SJME KINEMATIKA Vol.10 No.1, 16 Januari 2025, pp 10-20
https://kinematika.ulm.ac.id/index.php/kinematika

Scientific Journal of Mechanical Engineering
KINEMATIKA
e-ISSN: 2655-903X p-ISSN 2655-9048
Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat
Jl. Jenderal Achmad Yani KM 35,5 Banjarbaru, Kalimantan Selatan-70714 Telp-Fax : 0511-4773858
email: kinematika@ulm.ac.id

ANALISIS DAMPAK BIAYA DI PT *XYZ* AKIBAT KONVERSI BAHAN BAKAR DARI *COMPRESSED NATURAL GAS* (CNG) KE *INDUSTRIAL DIESEL OIL* (IDO) SEBAGAI PENGGERAK *HOT GAS GENERATOR*

ANALYSIS OF THE COST IMPACT AT THE XYZ COMPANY DUE TO FUEL CONVERSION FROM COMPRESSED NATURAL GAS (CNG) TO INDUSTRIAL DIESEL OIL (IDO) FOR POWERING A HOT-GAS GENERATOR

Sukendro Broto Sasongko[1], Rochmad Edy Budi Laksono[2], Hery Irawan[3]
[1,2,3]Program Studi Teknik Mesin, Institut Teknologi Adhi Tama Suarabaya, Surabaya, Indonesia
email: ssasongko619@mail.com[1]*, elaksono1337@gmail.com[2], hery@itats.ac.id[3]

Received:
24 Oktober 2024

Accepted:
7 Januari 2025

Published:
16 Januari 2025

Abstrak
PT XYZ berupaya meningkatkan efisiensi dari mesin *cement mill* melalui pergantian bahan bakar. Bahan bakar disini berfungsi pada *hot gas boiler* yang mendukung kinerja mesin *mill*. Kemudian efeknya terlihat melalui temperatur exit mesin tersebut. Metode penelitian eksperimental membandingkan pemakaian *Industrial Diesel Oil* IDO dan *Compressed Natural Gas* CNG pada kinerja boiler. Kualitas *hot gas* diinvestigasi melalui temperatur exit mesin *cement mill*. Kinerja *boiler* dihitung melalui rata-rata per bulan pemakaian. Pemakaian IDO diamati pada bulan Mei 2023; dan kinerja CNG adalah pada September 2023. Pengujian bahan bakar mengaplikasikan *7-weeks trial procedur*e. Pengamatan efek *hot gas* pada *cement mill* adalah pada temperatur exitnya. Kemudian dampak ekonomis IDO dan CNG pada *hot gas* dihitung dan dianalisa. Hasil penelitian menunjukkan temperature exit dari *hot gas* dari mesin *cement mill* adalah 91ºC pada pemakaian IDO. Nilai tersebut melebihi nilai optimal operasional mesin 87ºC. Temperatur exit pada *cement mill* 10% lebih baik dari pemakaian CNG. Efisiensi mesin *mill* terkoreksi 15%. Hasil konversi CNG ke IDO menurunkan biaya operasional mesin hingga 18,98% pertahun. Biaya operasional terkoreksi sebesar Rp 1.972.718.106 dari Rp 10.393.667.576 per tahun. Disisi lain, temperatur exit mesin *cement mill* menjadi acuan untuk keandalan yang bagus.
Kata Kunci: efisiensi, *industrial diesel oil*, *compressed natural gas*, *temperature exit cement milling.*

Abstract
PT. XYZ pursues the efficiency of the mill machine by the fuel convertion. Here, the fuel is to power the hot gas of the cement mill machine. Thus, the effect of those detected by the exit temperature machine. The method of investigation to the using of different fuels are Industrial Diesel Oil (IDO) and Compressed Natural Gas CNG experimentally. The hot gas effect observed by the exit temperature of the cement mill machine. The boiler performance is monthly average running. The IDO performs in May, and CNG is in September. Experimental method deploys a seven-week trial procedure. The exit temperature of the cement mill is studied by monitoring it's fluctuate. Further, the economical balance present the

fuels used counted by its operational cost. The result of the exit temperature of cement mill machine is 91ºC for IDO use. It is higher than the operation average temperature of about 87ºC. It rises 10% better than that in CNG. The machine efficiency revises 15%. The operation cost depresses to 18.98% per year. It is about Rp 1,972,718.106 from Rp 10,393,667.576 per year. Otherwise, the exit temperature of mill machine is a reference to obtain the machine's high reliability.

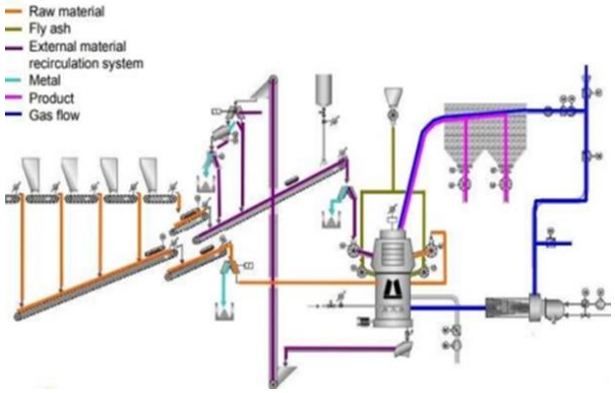
Keywords: *efficiency, industrial diesel oil, compressed natural gas, temperature exit cement milling.*

DOI:10.20527/sjmekinematika.v10i1.682

How to cite: Sasongko, S.B., Laksono, R.E.B.,& Irawan, H.,"Analisis Efisiensi Biaya Dari Konversi Bahan Bakar Industrial Diesel Oil (IDO) ke Compressed Natural Gas (CNG) untuk Memperbaiki Hot Gas Generator at PT XYZ". *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika, 10*(1), 10-20, 2025.

