

REDUCING SPECIFIC ENERGY CONSUMPTION (SED) IN A CEMENT FACTORY THROUGH FMEA AND ENERGY MANAGEMENT

Ridwan Muchtar^{1)*}, Adjar Pratoto¹⁾

Program Studi Magister, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang, 25163

*) Email Korespondensi : rmuchtar.abel@gmail.com

Abstrak

Industri semen termasuk salah satu industri intensif energi dengan biaya energi yang mencapai 35% - 50% dari total biaya produksi. Sumber energi utama pada pabrik semen adalah batu bara dan listrik. Kinerja penggunaan energi dapat dilihat dari konsumsi energi spesifik (KES) dari pabrik yang bersangkutan. Pada makalah ini dibahas kemungkinan penurunan KES di sebuah unit produksi semen dengan kapasitas 7800 ton per hari. Pabrik ini beroperasi dengan menggunakan proses kering dengan sebuah kalsiner dan siklon preheater 4 tingkat. Kajian dititikberatkan pada tiga lini proses, yaitu proses raw mill, proses kiln & coal mill, dan proses finish mill. Hasil audit energi menunjukkan bahwa kinerja pada lini proses raw mill masih mendekati harga desain. Sedangkan untuk lini proses kiln & coal mill dan lini proses finish mill, kinerjanya berada di bawah harga desain. Metoda Failure Mode Effect Analysis (FMEA) digunakan untuk menganalisis penyebab tingginya nilai KES dari setiap rangkaian proses. Berdasarkan hasil dari FMEA, rekomendasi diberikan untuk menurunkan KES dan potensi penurunan KES diperkirakan mencapai 14,93 kWh/ton semen.

Kata kunci: Konsumsi energi spesifik; energi Listrik; pabrik semen; manajemen energi; FMEA.

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi nasional masih didominasi oleh sektor industri golongan industri energi intensif. Golongan ini merupakan industri manufaktur yang bergerak di sektor makanan dan minuman, kertas dan *pulp*, pupuk kimia dan karet, semen dan bukan logam, serta logam dasar besi dan baja [1]. Dalam hal ini 30–70% dari total konsumsi energi sektor industri dikaitkan dengan industri semen [2].

Untuk pabrik semen sendiri, sekitar 40% - 60% dari harga pokok produksi (HPP) berasal dari biaya pemakaian energi [3]. Pabrik semen di India dilaporkan telah mengeluarkan biaya untuk energi sebesar 35% sampai 50% [4]. Sedangkan, biaya untuk energi pada pabrik semen Lafarge Malaysia mencapai sekitar 40% – 45% [5]. Pabrik semen di Eropa rata-rata menghabiskan 35% untuk komponen energi [6]. Pada pabrik semen yang menjadi studi kasus pada artikel ini, biaya untuk energi mencapai sekitar 48% dari HPP [7].

Pabrik semen merupakan salah satu industri dengan kategori intensif energi. Kenaikan atau

penurunan penggunaan energi dalam beberapa persen akan memberikan dampak yang signifikan terhadap keekonomian produksi. Audit energi merupakan sebuah upaya untuk mengetahui pola penggunaan energi dan untuk mengidentifikasi potensi penghematan energi pada seluruh sarana, fasilitas dan peralatan yang menggunakan energi. Audit energi bertujuan untuk membentuk sistem audit energi dan mengurangi biaya produksi [8]. Penurunan dalam penggunaan energi dapat berdampak pada neraca finansial perusahaan, sehingga dilakukan konservasi energi dan audit energi untuk menilai kinerja berbagai sub-bagian di pabrik untuk penghematan energi dan biaya [9]. Pabrik semen menggunakan dua sumber energi utama, yaitu batu bara yang dipakai untuk proses kalsinasi di kiln dan listrik sebagai penggerak motor pada berbagai operasi satuan (*unit operations*) dan sebagian kecil untuk penerangan. Kisaran besaran energi yang dibutuhkan dari batubara lebih besar daripada energi dari listrik. Namun demikian, dari segi biaya, penyediaan kedua jenis sumber energi tersebut memiliki kisaran yang hampir sama. Mengingat bahwa penyediaan batubara, baik mutu maupun jumlahnya, seringkali tergantung

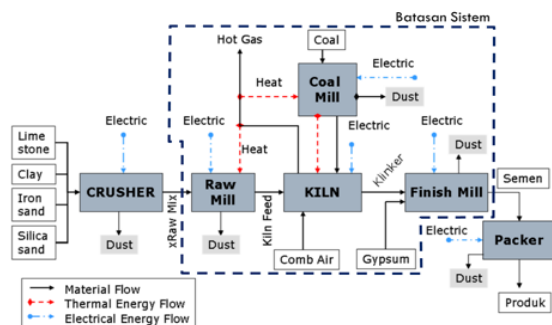
dari pasokan pihak ketiga dan tidak dapat dikendalikan secara penuh, kajian pada makalah ini hanya dibatasi pada konsumsi energi listrik. Berdasarkan hasil evaluasi pada profil penggunaan energi listrik dan disertai dengan analisis efek modus kegagalan (*failure mode effect analysis*, FMEA), selanjutnya disusun suatu rekomendasi dalam upaya peningkatan efisiensi proses atau penurunan konsumsi energi spesifik.

METODOLOGI

Pada makalah ini, dilakukan penilaian atau asesmen serta evaluasi terhadap kinerja penggunaan energi, khususnya energi listrik, pada sebuah unit produksi semen dengan kapasitas 7800 ton per hari.

Kajian dibatasi pada proses produksi semen mulai dari penarikan bahan baku dari penyimpanan bahan baku (*raw material storage*) di lini proses *raw mill* sampai pengisian ke silo semen di *finish mill* (Gb.1). Pada taraf ini, kajian tidak melingkupi proses penambangan dan pengantongan semen.

