

ANALISIS *THERMAL EFFICIENCY* DAN *SPECIFIC ENERGY CONSUMPTION* DARI ALAT *ROTARY KILN* DI PT. SEMEN BATURAJA TBK

Dionisius¹, Enggal Nurisman^{1*}, Muhammad Azimi Kurniawan¹

¹ Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya
Corresponding author: enggalnurisman@ft.unsri.ac.id

ABSTRAK: Industri semen merupakan salah satu industri yang memerlukan jumlah bahan bakar yang sangat tinggi dalam memproduksi klinker atau terak yang akan digunakan dalam pembuatan semen yaitu 1450-1500 °C. Temperatur tinggi ini dicapai melalui pembakaran batubara dalam jumlah besar sebagai bahan bakar utamanya. Efisiensi termal dan *specific energy consumption* merupakan indikator yang dapat menentukan kualitas pengoperasian *rotary kiln*. Perbandingan data pada minggu ke-1 dengan minggu ke-2 dari analisa yang dilakukan yaitu 469,18 kkal/kg klinker dengan efisiensi termal rata-rata 72,09%. Sementara itu, pada minggu ke-2, sebesar 483,15 kkal/kg klinker dengan efisiensi termal rata-rata 68,57%. Hasil analisa memperlihatkan bahwa kinerja dari *rotary kiln* berada di bawah nilai efisiensi termal desain. Oleh karena itu pemeriksaan, pemeliharaan, dan perbaikan secara rutin harus dilakukan untuk meningkatkan kinerja dari *rotary kiln* sehingga dapat meminimalisir permasalahan yang dialami. Kualitas dari batubara juga harus dijaga dan disimpan pada tempat yang kering, serta pengendalian laju alir massa yang optimal harus dipilih.

Kata Kunci: *Rotary Kiln, Efisiensi Thermal, Specific Energy.*

ABSTRACT: The cement industry is an industry that requires very high amounts of fuel to produce clinker or slag which will be used in making cement, namely 1450-1500 °C. This high temperature is achieved through burning large amounts of coal as the main fuel. Thermal efficiency and specific energy consumption are indicators that can determine the quality of rotary kiln operation. The comparison of data by analysis carried out from the 1st week to the 2nd week, namely 469.18 kcal/kg clinker with an average thermal efficiency of 72.09%. Meanwhile, in 2nd week, it was 483.15 kcal/kg clinker with an average thermal efficiency of 68.57%. The analysis results show that the performance of the rotary kiln is below designed thermal efficiency. Therefore, regular inspections, maintenance and repairs must be carried out to improve the performance of the rotary kiln so as to minimize the problems experienced. The quality of the coal must also be maintained and stored in a dry place, and optimal mass flow rate control must be selected.

Keywords: *Rotary Kiln, Thermal Efficiency, Specific Energy*

PENDAHULUAN

Industri semen merupakan salah satu industri yang memerlukan jumlah bahan bakar yang sangat tinggi dalam memproduksi klinker atau terak yang akan digunakan dalam pembuatan semen (Ma dkk, 2022). Hal ini dikarenakan temperatur yang diperlukan untuk mereaksikan bahan baku klinker mencapai 1450°C (Mohammed, 2012). Klinker terdiri dari 4 mineral yaitu C₄AF, C₃S, C₂S, dan C₃A yang merupakan hasil dari proses oksidasi di dalam *kiln* (Rikoto dan Nuhu, 2019). Temperatur tinggi dalam pembentukan klinker dicapai melalui pembakaran batubara dalam jumlah besar sebagai bahan bakar utamanya. Penggunaan bahan bakar yang tinggi menuntut keefisienan pemanfaatan panas yang semaksimal mungkin agar perusahaan tidak mengalami

kerugian dan mengalami kesulitan untuk bersaing dengan perusahaan kompetitor. Persaingan ini menuntut perusahaan agar dapat melakukan penghematan serta optimalisasi yang berorientasi pada pengurangan biaya produksi dan meningkatkan daya saing perusahaan.

PT. Semen Baturaja Tbk memiliki alat *rotary kiln* (tanur putar) yang menjadi jantung proses dalam produksi semen sehingga untuk menghasilkan klinker yang berkualitas, kondisi operasi yang optimum harus diatur terutama parameter suhu (Rubianto dan Zahidin, 2020). *Rotary kiln* pada PT. Semen Baturaja Tbk terdiri dari kiln *shell* yang terbuat dari material ASTM A36 yang disertai 3 *roller* dan *tyre* yang terbuat dari *low alloy steel casting*.