PENDAHULUAN

Sebagai negara berkembang, Indonesia banyak melakukan pembangunan infrastruktur sehingga banyak membutuhkan semen-semen industri. Industri semen merupakan sektor vital terbukti dapat mendukung pembangunan infrastruktur dan perekonomian suatu negara. Pembangunan infrastruktur terus digalakan di tiap daerah. Kondisi tersebut itu mendorong semen menjadi salah satu produk komoditas yang sangat penting. Dan banyak investor menjadi tertarik masuk ke dalam industri semen. Akibatnya, kondisi *over-supply* pasokan semen terjadi di dalam negeri akibat banyak kompetitor pabrik semen berdiri[1]. Demikian, efek *over-supply* menyebabkan perusahaan harus melakukan efisiensi, perbaikan biaya operasional, dan melakukan inovasi baru yang mampu meningkatkan daya saing dengan para kompetitornya[2].



Gambar 1. Proses produksi semen yang ada di PT. XYZ.

Gambar 1 menunjukkan proses produksi semen dan menjabarkan beberapa tahapan pada proses satu siklusnya. Permulaan proses adalah penambangan batu kapur yang ada disekitar lokasi pabrik. Penghancuran batu-batuan kapur (*crushing*) melalui *crashing machine* adalah bertujuan untuk menghaluskan *granular* dari batuan kapur setelah ditambang. Kemudian langkah selanjutnya penggilingan *raw material*. Pada tahapan pembentukan klinker (*kiln process*) terjadi pemurnian batu kapur dari *calcium oxide* melalui temperatur *preheating*. Selanjutnya, langkah penggilingan semen (*cement milling*) menjadi serbuk-serbuk tepung semen. Demikian langkah pengepakan semen umumnya menggunakan kantong kertas melalui mesin *packing*. Proses penggilingan menggunakan mesin *cement milling*. Material *klinker* hasil keluaran dari *silo klinker* di *mixing* dengan *gypsum* dan filler (*low grade limestone*) dengan komposisi tertentu. *Limestone* memiliki komposisi mirip *minerals calcite* dan *aragonite* dimana bentuk kristalnya mirip dengan bentuk kristal $CaCO_3$. *Limestone* memiliki sifat mudah menyerap air saat air karena mengandung *kalsium* yang

terurai[3]. Dengan komposisi tertentu, kerikil *limestone* dicampur dengan material-material yang lain di dalam *cement mill* menghasilkan produk semen melalui proses penggilingan[3]. PT *XYZ* adalah salah satu industri besar yang memproduksi semen. Proses penggilingan bahan baku semen disana menggunakan penggiling tipe *vertical roller milling*. Mesin *vertical roller milling* mempunyai empat fungsi utama. Mesin bisa dioperasikan untuk penggilingan (*grinding*), pengeringan (*drying*), pemisahan antara partikel halus dan kasar (*separating*) serta *transporting*. Dalam proses pengeringan material (*drying*) di dalam *cement mill* memerlukan panas. Dimana panas tersebut disuplai langsung melalui *Hot Gas Generator* (HGG).

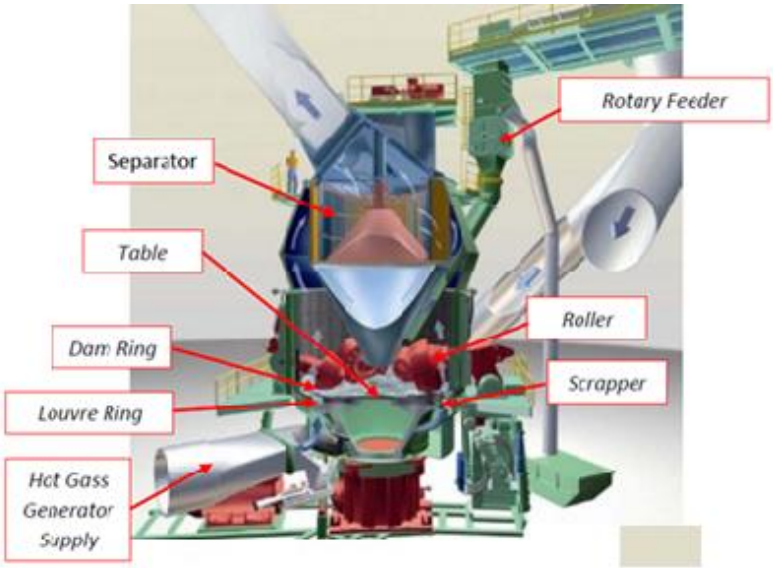
Mesin *hot gas generator* banyak dijumpai menggunakan bahan bakar *Compressed Natural Gas* CNG untuk mendapatkan sumber energi panasnya. Bahan bakar jenis ini adalah tipe energi yang untuk kondisi saat ini masih dijumpai dalam volume yang sangat besar. Sehingga, beberapa tahun kedepan persediaannya dapat bertahan. Oleh karena itu harga CNG tidak akan mengalami kenaikan yg signifikan kedepannya. Akan tetapi CNG memiliki kelemahan pada nilai kalornya yang lebih rendah jika dibandingkan dengan *Industrial Diesel Oil* IDO per liternya. IDO sebagai bahan bakar fosil memiliki dilema karena sebagai bahan bakar fosil tidak terlalu banyak cadangan yang terdapat di alam. Dengan pertimbangan itu, banyak industri semen beralih ke bahan bakar CNG. Bahan bakar tersebut nantinya adalah untuk menggerakkan generator uap di dalam pabrik. PT XYZ adalah salah satu industri semen yang mengganti bahan bakar CNG ke IDO. Bahan bakar tersebut adalah untuk generator *hot gas* di mesin *cement milling*. Pergantian tersebut memerlukan penggantian *burner existing* menggunakan *dual burner*. Tipe burner ini adalah tipe *hybrid* dimana untuk mengoperasikannya bisa menggunakan CNG maupun IDO. CNG sebagai gas alam menunjukkan bahwa kandungannya masih tersedia dalam jumlah yang besar. Demikian, potensi CNG bagus untuk menggantikan bahan bakar konvensional (bensin dan *diesel oil*). Harga CNG lebih murah akan tetapi nilai kalornya lebih rendah daripada yang ditemukan pada bahan bakar minyak. Peneliti sebelumnya menerangkan bahwa nilai potensi CNG terhubung pada pemakaian biaya bahan bakar per ton semen[4]. Kebutuhan untuk menghasilkan kualitas semen yang bagus memerlukan volume gas CNG yang besar. Dimana gas tersebut diperlukan untuk menghasilkan distribusi *hot gas* yang bagus. Kemudian, biaya produksi semen berbanding lurus dengan harga gas CNG dipasaran.