KES diperoleh melalui audit energi pabrik tahun 2020 (data operasional 2019) dan selanjutnya dibandingkan dengan KES pabrik tipikal di tingkat nasional dan internasional sebagai contoh best praktis. Metoda *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) digunakan untuk menganalisis penyebab tingginya nilai KES dari setiap proses tersebut



Gambar 1. Batasan system

Konsumsi energi spesifik (KES) merupakan perbandingan antara jumlah daya listrik aktual dengan jumlah produksi semen dalam periode waktu yang sama.

$$KES = P / X \tag{1}$$

dimana P adalah jumlah daya listrik aktual (kWh) dan X adalah jumlah produksi semen (ton). Hubungan antara jumlah daya listrik aktual dan jumlah produksi dapat didekati dalam sebuah persamaan linear melalui regresi data-data daya dan produksi, seperti yang dinyatakan dalam Pers. (2).

$$Y = a.X + b \tag{2}$$

dimana Y adalah jumlah daya (kWh), X adalah produksi (ton), a dan b adalah konstanta. Konstanta b dapat ditafsirkan sebagai beban dasar (*base load*) atau energi yang dikonsumsi saat aktifitas produksi tidak ada. Nilai Y adalah jumlah daya listrik yang diharapkan (diinginkan) terpakai berdasarkan jumlah produksi.

Potensi penghematan adalah selisih antara daya terpakai aktual (P) dengan daya yang diinginkan (Y) seperti pada Pers. (3).

$$Potensi hemat (kWh) = P - Y \tag{3}$$

Penjumlahan dari berbagai potensi hemat (kWh) disebut sebagai *Cummulative Summary (CUSUM)*. Pabrik dinyatakan ‘boros’ jika jumlah kWh terpakai lebih tinggi daripada jumlah kWh yang diinginkan (CUSUM positif) dan ‘hemat’ jika kWh diinginkan lebih tinggi dari pada kWh terpakai (CUSUM negatif). Pada kajian ini, periode *baseline* yang diambil adalah tahun 2018 dan periode peninjauan adalah tahun 2019.

Selain evaluasi CUSUM, dilakukan juga *benchmarking*, yaitu membandingkan kinerja energi masing-masing pabrik atau seluruh sektor pabrik yang serupa dengan metrik umum yang mewakili kinerja “standar” atau “optimal”. Benchmarking dilakukan untuk (1) mengevaluasi seluruh sektor industri, (2) membandingkan pabrik yang terpisah dalam suatu sektor, dan (3) menetapkan tujuan efisiensi energi [10].

Bilamana terdapat komponen atau sub-sistem yang memiliki nilai KES yang tinggi, metoda *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) diterapkan untuk menemukan penyebab tingginya nilai KES tersebut. FMEA adalah metode yang digunakan untuk mengidentifikasi

bentuk kegagalan fungsi, penyebab dan efek dari kegagalan tersebut [11]. FMEA adalah teknik evaluasi yang efisien untuk mengidentifikasi potensi kegagalan dalam produk proses dan servis [12].

Evaluasi FMEA dimulai tujuh langkah dengan pertanyaan dasar di FMEA sebagai berikut : (1) Apa yang diinginkan dari peralatan?; (2) Bagaimana peralatan bisa gagal?; (3) Apa yang menyebabkan kegagalan fungsional?; (4) Apa yang terjadi ketika kegagalan terjadi?; (5) Seberapa penting setiap kegagalan atau apa konsekuensi dari kegagalan yang terjadi?; (6) Bisakah kegagalan diperkirakan atau dicegah dan haruskah itu dilakukan?; dan 7) Bagaimana seharusnya pengelolaan kegagalan jika prediksi atau pencegahan bukanlah suatu pilihan? Jawaban atas pertanyaan-pertanyaan dasar tersebut kemudian disusun dalam sebuah tabel FMEA.

Selanjutnya pertanyaan-pertanyaan dasar penyusunan FMEA tersebut diadopsi sesuai kebutuhan dalam analisis manajemen energi terkait dengan: (1) permasalahan yang terjadi (KES yang tinggi); (2) penyebab kenaikan KES; (3) efek dan konsekuensi dengan kenaikan KES; dan (4) upaya yang perbaikan. Dengan menjawab semua pertanyaan dari tabel FMEA yang sudah dimodifikasi ini maka disusunlah suatu rekomendasi aktifitas untuk menemukan peluang-peluang penghematan energi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kinerja Pabrik

Pada tabel 1 memperlihatkan kinerja rata-rata bulanan masing-masing lini proses untuk tahun 2019 dalam KES beserta frekuensi *unplanned stop*, *availability* peralatan dan utilisasinya. Frekuensi *unplanned stop* adalah jumlah berhentinya peralatan di luar jadwal perencanaan pemeliharaan dalam satu bulan. Sedangkan *availability* adalah persentase waktu yang bisa dipakai untuk berproduksi di luar jadwal pemeliharaan terencana. Adapun, utilisasi adalah presentase kapasitas produksi terhadap kapasitas desain. Dari Tabel 1 terlihat bahwa *Raw Mill 1* (RM-1) dan *Raw Mill 2* (RM-2) tahun 2019 tidak mencapai kapasitas desainnya dengan rata-rata utilisasi sebesar 85% dan 81%. KES pada kedua sektor berada di atas desain

(16,6 kWh/ton *rawmix*), dan *availability*-nya di atas 80%. Hal ini disebabkan oleh tingginya frekuensi *unplanned stop* peralatan. Efisiensi penggilingan bahan mentah meningkat ketika suhu udara dan kadar air pada bahan baku berkurang [13].

Tabel 1. KES, frek. *unplanned stop*, *availability* dan utilisasi tiap area (rata-rata bulanan pada tahun 2019)

Area/ Proses	KES Desain (kWh/t produk)	KES (kWh/t produk)	Unplanned stop (Jumlah)	Availability	Utilisasi
RM-1	16.6	18,78	30,6	81%	85%
RM-2	16.6	19,02	23,3	87%	81%
Kiln & CM	39	45,06	6,2	96 %	82%
FM-1	34.4	42,33	10,75	95%	78%
FM-2	34.4	38,97	9	92%	82%

Selanjutnya KES *Kiln & Coal Mill* (CM) dari tabel tersebut terlihat selalu berada di atas harga desain dengan rata-rata utilisasi 82% dan *availability* 96%. Pengoperasian sistem pembakaran sekunder mempengaruhi operasional kiln. Hal ini disebabkan karena bahan baku dan bahan bakar pada saat pembakaran mengandung berbagai bahan yang diupkan di zona tinggi memiliki efek yang merugikan pada kualitas klinker [14].

