



ANALISA PENGARUH BAHAN BAKAR ALTERNATIF TERHADAP PERFORMA KILN SEMEN

Indra Mustika^{1*}, Solikin²

¹Department of Mechanical Engineering, Engineering Faculty, Muhammadiyah University of Surabaya
Jl. Sutorejo No. 59, Surabaya, Indonesia

²Department of Mechanical Engineering, Engineering Faculty, Muhammadiyah University of Surabaya
Jl. Sutorejo No. 59, Surabaya, Indonesia

*Email: mustika.indra@gmail.com

(Received: 20-04-2024; Reviewed: 20-07-2024; Accepted: 10-09-2024)

ABSTRAK

Penggunaan bahan bakar batu bara yang dikategorikan sebagai sumber daya alam tidak terbarukan harus menghadapi tantangan baru ditengah krisis energi dunia dan kenaikan harga batu bara. Kiln Tuban 2 membutuhkan energi batu bara untuk sebesar 3300 MJ/ton klinker. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa potensi energi terbarukan berupa pemanfaatan limbah dalam rangka menurunkan penggunaan batu bara pada industri semen. kajian mendalam tentang pemanfaatan kembali energi dari limbah dengan tehnologi co-processing yang dikembangkan khususnya pada kiln semen. Penelitian ini mengambil data operasi kiln pada bulan Januari 2024 dengan membandingkan data bulan Maret 2021. Dengan pemanfaatan limbah untuk bahan bakar dapat menurunkan penggunaan bahan bakar batu bara sebesar 10% pada bulan Januari 2024 dari 27 tph menjadi 24 tph. Penghematan ini setara dengan persentase 8.1% biaya seluruh bahan bakar kiln.

Kata Kunci: Kiln, batu bara, limbah, *co-processing*

1. PENDAHULUAN

Semen merupakan industri yang strategis bagi negara Indonesia. Sebagai negara yang terus melakukan pembangunan, semen menjadi produk komoditas yang sangat penting. Diperkirakan energi yang dikonsumsi pada industri semen mencapai 2% dari total konsumsi energi total primer dunia. Pembakaran dan klinkerisasi adalah proses yang sangat penting dalam proses pembuatan semen. Karena dalam proses ini terjadi perubahan kimiawi material bahan baku untuk menjadi fase cair dan fase kristal dalam bentuk klinker. Pembakaran bahan baku utama yang masih berupa bubuk/raw meal ini terjadi pada kiln. Kiln sistem secara konvensional menggunakan 2 jenis bahan bakar, yaitu batu bara (coal) sebagai bahan bakar utama dan Industrial Diesel Oil (IDO) yang digunakan pada saat proses heating up atau pemasanan awal. Bahan bakar ini merupakan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui sehingga dalam beberapa tahun kedepan persediaannya akan menipis. Besarnya penggunaan bahan bakar ini tergantung pada besarnya umpan material (kiln feed) yang diumpankan pada rotary kiln.

Naiknya harga minyak dunia memberikan dampak yang sangat signifikan pada harga batu bara. Industri mulai melirik batu bara sebagai pengganti bahan bakar minyak. Pada industri semen, biaya batu bara menyumbang 30-40% dari total biaya produksi semen. Untuk mengantisipasi hal tersebut) mulai bulan Juni 2022 mulai menggunakan Bahan Bakar Alternatif.

2. METODOLOGI

Teknik pengumpulan data yang diperoleh dalam penelitian ini dari data primer dan sekunder. Data primer ini diperoleh oleh peneliti dari observasi lapangan, wawancara langsung dengan AFR Engineer, CCR Engineer, dan juga data dari Technical Information Sistem (TIS). Dengan adanya diskusi ini diharapkan dapat mempermudah modifikasi sehingga target dapat dicapai.

Data sekunder ini diperoleh oleh peneliti melalui studi literatur dari buku yang ada di perpustakaan dan juga dari pencarian situs di internet yang berkaitan tentang penelitian tersebut.