Harga bahan bakar IDO cenderung naik tiap tahun dimana ini akan tidak menguntungkan pabrik semen. Disisi lain, panas yang dihasilkan IDO masih lebih baik jika dibandingkan dengan yang dihasilkan generator gas CNG. Kemudian, konsumsi *hot gas* per ton semen yang menurun dan lebih baik jika dibandingkan dengan penggunaan CNG[4]. Nilai kalor yang tinggi mampu memanaskan air menjadi uap dengan kebutuhan waktu yang lebih cepat[4]. Kondisi tersebut dipertegas dengan kebutuhan *hot gas* pada aktivitas di *cement mill*. Kerugian tersebut dapat dikendalikan melalui parameter *exit temperature cement mill*[4]. Temperatur keluaran dari mesin *cement mill* menjadi parameter yang sangat penting pada produksi semen. Temperatur tersebut menunjukkan luaran panas yang cukup untuk proses pengolahan bahan baku semen sekitar 150ºC[4-5]. Kemudian, pada pemilihan temperatur *exit* mesin *mill* semen yang tepat bisa menjadi referensi untuk kerja mesin *cement-mill* yang lebih efisien. Kemudian masih menggunakan patokan itu juga dapat menekan biaya bahan bakar per ton semen.

Operasional *Vertical Roller Cement Mill* di PT. *XYZ*

Gambar 2 menunjukkan komponen-komponen mesin *roller milling*. Proses produksi semen dikendalikan melalui mesin *cement mill* atau mesin *crushing*. Mesin tersebut menggiling *raw material* bahan baku semen. Dimana pada PT. *XYZ* mengaplikasikan mesin-mesin *roller milling* untuk proses tersebut. Posisi pemakaian mesin dalam produksi semen

ditunjukkan seperti pada Gambar 1.



Gambar 2. Komponen-komponen mesin *roller milling*.

Pada proses penggilingan akhir, material *klinker* dan bahan-bahan korektif (seperti *gypsum* dan filler) dicampur dan dihaluskan untuk menjadi produk semen. Material *klinker* dari *silo-klinker* di transfer dengan *apron conveyor* masuk ke dalam *bin klinker*. Demikian pula material *gypsum* dan *filler* dari *stock pile* ke *bin gypsum* dan *bin filler* berjalan melalui *belt conveyor*. Material *klinker*, *gypsum* dan *filler* dikeluarkan dengan rasio tertentu dari *buffer* masing-masing dan tercampur di atas lantai *belt conveyor* secara mekanik. Kemudian, campuran ini masuk ke dalam *vertical roller mill*. Material yang masuk ke dalam *vertical roller mill* kemudian digiling dengan mesin 3 *roller*. *Vertical roller mill* juga memberikan efek pengeringan pada bahan baku semen. Proses pengeringan yang berlangsung di dalam ruang mesin menggunakan udara panas yang berasal dari *hot flue gas*[2,6]. Gas panas disini berfungsi sebagai media transportasi untuk material yang sangat halus dari hasil penggilingan melalui sebuah *mill fan*[7-8]. Kemudian material produk penggilingan mengalir melalui saringan (*mill separator*) dan akan dipisahkan menurut ukuran. Material lolos *mill separator* adalah bahan baku semen dan ditampung di dalam *main filter bag*[6]. Sedangkan material r*eject* dari *mill separator* dikembalikan ke ke *mill table* untuk proses *regrinding*. Udara panas dan material produk yang masuk ke dalam main *filter bag* mengalir secara terpisah. Pemisahan ini terjadi karena udara panas mampu melewati media penyaringan (*filter bag)* dan material halus (produk semen) tertahan di *filter bag*. Kemudian udara bertekanan tinggi menekan material bahan baku tersebut jatuh ke dasar dari *filter bag*. Material halus tersebut kemudian diarahkan ke *cement silo* untuk diolah menjadi semen. Proses pengangkutan bahan baku semen tersebut menggunakan *air slide* dan *bucket elevator*.