Pada *Finish Mill-1* (FM-1) dan *Finish Mill-2* (FM-2) nilai KES berada di atas desain, dengan rata-rata utilisasi 78% dan 82% serta *availability* 95% dan 91%. Ada banyak parameter berbeda yang mempengaruhi efisiensi *raw mill* antar lain ukuran *grinding*, laju *ball mill*, bentuk *mill*, suhu dan kelembaban bahan mentah yang masuk, sirkulasi material dalam sistem, kecepatan rotasi penggilingan dan penghentian sementara untuk pemeliharaan sistim [15].

Dari Tabel 2 dapat dilihat regresi daya dan produksi RM-1 dan RM-2, dimana untuk membuat tambahan satu ton produk raw mix dibutuhkan daya sebesar 17,45 kWh, 16,10 kWh dan beban dasar sebesar 165.656 kWh dan 357.399 kWh. Lini proses RM-1 dan RM-2 pada tahun 2019 menghasilkan energi sebesar 0,46 GWh dan 0,86 GWh lebih tinggi (pemborosan) dengan beban dasar tahun 2018.

Dari regresi daya dan produksi proses *Kiln* & CM, yaitu $Y = 31,65X + 2E+06$, untuk membuat tambahan satu ton produk klinker dibutuhkan daya sebesar 31,65 kWh dan *baseload* sebesar 2E+06 kWh. Tingginya beban dasar pada *kiln* ini biasanya disebabkan oleh kondisi dimana, pada saat ada gangguan, semua peralatan (terutama alat transport) akan tetap dioperasikan untuk menghindari penumpukan material ataupun gangguan kecil lainnya. Penghematan yang diperoleh adalah sebesar 9,33 GWh dengan beban dasar data tahun 2018.

Pada tabel 2 memperlihatkan *baseline* dengan regresi antara produksi dan konsumsi energi listrik tahun 2018 dan CUSUM untuk periode peninjauan adalah tahun 2019.

Tabel 2. Beban dasar dan CUSUM

Unit	Baseline	R ²	CUSUM (2019)	Ket.
RM-1	$Y = 17,45X + 165.656$	0.983	0,46 GWh	Boros
RM-2	$Y = 16,10X + 357.399$.939	0,86 GWh	Boros
Kiln	$Y = 31,65X + 2E+06$	0.965	-9,33 GWh	Hemat
FM-1	$Y = 44,92X + 31.646$	0.975	6,25 GWh	Boros
FM-2	$Y = 35,99X + 221.137$	0.982	2,48 GWh	Boros

Selanjutnya pada regresi FM-1 dan FM-2, untuk menambah satu ton produk semen membutuhkan daya sebesar 44,9 kWh dan 35,9 kWh dengan beban dasar 0,03 GWh dan 0,2 GWh. Operasional FM-1 dan FM-2 tahun 2019 menghasilkan energi sebesar 6,25 GWh dan 2,48 GWh lebih tinggi (pemborosan) dari beban dasar 2018

Histori operasional (2017-2019)

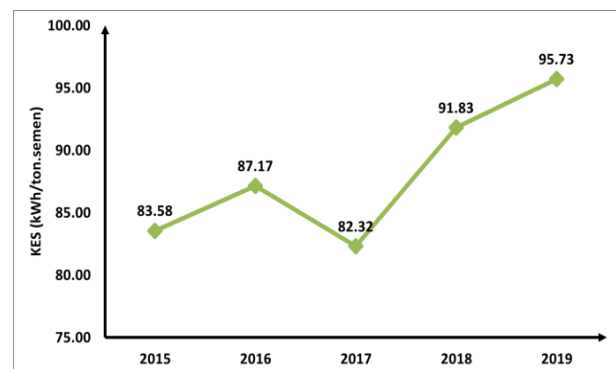
Data operasional tahun 2015 s/d 2019 diperlihatkan pada Tabel 3. Dari tabel tersebut dapat diamati bahwa pada tahun 2017 total KES dapat mendekati desain sebesar 82,32 kWh/ton semen. KES desain adalah sebesar 81,11 kWh/ton semen, jika dibandingkan pencapaian KES tahun 2017 dan 2019 telah terjadi kenaikan sebesar 13,41 kWh/ton semen pada Gambar 2. [7].

Tabel 3. Data historis KES pabrik yang dikaji per-proses tahun 2015-2019

No	Tahun	Raw Mill			Kiln			Finish Mill			Total KES (kWh/t. semen)
		RM-1 kWh/t.raw mix	RM-2 kWh/t.raw mix	Total kWh/t.r awmix	kWh/t. klinker	kWh/t. semen	FM-1 kWh/t. semen	FM-2 kWh/t. semen	Total kWh/t. semen		
1	2015	18.03	16.41	17.22	20.13	39.57	27.70	33.58	37.93	35.75	83.58
2	2016	16.63	15.76	16.20	18.93	41.29	28.90	39.26	39.41	39.33	87.17
3	2017	16.77	16.11	16.44	19.22	40.89	28.62	34.26	34.7	34.48	82.32
4	2018	18.24	18.65	18.45	21.56	47.22	33.05	38.57	35.86	37.21	91.83
5	2019	18.78	19.02	18.90	22.09	45.06	31.54	45.22	38.97	42.09	95.73

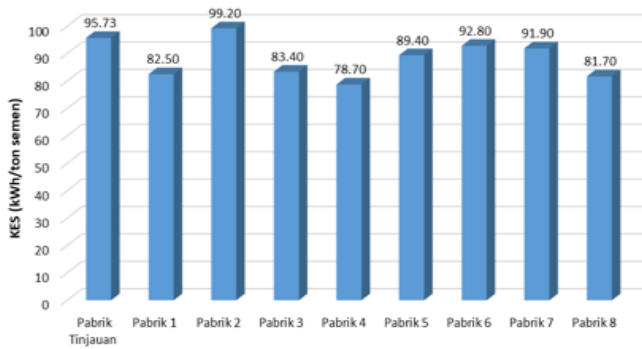
Perbandingan per lini pabrik terhadap pabrik Nasional (tipikal) dan Desainer

Pabrik nasional yang menjadi pembanding adalah pabrik nasional yang tipikal dengan pabrik yang menjadi objek penelitian. Semua pabrik berkapasitas besar dari 7500 tpd klinker, proses kering, minimal 4 tingkat preheater (delapan buah pabrik). Data KES dari beberapa pabrik pembanding ditampilkan di Gambar 3.