A. Analisa Konsumsi Energi Panas Spesifik

Pada proses pembakaran bahan baku menjadi klinker yang ada di kiln, STEC merupakan hal yang sangat penting. Konsumsi Energi Panas Spesifik atau *Specific Thermal Energy Consumption (STEC)* dapat dihitung dengan cara banyaknya jumlah bahan bakar yang digunakan dikalikan dengan nilai kalor *NCV* bahan bakar dibagi dengan jumlah produk klinker yang dihasilkan.

$$STEC = \frac{\sum(NCV_{coal} \times BB_{coal}) + (NCV_{afr} \times BB_{afr})}{p \text{ clinker}} \quad (1)$$

Keterangan:

STEC = *Specific Thermal Energy Consumption (MJ/ ton clinker)*

NCV_{coal} = *Net Calory Value coal (MJ/t)*

BB_{coal} = *Bahan Bakar coal (ton)*

NCV_{coal} = *Net Calory Value coal (MJ/t)*

BB_{afr} = *bahan bakar AFR (ton)*

P clinker = *product clinker (ton)*

Sedangkan produk klinker dapat dihitung dengan:

P_{clinker} = *Umpan Kiln/Cf*

Cf = *Clinker factor (1.62)*

B. Analisa Thermal Substitution Rate (TSR)

Thermal Substitution Rate (TSR) menyatakan besarnya persentasi panas dari bahan bakar alternatif yang dapat menggantikan konsumsi bahan bakar fosil. Dalam hal ini didapatkan dengan cara membandingkan data konsumsi AFR dengan total seluruh energi bahan bakar kiln.

$$TSR = \frac{En_{afr}}{En_{afr} + En_{coal} + En_{diesel}} \times 100\% \quad (2)$$

En_{afr} = $\sum(NCV_{afr} \times BB_{afr})$

En_{coal} = $\sum(NCV_{coal} \times BB_{coal})$

Keterangan:

En_{afr} = *Energi Total AFR (MJ)*

En_{coal} = *Energi Total Coal (MJ)*

NCV_{coal} = *Net Calory Value coal (MJ/t)*

BB_{coal} = *Bahan Bakar coal (ton)*

NCV_{coal} = *Net Calory Value coal (MJ/t)*

Kebutuhan panas Kiln Tuban 2 rata-rata selama bulan Januari 2024 adalah sebesar 3162 Mj/ t *clinker* dengan kiln feed rata-rata sebesar 270 tph. Dengan *clinker factor* sebesar 1.62 maka diperoleh jumlah Batu bara yang dibutuhkan sebanyak sebagai berikut:

$$\Sigma \text{Batubara} = \frac{\text{Heat Con} \times \text{Kiln Feed}}{\text{CF} \times \text{NCV Batu bara}} \quad (3)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Batu Bara

Batu bara sebagai bahan bakar utama dalam pembakaran kiln mengalami analisa sampel sebanyak 2 kali yaitu pada sampel sebelum penggilingan *coal mill (raw coal)* dan analisa sampel hasil penggilingan (*fine coal*). Adapun data yang diambil dalam analisa batu bara adalah sebagai berikut: analisis *proksimat (inherent moisture, ash contain, volatile matter, fix carbon)*, nilai kalori dan total *sulfure*.

| Pengujian | Unit | AVG Maret 2021 | AVG Januari 2024 |
|-------------|---------|----------------|------------------|
| H2O | % | 13 | 11.5 |
| Ash Content | % | 11 | 12 |
| Vol Matter | % | 43 | 43 |
| Residu R90 | % | 22,4 | 23,7 |
| CVN | kcal/kg | 4655 | 4660 |
| | MJ/t | 19.475 | 19.5 |

Dari table didapatkan perbandingan rata-rata antara hasil uji sampel batu bara sebelum pemakaian AFR dan setelah pemakaian AFR. Pada fine coal sebelum pemakaian AFR didapatkan hasil rata-rata sebagai berikut:

H2O: 13.2%
 Ash Content: 11.03%
 Vol Matter: 43.12%
 Residu: 22.41%
 NCV: 4654 kg/kg atau 19500 MJ/ton

Setelah pemakaian AFR:
 H2O: 11.49%
 Ash Content: 11.54%
 Vol Matter: 42.9%
 Residu: 23.7%
 NCV: 4661 kg/kg atau 19504 MJ/ton

Terdapat perbedaan *moisture fine coal* sebelum penggunaan AFR lebih tinggi dari pada setelah penggunaan AFR. Namun pada nilai kalor (NCV) rata-rata tidak ada perbedaan yang signifikan.

B. Analisa Sampel Bahan Bakar Alternatif

Dengan beragam jenis AFR yang digunakan pada pembakaran kiln maka analisa yang dilakukan harus dilakukan pada tiap-tiap jenis material. Pengambilan sampel dilakukan pada 2 tahapan yaitu uji

sampel material yang baru datang dari supplier (*incoming sampel*) dan uji sampel untuk material setelah *shredder (mixing sampel)*.

Nilai kalori menjadi salah satu parameter yang sangat penting dalam pemilihan bahan bakar alternatif. Semakin mendekati nilai kalori batu bara maka akan semakin disukai karena akan membawa dampak substitusi terhadap konsumsi batu bara yang besar pula.

Sebelum digunakannya AFR kiln Tuban 2 menggunakan jenis batu bara dengan nilai kalori NCV 4900 kcal/kg. Komposisi AFR yang biasa digunakan pada kiln 2 adalah terdiri dari limbah biomass (sekam padi, tongkol jagung, *saw dust*), limbah *reject product* (limbah tekstil pabrik sepatu, pabrik kain) dan RDF.

| Date | Sampel Name | Mixing | H2O | Ash Content | Cl | CVN |
|------------|---------------------------------|--------|-----|-------------|-------|-------|
| | | | % | % | % | MJ/t |
| | | | <50 | max20 | >0.5 | >8000 |
| 02.01.2024 | Solid waste+Biomass | 1:2 | 31 | 16.2 | 0.18 | 12346 |
| 04.01.2024 | biomass+ Reject product pampers | 3:1 | 22 | 9.6 | 0.21 | 15125 |
| 08.01.2024 | Solid waste+Biomass | 1:1 | 12 | 13.5 | 0.18 | 16964 |
| 11.01.2024 | Solid waste+Biomass | 1:1 | 14 | 12.4 | 0.13 | 15622 |
| 15.01.2024 | Solid+Biomass | 1:1 | 18 | 12.7 | 0.18 | 16187 |
| 18.01.2024 | Solid waste+Biomass | 1:1 | 14 | 8.4 | 0.21 | 16051 |
| 24.01.2024 | biomas+ RDF | 3:1 | 34 | 12.1 | 0.09 | 11332 |
| 29.01.2024 | biomas+ RDF | 3:1 | 38 | 17.1 | 0.097 | 11971 |

C. Analisa Konsumsi Energi Panas Spesifik atau *Specific Thermal Energy Consumption (STEC)*

Pada proses pembakaran bahan baku menjadi klinker yang ada di kiln, STEC merupakan hal yang sangat penting. Konsumsi Energi Panas Spesifik atau *Specific Thermal Energy Consumption (STEC)* dapat dihitung dengan cara banyaknya jumlah bahan bakar yang digunakan dikalikan dengan nilai kalor *NCV* bahan bakar dibagikan dengan jumlah produk klinker yang dihasilkan.

$$STEC = \frac{\sum(NCV_{coal} \times BB_{coal}) + (NCV_{afr} \times BB_{afr})}{p \text{ clinker}}$$

Keterangan:

STEC = *Specific Thermal Energy Consumption (MJ/ ton clinker)*

NCVcoal = Net Calory Value coal (MJ/t)