***Compressed Natural Gas* (CNG)**

CNG adalah bahan bakar alternatif sebagai pengganti bahan bakar fosil. Bahan bakar tersebut diaplikasikan untuk mesin-mesin pembangkit yang berbahan bakar bensin atau diesel. Di Indonesia bahan bakar ini dianggap lebih ramah lingkungan daripada dua jenis bahan bakar minyak lainnya karena emisi gasnya yang ramah lingkungan. CNG adalah gas alam metana (CH_4) yang dikompresi. Tabel 1 menunjukkan komposisi gas alam seri metana. Produk gas tersebut mengalir melalui sebuah tabung bejana tekan. CNG dapat digunakan untuk mesin Otto dan mesin diesel. Pada pengisian CNG, tekanan yang diperlukan untuk mengisi CNG dengan cepat adalah 200 bar atau 197 kali tekanan udara normal. Pengisian

CNG (setara 130 liter bensin) dapat dicapai dalam waktu tiga hingga empat menit pada tekanan 200 bar. Penanganan CNG harus dilakukan dengan hati-hati dengan tekanan sebesar 200 bar[1].

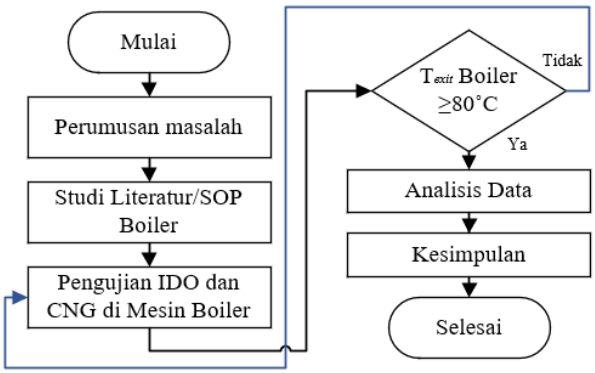
Tabel 1. Komposisi natural gas[5].

Nama	Simbol	Komposisi
Metana	CH_4	70-90%
Etana Propana	C_2H_6 C_3H_8	0-20% 0-20%
Butana	C_4H_{10}	0-20%
Karbondioksida	CO_2	0-8%
Oksigen	O_2	0-0,2%
Nitrogen	N_2	0-5%
Hidrogen Sulfida	H_2S	0-5%

Peneliti terdahulu juga banyak memvalidasi efisiensi penggunaan bahan bakar fosil melalui penelitian menggunakan bahan tambahan untuk bahan bakar[3,5,6,9]. Tangki CNG ditemukan menggunakan bahan khusus misal baja untuk bertekanan tinggi[3,10]. Tangki CNG yang terbaru menggunakan lapisan aluminium dan *fiberglass* yang telah diperkuat. Jika sirkulasi udara baik, kebocoran yang terjadi tidak terlalu berbahaya karena CNG lebih ringan daripada udara. Penanganan CNG bertekanan sebesar 200 bar harus dilakukan secara hati-hati dan menggunakan tangki gas yang sesuai standar[7]. Untuk mengangkut CNG dengan aman, tangki CNG dibuat dengan menggunakan bahan yang dibuat khusus[7,11]. Tangki CNG yang terbaru menggunakan lapisan aluminium dan *fiberglass* yang telah diperkuat. Jika sirkulasi udara baik, kebocoran yang terjadi tidak terlalu berbahaya karena CNG lebih ringan daripada udara[4]. Adapun sifat-sifat dari bahan bakar CNG adalah sebagai sebagian besar terdiri dari metana[8]. Kemudian CNG tidak akan mencair di bawah tekanan tinggi dan akan tetap sebagai gas sampai suhu 27ºC[3,5,7].

METODE PENELTIAN

Gambar 3 menjabarkan urutan langkah-langkah yang diambil di dalam penelitian kuantitatif. Identifikasi masalah adalah pada dampak ekonomi akibat pergantian bahan bakar CNG ke IDO terhadap performa generator uap yang dikerucutkan menjadi perumusan masalah.



Gambar 3. *Flowchart* langkah-langkah penelitian.

Kemudian studi literatur mengacu pada standar operasi prosedur pemakaian mesin boiler. Investigasi pengaruh pergantian bahan bakar generator *hot gas* melalui eksperimen dengan percobaan selama 7 minggu pada generator *hot gas*[5,7,11]. Pengambilan data dilakukan pada sebuah generator uap panas di PT. *XYZ*. Prosedur yang diambil mengacu

pada standar operasional prosedur mesin generator uap. Data diuji dengan standar unit *Quality Control*, misalnya temperatur uap masuk ke mesin *milling* minimal 210°C, tekanan uap 2 bar, dan laju aliran uap 40 kg/min. Kemudian data yang didapat adalah unjuk kerja rata-rata pemakaian per minggu dalam bentuk temperatur luaran dari generator pembangkit *hot gas*. Kapasitas generator *hot gas* 150 liter/min. kemudian mesin tersebut dioperasikan selama 11 jam per hari. Data dianggap bisa dianalisa dari finansialnya adalah setelah generator uap beroperasi secara normal dan sesuai dengan standar *Quality Control*. Demikian, apabila generator uap tidak dapat beroperasi secara normal maka perlu dilakukan perubahan pada variabel terkontrol melalui penambahan jumlah bahan bakar, besaran *mass flow rate* uap dan temperatur kerja *milling machine.*

Gambar 4. Mesin *roller milling*.

Gambar 4 menunjukkan mesin *roller milling* untuk menggiling bahan baku semen. Pengambilan data dilakukan pada putaran *roller milling* 300 rpm, kemudian tekanan gas CNG pada 70 bar, *mass flow rate* bahan baku semen adalah 300 kg/menit. Temperatur bahan baku semen di dalam mesin *roller milling* adalah berkisar 80ºC. Pengamatan dilakukan pada pusat kontrol yang memantau semua lini *check point*. Tekanan air penghancur batu-batu digunakan 500 bar. Perhitungan konsumsi bahan bakar IDO per ton semen Q_{IDO} dan CNG per ton semen Q_{CNG} menggunakan persamaan 1. Dan kebutuhan pemakaian gas LNG dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2. Adapun perhitungan biaya bahan bakar IDO per ton semen B_{IDO} dan CNG per ton semen B_{CNG} menggunakan persamaan 3. Biaya bahan bakar CNG dapat dihitung dengan persamaan 4. Efisiensi bahan bakar η dapat dihitung menggunakan persamaan 5. Potensi penghematan biaya dari konversi bahan bakar IDO ke CNG dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 6. Persamaan-persamaan tersebut juga digunakan peneliti-peneliti terdahulu untuk menghitung performansi boiler dan mesin kalor[4,7,13].

$$Q_{IDO} = \frac{IDO\ Cons.}{Cement\ Prod.} \tag{1}$$

Dimana konsumsi bahan bakar IDO terlihat pada perbandingan antara jumlah konsumsi IDO per jumlah produksi semen yang sudah selesai. Konsumsi bahan bakar LNG merupakan perbandingan antara jumlah konsumsi CNG dengan produksi semen per bath.

$$Q_{CNG} = \frac{CNG\ Cons.}{Cement\ Prod.} \tag{2}$$

$$C_{IDO} = H_{IDO}\ x\ Q_{IDO} \tag{3}$$

$$C_{CNG} = H_{CNG}\ x\ Q_{CNG} \tag{4}$$

$$\eta = \left(1 - \frac{C_{CNG}}{C_{IDO}}\right) x\ 100\% \tag{5}$$

$$S = (C_{IDO} - C_{CNG})\ x\ V \tag{6}$$

Dimana parameter Q_{IDO} (konsumsi bahan bakar IDO per ton semen, L/t_{cem}); Q_{CNG} (konsumsi bahan bakar CNG per ton semen, mmBTU/t_{cem}); H_{IDO} (harga bahan bakar IDO, IDR/L); H_{CNG} (harga bahan bakar CNG, IDR/mmBTU); Q_{IDO} (konsumsi bahan bakar IDO per ton semen, L/$t_{cem.}$); Q_{CNG} (konsumsi bahan bakar CNG per ton semen, mmBTU/$t_{cem.}$); C_{IDO} (biaya bahan bakar IDO per ton semen (IDR/t_{cem}); C_{CNG} biaya bahan bakar CNG per ton semen, IDR/$t_{cem.}$); η (efisiensi biaya bahan bakar,%); C_{IDO} (biaya bahan bakar IDO per ton semen, IDR/$t_{cem.}$); C_{CNG} (biaya bahan bakar CNG per ton semen,IDR/t_{cem}); S (potensi penghematan per tahun, IDR/thn); C_{IDO} (biaya bahan bakar IDO per ton semen, IDR/$t_{cem.}$); C_{CNG} (biaya bahan bakar CNG per ton semen, IDR/$t_{cem.}$); V (volume produksi semen selama satu tahun, $t_{cem.}$/year).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Biaya Bahan Bakar IDO dan CNG per Ton Semen

Biaya bahan bakar per ton semen adalah biaya bahan bakar yang digunakan untuk memproduksi ton semen. Tabel 2 menunjukkan harga bahan bakar yang digunakan di dalam pabrik PT. *XYZ*. Dampak konversi bahan bakar IDO ke CNG terlihat pada percobaan bulan Mei 2023 untuk bahan bakar IDO dan November 2023 untuk bahan bakar CNG.

Tabel 2. Karakteristik bahan bakar yang digunakan PT. *XYZ*.

No	Jenis Bahan Bakar (unit)	Harga bahan bakar (Rp)
1	H_{IDO} (IDR/L)	12.038,00
2	H_{CNG} (IDR/L)	279.887,00

Pemakaian IDO sebagai pengganti CNG mampu menekan biaya operasional untuk mengoperasikan boiler pembangkit *hot gas*. Penghematan biaya yang dikeluarkan untuk pembelian bahan bakar sebesar 18,98% rata per 2 bulanan tersebut dengan pemakaian generator selama 11 jam per hari. Secara spesifik pengujian IDO diuji di laboratorium (Tabel 3). Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian specimen IDO. Nilai kalornya adalah sebesar 1179,2 BTU/Cu ft. Nilai kalor tersebut dapat menggantikan nilai kalor yang dimiliki oleh bahan bakar CNG yang berkisar pada 1221 BTU/Cu ft karena perbedaannya masih kisaran sepuluh persen. Demikian dengan pertimbangan nilai kalor yang hampir sama dan nilai ekonomis yang lebih bagus, maka pemakaian IDO sebagai pengganti bahan bakar CNG menjadi opsi yang menjanjikan di masa depan. Harga IDO di pasaran lebih murah 50% jika dibandingkan dengan CNG[3,5,7], meskipun konsumsi IDO 40% lebih banyak dibandingkan dengan CNG (Tabel 4).

Tabel 3. Hasil pengujian laboratorium bahan bakar IDO.

Parameter	***Units***	***Results***	***Methods***
Hydrocarbon Analysis			
-CO_2	% mol	0.475	GPA 2261-20
-N_2	% mol	0.659	GPA 2261-21
-CH_4	% mol	77.613	GPA 2261-22
-C_2H_6	% mol	8.411	GPA 2261-23
-C_3H_8	% mol	8.334	GPA 2261-24
-i-C_4H_{10}	% mol	1.908	GPA 2261-25
-n-C_4H_{12}	% mol	1.707	GPA 2261-26
-I-C_5H_{12}	% mol	0.319	GPA 2261-27
-n-C_5H_{12}	% mol	0.326	GPA 2261-28
-C_6H_{14}	% mol	0.248	GPA 2261-29
TOTAL	% mol	100	

Parameter	***Units***	***Results***	***Methods***
-Compressibility factor (Z)	-	0.9961	GPA 2172-19
-Specific Gravity (air=1000)	-	0.7543	
-Heating value, gross (ideal)	BTU/cu ft	1298,7109	
-Heating value, net (ideal)	BTU/cu ft	1179,1999	
-Dew point (1 atm)	ºC	-21	ASTM D5454-11 (2020)
-Water content (at 1 atm, 60º F)	Lbs/MMscf	42	

Tabel 4 menunjukkan perbandingan pemakaian IDO dan CNG periode Januari-Maret 2023. Data-data tersebut menunjukkan pada lama pemakaian, laju pengumpanan bahan bakar/debit, jumlah produksi semen, konsumsi bahan bakar, dan temperatur exit bagian mesin *roller milling*.

Tabel 4. Data jumlah konsumsi IDO dan CNG periode bulan Januari-Maret 2023.

Parameter	**Jenis bahan bakar**	
	IDO	**CNG**
Run hour (Hour)	346,6	323,4
Feeding rate (tph)	258,4	255,68
Cement production (ton)	88794	82689
Fuel consumption (L)	76157	53252
T_{exit} *Miller (ºC)*	92	92

Dari data terlihat bahwa produktivitas semen meningkat 10% dari jumlah produksi yang dihasilkan ketika menggunakan bahan bakar CNG. Kondisi tersebut relevan dengan dengan kenaikan level produktivitas mesin penghalus bahan baku semen. Sehingga konsumsi bahan bakarnya cenderung meningkat. Temperatur luaran mesin *milling* T_{exit} rata-rata 92°C (Tabel 5). Kenaikan T_{exit} mengindikasikan bahwa *feeding rate* bahan bakar memberikan dampak pada luaran panas dari boiler saat penggantian bahan bakar CNG dengan IDO. Keadaan tersebut adalah indikasi terjadinya panas adalah berbanding lurus dengan nilai kalor bahan bakar[5]. Produksi semen yang dihasilkan 10 persen melebihi semen yang dihasilkan melalui pemakaian CNG. Nilai kalor yang dihasilkan IDO ketika terbakar lebih tinggi jika dibandingkan dengan CNG[5,12,13]. Sehingga, keuntungan tersebut terlihat pada durasi proses menguapkan air menjadi lebih singkat dibandingkan dengan menggunakan CNG[14,15].

Tabel 5. Data temperatur *exit* dan komposisi *moisture* semen periode Januari-Maret 2023.

Parameter	**Unit**	**Week**						
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
T_{exit} (IDO)	ºC	89	90	91	92	93	94	95
T_{exit} (CNG)	ºC	85	85	88	92	86	88	84
Moisture granular of cement	%	0,61	0,61	0,54	0,58	0,61	0,61	0,61

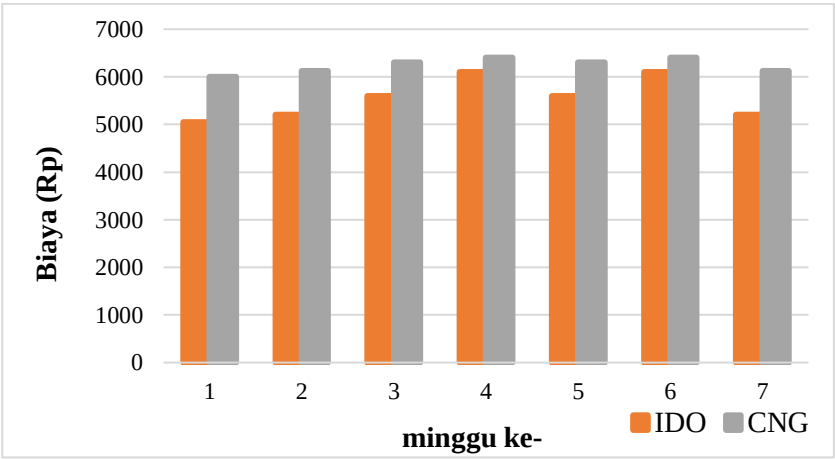
Tabel 5 menampilkan data temperatur luaran dan komposisi ukuran butiran pasir kapur dibawah 3,35 mm di dalam serbuk semen yang belum dikemas. Observasi dilakukan pada periode Januari-Maret 2023. Pengambilan data menunjukkan *review* proses produksi per minggu. Dari data temperatur luaran adalah rata-rata pada sekitar 92°C. Komposisi ukuran granular pasir kapur di dalam bubuk semen yang dibawah 3,35 mm rata-rata 54 persen dari volume semen. Dari informasi tersebut dapat dijelaskan bahwa serbuk semen akan menggumpal di sisi hoper luaran semen adalah kecil.