Gambar 2. KES Total dalam kurun 2015 – 2019 (KES Desain 81,11 kWh/ton semen)

Pabrik 1,3,4 dan 8 mencapai KES yang relatif rendah (78,7 – 83,40 kWh/t.semen) dan pabrik 2,5,6 dan 7 mempunyai KES yang relatif tinggi (89,40 – 99,20 kWh/t semen)[16]



Gambar 3. Perbandingan KES Pabrik Semen (tipikal) di Indonesia

KES Pabrik Dunia & Usaha Menurunkan KES

Pabrik - pabrik semen yang sudah mendapatkan KES dibawah 70 kWh/ton.semen pada Tabel 5 menggunakan teknologi terbaru dan *Vertical Roller Mill* di proses penggilingan semen.

Tabel 5. KES Pabrik Dunia

No	Negara	Pabrik	Kap. (tpd)	KES (kWh/t semen)	Referensi
1	Japan	Taiheiyo Cement Corporation	7350	65	[17]
2	China	Best China	-	68	[18]
3	India	Best India	-	66	[19]

		Pabrik Rajashree	10000	79.05	
		JK Lakshmi Cement LTD.	6000	79.71	[20]
		Kotputli Cement Works	8000	92.85	
4	Eropa	Best Eropa	-	80	[21]
5	Colombia	Cementos Argos Plant	5000	85	[22]
6	Turki	Best Turkey Cement Plant	-	100	[23]

Dari Tabel 6 dapat diketahui usaha-usaha yang telah dilakukan oleh pabrik semen dunia untuk menurunkan nilai KES. Usaha yang dilakukan pada proses *Raw Mill* dan *Finish Mill* relatif sama diantaranya penggantian *Ball Mill* dengan *Vertical Roller Mill*, penambahan *Roller Press* dan penggantian *Separator/Classifier* dengan *High Efisiensi Classifier*. Di *Kiln & CM* penurunan KES cukup besar bisa didapatkan dengan menggunakan *low-pressure drop cyclones*. Usaha penurunan KES di seluruh proses diantaranya adalah penggantian motor ke motor *high* efisiensi, penggunaan *VSD* dan penggantian ke *fan ke fan* high efisiensi.

Tabel 6. Praktik baik penurunan KES pabrik semen dunia

No	Area/Proses	Deskripsi	Penghematan	Lokasi	Referensi
1	Raw Mill	Pemasangan <i>high efficiency</i> roller mill	6-7 kWh/t bahan baku	Arizona Portland Cement (Rillito, Arizona, U.S.)	[24]
			5.4 kWh/t bahan baku	Xinxiang Cement Company, Henan province	[25]
		Pemasangan <i>Roller Press</i> (RP-10)	5 kWh/t bahan baku	Dalla cement factory, India	[20]
		Modifikasi <i>vertical roller mill</i> dengan <i>high efficiency classifier</i>	2.8-3.7 kWh/t bahan baku	Tilbury Cement (Delta, British Columbia, Canada)	[24]
		menggantikan sistem transportasi pneumatik dengan sistem mekanis dalam silo homogenisasi	1-2.5 kWh/t bahan baku	Birla Cement Works, Chittorgarh Company in India	[26]
2	Kiln & CM	Pemasangan <i>low-pressure drop cyclones</i>	4.4 kWh/t klinker	Lehigh Cement plant	[27]
		Menggantikan <i>liquid motor regulator</i> pada sistem <i>precalciner speed control</i> di kiln	0.62 kWh/t klinker	the Birla Cement Works, Chittorgarh in India	[20]
		Menginstall <i>float switch</i> dengan batas sensor level tinggi di tangki <i>overhead</i> untuk pendingin air	0.08 kWh/t klinker	the Birla Cement Works, Chittorgarh in India	[25]
		Modifikasi saluran masuk dari <i>fan</i> pendingin	0.04 kWh/t klinker	Chittor Cement Works, Chittorgarh Company in India	[20]
3	Finish Mill	Pemasangan <i>high pressure roller press</i> pada finish grinding	15 kWh/ton semen	Coplay Cement's Nazareth I Plant	[26]

No	Area/ Proses	Deskripsi	Penghematan	Lokasi	Referensi
4	General	Penggantian <i>Ball mill</i> diganti dengan vertikal mill	10 kWh/ton semen	the Ramla Cement Plant in Israel	[21]
		Pemasangan <i>high efficiency roller mill</i>	7 kWh/ton semen	Tianjin Zhenxing Cement Co, Ltd.	[28]
		Pemasangan <i>high-efficiency classifiers</i>	7 kWh/ton semen	cement plant in Origny-Rochefort (France)	[25]
		Pemasangan VVVF (MV Drive)	3.48 kWh/ton semen	Mangalam Cement Limited, India	[20]
		Pemasangan sistem <i>advanced process control</i> mills	3 kWh/ton semen	the Roanoke Cement Company in Virginia	[25]
		Penggunaan Adjustable atau Variable Speed Drives (VSD) pada fan pada <i>kiln</i>	8 kWh/ton semen	Pabrik di Davenport, California,	[28]
			6 kWh/ton semen	Shandong Province Cement Plant	[29]
			5.5 kWh/ton semen	Lafarge Canada's Woodstock plant	[25]
		Penggantian <i>fans</i> dengan <i>fan berefisiensi tinggi</i>	0.13 kWh/ton semen	Siam White Cement Co., Ltd., located in Saraburi, Thailand,	[28]
			0.13 kWh/t semen	Birla Cement Works, Chittorgarh Company in India	[20]
			0.11 kWh/t klinker	Satna Cement Works, Birla Corporation Limited, in India,	
		Penggantian motor dengan motor dan penggerak <i>berefisiensi tinggi</i>	4.58 kWh/t klinker	Shandong Province Cement Plant	[29]
			0.41 kWh/ton klinker	Tamilnadu Cements, India	[30]
		Penggantian <i>separator</i> dengan <i>separator/classifier berefisiensi tinggi</i>	9.15 kWh/ton klinker	Shandong Province Cement Plant	[29]
	2-3 kWh/ton semen	Huaihai China United Cement Company	[28]		
	1.62 kWh/t clinker	The Satna Cement Works of Birla Corporation Limited in India	[20]		