Beberapa alasan yang menjadikan *rotary kiln* sebagai alat yang penting adalah karena kondisi operasinya pada suhu ekstrim terutama pada temperatur,

sehingga kesalahan penanganan akan berakibat fatal (Perdana dkk, 2022). Energi panas dan listrik yang dikonsumsi oleh unit ini adalah bagian yang paling besar dari seluruh proses produksi sehingga memakan biaya yang cukup besar. Apabila *kiln* mengalami stop ketika beroperasi, maka sebagian besar alat tidak dapat beroperasi karena kiln menjadi suplai panas bagi unit seperti *pre-heater*, *raw mill*, dan *cement mill*. Beberapa alasan yang menjadikan *rotary kiln* sebagai alat yang penting adalah karena kondisi operasinya pada suhu ekstrim terutama pada temperatur, sehingga kesalahan penanganan akan berakibat fatal.

Efisiensi termal dan *specific energy consumption* merupakan indikator yang dapat menentukan kualitas pengoperasian *rotary kiln*. Langkah yang dapat dilakukan untuk mengetahui kinerja atau efisiensi dari alat ini adalah dengan mengevaluasi kinerja *rotary kiln* seperti, perhitungan neraca massa, neraca panas, dan efisiensi.

TINJAUAN PUSTAKA

Rotary kiln adalah bejana silinder yang memiliki diameter hingga 6 m dan dilengkapi *refractory lining*. *Rotary kiln* seringkali diposisikan dengan kemiringan 3-3.5° (Engin dan Ari, 2005). *Rotary kiln* di PT. Semen Baturaja Tbk dilengkapi dengan suspension preheater. *Rotary kiln* yang ada di PT. Semen Baturaja Tbk memiliki kecepatan putar 3 rpm, dengan dimensi kiln yang memiliki Panjang 72 m dan diameter 4,8 m serta posisi kiln pada kemiringan 3,5°. Proses yang terjadi dalam *rotary kiln* adalah klinkerisasi yang merupakan proses pembentukan senyawa-senyawa penyusun semen Portland baik dalam fase padat ataupun cair. Pada temperatur 1260-1310 °C mulai terjadi lelehan terutama terdiri dari komponen Al₂O₃ dan Fe₂O₃. Pada temperatur 1450 °C, jumlah fase cair mampu mencapai 20-30%. Dalam fase cair terjadi pembentukan 3CaO.SiO₂ atau dikenal dengan C3S dengan persamaan reaksi berikut:

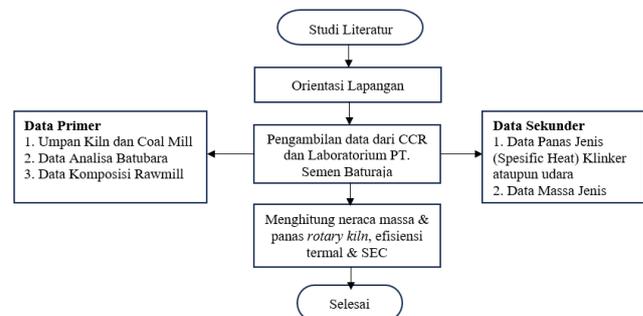


Jika pada proses klinkerisasi masih terdapat CaO yang belum bereaksi dengan oksida lain, maka akan terbentuk CaO bebas (*free lime*) yang akan menurunkan mutu semen. Kadar dari *free lime* dapat dijadikan salah satu indikator apakah proses klinkerisasi termasuk baik atau tidak. Jika kadar *free lime* tinggi pada klinker, ekspansi akan meningkat akibat reaksi antara alkali-agregat (Mtarfi dkk, 2016). Biasanya klinker dengan kadar *free lime* yang tinggi disebut sebagai *unburnt clinker*. Semakin banyak CaO bebas pada produk artinya *sintering* tidak berlangsung dengan baik.

METODOLOGI

Rotary kiln digunakan untuk memproses bahan mentah berupa *raw meal* menjadi klinker yang bermutu. Terdapat dua sumber data yang akan diambil dan digunakan dalam perhitungan yaitu data aktual yang diperoleh dari CCR (*Central Control Room*) dan laboratorium QC (*Quality Control*). Data yang diperoleh berupa jumlah *kiln feed* harian, *excess air*, suhu, jumlah pemakaian *fine coal*, dan nilai NHV Batubara di Pabrik Baturaja II PT. Semen Baturaja Tbk.

