2** di bawah memperlihatkan *ash* yang terproduksi meningkat bila ini dikarenakan karena nilai *ash content rice husk* (20%) lebih besar dari nilai *ash content indonesian coal* (14%). Peningkatan jumlah *ash* terjadi sebesar 46,27% bila dilakukan simulasi sejumlah 50% batu bara dikonversi menjadi bahan bakar sekam padi. Biomassa yang sering digunakan untuk bahan bakar

alternatif pada industri semen adalah sekam padi. Karena Indonesia merupakan salah satu negara agrikultur yang memproduksi padi dalam jumlah besar, maka jumlah sekam padi yang dihasilkan juga sangat banyak.



Gambar 1. Pengaruh TSR terhadap total massa bahan bakar yang dibutuhkan

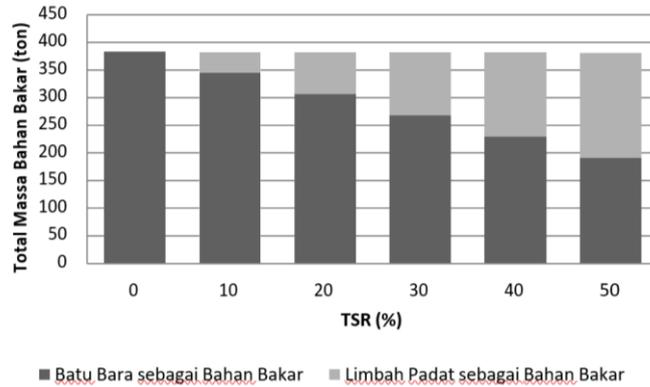


Gambar 2. Pengaruh TSR terhadap total debu yang dihasilkan

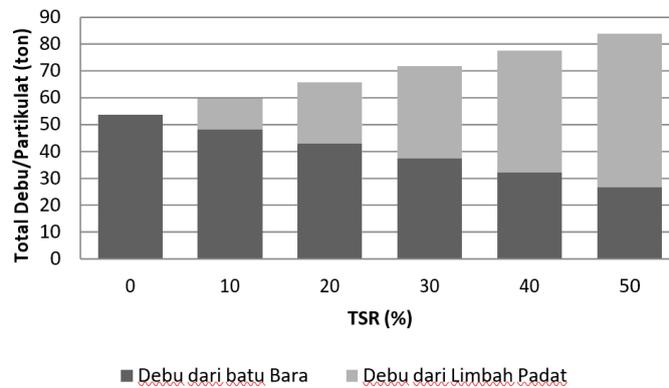
Limbah Padat

Limbah padat yang dimaksud dalam penggunaannya sebagai bahan bakar alternatif pada industri semen adalah *municipal solid waste* (MSW) atau limbah padat kota. Pada Gambar terlihat adanya sedikit penurunan massa bahan bakar sebesar 0,34% apabila bahan bakar utama coal dikonversi dengan bahan bakar alternatif Municipal Solid Waste (MSW). Pada konversi bahan bakar sebesar 50% total massa dari coal dan MSW tidak banyak berubah. Salah satu penyebab kenaikan total massa ini dikarenakan *heating value* dari kedua bahan bakar ini memiliki nilai yang hampir sama yakni 19,26 – 19,39 GJ ton/hour.

Pada **Gambar 3 dan 4** memperlihatkan *ash* yang terproduksi meningkat bila ini dikarenakan karena nilai *ash content* MSW (30%) lebih besar dari nilai *ash content* *indonesian coal* (14%). Peningkatan jumlah *ash* terjadi sebesar 56,41% bila dilakukan simulasi sejumlah 50% batu bara dikonversi menjadi bahan bakar MSW. Peningkatan penggunaan limbah padat sebagai BBA akan berkontribusi pada peningkatan produksi debu. Kandungan limbah MSW serta nilai *ash content* beragam di setiap negara tergantung dari aktivitas kota tersebut, namun secara umum limbah yang tergolong MSW adalah limbah rumah tangga, limbah taman dan limbah komersial/institusional (IPCC, 2006).



Gambar 3. Pengaruh TSR terhadap total massa bahan bakar yang dibutuhkan

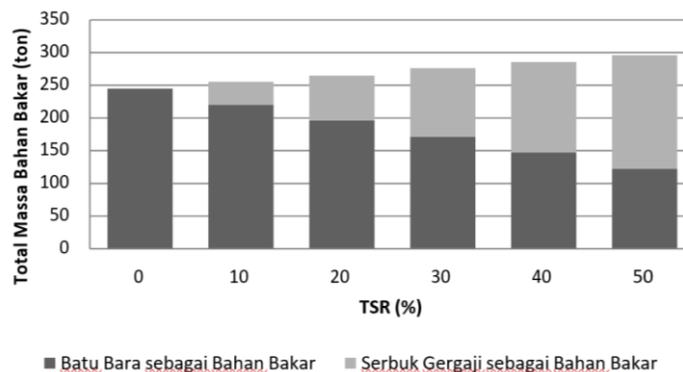


Gambar 4. Pengaruh TSR terhadap total debu yang dihasilkan

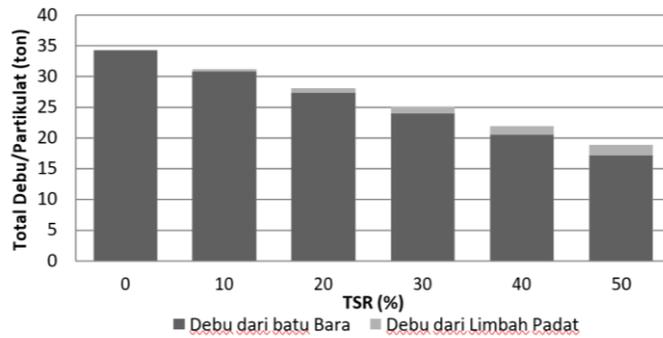
Serbuk Gergaji

Pada **Gambar 5** menunjukkan adanya peningkatan total massa bahan bakar sebesar 21% apabila bahan bakar utama coal dikonversi dengan bahan bakar alternatif serbuk gergaji. Pada konversi bahan bakar sebesar 50% total berat *fuel* meningkat dari 244,68 ton menjadi 296,14 ton. Salah satu penyebab kenaikan total massa ini dikarenakan heating value serbuk gergaji sebesar 15,02 GJ ton/hour lebih kecil dibanding heating value coal pada kiln yang menggunakan alternative fuel saw dust yakni sebesar 21,34 GJ ton/hour.

Pada **Gambar 6** memperlihatkan ash yang terproduksi dari bahan bakar alternatif *saw dust* sangat kecil karena nilai ash content *saw dust* hanya 1%. Terjadi penurunan sebesar 44% yang cukup signifikan pada total ash yang terproduksi. Peningkatan penggunaan serbuk gergaji sebagai BBA akan berkontribusi pada penurunan produksi debu. Serbuk kayu merupakan jenis limbah yang tergolong biomassa.



Gambar 5. Pengaruh TSR terhadap total massa bahan bakar yang dibutuhkan

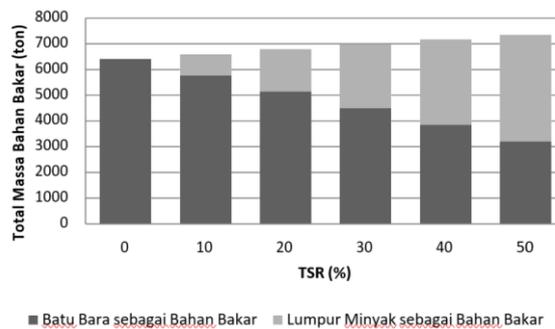


Gambar 6. Pengaruh TSR terhadap total debu yang dihasilkan

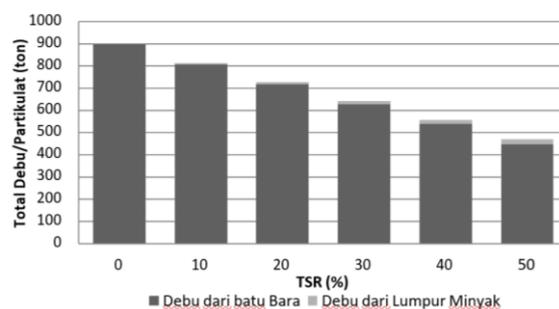
Gambar 6. Pengaruh TSR terhadap total debu yang dihasilkan

Lumpur Minyak

Hasil **Gambar 7**, dapat diamati adanya peningkatan total massa bahan bakar sebesar 14,75% apabila bahan bakar utama coal dikonversi dengan bahan bakar alternatif lumpur minyak. Pada konversi bahan bakar sebesar 50% total berat fuel meningkat dari 6411,54 ton menjadi 7357,38 ton. Salah satu penyebab kenaikan total massa ini dikarenakan heating value sludge oil sebesar 18,42 GJ ton/hour lebih kecil dibanding heating value coal 23,86 GJ ton/hour.



Gambar 7. Pengaruh TSR terhadap total massa bahan bakar yang dibutuhkan



Gambar 8. Pengaruh TSR terhadap total debu yang dihasilkan

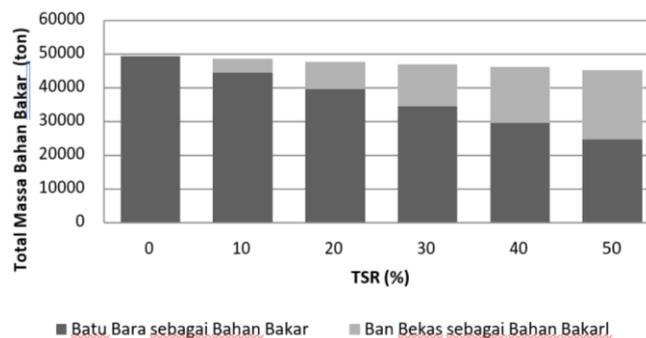
Pada **Gambar 7 dan 8** memperlihatkan ash yang terproduksi dari bahan bakar alternatif sludge oil sangat kecil karena nilai ash content sludge oil hanya 0,54%. Terjadi penurunan sebesar 47,5% yang cukup signifikan pada total ash yang terproduksi.

Terlihat bertambahnya substitusi bahan bakar oleh limbah lumpur minyak dapat menghasilkan penurunan emisi debu dari kiln semen. Minyak merupakan bahan bakar yg dapat menghasilkan energi yang tinggi dan mengeluarkan emisi yang lebih sedikit dibanding batu bara. Namun karena bentuknya yang digunakan sebagai bahan bakar berupa lumpur yang tercampur dengan senyawa lain sehingga kadar lumpur dan tingkat kepekatan lumpur minyak yang digunakan mempengaruhi jumlah emisi debu yang terjadi. Pada data yang dipakai lumpur minyak tercampur dengan limbah

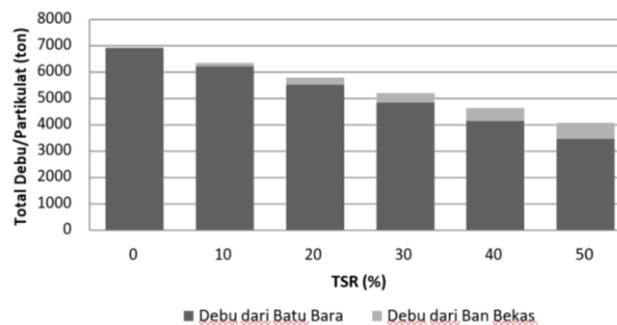
lain seperti serbuk gergaji, limbah plastik, sekam padi dan limbah padat dengan komposisi lumpur minyak yang lebih dominan. Semakin pekat dan kandungan minyak lebih sedikit maka nilai *heating value* semakin rendah dan emisi yang dikeluarkan semakin besar.

Ban Bekas

Hasil **Gambar 9**, dapat diamati konversi bahan bakar ban bekas sebesar 50% dapat mengurangi total massa bahan bakar yang digunakan sebesar 8,3% serta meminimalisir debu terproduksi sebesar 41%. Terlihat bertambahnya substitusi bahan bakar oleh limbah ban bekas dapat menghasilkan penurunan emisi dari kiln semen. Kondisi kiln pada saat pembakaran diasumsikan terbakar sempurna sehingga mereduksi emisi partikulat dari ban bekas yang memiliki kadar karbon yang lebih tinggi dibanding batu bara. Perlakuan terhadap ban bekas seperti dipotong kecil sebelum dimasukkan sebagai bahan bakar juga membantu menyempurnakan proses pembakaran pada suhu tinggi.