Evaluasi KES berdasarkan FMEA

Nilai KES sangat dipengaruhi oleh jumlah daya listrik yang dikonsumsi, banyaknya hasil produksi, utilisasi, availability dan frekuensi interupsi proses. Untuk lebih detail pada Tabel 7

digunakan analisis FMEA melihat segala kemungkinan, penyebab dan aktifitas untuk rencana tindak lanjutnya

Tabel 7. Evaluasi KES berdasarkan FMEA

No	Deskripsi Permasalahan	Penyebab Permasalahan	Efek & Konsekuensinya	Aktifitas
1	Pemakaian Daya (kWh) tinggi	Motor tidak di kondisi operasional optimal	Kualitas Daya (Power Quality) tidak sesuai standar (cos phi <0,85) akan ada pembayaran denda ke PLN	Pengukuran Power Faktor (PF)
		Effisiensi motor rendah	Pabrik menggunakan motor IE 1 dan sudah berumur >20 tahun sehingga pemakaian energi listrik lebih tinggi dibandingkan motor Klas IE 2	List IE motor
			Motor yang telah di Re-winding efisiensi turun 4-10% sehingga pemakaian energi listrik lebih besar	List motor terpasang yang telah direwinding
		Tingginya Frekwensi stop tidak terencana	Untuk start butuh energi awal dan setelah stop biasanya butuh energi untuk pengosongan material, sehingga akan menaikkan basel card atau energi yang digunakan dengan tidak menghasilkan produk	Pengumpulan data frekwensi stop tidak terencana
		Pengaturan flow gas menggunakan damper	Pemakaian daya aktual motor tidak sesuai dengan rating beban motor (contoh : bukaan damper (kebutuhan) 70%, tetapi motor beroperasi di 100%), sehingga energi listrik terpakai lebih tinggi	Perbandingan kWh pakai damper dan VSD
		Kebocoran ducting (False Air)	Volume udara yang dihisap/ditiupkan oleh fan lebih besar menjadi penyebab kW motor naik	Pengukuran O2 dan penghitungan
	Peralatan mengkonsumsi daya lebih tinggi	Peralatan dijalankan paralel dengan beban antara 55-75%	Peralatan supporting masih beroperasi disaat peralatan utama stop	List peralatan jalan Paralel
				List peralatan yang dioperasikan pada saat alat utama stop

No	Deskripsi Permasalahan	Penyebab Permasalahan	Efek & Konsekuensinya	Aktifitas
		Keausan yang tinggi pada roller tyre atau table	Beban mill menjadi naik karena adanya akumulasi material di dalam mill (sirkulasi material dalam mill) akibat turunnya mampu giling tyre/table (tingginya fraksi kasar)	Pengukuran keausan grinding Tyre & grinding Table
2	Jumlah Produksi Raw Mill (ton rawmix) rendah	Raw material diluar spesifikasi	material lebih keras sehingga kapasitas Raw Mill turun	QC Raw Material
		Temperatur gas panas tidak mencukupi	Kandungan air tinggi kapasitas diturunkan untuk menjaga kelancaran operasional Raw Mill	QC Raw Material
		Keausan yang tinggi pada roller tyre atau table	Temperatur gas dibawah kebutuhan operasi, kapasitas produksi berkurang, operator khawatir untuk menaikkan feeding	Data Operasional
3	Availability rendah	Peralatan tidak handal	Turunnya kemampuan giling Roller Tyre menyebabkan accumulasi material di dalam mill, mill cenderung penuh dan kapasitas jadi turun	Pengukuran keausan grinding Tyre & grinding Table
			Inspeksi peralatan tidak dilakukan dengan benar sehingga terjadi unplanned stop	Inspeksi PdM spt vibrasi, bearing, pelumas dll
			Peralatan/part pengganti dibawah spesifikasi	Cek komposisi metal (lab. Inspeksi)
			Kualitas pekerjaan perbaikan tidak sesuai sehingga terjadi stop berulang	Inspeksi QC
4	Utility Raw Mill rendah	Sistim proteksi peralatan (sensor) tidak berfungsi/rusak		Cek kesesuaian nilai pengukuran sensor di lapangan dengan di CCR
		Raw material diluar spesifikasi	Material lebih keras sehingga kapasitas Raw Mill turun	Data QC Raw Material
			Kandungan air tinggi kapasitas diturunkan untuk menjaga kelancaran operasional raw Mill	Data QC Raw Material
		Temperatur gas panas tidak mencukupi	Temperatur gas panas dibawah kebutuhan operasi, kapasitas produksi berkurang, operator khawatir untuk menaikkan feeding	Data Operasional
5	Jumlah Produksi Kiln (ton Klinker) rendah	Keausan yang tinggi pada roller tyre atau table	Turunnya kemampuan giling Roller Tyre menyebabkan accumulasi material di dalam mill, mill cenderung penuh dan kapasitas jadi turun	Pengukuran keausan grinding Tyre & grinding Table
		Dampak Proses sebelumnya	Menahan feeding karena isi CF silo dibawah standar yang diijinkan	Laporan produksi
		Dampak Proses sesudahnya	Menahan feeding karena isi CF silo dibawah standar yang diijinkan	Laporan produksi
6	Jumlah produksi Finish Mill (ton semen) rendah	Adanya kegagalan dari part/peralatan	Selama penggantian part yang gagal, kiln tetap beroperasi dengan kapasitas minimal	Laporan produksi
		Material ke-3 diluar spesifikasi	Material lebih keras sehingga kapasitas Finish Mill turun	Data QC Raw Material
			Kandungan air tinggi kapasitas diturunkan untuk menjaga kelancaran operasional Finish Mill	Data QC Raw Material
		Keausan pada diaphragma	Karena dimensi slot diaphragma 1 melebar, material/grinding media pindah dari kamar 1 ke kamar 2 sehingga mampu giling finish mill turun	Inspeksi Mill
			Karena dimensi slot diaphragma 2 melebar, material kasar berpindah ke produk sehingga reject jadi tinggi dan kapasitas jadi turun	Inspeksi Mill
		Keausan pada liner	Liner tidak bisa mengangkat grinding media sehingga mampu impaknya turun akibatnya kapasitas turun	Inspeksi Mill
Komposisi grinding media	Grinding media banyak diameter kecil, Penggilingan menjadi tidak efektif kapasitas jadi turun	Inspeksi Mill		