Kebutuhan panas Q_{IDO} dan Q_{CNG} untuk menghasilkan uap panas di dalam boiler melalui masing-masing bahan bakar ditunjukkan dengan menggunakan persamaan 1-2[7].

Kebutuhan kalor dari IDO per ton semen menggunakan persamaan 1 adalah 0,858 mmBTU. Sedangkan CNG untuk per ton semen dihitung menggunakan persamaan 2 menjadi 0,0299 mmBTU. Kemudian biaya penggunaan bahan bakar IDO dihitung dengan persamaan 3 adalah Rp 8.368,62. Biaya bahan bakar CNG dengan menggunakan persamaan 4 adalah Rp 10.328,62. Dari data-data diatas, efisiensi mesin *roller milling* berbahan-bakar IDO menggunakan persamaan 5 adalah 18,98%. Potensi penghematan karena konversi bahan bakar IDO ke CNG ditunjukkan menggunakan persamaan 5 menjadi Rp 1.972.718.106 per tahun. Demikian, potensi penghematan sekitar 2 milyar rupiah per tahun menekan 13% biaya operasional normal mesin penghancur batuan kapur. Keuntungan ini akan berdampak positif pada kinerja perusahaan.

Gambar 5. Serbuk bahan baku semen hasil penghalusan menggunakan mesin *roller milling*.

Gambar 5 menunjukkan material batu kapur hasil proses penggilingan menggunakan mesin penghancur kerikil batuan kapur. Proses penggilingan yang terjadi di dalam mesin *roller milling* disertai dengan hembusan angin uap panas dari generator uap. Pemanasan tersebut diperlukan untuk mencegah butiran-butiran halus batu kapur menggumpal. Ukuran granular pasir batuan kapur 3,35 mm (diameter) cenderung tidak mudah membentuk gumpalan di dalam *milling machine*[4-5]. Gumpalan besar akan merugikan apabila terbentuk di dalam ruang mesin. Dimana gumpalan tersebut menghambat aliran pasir kapur saat keluar melalui *hopper* mesin. Secara fisik pasir kapur akan menggumpal pada temperatur dibawah 75°C. Temuan tersebut pernah diteliti oleh peneliti-peneliti sebelumnya[4]. Dari fenomena fisik tersebut penggumpalan pada sisi *hopper* mesin *milling* sering menjadi kendala bagi pabrik dan memerlukan langkah pembersihan di setiap akhir periode proses produksi. Pembersihan yang terlambat akan merugikan karena gumpalan-gumpalan pasir kapur mudah mengeras pada sisi luaran mesin.



Gambar 6. Biaya operasional untuk periode 7 mingguan dalam rupiah per liter.

Gambar 6 menunjukkan biaya bahan bakar IDO dan CNG pada 7 minggu pemakaian. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan bahan bakar CNG mampu menekan biaya pengoperasian lebih baik dibandingkan IDO. Pemakaian tertinggi tercatat pada minggu ke-4 dan 6 untuk IDO, sedangkan untuk CNG cenderung stabil. Peningkatan biaya terlihat pada IDO saat kebutuhan bahan bakar meningkat. Sementara itu, pemakaian CNG tidak menunjukkan lonjakan signifikan selama 7 minggu pengamatan. Secara keseluruhan, IDO mampu menurunkan biaya operasional mesin milling hingga 10%. Efisiensi ini Nampak pada biaya per liter bahan bakar. Temperature T_{exit} *cement-mill* telah menunjukkan dampak dari pemakaian IDO maupun CNG, dan hasilnya menunjukkan keterkaitan erat antara biaya bahan bakar dengan temperatur operasional mesin. Kemudian, pada pemakaian CNG telihat terjadi lonjakan yang signifikan dari minggu 1 hingga 7. Demikian, pemakaian bahan bakar IDO cenderung mampu menekan biaya operasional mesin *milling* sebesar 10%. Indikasi tersebut dijabarkan pada biaya pemakaian per-liter bahan bakar yang diamati dalam 7 minggu pengamatan.

KESIMPULAN

Dari pembahasan didepan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Temperatur luaran *cement mill* rata-rata 91ºC dan meningkat dari kondisi operasional normal 80ºC. Peningkatan temperatur tersebut menurunkan performa mesin dan memicu kenaikan konsumsi bahan bakar. Temperatur tinggi juga menghambat *feed rate cement* diatas *mill table*. Kondisi tersebut menghasilkan material semen yang terlalu kering
2. Efisiensi biaya bahan bakar per ton semen akibat dampak konversi bahan bakar CNG ke IDO adalah sebesar 18,98%. Kondisi tersebut menyebabkan produksi gas polutan tinggi ke lingkungan pada mesin *grinding mill*.
3. Potensi penghematan per tahun dampak konversi bahan bakar IDO ke CNG adalah sebesar 2 milyar rupiah per tahun.

REFERENSI

[1] N. A. Madlool, “Assessment of waste preheater gas and dust bypass systems: Al-Muthanna cement plant case study,” *Case Study. Therm. Eng.*, vol. 8, pp. 330–336, 2016, doi: 10.1016/j.csite.2016.09.003.

[2] A. Husen, “Analisis Efisiensi Energi Pada Boiler Industri Tipe Fire-Tube Kapasitas 2 Ton/Jam Dengan Bahan Bakar Compressed Natural Gas (CNG) Di Pt.X,” *Sainstech J. Penelit. Dan Pengkaji. Sains Dan Teknol.*, vol. 32, no. 2, pp. 67–75, 2022, doi: 10.37277/stch.v32i2.1302.

[3] G. P. A. Gumelar, M. N. Dewi, A. Miftah, W. Endranaka, and B. A. F. Eka, “Analisis Efisiensi Boiler Berbahan Bakar Gas di PT XYZ Menggunakan Metode Langsung dan Tidak Langsung,” *Technol. Renew. Energy Dev.*, vol. 2, no. 1, pp. 22–28, 2022.

[4] F. Ainun and J. Jamaaluddin, “Analisa Efisiensi Economizer Terhadap Boiler (Gas Dan Solar) Di PT. Spindo III, Tbk,” *JEEE-U (Journal Electr. Electron. Eng.*, vol. 2, no. 2, pp. 99–104, 2018, doi: 10.21070/jeee-u.v2i2.1697.

[5] T. Hernawati, M. Arfah, and M. A. Rianto, “Analisa Prioritas Bahan Baku untuk Bahan Bakar Boiler Menggunakan Metode Analytical Hierarchy Process di PT Sago Nauli,” *Semnastek Uisu*, pp. 263–266, 2023, https://jurnal.uisu.ac.id/index.php/semnastek/article/view/7293.

[6] Nahda Alifa Zahira Putri, Ika Yuliani, and Sri Widarti, “Pengaruh Pemakaian Jenis Bahan Bakar Terhadap Kinerja Boiler dengan Metode Langsung dan Tidak

Langsung," *J. Surya Tek.*, vol. 11, no. 1, pp. 349–356, 2024, doi: 10.37859/jst.v11i1.7324.

[7] S. Harnowo and Y. Yunaidi, "Kinerja Boiler dengan Sistem Pembakaran Bersama antara Ampas Tebu dengan Sekam Padi dan Cangkang Kelapa Sawit," *Semesta Tek.*, vol. 24, no. 2, pp. 102–110, 2021, doi: 10.18196/st.v24i2.12937.

[8] S.B. Sasongko *et al.*, "Pengaruh Variasi Komposisi Octane Booster Dan Bahan Bakar Terhadap Performance Dan Gas Buang Pada Sepeda Motor 4 Tak," *Prosiding Senastitan IV*, pp. 4–8, 2024, https://ejurnal.itats.ac.id/senastitan/article/view/5658.

[9] S. Sasongko, T. Arlisa, and H. Irawan, "Perbaikan Performa Mesin Automatic Vehicle Dengan Fuel-Booster Racing," *Otopro*, vol. 19, no. 1, pp. 18–23, 2023, doi: 10.26740/otopro.v19n1.p18-23.

[10] P. Priyanto and S. Wilastari, "Faktor-Faktor Penyebab Menurunnya Kinerja Boiler Di PT. Papertech Indonesia," *Maj. Ilm. Gema Marit.*, vol. 24, no. 1, pp. 60–66, 2022, doi: 10.37612/gema-maritim.v24i1.281.

[11] F. G. Sumarno and B. Prasetiyo, "Analisis Kinerja Efisiensi *Economizer* Terhadap Pemakaian Bahan Bakar Boiler Di PLTU Tanjung Jati B Unit 4," *EKSERGI* J. Teknik Energi, vol. 14, no. 2, pp. 36-39, 2018, doi: http://dx.doi.org/10.32497/eksergi.v14i2.

[12] G.L. Hakim, H. Rahman, and A. Akbar, "Analisis Kebutuhan Air Pendingin pada *Gas Conditioning Tower* (GCT) *Raw Mill*," *Semin. Nas. TREnD*, pp. 104–111, 2021, https://jurnalftijayabaya.ac.id/index.php/TREnD/article/view/103.

[13] K. Ridwan and Tahdid, "Studi Efisiensi Termal Ketel Uap dengan Melihat Pengaruh Rasio Udara-Bahan Bakar Solar Pada Alat *Water Tube Boiler*," *Kinetika*, vol. 1, no. 1, p. 355918, 2011, https://jurnalftijayabaya.ac.id/index.php/TREnD/issue/view/10.

[14] R. Puspita *et al.*, "Evaluasi Kinerja Alat *Mill Fan* Di *Cement Mill* Pada PT Semen Baturaja Persero Tbk . Pada unit cement mill 05 di PT. Semen Baturaja secara garis A. Vertical Cement Mill," *J.Mult. Bhara.*, vol. 1, no.3, pp. 462−476, 2022, doi: https://doi.org/10.62668/jimr.v1i02.494.

[15] A.M.A. Abid and F. Ashari, "Menentukan Penjadwalan Maintenance Mesin *Finish Mill* Dengan Metode FMEA Di PT Semen Indonesia (PERSERO) Tbk," *J. Teknol. dan Manaj. Sist. Ind.*, vol. 1, no. 2, pp. 77–84, 2022, doi: 10.56071/jtmsi.v1i2.435.