Data yang dikumpulkan berupa data harian selama 63 hari yang dimulai dari 21 Desember 2023 hingga 21 Februari 2024 dari CCR dan dirata-ratakan dalam skala mingguan yang terbagi menjadi 9 minggu. Data kemudian diolah dalam perhitungan menggunakan Microsoft Excel. Data yang diperlukan berupa komposisi dan jumlah *feed* menuju *kiln* yang berawal dari *preheater* serta suhu operasi *calciner* dan *kiln*.



Gambar 1 Diagram Alir Analisa

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil pengamatan berupa neraca massa dan neraca panas. Efisiensi termal *rotary kiln* dapat diperoleh dengan menghitung neraca panas dari *kiln* dan neraca massa digunakan untuk memperoleh nilai neraca panas tiap komponen pada kiln. Neraca massa dan panas pada *kiln* dapat dilihat pada tabel-tabel berikut.

Tabel 1 Neraca Massa

Komponen	Massa Masuk (kg)	Massa Keluar (kg)
Umpan <i>Kiln</i>	155.271,46	
Umpan Batubara	10.500	
Udara Primer	9.773,60	
Udara Sekunder	87.962	
CO ₂ Hasil Kalsinasi		4.038
O ₂ Sisa Pembakaran		3.420,76
Gas Hasil Pembakaran		102.553,54
Produk Klinker		152.500,91

H ₂ O Batubara		926,10
N ₂ Batubara		68,25
Total	263.507,46	263.507,46

Tabel 2 Neraca Panas

Komponen	Panas Masuk (kkal)	Panas Keluar (kkal)
Panas Umpan <i>Kiln</i>	30.523.566,81	
Panas Batubara	132.087,37	
Panas Udara Primer	21179543,74	
Panas Udara Sekunder	16225,417	
Panas Sensibel Batubara	53.959,50	
Panas H ₂ O Batubara	19.462,21	
Panas GHP Batubara		26.508.965,31
Panas CO ₂ Kalsinasi		1.137.851,48
Panas Disosiasi		3.975.341,70
Panas Penguapan H ₂ O		532.592,16
Panas Klinker		3.975.341,70
Panas N ₂ Batubara		16.496,76
Panas O ₂ Batubara		926.920,26
Panas Hilang		32.723.032,10
Total	105.830.386	105.830.386

Tabel 3 Efisiensi Termal dan SEC *Kiln* selama 9 Minggu

Minggu	Efisiensi (%)	SEC (kkal/kg klinker)
1	72,09	469,18
2	67,75	489,04
3	66,80	495,96
4	69,40	481,37
5	68,19	491,92
6	65,63	511,94
7	69,56	476,47
8	69,38	478,28
9	69,09	480,07
Rata-Rata	68,66	486,03

Klinker atau terak merupakan batuan buatan yang diperoleh dari pemrosesan *raw meal* dengan proses *sintering* pada suhu sekitar 1450°C. Selama proses pembakaran dalam kiln akan terjadi reaksi yang akan membentuk klinker. Prinsip kerja dari unit ini adalah dengan memanfaatkan panas dari burner yang terdapat di dalam unit operasi ini untuk membakar bahan baku yang lewat (Tasya dkk, 2022).

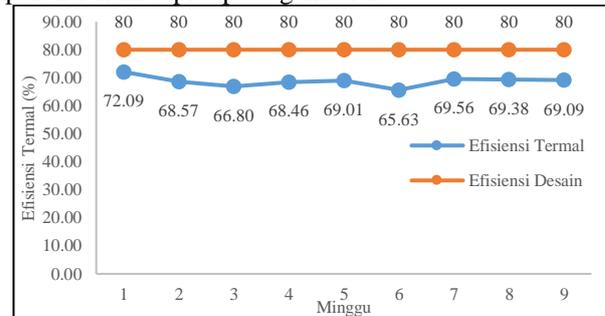
Kiln merupakan bejana silinder yang diposisikan secara horizontal dan dengan kemiringan 3,5° dan diputar

dengan perlahan pada porosnya. Material dalam kiln akan mengalami kalsinasi secara kontinyu. Material berupa *raw meal* yang terdiri dari batu kapur (70%-90%), tanah liat (10%-30%), dan sisanya berupa bahan korektif (pasir besi dan pasir silika, 0-10%).

Produksi klinker pada PT. Semen Baturaja Tbk menggunakan proses kering. Proses pembakaran *raw meal* memerlukan kondisi oksidasi yang optimal untuk menghasilkan klinker yang berkualitas. Analisa efisiensi termal dan SEC pada *rotary kiln* perlu dilakukan untuk mengetahui seberapa efisien pemanfaatan panas yang terjadi dalam kiln melalui variabel laju alir dari batubara, *kiln feed*, produk, dan suhu operasi.

Efisiensi Termal

Efisiensi termal didapatkan dari menghitung panas yang terpakai dalam pembentukan klinker dibagi dengan panas masuk kiln. Efisiensi termal yang diperoleh pada penelitian ini diplot pada gambar 2.

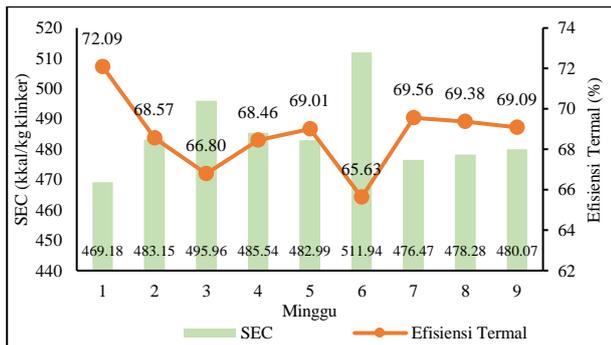


Gambar 2 Grafik Efisiensi Termal Rotary Kiln 9 Minggu

Efisiensi termal tertinggi terdapat di minggu 1 yakni sebesar 72,09% sedangkan efisiensi termal terendah terjadi pada minggu 6 dengan nilai 65,63%. Penurunan efisiensi termal ini diakibatkan oleh tingginya panas yang hilang atau sedikitnya panas yang termanfaatkan pada *kiln*. Faktor yang paling umum adalah penggunaan jumlah bahan bakar dalam mensuplai panas kiln terlalu tinggi sehingga panas sisa yang ada setelah dimanfaatkan oleh material masih cukup tinggi. Pengaruh ini dapat dilihat dari hubungan antara efisiensi termal dengan SEC. Hal ini sedikit berbeda dengan penelitian sebelumnya. Penelitian terdahulu untuk efisiensi termal *kiln* oleh Arsyla dkk (2022) menunjukkan nilai efisiensi termal tertinggi dengan nilai 90,421% pada Agustus 2021 dan terendah pada 65,801% dengan rata-rata sebesar 73,926%. Pada Agustus 2022, nilai efisiensi termal *kiln* mencapai 93,76% dengan rata-rata 1 minggu sebesar 91,23% (Rafi dkk, 2022). Sementara itu, Niko dkk (2023) memperoleh nilai efisiensi rata-rata selama 1 minggu sebesar 74,05% pada Juli 2023. Hal ini disebabkan karena perbedaan kondisi operasi dan data aktual yang berbeda pada periode tersebut.

Specific Energy Consumption

Specific Energy Consumption (SEC) merupakan konsumsi energi spesifik untuk menyatakan jumlah panas yang diperlukan untuk memproduksi satu kilogram produk (klinker) (Assawamartbunlue, 2018). Energi yang terkonsumsi yang dimaksud merupakan energi yang termanfaatkan dari total panas yang keluar dalam proses pembentukan klinker. Nilai SEC yang diperoleh pada penelitian ini diplot pada gambar 3.



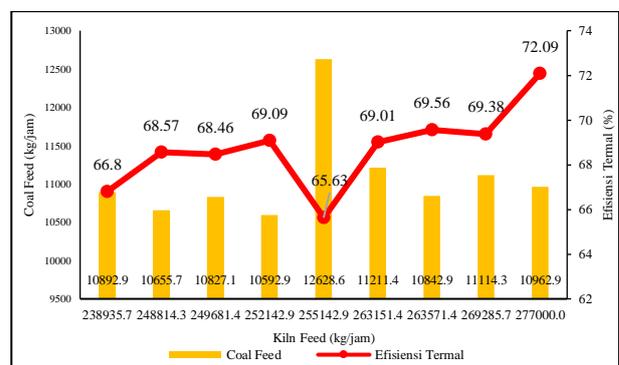
Gambar 3 Grafik Relasi *Specific Energy Consumption* terhadap Efisiensi Termal

Dari gambar di atas, dapat dilihat bahwa nilai SEC berbanding terbalik dengan efisiensi termal (Mu dkk, 2022). Hal ini dapat diketahui dengan membandingkan data pada minggu 1 dengan minggu 2. Pada minggu 1, nilai SEC rata-rata yang didapat sebesar 469,18 kkal/kg klinker diikuti dengan efisiensi termal rata-rata sebesar 72,09%. Sementara itu, pada minggu 2, nilai SEC rata-rata diperoleh sebesar 483,15 kkal/kg klinker dengan nilai efisiensi termal rata-rata pada 68,57%. Nilai SEC pada minggu 6 merupakan nilai yang tertinggi dibandingkan pada minggu lainnya yang sekaligus memiliki nilai efisiensi termal terendah. Dari perbandingan tersebut, dapat diketahui bahwa semakin besar nilai SEC maka konsumsi bahan bakar untuk menyuplai panas akan semakin banyak dan menyebabkan jumlah panas yang masuk *rotary kiln* semakin besar pula sehingga banyak panas yang tidak termanfaatkan. Banyaknya panas yang hilang juga dapat mempengaruhi nilai ekonomis dari operasi pabrik karena produk yang dihasilkan menurun dengan nilai penggunaan bahan bakar yang tetap. Oleh karenanya, nilai SEC perlu diminimalisir untuk memaksimalkan efisiensi termal (Haseli dan Hornbostel, 2018). Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa nilai rata-rata SEC *kiln* pernah mencapai 788,12 kkal/kg pada Agustus 2022 (Rafi dkk, 2022) dan 867,21 kkal/kg pada September 2022 (Perdana dkk, 2022).

Pengaruh Laju Umpan *Kiln* dan Umpan Batubara

Terdapat faktor lain yang mempengaruhi nilai dari efisiensi termal *rotary kiln* seperti kecepatan putaran, suhu, performa dari *refractory brick*, serta umpan yang masuk ke kiln. Efisiensi termal dapat ditingkatkan dengan meningkatkan laju alir massa umpan kiln dengan jumlah bahan bakar yang konstan sehingga panas yang hilang dapat diminimalisir. Hal ini dapat dilihat pada data pengamatan tanggal 2 Januari 2024 ketika umpan kiln yang masuk pada puncak *preheater* sebesar 248.000 kg, dengan umpan batubara pada kiln sebanyak 10.700 kg/jam memiliki efisiensi termal 68,34%. Apabila dibandingkan dengan data pada tanggal 3 Februari 2024, dengan jumlah batubara yang sama yaitu 10.700 kg/jam, tetapi laju aliran massa lebih tinggi dengan nilai 250.000 kg/jam, efisiensi yang dicapai berada pada 68,71%. Berikut ini ditampilkan dua grafik yang merupakan lanjutan dari perbandingan antara 2 hari sebelumnya yang akan memperlihatkan pengaruh laju alir massa dari *preheater* terhadap efisiensi termal dengan jumlah bahan bakar yang konstan pada 10.700 kg/jam pada bagian kiln.

Gambar 4 menunjukkan ketika terjadi peningkatan laju alir umpan *kiln* pada jumlah batubara yang hampir sama, efisiensi termal *kiln* akan mengalami peningkatan. Sebaliknya, pada kondisi laju alir umpan *kiln* yang hampir sama dan terjadi peningkatan jumlah batubara yang digunakan, efisiensi termal *kiln* akan mengalami penurunan yang disebabkan oleh semakin tingginya *heat loss* pada *kiln* karena banyaknya panas yang tidak termanfaatkan (Perdana dkk, 2022). Semakin banyak umpan kiln yang masuk dengan jumlah bahan bakar yang konstan, maka panas yang termanfaatkan akan semakin besar dan meningkatkan efisiensi termal *rotary kiln*. Hal ini dikarenakan laju perpindahan panas yang terjadi pada sistem yang terdiri dari udara panas-partikel padat akan semakin besar jika laju umpan padatan ditingkatkan (Rajan dkk, 2008).



Gambar 4 Grafik Pengaruh Laju *Kiln Feed* dan *Coal Feed* terhadap Efisiensi Termal

Penambahan jumlah umpan kiln yang terlalu tinggi tidak disarankan karena akan mengakibatkan proses pembentukan klinker menjadi tidak sempurna karena

panas yang disuplai tidak mencukupi serta waktu tinggal yang terlalu singkat (Alemayehu dan Sahu, 2013). Pengaruh laju alir umpan *kiln* terhadap gradien konsentrasi dan waktu tinggalnya dapat dilihat pada Hukum Fick yang menyatakan bahwa laju difusi massa bergantung pada gradien konsentrasi. Sehingga ketika laju alir umpan *kiln* meningkat, waktu yang tersedia untuk proses difusi akan menurun dan mengurangi efisiensi pencampuran dan reaksi kimia untuk membentuk klinker. Laju alir yang terlalu tinggi cenderung mengurangi gradien konsentrasi antar zona dan menurunkan laju difusi massa (Svensen dkk, 2024).

Aspek lain yang mempengaruhi efisiensi termal *kiln* seperti pemakaian insulasi, yang dalam hal ini adalah *refractory brick*, mampu mengurangi penggunaan energi (SEC) (Atmaca dan Yumrutas, 2014), meminimalisir *heat loss* dan meningkatkan efisiensi termal (Lawrence dkk, 2019). *Refractory brick* ditempatkan sebagai *lining* di dalam *rotary kiln*. Untuk meningkatkan resistensi termal dari *lining* pada *rotary kiln* dan agar *heat loss* yang terjadi seminimal mungkin, material insulasi pada *refractory brick* dengan konduktivitas termal yang kecil perlu digunakan (Zeng dkk, 2023).

KESIMPULAN

- 1) Efisiensi termal rata-rata pada *rotary kiln* tertinggi ada pada minggu pertama dengan nilai 72,09% dan terendah pada minggu ke-6 dengan nilai 65,63%.
- 2) Specific Energy Consumption (SEC) merupakan panas yang dimanfaatkan setiap 1 kg klinker. Nilai SEC tertinggi diperoleh pada minggu ke-6 yaitu sebesar 511,94 kkal/kg, sedangkan SEC terendah ada pada minggu pertama dengan nilai 469,18 kkal/kg.
- 3) Peningkatan jumlah kiln feed dengan jumlah coal feed yang hampir tetap dapat meningkatkan nilai efisiensi termalnya. Efisiensi termal tertinggi (72,09%) diperoleh pada kiln feed sebesar 277.000 kg/jam dan coal feed 10.962,9 kg/jam. Sementara efisiensi termal terendah (65,63%) didapatkan pada kiln feed 255.142,9 kg/jam dan coal feed 12.628,6 kg/jam. Oleh karena itu, perusahaan perlu mengatur rasio yang sesuai antara umpan kiln dan jumlah bahan bakar.

SARAN

- 1) Laju alir dari kiln feed perlu ditingkatkan agar pemanfaatan panas dapat lebih optimal dan mengurangi banyak panas yang terbuang pada kiln.
- 2) Faktor yang mempengaruhi proses produksi klinker dapat berupa *coating* (ANZAST Layer) yang terlalu tebal sehingga diperlukan pengecekan dan

pemeliharaan rutin untuk memaksimalkan kinerja *kiln*.

- 3) Penyimpanan batubara juga perlu dipastikan kering sehingga dapat mengurangi resiko penambahan kadar air pada batubara yang dapat menyebabkan menurunnya efisiensi pembakaran sebagai suplai panas pada proses.

DAFTAR PUSTAKA

- Alemayehu, F. dan Sahu, O. 2013. Minimization of Variation in Clinker Quality. *Advances in Materials*, 2(2): 23-28.
- Arsyila, A., Adiwijaya, R., dan Safaruddin. 2022. Analisis Efisiensi Thermal pada *Rotary Kiln* PT. Semen Baturaja (Persero) Tbk. *Jupiter: Jurnal Pengetahuan & Ilmu Terapan*, 3(1): 2022.
- Assawamartbunlue, K., Surawattanawan, P., dan Luknongbu, W. 2018. Specific Energy Consumption of Cement in Thailand. *Energy Procedia 156 (2019)*: 212-216.
- Atmaca, A. dan Yumrutas, R. 2014. Analysis of The Parameters Affecting Energy Consumption of A Rotary Kiln in Cement Industry. *Applied Thermal Engineering*, 66(2014):435-444.
- Engin, T., dan Ari, V. 2005. Energy Auditing and Recovery for Dry Type Cement Rotary Kiln Systems – A Case Study. *Energy Conversion and Management*, 46(2005):551-562.
- Haseli, Y. dan Hornbostel, K. 2018. Demonstration of an Inverse Relationship Between Thermal Efficiency and Specific Entropy Generation for Combustion Systems. *Journal of Energy Resources Technology*, 141(1):014501.
- Lawrence, A., Thollander, P., Andrei, M., dan Karlsson, M. 2019. Specific Energy Consumption/Use (SEC) in Energy Management for Improving Energy Efficiency in Industry: Meaning, Usage and Differences. *Energies*, 12(2):247.
- Ma, X., Shao, W., dan Cui, Z. 2022. Energy and Thermodynamic Analysis of A Typical Cement Production System Based on Experimental and Simulated Investigations. *Case Studies in Thermal Engineering*, 38(2022):102357.
- Mohammed, T. A. 2012. Composition and Phase Mineral Variation of Portland Cement in Mass Factory Sulaimani-Kurdistan Region NE – Iraq. *International Journal of Basic & Applied Sciences*, 12(6):116-117.
- Mtarfi, N.H., Rais, Z., dan Taleb, M. 2016. Effect of Clinker Free Lime and Cement Fineness on The Cement Physicochemical Properties. *Journal of*

Materials and Environmental Sciences, 8(7):2541-2548.

- Mu, H., Wang, Y., Yang, C., Teng, H., Zhao, X., Lu, H., Wang, D., Hao, S., Zhang, X. dan Jin, Y. 2022. Technical Research on Improving Engine Thermal Efficiency. *Advances in Mechanical Engineering*, 14(9):1-15
- Niko, Abimanyu, A., dan Safaruddin. 2023. Evaluasi Kinerja Alat *Rotary Kiln* Ditinjau dari Efisiensi Termal dan *Air Fuel Ratio* (AFR) di PBR II PT. Semen Baturaja Tbk. *PHENOMENON: Multidisciplinary Journal of Sciences and Research*, 1(2): 90-100.
- Perdana Ts, R. Cundari, L., Safaruddin S., dan Robiansyah, R. 2022. Analisa Efisiensi Alat Rotary Kiln di Pabrik II PT. Semen Baturaja (Persero) Tbk. Ditinjau dari Efisiensi Thermal. *Jurnal Multidisipliner Bharasumba*, 1(3): 611-618.
- Rafi, A.F., Adiwijaya, R., dan Safaruddin. 2022. Analisa Kinerja Alat Rotary Kiln di Pabrik II PT Semen Baturaja Tbk Ditinjau dari Efisiensi Termal dan Specific Fuel Consumption (SFC). *Jurnal Multidisiplin*, 1(10):97-105.
- Rajan, K.S., Dhasandhan, K., Srivastava, S.N., dan Pitchumani, B. 2008. Studies on Gas-Solid Heat Transfer During Pneumatic Conveying. *Internation Journal of Heat and Mass Transfer*, 51(11-12):2801-2813.
- Rikoto, I. I., dan Nuhu, S. 2019. Effect of Free Lime and Lime Saturation Factor on Grindability of Cement Clinker. *International Journal of Engineering Research and Reviews*, 7(1):61-66.
- Rubianto, L. dan Zahidin, A.. 2020. Perhitungan Neraca Massa, Neraca Panas dan Efisiensi pada *Rotary Kiln* Unit Kerja RKC 3 PT Semen Indonesia (Persero) Tbk. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 6 (2), 309–315.
- Svensen, J.L., da Silva, W.R.L., Merino, J.P, Sampath, D., dan Jorgensen, J.B. 2024. A Dynamical Simulation Model of a Cement Clinker Rotary Kiln. *European Control Conference 2024*.
- Tasya, N.I.S., Susmanto, P., dan Safaruddin. 2022. Evaluasi Kinerja Rotary Kiln pada PT Semen Baturaja (Persero) Tbk. *Jatim*, 1(5).
- Zeng, D., Shcherbina, V. Y., dan Li, J. 2023. Thermal Efficiency Analysis of The Rotary Kiln Based on The Wear of The Lining. *International Journal of Applied Mechanics and Engineering*, 28(2):125-138.