Peluang Penurunan KES

Normalisasi Power Faktor (PF)

Persyaratan dari PT. PLN nilai PF min. 0,85, jika lebih rendah diberi sanksi denda. Dari pengukuran nilai PF untuk satu line pabrik lebih besar dari 0,85 sehingga tidak ada peluang penurunan dari sisi Power Faktor (PF)

Penggunaan Motor Efisiensi Tinggi

Semua motor Low Voltage (LV) yang terpasang dipabrik masih efisiensi standar atau IE1 dan berumur lebih 20 tahun. Motor LV dengan daya 1,1 – 160 kW berjumlah 470 unit. Mesin penggulung ulang di bengkel memiliki batasan sampai motor ukuran 160 kW. Penggantian motor IE1 ke IE2, penggantian ini akan menikkan efisiensi 3%-7%. Sedangkan

penggulungan ulang motor IE1 akan menurunkan efisiensi 4%-10%.

Penggantian motor IE1 yang sudah dilakukan penggulungan ulang dengan motor IE2 akan ada peluang penghematan dapat dilihat pada Tabel 8. Peluang menurunkan KES RM-1 sebesar 0,32 kWh/ton raw mix, KES RM-2 sebesar 0,33 kWh/ton raw mix, KES Kiln & CM sebesar 1,22 kWh/ton klinker dan KES FM-1 sebesar 0,52 kWh/ton semen serta KES FM-2 sebesar 0,60 kWh/ton semen.

Penggantian Damper dengan VSD pada Motor

Penggunaan damper bertujuan untuk mengatur volume gas yang dialirkan sesuai dengan kebutuhan operasional. Dari tujuh motor yang menggunakan damper dibuatkan data daya terpakai dan bukaan damper perjam, persen bukaan damper dikalikan dengan daya maksimal terpakai untuk mendapatkan estimasi penggunaan daya motor jika menggunakan VSD. Penggunaan VSD menurunkan nilai KES RM-1 sebesar 0,73 kWh/ton raw mix, penurunan KES RM-2 sebesar 0,63 kWh/ton raw mix dan penurunan nilai KES Kiln & CM sebesar 1,74 kWh/ton klinker.

Meminimalkan False Air

Masuknya udara segar lingkungan ke dalam suatu sistem proses disebut dengan *False Air* dan sangat merugikan. *False air* pada sistem mengakibatkan kenaikan daya motor fan sebesar 23%. Tahun 2019 daya dipakai untuk operasional *ESP/Filter fan* sebanyak 7,60 GWh. Dengan meminimalkan false air di sistem maka bisa didapat penghematan sebesar 1.42 GWh.

Tabel 8. Penurunan KES karena Penggunaan Motor Efisiensi Tinggi

No	Proses/ Area	Operasional 2019		Penghematan (IE1 ke IE2)			Keterangan
		Jam jalan (h)	Produksi (ton)	(kW)	(kWh)	KES (kWh/ton)	
1	Raw Mill 1	7270,55	1.494.282	65,15	473.692	0,32	kWh/ton raw mix
2	Raw Mill 2	7387,98	1.473.178	65,15	481.343	0,33	kWh/ton raw mix
3	Kiln	8315,13	1.806.878	265,51	2.207.755	1,22	kWh/ton raw klinker
4	Finish Mill 1	7560,40	1.037.537	74,11	560.269	0,54	kWh/ton raw semen
5	Finish Mill 2	7253,42	891.444	74,11	537.520	0,60	kWh/ton raw semen

Peluang Penurunan KES Kiln 0,79 kWh/ton klinker, KES RM-1 dan RM-2 dihitung berdasarkan perbandingan kenaikan nilai

oksigen. Penurunan nilai KES RM-1 sebesar 0,25 kWh/ton raw mix dan KES RM-2 sebesar 0,34 kWh/ton raw mix.

Tabel 9 Penurunan KES karena Penggunaan VSD

No	Proses/ Area	Deskripsi	Daya Aktual (kWh)	Estimasi Daya VSD (kWh)	Penghematan (kWh)	Produksi (ton)	Penurunan KES (kWh/ton)	Keterangan
1	Raw Mill 1	Mill Fan 1	12.922.861	11.827.015	1.095.846,62	1.494.282	0,73	kWh/ton raw mix
2	Raw Mill 2	Mill Fan 2	13.056.984	12.134.200	922.783,60	1.473.178	0,63	kWh/ton raw mix
3	Kiln	Exhaust Fan 1	11.816.996	10.627.246	1.189.749,66			
		Exhaust Fan 2	13.028.395	12.065.084	963.311,08			
		Filter Fan	7.600.272	7.117.622	482.649,97			
		Excess Fan	4.650.983	4.355.819	295.164,31			
		Fan Coal Mill	4.353.471	4.131.463	222.007,56			
Total Kiln					3.152.883	1.806.878	1,74	kWh/ton klinker

Meminimalkan peralatan beroperasi Paralel

Untuk pengamanan operasional di beberapa peralatan transport di desain parallel, seperti *belt bucket elevator* (transport semen), *apron conveyor* (transport klinker). Seharusnya peralatan tersebut dioperasikan secara bergantian namun kenyataannya dioperasikan serentak/parallel.