Gambar 9. Pengaruh TSR terhadap total massa bahan bakar yang dibutuhkan



Gambar 10. Pengaruh TSR terhadap total debu yang dihasilkan

KESIMPULAN

Konsentrasi massa partikulat emisi cerobong kiln pada industri semen dari data yang tersedia memiliki rata-rata konsentrasi $41,41259009 \text{ mg/m}^3$. Dari 74 data yang didapat dari pengukuran 3 tahun terakhir per triwulan pengukuran, ada 2 sampel yang melebihi baku mutu yang sebesar 80 mg/m^3 . Yaitu terdapat pada 2 plant di lokasi berbeda masing – masing sebesar $150,1955 \text{ mg/m}^3$ dan $128,1 \text{ mg/m}^3$.

Pada simulasi konversi Bahan Bakar alternatif biomassa sekam padi dan limbah padat. Dengan meningkatnya simulai konversi terjadi peningkatan debu yang terproduksi yang cukup signifikan pada kedua bahan bakar alternatif ini dikarenakan *ash content* yang lebih tinggi dari batu bara sehingga memungkinkan untuk meningkatkan kadar emisi partikulat di udara. Pada simulasi konversi Bahan Bakar alternatif serbuk gergaji, lumpur minyak dan ban bekas. Dalam simulai konversi bahan bakar terjadi penurunan debu yang terproduksi pada ketiga bahan bakar alternatif ini dikarenakan *ash content* yang lebih rendah dari batu bara sehingga memungkinkan untuk menurunkan kadar emisi partikulat di udara

DAFTAR PUSTAKA

- Bhatty, J. I., Marijnissen, J., and Reid, K. J., "Portland Cement Production Using Mineral Wastes," *Cement and Concrete Research*, Elmsford, New York, U.S. A., VO1. 15, No. 3, pp. 501-510, (1985).
- CEMBUREAU. (1997), *Alternative Fuels in Cement Manufacturing: Technical and Environmental Review*. Brussels, The European Cement Association: 24.
- CEMBUREAU. (1999), *Environmental Benefits of Using Alternative Fuels in Cement Production*. Brussels, The European Cement Association: 25.
- CEMBUREAU, (2009). *Sustainable Cement Production : Co-processing of Alternative Fuels dan Raw Materials in The European Cement Industr.* The European Cement Association
- Cement Manufacturer Association, *Action Plan for Enchancing the Use of Alternate Fuels and Raw Materials in the Indian Cement Industry*, Institute for Industrial Productivity
- Fahri, Yosa M. (2013). Analisis Komposisi Partikulat pada Industri Semen di Indonesia yang Menggunakan Bahan Bakar Alternatif. Institut Teknologi Bandung
- Giddings, D., Eastwick, C.N., Pickering, S.J, & Simmons, K. (2000). *Computational fluid dynamics applied to a cement precalciner*. Proc. Instn. Mech. Engrs. Vol. 214 Part A.
- Gupta, R.K., Deepanjan Majumdar, J.V. Trivedi, A.D. Bhanarkar , (2012). *Particulate matter and elemental emissions from a cement kiln*. Air Pollution Control Division, National Environmental Engineering Research Institute
- Madhiyanon, T ; Sathitruangsak, P.; Sophonronarit, S. (2009). *Co-combustion of Rice Husk with Coal in a Cyclonic Fluidized-bed Combustor (FBC)*. Fuel 2009, 88, 132-138
- Moses P.M. Chinyama, *Alternatice Fuels in Cement Manufacturing*. University of Malawi – The Polytechnic Malawi
- Narang, Leenu , (2012). *Techno-Economical Assessment of Alternative Fuels in Cement Kiln*. Department of Biotechnology & Enviornmental Sciences, Thapar University
- Oye, Bjarte ,(2012). *Wood Ash as Raw Material for Portland Cement*, SINTEF Materials and Chemistry , Norway
- Productivity Portal India , *Energy Management Thermal Energy System Fuel and Combustion Properties of Coa*, Dr. Ambedkar Institute of Productivity National Productivity Council, Ambattur.
- Teng, Hsisheng ; Michael A. Serio; Rosemary Bassilakis , *Reprocessing of Used Tires Into Activated Carbon and Other Products*, Advanced Fuel Research, Inc . East Harlford
- Vermont Used Oil Analysis and Waste Oil Furnace Emissions Study (1996), Vermont Agency of Natural Resources Department of Environmental Conservation Air Pollution Control Division and Hazardous Materials Management Division, Waterbury, Vermont