BBcoal = Bahan Bakar coal (ton)

NCVcoal = Net Calory Value coal (MJ/t)

BBafr = bahan bakar AFR (ton)

P clinker = product clinker (ton)

Sedangkan produk klinker dapat dihitung dengan:

Pclinker = Umpan Kiln/Cf

Cf = Clinker factor (1.62)

1. Hasil perhitungan STEC Kiln periode bulan Maret 2021 sebelum pemakaian AFR adalah sebagai berikut:

Diketahui:

Umpan Kiln rata-rata = 265 tph

NCVcoal = 1960 MJ/t

BBcoal = 27.2 ton/hour

BBafr = 0 tph

Maka:

Produk Klinker = 265 tph/1.62 = 162 tph

$$STEC = \frac{\sum \left(19600 \frac{MJ}{t} \times 27.1 \text{ton} \right) + (0 \times 0)}{164 \text{ ton}}$$

$$STEC = 3227 \text{ MJ/ton clinker}$$

Dari perhitungan diatas didapatkan bahwa nilai *STEC kiln* adalah sebesar 3227 MJ/ton clinker atau 787 kcal/kg clinker. Angka tersebut adalah banyaknya pemakaian bahan bakar murni dari batu bara tanpa adanya campuran AFR. Pemakaian bahan bakar pada kiln tersebut merupakan total bahan bakar dari 60% *precalciner* dan 40% *main burner rotary kiln*. Pemakaian bahan bakar tersebut di sesuaikan dengan *parameter control* yang ada, yaitu:

- *Kiln feed* : max 275 tph
- *Temperature calciner* : 850-860 °C
- *Temperature hotmeal* : 810-830 °C
- *Temperature top cyclone1* : 395-420 °C
- *Temperature sec air* : 900-1100 °C
- *Oksigen inlet kiln* : 5%
- *Oksigen after IDfan* : 1.3- 2%
- *Torsi Kiln main drive* : 1400-1800 Nm
- *Freelime (FCaO)* : 0.5-2%
- *C3S* : >60
- *LSF clinker* : 95-99%

Selama bulan Maret 2021 tidak ada aktivitas *heating up* sehingga penggunaan bahan bakar diesel adalah 0 liter per jam. Dengan demikian bahan bakar yang masuk selama bulan Maret 2021 adalah murni dari bahan bakar batu bara.

Hasil perhitungan STEC Kiln Tuban 2 periode bulan Januari 2024 setelah pemakaian AFR adalah sebagai berikut

Diketahui:

Umpan Kiln *rata-rata* = 270 tph

$NCV_{coal} = 1950 \text{ MJ/t}$

$BB_{coal} = 24.3 \text{ ton/hour}$

$BB_{afr} = 4 \text{ tph}$

$NCV_{afr} = 14300 \text{ MJ/t}$

Maka:

$Produk \text{ Klinker} = 270 \text{ tph}/1.62 = 167 \text{ tph}$

$$STEC = \frac{\sum \left(19500 \frac{\text{MJ}}{\text{t}} \times 24.3 \text{ ton} \right) + \left(14300 \frac{\text{MJ}}{\text{t}} \times 4 \text{ ton} \right)}{167}$$

$STEC = 3162 \text{ MJ/ton clinker}$

Dari hasil perhitungan diatas didapatkan bahwa konsumsi bahan bakar batu bara dapat turun menjadi 25 tph karena adanya substitusi panas dari pemakaian bahan bakar AFR.

D. Analisa Thermal Substitution Rate (TSR)

Thermal Substitution Rate (TSR) menyatakan besarnya persentasi panas dari bahan bakar alternatif yang dapat menggantikan konsumsi bahan bakar fosil. Dalam hal ini didapatkan dengan cara membandingkan data konsumsi AFR dengan total seluruh energi bahan bakar kiln.

$$TSR = \frac{E_{afr}}{E_{afr} + E_{coal} + E_{diesel}} \times 100\%$$

$E_{afr} = \sum (NCV_{afr} \times BB_{afr})$

$E_{coal} = \sum (NCV_{coal} \times BB_{coal})$

Keterangan:

$E_{afr} = \text{Energi Total AFR (MJ)}$

$E_{coal} = \text{Energi Total Coal (MJ)}$

$NCV_{coal} = \text{Net Calory Value coal (MJ/t)}$

$BB_{coal} = \text{Bahan Bakar coal (ton)}$

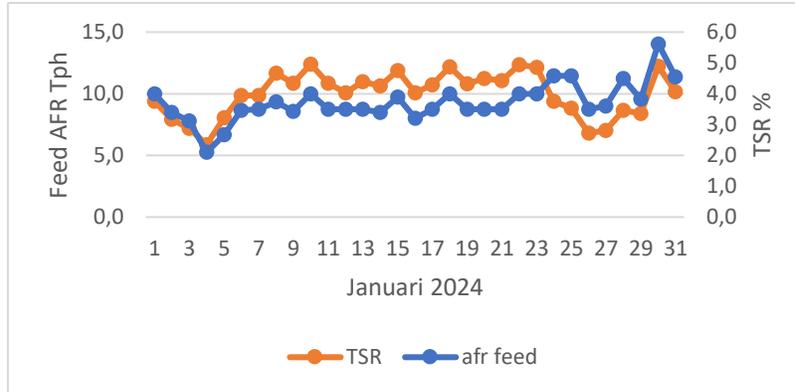
$NCV_{afr} = \text{Net Calory Value coal (MJ/t)}$

Maka didapatkan hasil:

$$TSR = \frac{14300 \frac{\text{MJ}}{\text{t}} \times 4 \text{ ton}}{\left(14300 \frac{\text{MJ}}{\text{t}} \times 4 \text{ ton} \right) + \left(19500 \frac{\text{MJ}}{\text{t}} \times 24.3 \text{ ton} \right)} \times 100\%$$

$TSR = 10\%$

Dari perhitungan di atas dapat diperoleh hasil bahwa *Thermal Substitution Rate (TSR)* pada pembakaran di *Rotary kiln* dengan pencampuran bahan bakar alternatif mengalami kenaikan seiring besarnya persentasi *feeding AFR*. Selama bulan Januari 2024 diperoleh hasil substitusi panas oleh



AFR sebesar 10% dari seluruh energi yang dipakai pembakaran kiln.

Namun perlu diketahui juga bahwa persentasi penggunaan AFR harus disesuaikan juga dengan kondisi operasional pada kiln dan juga hasil uji analisa kualitas AFR itu sendiri.

E. Analisa Penurunan Konsumsi Batu bara

Kebutuhan panas Kiln rata-rata selama bulan Januari 2024 adalah sebesar 3162 MJ/ t *clinker* dengan kiln feed rata-rata sebesar 270 tph. Dengan *clinker factor* sebesar 1.62 maka diperoleh jumlah Batu bara yang dibutuhkan sebanyak sebagai berikut:

$$\sum \text{Batubara} = \frac{\text{Heat Con X Kiln Feed}}{\text{CF X NCV Batu bara}}$$

$$\begin{aligned} \sum \text{Batubara} &= \frac{3162 \frac{\text{MJ}}{\text{t}} \times 270 \text{ t/h}}{1.62 \times 19505 \frac{\text{MJ}}{\text{t}}} \\ &= 27 \text{ ton} \end{aligned}$$

Analisa TSR selama bulan Januari 2024 adalah sebesar 10%, maka jumlah panas yang disubstitusi oleh penggunaan AFR adalah sebesar:

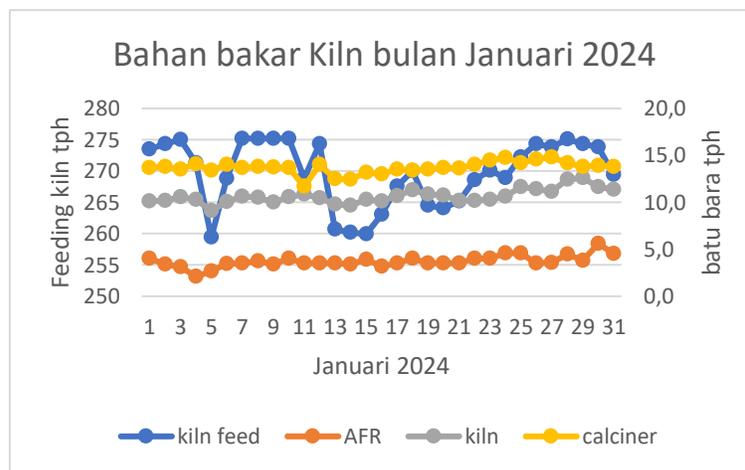
$$\begin{aligned} &= 10\% \times \sum \text{batu bara} \times \text{NCV Batu bara} \\ &= 10\% \times 27 \text{ ton} \times 19505 \text{ MJ/t} \\ &= 52.663,5 \text{ MJ/jam} \end{aligned}$$

Hal ini memberikan penurunan konsumsi batu bara sebesar:

$$\begin{aligned} \sum \text{Reduksi Batubara} &= \frac{\sum \text{panas yang disubstitusi}}{\text{NCV batubara}} \\ &= 52.663,5 \text{ MJ/jam} / 19505 \end{aligned}$$

= 2,7 ton/jam

Dari perhitungan diatas bisa kita dapat dari pemakaian AFR sebesar 4 ton/jam akan memberikan substitusi panas sebesar 10%, sehingga dapat mengurangi konsumsi Batu bara sebesar 2,7 ton/jam.



F. Analisa Penghematan Biaya Bahan Bakar

Sebelum pemakaian AFR pemakaian bahan bakar batu bara adalah sebesar 27 ton, maka:

Biaya bahan bakar = 27 x USD 90
 = USD 2430
 = Rp.36.450.000/jam

| Bahan Bakar | Harga Rp/T | Feeding T/h | Total Rupiah |
|----------------|---------------|----------------|-----------------|
| Batu bara | 1.350.000 | 24 | 32.400.000 |
| Sekam | 350.000 | 2 | 700.000 |
| Bonggol jagung | 400.000 | 1 | 400.000 |
| Solid Waste | 0 | 1 | 0 |
| | | | 33.500.000 |

| Bahan Bakar | Harga Rp/T | Feeding T/h | Total Rupiah |
|-------------|---------------|----------------|-----------------|
| Batu bara | 1.350.000 | 24 | 32.400.000 |
| Sekam | 350.000 | 2 | 700.000 |
| RDF | 300.000 | 2 | 600.000 |
| | | | 33.700.000 |

Dengan ratio *clinker factor* 1.62 maka setiap umpan kiln sebesar 275 tph maka akan menghasilkan klinker sebesar 169.7 tph. Sebelum menggunakan AFR total biaya bahan bakar kiln adalah sebesar Rp. 36.450.000/ jam. Setelah penggunaan AFR biaya yang diperlukan untuk bahan bakar kiln selama satu jam adalah sebesar Rp. 33.500.000, - seperti yang terlihat ditabel 4.8.

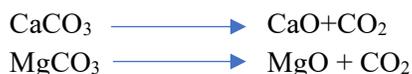
Maka penghematan yang didapatkan selama penggunaan AFR adalah sebesar:

=Rp. 36.450.000– Rp. 33.500.000, -
= Rp.2.950.000, - per jam atau Rp.70.800.000, - per hari

$$\% \text{ penghematan biaya} = \frac{\text{Rp. 36.450.000} - \text{Rp. 33.500.000}}{\text{Rp. 36.450.000}} \times 100\% \\ = 8.1 \%$$

G. Penurunan Emisi Gas CO₂

Gas CO₂ diyakini sebagai salah satu penyebab terjadinya pemanasan global. Gas CO₂ timbul karena adanya reaksi pembakaran dan juga adanya reaksi pada proses kalsinasi pada *raw material* pada saat pembentukan kristal klinker.



TeKnologi *co-processing* dapat berkontribusi positif dalam mengurangi gas CO₂, hal ini dapat dijelaskan bahwa *co-processing* menggabungkan pembakaran dari bahan bakar fosil batu bara dan juga pembakaran limbah AFR. Akibat dari penggabungan proses ini maka, gas CO₂ yang dihasilkan oleh batu bara dapat tereduksi karena berkurangnya konsumsi batu bara oleh pemakaian bahan bakar alternatif. Pengurangan bahan bakar batu bara juga berkontribusi positif terhadap defisit tambang batu bara dan juga penurunan emisi CO₂.

Penghematan 1-ton batu bara=mengurangi 1,8-ton CO₂

2,7 t/h x 1,8ton CO₂= 4,86-ton CO₂/ jam = 116-ton CO₂/ hari

Jadi dengan pemakaian AFR dapat mengurangi CO₂ sebesar 116-ton CO₂ per hari

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian tugas akhir, maka kesimpulan yang dapat diambil adalah *co-processing* memberikan dampak yang positif pada industri semen dalam mengurangi konsumsi bahan bakar batu bara. Beberapa kesimpulan yang bisa diambil adalah sebagai berikut:

1. Kriteria pemilihan bahan bakar alternatif yang digunakan dalam industri semen antara lain; nilai kalori, kandungan air, dan kemudahan penanganan.
2. Penggunaan bahan bakar alternatif dapat berdampak positif menurunkan 10% dari total seluruh energi bahan bakar kiln. Atau setara dengan penurunan bahan bakar batu bara sebesar 2,7 ton/jam pada kondisi umpan kiln 270 ton per jam.
3. Keuntungan penggunaan bahan bakar alternatif dari segi biaya adalah dapat menekan biaya pembelian batu bara sebesar Rp. 2.950.000, - per jam atau Rp.70.800.000, - per hari. Penghematan ini setara dengan persentase 8.1% biaya seluruh bahan bakar kiln.
4. Kendala yang dihadapi dalam penggunaan bahan bakar alternatif adalah kualitas bahan bakar yang fluktuatif, umpan AFR yang tidak stabil, dan tingginya kandungan sulfur dan chlorine pada kiln selama penggunaan AFR.

DAFTAR PUSTAKA

- Anshar, M., Klistafani, Y., & Iskandar, I. (2021). *Analisis Kinerja Kiln dengan Menggunakan Campuran Batubara dan Sekam Padi Sebagai Bahan Bakar Alternatif pada Pabrik PT . Semen Tonasa*. 19(2), 228–236.
- Ayu, R. (2016). *Energy Auditing for Dry Process Rotary Kiln System in Cement Industries*. <http://repository.its.ac.id/id/eprint/41603>
- Beguedou, E., Narra, S., Afrakoma Armoo, E., Agboka, K., & Damgou, M. K. (2023). Alternative Fuels Substitution in Cement Industries for Improved Energy Efficiency and Sustainability. *Energies*, 16(8), 1–29. <https://doi.org/10.3390/en16083533>
- Cahyono, T. D., Coto, Z., & Febrianto, F. (2008). Analisis Nilai Kalor Dan Kelayakan Ekonomis Kayu Sebagai Bahan Bakar. *Forum Pascasarjana*, 31(2), 105–116.
- Caronge, M. A. (2018). Analisis Tingkat Emisi Pada Cerobong Asap Pabrik Semen Tonasa Pangkep. *Jurnal Purifikasi*, 18(2), 87–92. <https://doi.org/10.12962/j25983806.v18.i2.371>
- Dahliar, N., Widodo, S., & Tonggiroh, A. (2014). Pengaruh Komposisi Ash Batubara terhadap Kualitas Klinker Portland Cement pada PT . Semen Tonasa Unit III. *Geosains*, 10(02), 58–67.
- Huseini, F., Solihin, & Pramusanto. (2018). Kajian Kualitas Batubara Berdasarkan Analisis Proksimat, Total Sulfur dan Nilai Kalor Untuk Pembakaran Bahan Baku Semen di PT Semen Padang Kelurahan Batu Gadang, Kecamatan Lubuk Kilangan, Kota Padang Provinsi Sumatera Barat. *Prosiding Teknik Pertambangan*, 4(2), 668–677.
- Kemala, D. R., Kusuma Wardhani, A. V. P., & Surono, A. (2023). Efisiensi Penambahan Bahan Bakar Wood Pellet di Rotary Kiln pada Pabrik Semen. *Jurnal Teknik ITS*, 12(3). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v12i3.119230>
- Maya, L. W., & Rauf, N. (2004). *Semen merupakan bahan perekat yang dapat merekatkan bahan bangunan dan pertama kali dibuat dari kalsinasi kapur*.
- Minallah, M. F., Taufany, F., & Altway, A. (2017). Desain Pabrik Sodium Karbonat Dari CO2 Flue Gas Pabrik Semen. *Jurnal Teknik ITS*, 6(1), 5–7. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v6i1.22475>
- Permadi, R. (2003). Analisis Batubara dalam Penentuan Kualitas Batubara untuk Pembakaran Bahan Baku Semen di PT. Indocement Tunggal Prakarsa, Tbk. Palimanan – Cirebon. <Http://E-Journal.Uajy.Ac.Id/7244/4/3TF03686.Pdf>, 492, 15–48.
- Robiansyah, Mustain, Aznury, M., & Safaruddin. (2022). Analisis Penggunaan Limbah B3 Spent Bleaching Earth sebagai Bahan Bakar Alternatif di PT Semen Baturaja (Persero) TBK. *Jurnal Kinetika*, 13(3), 49–55. <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/kimia/index>
- Sawir, H. (2016). Pemanfaatan Sampah Plastik Menjadi Briket Sebagai Bahan Bakar Alternatif Dalam Kiln Di Pabrik Pt Semen Padang. *Jurnal Sains Dan Teknologi: Jurnal Keilmuan Dan Aplikasi Teknologi Industri*, 16(1), 62. <https://doi.org/10.36275/stsp.v16i1.56>
- Schwarzböck, T., Munawar, E., Lederer, J., & Fellner, J. (2003). Refuse Derived Fuels in the Cement Industry – Potentials in Indonesia to Curb Greenhouse Gas Emissions. *International Conference on Engineering and Science for Research and Development*, 219–227.
- Tua, R., Anugrah, R., Energi, S. T., Kimia, J. T., & Sriwijaya, P. N. (2022). *MENGHITUNG SPESIFIC ENERGY CONSUMPTION CALCINING ZONE ROTARYKILN PT SEMEN BATURAJA (PERSERO) Tbk Volume : 01 , Nomor : 03 , October : 2022 Roma TP , dkk Menghitung Specific Energy Consumption Calcining Zone I . PENDAHULUAN Rotary kiln adalah suatu alat .*
- Ummi, R. K. (2017). *A Comparative Study of Green Technology in Cement Industry*. 453–463. <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://core.ac.uk/download/pdf/230265145.pdf>

- Wahyu, D., & Sumiati, R. (2009). Analisis energi pada sistem rotary kiln Unit Indarung IV , PT . Semen Padang. *Jurnal Teknik Mesin*, 6(2), 79–91.
- Wijayanto, P., Adiwijaya, R., & Safaruddin. (2022). *Efisiensi Panas Pada Rotary Kiln PT. Semen Baturaja (Persero) Tbk. February*, 0–6.
- ABB. (2024, January 1). *TIS ABB (hc-tb-tis-srv/km/)*. <http://hc-tb-tis-srv/km/>