Daya motor yang terpasang di alat transport semen sebesar 2x132 kW dan di alat transport klinker sebesar 2x132 kw, jika salah satu alat di stop atau standby maka ada peluang penghematan dalam satu tahun sebesar 132 kw x 24 jam x jam operasi Kiln/Finish Mill tahun 2019 maka didapat peluang penghematan sebesar 1,90 GWh setahun. Pada Tabel 10. memperlihatkan penurunan KES karena minimalisasi peralatan jalan parallel, nilai KES Kiln & CM bisa diturunkan sebesar 0,61 kWh/ton klinker, KES FM-1 sebesar 0,48 kWh/ton semen dan KES FM-2 bisa diturunkan sebesar 0,54 kWh/ton semen.

Beroperasi di kapasitas Optimal

Operasional peralatan *Raw Mill, Kiln dan Finish Mill* masih bisa ditingkatkan, utilisasi rata-rata paling tinggi 85%. Baseline utilisasi didefinisikan dari utilisasi maksimum yang pernah dicapai di tahun tersebut, kemudian dikali dengan KES rata-rata untuk mendapatkan KES target. Pengurangan KES aktual dengan target didapatkan peluang penghematan KES.

Tabel 10. Peluang Penghematan KES

No	Proses/ Area	Operasional 2019		Penghematan			Keterangan
		Jam jalan (h)	Produksi (ton)	(kW)	(kWh)	KES (kWh/ton)	
1	Raw Mill 1	7270,55	1.494.282	-	-	-	kWh/ton raw mix
2	Raw Mill 2	7387,98	1.473.178	-	-	-	kWh/ton raw mix
3	Kiln	8315,13	1.806.878	132,00	1.097.598	0,61	kWh/ton raw klinker
4	Finish Mill 1	7560,40	1.037.537	66,00	498.986	0,48	kWh/ton raw semen
5	Finish Mill 2	7253,42	891.444	66,00	478.726	0,54	kWh/ton raw semen

Penurunan nilai KES per proses dengan mengoptimalkan kapasitas untuk RM-1 didapatkan sebesar 1,31 kWh/ton raw mix, KES RM-2 sebesar 1,52 kWh/ton raw mix, KES Kiln & CM sebesar 2,7 kWh/ton klinker, dan KES FM-1 sebesar 6,78 kWh/ton semen serta KES FM-2 sebesar 4,68 kWh/ton semen. Dari perhitungan didapatkan total potensi penghematan sebesar 20.29 GWh setahun.

Peluang Penurunan KES per proses/area dan Total KES

Total peluang penurunan nilai KES per proses/area dapat dilihat pada Tabel 4-11. KES RM-1 bisa diturunkan sebesar 2,62 kWh/ton raw mix, RM- sebesar 2,81 kWh/ton raw mix, KES Kiln & CM sebesar 1,07 kWh/ton klinker, KES FM-1 dan FM-2 bisa diturunkan sebesar 7,07 kWh/ton semen dan 7,80 kWh/ton semen.

Tabel 11. Peluang Penurunan KES dengan Optimal Kapasitas

No	Proses/ Area	KES rata-rata 2019	Base Line Utility	KES rata-rata setelah perbaikan	Potensi Penghematan KES	Keterangan
1	Raw Mill 1	18,78	93%	17,47	1,31	kWh/ton raw mix
2	Raw Mill 2	19,02	92%	17,49	1,52	kWh/ton raw mix
3	Kiln	45,06	94%	42,36	2,70	kWh/ton klinker
4	Finish Mill 1	45,22	85%	38,44	6,78	kWh/ton semen
5	Finish Mill 2	38,97	88%	34,29	4,68	kWh/ton semen

Total peluang penurunan nilai KES dapat dilihat pada Tabel 12 dimana jika semua peluang penghematan bisa direalisasikan maka KES bisa dicapai sebesar 79,35 kWh/ton semen lebih rendah 1,75 kWh dari desain.

Tabel 12. Peluang Penurunan KES per proses/area dan Total Penurunan KES

No	Proses/ Area	KES (kWh/ton produk)				Keterangan	
		Rata-rata 2019	Total Penghematan	Rata-rata setelah Penghematan	Desain		
1	Raw Mill	RM-1	18,78	2,62	16,16	16,60	kWh/ton raw mix
			21,95	-	18,90	19,41	kWh/ton semen
	RM-2		19,02	2,81	16,21	16,60	kWh/ton raw mix
			22,23	-	18,94	19,41	kWh/ton semen
	Rata-rata	22,09	-	18,92	19,41	kWh/ton semen	
2	Kiln		45,06	7,07	37,99	39,00	kWh/ton klinker
			31,54	-	26,59	27,30	kWh/ton semen
3	Finish Mill	FM-1	45,22	7,80	37,42	34,40	kWh/ton semen
		FM-2	38,97	5,82	33,15	34,40	kWh/ton semen
		Ratarata	42,10	-	35,28	34,40	kWh/ton semen
		Total	95,73	-	80,80	81,11	kWh/ton semen

KESIMPULAN

Dari analisis data dapat disimpulkan bahwa proses Raw Mill dapat mencapai performa sesuai desain. Sedangkan untuk proses Kiln dan proses Finish Mill berada di bawah performa desain. Peluang penurunan KES diperkirakan dapat diperoleh dari penggantian motor dengan motor efisiensi tinggi, penggunaan VSD, meminimalkan false air dan menghindari peralatan yang berjalan paralel serta beroperasi dengan utilisasi di atas 90%. Dari audit energi didapatkan peluang menurunkan KES sebesar 2,72 kWh/ton raw mix di Raw Mill, sebesar 7,07 kWh/ton klinker di Kiln & CM dan sebesar 6,81 kWh/ton semen di Finish Mill. Dengan implementasi semua peluang penghematan yang ada, penurunan KES yang diperkirakan dapat dicapai adalah sebesar 14,93 kWh/ton atau KES keseluruhan menjadi 80,80 kWh/ton.

Rekomendasi yang bisa diberikan adalah penggantian motor-motor dengan motor high efisiensi, Penggantian damper dengan VSD, penggantian ducting yang sudah aus/tipis. Selanjutnya kelengkapan alat-alat inspeksi dan pengukuran serta penggunaan program monitoring energy online akan sangat membantu jalannya manajemen energi. Selain itu, kesadaran semua pihak perihal efisiensi dan konservasi energi di semua lini dan level harus ditingkatkan.

Daftar Pustaka

[1] Sekretariat Jenderal Dewan Energi Nasional, "Outlook energi 2016," Jakarta, 2016
 [2] Al-Ghandoor A, Al-Hinti I, Jaber JO, Sawalha SA, 2008. "Electricity consumption and associated GHG emissions of the Jordanian

- industrial sector: empirical analysis and future projection”, *Energy Policy*;36:258–67.
- [3] Wang J, Dai Y, Gao L, 2009. “Exergy analyses and parametric optimizations for different cogeneration power plants in cement industry”. *Applied Energy*.; 86(6): 941–94
- [4] Energy Foundation (SSEF) and CII. 2013. *Technology Compendium on Energy Saving Opportunities -Cement KESstor*. Confederation of Indian Industry.; p.15
- [5] AllianceDBS Research Sdn Bhd, 2019. “Company Guide, Lafarge Malaysia”, *AllianceDBS Research, Malaysia Equity* ; Version13 | Bloomberg: LMC MK | Reuters: LMCE.KL:p.2
- [6] Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs. *Competitiveness of the European Cement and Lime KEStors (Final report)*. European Commission.: p.46. 2018.
- [7] Tim Produksi. *Laporan Kinerja Pabrik Desember 2019*. Dept Perencanaan & Pengendalian Produksi, 2019
- [8] Su T-L, David Yih-Liang Chan, 2013. “The status of energy conservation in Taiwan's cement industry”, *Energy Policy*.;60:481–486
- [9] Virendra R., Dr. B.Sudheer Prem Kumar, 2015. “Detailed energy audit and conservation in a cement plant”, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*.; 2(1): 248-256
- [10] Radwan, A.M., 2012. “Different Possible Ways for Saving Energy in the Cement Production”. *Advances in Applied Science Research*;3(2):1162-1174
- [11] John M, 1997. Reliability-centred Maintenance, second edition,
- [12] Vyas S., Atharva Desai, 2017. “Critical Analysis of Heat Exchanger Cycle for its Maintainability Using Failure Modes and Effect Analysis and Pareto Analysis, World Academy of Science, Engineering and Technology International”. *Journal of Industrial and Manufacturing Engineering*; 11(5)
- [13] Atmaca, A., Kanoglu, M., 2012. “Reducing energy consumption of a raw mill in cement industry”.
- [14] Atmaca, A., Atmaca, N., 2016. “Determination Of Correlation Between Specific Energy Consumption And Vibration Of A Raw Mill In Cement Industry”. *Anadolu University Journal Of Science And Technology*;17(1):209 – 219
- [15] Madlool, NA., Saidur, R., M.S. Hossain, Rahim. 2011. “A critical review on energy use and savings in the cement industries”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*;15:2042–2060.
- [16] Perindustrian Kementerian. *Significant Energy User – Industri Semen*. Workshop MEA. Jakarta, 26 November 2019.
- [17] Atasi, Loubana, 2013. Environmental Impact Assessment for Sustainable Cement Production. Thesis Edinburgh Napier University
- [18] Yuan Sheng Cui. 2015. Secretary General of the Engineering Technology Council, Chinese Ceramic Society .Information for Building Materials Industry of China (ITIBMIC),
- [19] Ultratech Cement Limited. Rajashree Cement Family. [Presentasi]. 2017. 18th national Award For Excellence In Energy Management.
- [20] Knowledge Exchange Platform. Best Practice on Energy Efficiency. [Presentasi]. 2012. Institute For Industrial Produktif.
- [21] Moya J.A., N. Pardo, A. Mercier. 2011. Energy Efficiency and CO2 Emissions: Prospective Scenarios for the Cement Industry.European Commission Joint Research Centre Institute for Energy.
- [22] Gmünder S., Myers N., Belizario F., Laffley J., Rubio L. 2018. Life Cycle Inventories of Cement, Concrete and Related Industries - Colombia and Peru. Ecoinvent association, Zürich, Switzerland.
- [23] Şahin, M.H., Çetinkaya, N., 2017. “Energy Saving Opportunities in Turkish Cement Sector”. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*;6(2): 653-660
- [24] Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) and Energy Research Institute, Guidebook for Using the Tool BEST Cement: Benchmarking and Energy Savings Tool for the Cement Industry. prepared for Environmental and Energy Technologies Division Berkeley, CA, USA: LBNL. 2008.
- [25] Allbest Creative Development Ltd. [Presentation]. Information available at: <http://www.cementhightech.com/files/allbest-cement.pdf>
- [26] The United Nations Framework Convention on Climate Change. CDM project documents. 2008. available at: <http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/SGS-UKL1175340468.27/view>.
- [27] Fujimoto, S. 1993. “Modern Technology Impact on Power Usage in Cement Plants,” Proc. 35th IEEE Cement Industry Technical Conference, Toronto, Ontario, Canada.
- [28] IFC. 2017. Improving Thermal and Electric Energy Efficiency At Cement Plants:

- International Best Practice. International Finance Corporation.
- [29] Hasanbeigi, A., Lynn Price, Hongyou Lu, Wang Lan. 2010. "Analysis of energy-efficiency opportunities for the cement industry in Shandong Province, China: A case study of 16 cement plants". *Energy* 35:3461-3473
- [30] Anantharaman N. (2017). Energy Audit in Cement Industry (1500 tpd). *International Journal of Science Technology & Engineering*.;3(10):12-18.



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY).