

Analisis Kinerja Mesin Grate Cooler Tipe CFG Kapasitas 321 Ton/Jam Pada Proses Produksi Clinker Berdasarkan Efisiensi Thermal

Muhammad Adib Arifin^{1*}, Ratna Dewi Anjani²

^{1,2}Program Studi Teknik Mesin, Universitas Singaperbangsa Karawang, Indonesia

*Koresponden email: gadib2791@gmail.com

Diterima: 21 Juli 2024

Disetujui: 4 Juli 2024

Abstract

This research aims to analyze the performance of a CFG type grid cooler in the clinker cooling process with a capacity of 321 tons per hour in the cement industry. The analysis focused on the thermal efficiency of the engine to identify potential operational efficiency improvements. Research methods include heat balance, mass balance measurements and evaluation of heat loss in the cooling process. It is hoped that the results of this research can provide guidance in optimizing the operation of grate cooling machines, improving the quality and energy efficiency of clinker produced in the cement industry.

Keywords: *grate cooler, clinker, thermal efficiency, heat balance, cement industry*

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis kinerja grid cooler tipe CFG pada proses pendinginan klinker berkapasitas 321 ton per jam pada industri semen. Analisis difokuskan pada efisiensi termal mesin untuk mengidentifikasi potensi peningkatan efisiensi operasional. Metode penelitian meliputi neraca panas, pengukuran neraca massa dan evaluasi kehilangan panas pada proses pendinginan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan pedoman untuk mengoptimalkan pengoperasian mesin pendingin grate, meningkatkan kualitas dan efisiensi energi klinker yang dihasilkan di industri semen.

Kata Kunci: *grate cooler, clinker, efisiensi thermal, neraca panas, industri semen*

1. Pendahuluan

Industri semen memainkan peran penting dalam pembangunan infrastruktur dan pertumbuhan ekonomi suatu negara, termasuk di Indonesia. Produksi semen yang meningkat tidak hanya membantu memenuhi kebutuhan domestik tetapi juga menciptakan peluang ekspor yang signifikan [1]. Semakin banyak proyek infrastruktur yang dibangun, semakin besar pula permintaan akan semen. Ini menciptakan dampak positif yang signifikan bagi industri semen dan juga sektor-sektor terkait lainnya seperti konstruksi, transportasi, dan logistik.

Persaingan yang ketat dalam industri semen mendorong perusahaan untuk mempertahankan standar kualitas tinggi sambil memastikan efisiensi produksi. Pengelolaan yang baik terhadap sistem produksi dan pengendalian kualitas menjadi kunci untuk mencapai tujuan ini. Dengan meningkatkan efektivitas dan efisiensi operasional, perusahaan dapat tidak hanya memenuhi permintaan pasar yang tinggi tetapi juga mengoptimalkan biaya produksi [2].

Mesin-mesin seperti *cooler* memiliki peran krusial dalam proses produksi semen. Pendinginan klinker adalah tahap yang sangat penting untuk menjaga kualitas produk akhir. Setiap bagian dari proses ini membutuhkan peralatan khusus yang dapat bekerja secara efisien dan handal untuk mencapai hasil yang diinginkan [3].

Langkah yang mendalam tentang proses pendinginan *klinker* memang kunci untuk mencapai kualitas semen yang optimal. Kontrol yang baik terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi proses ini, termasuk operasi *grate cooler*, sangat penting untuk memaksimalkan efisiensi dan kualitas produk akhir. Dengan teknologi dan pengelolaan yang tepat, proses ini dapat berkontribusi signifikan terhadap keseluruhan performa pabrik semen [4].

Efisiensi mesin *grate cooler* sangat penting untuk memaksimalkan penggunaan panas dari proses pembakaran di kiln. Dengan mempertimbangkan pembagian panas seperti yang kamu sebutkan, pengaturan yang tepat dari aliran panas sekunder dan tersier dapat mengoptimalkan efisiensi keseluruhan pabrik [5].

Penelitian *Smith* yang menunjukkan bahwa efisiensi mesin *grate cooler* berpengaruh signifikan terhadap kinerja keseluruhan produksi klinker sangat relevan. Mesin yang efisien tidak hanya membantu

mempertahankan kualitas klinker yang baik tetapi juga memungkinkan penggunaan energi yang lebih efisien, yang pada gilirannya dapat mengurangi biaya operasional dan dampak lingkungan. Pengoptimalan mesin-mesin ini merupakan langkah penting dalam upaya industri semen untuk meningkatkan keberlanjutan dan produktivitas [6].

Penelitian yang dilakukan oleh *Silvia Maria Zanoli* yang menerapkan sistem *Predictive Control* pada mesin *grate cooler* menunjukkan betapa teknologi ini dapat memberikan peningkatan signifikan dalam kinerja operasional, kontrol proses, dan efisiensi penggunaan energi [7].

Oleh karena itu analisis kinerja mesin *grate cooler* dapat menjadi kontribusi yang berharga bagi industri semen dalam upaya meningkatkan efisiensi dan efektivitas penggunaan energi. Dengan fokus pada efisiensi *thermal* pada proses pendinginan *klinker*, penelitian ini tidak hanya dapat memberikan wawasan mendalam tentang faktor-faktor yang mempengaruhi operasi mesin *grate cooler*, tetapi juga memberikan solusi konkret untuk meningkatkan performa dan keberlanjutan produksi semen.

2. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini, fokus pada mesin *Grate Cooler* dengan menggunakan 12 *fan* untuk melakukan pendinginan klinker dari *kiln* sangat relevan. Proses di mana klinker jatuh ke *plate grate cooler* dan kemudian terbagi berdasarkan ukurannya ke *drag chain conveyor* atau menuju *hammer mill* untuk dihancurkan memberikan gambaran yang jelas tentang bagaimana mesin ini beroperasi dalam proses produksi semen.

1. Spesifikasi Bahan Uji

Grate cooler CFG 16102 adalah jenis peralatan yang digunakan untuk mendinginkan klinker (bahan hasil pembakaran pada kiln semen) dan untuk *recovery* panas yang dihasilkan. Berikut adalah spesifikasinya seperti pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Spesifikasi Bahan Uji

Type	<i>Grate cooler CFG 16102</i>
Kapasitas	321 Ton/Jam
Vendor	<i>Fuller</i>
Material	Baja
Suhu Keluar	970 ⁰
Kemiringan	3 %
Power Drive	2 x 600 kW
Kecepatan Rotasi	3 rpm

Sumber: Analisa data pada lapangan

Fungsi utama, mendinginkan *klinker* dan *recovery* panas untuk digunakan kembali pada kiln, *suspension preheater*, dan *raw mill*. Peralatan ini dirancang untuk menjaga *klinker* tetap dingin dan mengoptimalkan penggunaan panas yang dihasilkan dalam proses produksi semen [8].

2. Prosedur Penelitian

Dalam penelitian ini, dilakukan pengambilan proses pendinginan *grate cooler*, yakni mencakup neraca panas proses pendinginan, neraca massa pada proses pendinginan, dan panas yang terbuang pada proses pendinginan berlangsung. Terdapat prosedur yang akan dilakukan yaitu dimulai dari tahap persiapan, kemudian dilanjutkan dengan tahap pengumpulan data dilapangan, dan tahap terakhir yaitu tahap pengolahan hasil data yang diperoleh.

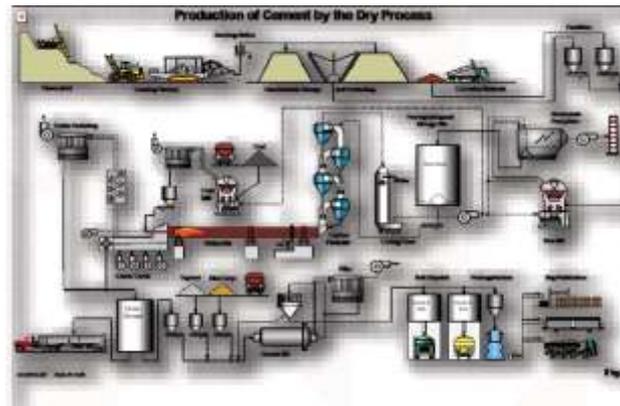
3. Tahap Persiapan

- a. Masalah utama adalah efisiensi termal mesin *grate cooler* yang mungkin belum optimal. Ketidakefisienan ini dapat berdampak pada efisiensi keseluruhan produksi klinker. Dengan mengidentifikasi masalah ini secara spesifik, Anda dapat memfokuskan upaya Anda untuk mencari solusi yang tepat [9].
- b. Setelah mengidentifikasi masalah, langkah berikutnya adalah melakukan studi literatur yang mendalam seperti proses produksi semen secara umum, proses pendinginan *klinker* setelah pembakaran dan prinsip-prinsip kerja mesin *grate cooler*, termasuk teknologi dan desain yang digunakan.

3. Proses Produksi

Produksi semen dengan metode kering (*dry process*) adalah salah satu metode yang umum digunakan dalam industri semen karena efisiensinya dalam penggunaan energi. Efisiensi energi dapat ditingkatkan karena panas dari proses pembakaran dapat digunakan kembali, dan penguapan air dari bahan baku dapat

diminimalkan. Ini membuat metode kering lebih ramah lingkungan dan ekonomis dibandingkan metode basah (*wet process*) [10]. Dibawah ini terdapat alur proses pembuatan semen pada **Gambar 1**.

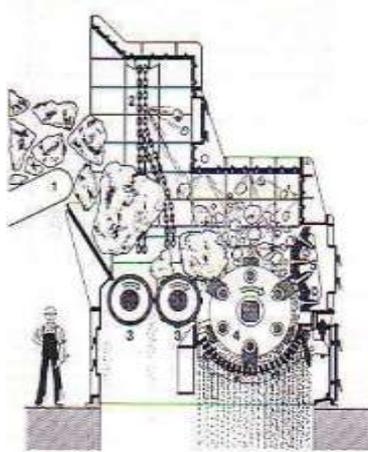


Gambar 1. Alur proses pembuatan semen
 Sumber: Analisa data pada lapangan

1. Pengambilan Bahan Baku

Bahan baku utama, yaitu batu kapur, diambil dari gunung kapur menggunakan metode blasting. Metode ini melibatkan peledakan tepian gunung dengan bahan peledak yang diatur dan dioperasikan dari jarak jauh. Peledakan ini bertujuan untuk memecah batu kapur menjadi bongkahan yang lebih kecil.

Batu kapur yang diangkut kemudian dimasukkan ke dalam alat penghancur atau *crusher* seperti pada **Gambar 2**. *Crusher* ini bertugas untuk menghancurkan batu kapur menjadi ukuran yang lebih kecil dan seragam, yaitu sekitar 1,2 cm hingga 10 cm.



Gambar 2. *Crusher*
 Sumber: Analisa data pada lapangan

2. Pencampuran

Setelah batu kapur dihancurkan menjadi ukuran yang lebih kecil, proses berikutnya dalam produksi semen adalah pencampuran bahan baku. Keempat bahan utama ini ditakar secara otomatis menggunakan alat yang disebut *load cell*. *Load cell* berfungsi untuk memastikan setiap bahan diukur dengan tepat sesuai proporsi yang dibutuhkan dalam campuran baku [11].

Setelah ditakar, bahan baku tersebut kemudian diteruskan ke *raw mill* melalui *belt conveyor*. Di dalam *raw mill*, bahan baku digiling menjadi bubuk halus. Proses penggilingan ini penting untuk memastikan bahan baku tercampur dengan baik dan memiliki ukuran partikel yang sesuai untuk proses pembakaran selanjutnya seperti pada **Gambar 3**.



Gambar 3. *Raw mill*

Sumber: Analisa data pada lapangan

3. Pemanasan Awal (*Pre-Heating*)

Suspension preheater berfungsi untuk mengeringkan dan memanaskan bahan baku semen sebelum memasuki *rotary kiln*. Ini bertujuan untuk mengurangi kandungan air dalam bahan baku dan juga memanaskan bahan baku sampai suhu yang lebih tinggi sebelum memasuki tahap pembakaran [12].



Gambar 4. *Suspension preheater*

Sumber: Analisa data pada lapangan

4. Pembakaran *Clinker*

Setelah melewati tahap pemanasan awal menggunakan *suspension preheater*, *kiln feed* kemudian masuk ke dalam *rotary kiln* untuk tahap pembakaran menjadi *clinker*. *Kiln feed* yang telah dipanaskan dari *suspension preheater* dimasukkan ke dalam *rotary kiln* seperti pada **Gambar 5**.



Gambar 5. *rotary kiln*

Sumber: Analisa data pada lapangan

Di dalam *rotary kiln*, bahan baku ini dibakar pada suhu tinggi (sekitar 1400-1500°C) dalam suasana oksidasi yang terkontrol. Proses pemanasan di dalam *rotary kiln* biasanya dilakukan secara *countercurrent*. Ini berarti bahwa arus bahan baku dan udara panas bergerak berlawanan arah, yang meningkatkan efisiensi kontak antara gas panas dan bahan baku. Selama proses pembakaran, bahan baku mengalami transformasi kimia menjadi *clinker* [13].

Clinker terbentuk dari penggabungan kimiawi antara kalsium oksida (CaO), silika (SiO₂), alumina (Al₂O₃), dan besi oksida (Fe₂O₃) yang terkandung dalam *kiln feed*.

5. Pendinginan *Clinker*

Setelah melalui proses pembakaran di *rotary kiln* dan berubah menjadi lelehan atau *clinker* dengan menggunakan metode pendinginan, *Quenching*, dan Udara yang digunakan untuk pendinginan biasanya berasal dari sistem ventilasi atau kipas di pabrik semen.

6. Penggilingan Akhir

Setelah proses pendinginan *clinker*, tahap selanjutnya dalam produksi semen adalah penggilingan akhir atau *finish grinding*. *Clinker* yang telah didinginkan dari *rotary kiln* kemudian dihancurkan menjadi butiran kecil dengan ukuran sekitar ± 10 mm menggunakan alat penggiling seperti *ball mill* atau *vertical roller mill (VRM)*. Dibawah ini terdapat **Gambar 6** hasil akhir dari *mill*.



Gambar 6. Finish mill

Sumber: Analisa data pada lapangan

7. Pengantongan Semen

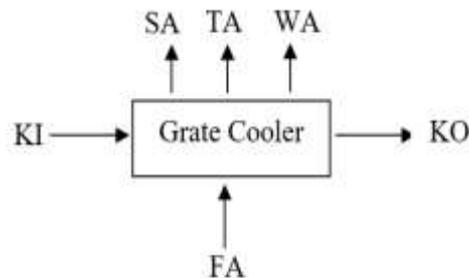
Langkah terakhir dalam produksi semen adalah proses pengantongan atau *packaging* semen. Sebagian semen dipasarkan dalam bentuk curah melalui *junction box*. Semen yang keluar dari *junction box* akan ditampung dalam bin sebelum dialirkan menggunakan *load spout*. Berat kantong semen yang umum digunakan berkisar antara 40 hingga 50 kg. Berat ini dapat disesuaikan sesuai kebutuhan dan permintaan pasar.

4. Hasil dan Pembahasan

1. Nilai Keseimbangan Massa dan Keseimbangan Panas

a. Keseimbangan Massa

Untuk menghitung keseimbangan massa pada *grate cooler* dalam proses produksi semen, penting untuk mengidentifikasi aliran masukan (*input*) dan keluaran (*output*) yang terlibat. Sistem mesin pendingin *grid tipe CFG* massal dengan kapasitas 7800 ton/hari dapat dilihat pada **Gambar 7** dibawah ini:



Gambar 7. Alur keimbangan masa

Sumber: Analisa data

Data dalam analisis lebih lanjut terkait proses pendinginan *clinker* dalam *cooler*, termasuk perhitungan keseimbangan massa dan energi seperti pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Komposisi *Klinker In*

Komposisi Klinker In		
Komponen	Laju Masa (kg/jam)	%
SiO ₂	77.328,90	24,09
Al ₂ O ₃	16.435,20	5,12
Fe ₂ O ₃	11.267,1	3,51
CaO	212.694,60	66,26
MgO	3.274,20	1,02
Total	321000,00	100,00

Sumber: Analisa data pada lapangan

Berdasarkan data komposisi klinker masuk yang Anda berikan, dapat dilihat bahwa komposisi unsur yang paling dominan adalah kalsium oksida (CaO), yang menyumbang sebesar 66,26% dari total *klinker* masuk. Dalam satuan kilogram per jam, jumlah CaO yang masuk ke *cooler* adalah 212.694,6 kg/jam. Hal ini menunjukkan bahwa batu kapur (CaO) memainkan peran utama dalam komposisi *klinker*, yang penting untuk pembentukan *klinker* dalam proses produksi semen. Spesifikasi kapasitas udara *fan* untuk pendinginan *klinker* di *grate cooler*. Berikut adalah rinciannya seperti **Tabel 3**.

Tabel 3. Spesifikasi udara *fan*

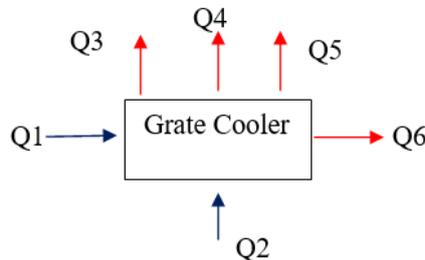
Udara <i>fan</i>	
Unit	Kapasitas <i>Fan</i> (m ³ /Jam)
1	58670
2	44680
3	39680
4	45000
5	65850
6	49130
7	50400
8	68270
9	62400
10	57680
11	51620
12	61380
Total	654760

Sumber: Analisa data pada lapangan

Data ini mencakup kapasitas masing-masing dari 12 *fan* yang digunakan untuk mengalirkan udara tekan ke dalam *cooler* melalui lubang-lubang kecil pada *grate*, untuk proses pendinginan *klinker* panas. Total kapasitas udara *fan* adalah 654,760 m³/jam, yang mencerminkan kemampuan pendinginan yang signifikan dalam proses *cooler*.

b. Keseimbangan Panas

Berikut alur kerja *Heat Balance* pada mesin *grid cooler* dapat dilihat pada **Gambar 8**.



Gambar 8. Alur kerja keseimbangan panas

Sumber: Analisa data

Dengan mengetahui indeks massa KI, temperatur KI, temperatur acuan dan komposisi klinker berdasarkan **Tabel 2**, maka data yang diperoleh dapat kita gambarkan sebagai berikut:

Temperatur tungku (KI) = 1350°C (1623°K)

Temperatur acuan = 27°C (300°K)

Laju massa KI = 321.000 kg/jam

Setelah memperoleh informasi variabel komposisi seluruh *klinker* yang masuk, diperoleh jumlah total kalor sensibel dalam waktu *Q1* seperti pada **Tabel 3**. Data ini mencerminkan jumlah total panas sensibel (*Q1*) dari *klinker* masuk, yang dinyatakan dalam kilokalori per jam (kcal/jam). Panas sensibel ini dipengaruhi oleh suhu awal *klinker* sebesar 1350°C (atau 1623°K). Setelah diperoleh data seluruh variabel komposisi udara kipas yang masuk, maka diperoleh jumlah total kalor yang dapat diterima pada waktu *Q2* seperti pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Total kalor *sensibel Q1*

Panas Sensibel KI				
Komposisi	Laju Massa(kg/jam)	%	n(kmol)	Q (kcal/jam)
SiO ₂	77.328,90	24,09	1.288,82	31.973.429,08
Al ₂ O ₃	16.435,20	5,12	161,13	6.316.885,02
Fe ₂ O ₃	11.267,10	3,51	70,42	3.565.686,19
CaO	212.694,60	66,26	3.798,12	72.518.738,96
MgO	3.274,20	1,02	81,86	1.254.293,93
Total	321.000	100	5400,34	115.629.033,17

Sumber: Analisa data pada lapangan

Tabel 5. Panas *Sensibel FA*

Panas Sensibel FA				
Komposisi	Laju Massa(kg/jam)	%	n(kmol)	Q (kcal/jam)
N ₂	587.105,74	79	1.288,82	31.973.429,08
O ₂	156.066,08	21	161,13	6.316.885,02
Total	743.171,82	100	25.845,13	4.004.348,91

Sumber: Analisa data pada lapangan

Data ini mencerminkan jumlah total panas *sensibel (Q2)* dari udara *fan* yang masuk, yang dinyatakan dalam kilokalori per jam (kcal/jam). Panas *sensibel* ini dipengaruhi oleh komposisi udara *fan* yang terdiri dari nitrogen (N₂) dan oksigen (O₂), dengan total panas *Q2* adalah 4.004.348,91 kcal/jam.

2. Nilai *Heat Loss* Pada Mesin *Grate Cooler*

Menghitung jumlah panas yang hilang pada suatu mesin atau proses, dengan mengurangi jumlah panas masuk dan keluaran. Berdasarkan rumus sebagai berikut:

Panas yang hilang = input – output

Panas yang hilang = 119.633.382,08 kkal/jam – 117.546.425,44 kkal/jam

Panas yang hilang = 2.086.956,63 kkal/jam

Menghitung *persentase* kehilangan panas berdasarkan perbedaan antara total panas masukan dan total panas keluaran.

$$\%Heat\ Loss = \frac{Total\ Panas\ Input - Total\ Panas\ Output}{Total\ Panas\ Input} \times 100$$

$$\frac{2.086.956,63}{119.633.382,08} \times 100$$

$$= 1,74\%$$

Dengan *persentase* kehilangan panas sebesar 1,74% dari panas pembakaran, hal ini menunjukkan bahwa mesin *cooler* berfungsi dengan baik dan kehilangan panas masih berada di bawah batas toleransi yang diterima, yaitu 30% dari panas pembakaran. Adanya kehilangan panas yang rendah merupakan indikasi efisiensi yang baik dalam proses pendinginan *clinker*. Kondisi ini menunjukkan bahwa isolasi serta sistem konduksi dan konveksi pada *cooler* berfungsi dengan baik, memastikan bahwa sebagian besar panas dari proses pembakaran dapat digunakan secara efisien dalam produksi semen.

3. Nilai Efisiensi Thermal Pada Mesin *Grate Cooler*

Menghitung efisiensi panas pada mesin dengan benar berdasarkan rumus:

$$\%Efisiensi = \frac{Total\ Panas\ Input - Total\ Heat\ Loss}{Total\ Panas\ Input} \times 100$$

$$= \frac{119.633.382,08 - 2.086.956,63}{119.633.382,08} \times 100$$

$$= 98,26\%$$

Nilai ini menunjukkan bahwa efisiensi panas pada mesin, berdasarkan perhitungan sekitar 98,26%. Efisiensi ini menggambarkan seberapa baik mesin dapat menggunakan panas yang dihasilkan dalam prosesnya, dengan sebagian kecil panas yang hilang sebagai kerugian.

5. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan terdapat perbedaan antara total massa masuk (1.064.171,82 kg/jam) dan total massa keluar (1.048.550,49 kg/jam), hal ini adalah hal yang normal dalam operasi mesin pendingin seperti *Grate Cooler*. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh penguapan kelembaban dari klinker atau pembentukan debu selama proses pendinginan.

Total panas sensibel dari *klinker* masuk (KI) adalah 115.629.033,17 kcal/jam, dengan suhu awal *klinker* sebesar 1350°C (1623 °K). Total panas sensibel dari udara *fan* (FA) yang masuk adalah 4.004.348,91 kcal/jam. Mesin *Grate Cooler* beroperasi dengan baik dan stabil, dengan efisiensi thermal yang tinggi (98,26%). Meskipun terdapat sedikit perbedaan dalam keseimbangan massa, hal ini tidak mengindikasikan masalah besar dan mencerminkan operasi yang normal dari mesin tersebut.

6. Referensi

- [1] R. R. Nur, F. D. Hartanti, and P. Sutikno, "Studi Awal Desain Pabrik Semen Portland dengan Waste Paper Sludge Ash sebagai Bahan Baku Alternatif," *J. Tek. ITS*, vol. 4, no. 2, pp. 164–168, 2015.
- [2] A. U. Farahdiba and N. S. Yurinda, "Analisis Life Cycle Assessment (Lca) 'Gate To Grave' Proses Produksi Semen," *EnviroUS*, vol. 2, no. 2, pp. 98–103, 2022.
- [3] V. G. A. Kurniawan, "Analisis Persediaan Bahan Baku Pasir Besi Di Pt.Semen Baturaja," *J. Multidisipliner Kapalamada*, vol. 1, no. 03, pp. 406–411, 2022.
- [4] D. E. Putri and D. Rimantho, "Analisis Pengendalian Kualitas Menggunakan Kapabilitas Proses Produksi Kantong Semen," *J. INTECH Tek. Ind. Univ. Serang Raya*, vol. 8, no. 1, pp. 35–42, 2022.
- [5] M. R. Rahmat, "Perancangan dan Pembuatan Tungku Heat Treatment," *J. Ilm. Tek. Mesin Univ. Islam 45*, vol. 3, no. 2, pp. 133–148, 2015.
- [6] A. Khoerunnisa, "Analisis Pengendalian Kualitas Produk Hinge AFT dengan Metode Six Sigma di PT X," *J. Surya Tek.*, vol. 10, no. 1, pp. 547–551, 2023.
- [7] E. Amrina, "Evaluasi Keandalan Desain Fresh Air Damper 5J1S02 Dan 5J1S04 Di Pabrik Semen Indarung V," *J. Energy Electr. Eng.*, vol. 5, no. 2, pp. 94–105, 2024.
- [8] . Bagus Prasetyo, P. Utomo, and A. Sinar Saputro, "Analisis Kegagalan pada Bearing Block Clinker Cooler PT Semen Baturaja Pabrik 2 menggunakan Failure Mode and Effect Analysis Method (FMEA)," *J. Mesin Nusant.*, vol. 6, no. 1, pp. 47–53, 2023.
- [9] Putri R.A, Winahju W.S, and Mashuri Muhammad, "Penerapan Metode Ridge Regression dan Support Vector Regression (SVR) untuk Prediksi Indeks Batubara di PT XYZ," *J. Sains Dan Seni Its*, vol. 9, no. 1, pp. 64–71, 2020.
- [10] M. Pratiwi, U. Sriwijaya, and S. L. Development, "Efisiensi Clinker Cooler Di Pt Semen Baturaja (Persero) Tbk," *J. Pengetah. Ilmu Terap. E-IECN*, vol. 3, no. 2, pp. 2003–0521, 2022.
- [11] T. R. Harjanto, M. Fahrurrozi, and I. Made Bendiyasa, "Life Cycle Assessment Pabrik Semen PT Holcim Indonesia Tbk. Pabrik Cilacap: Komparasi antara Bahan Bakar Batubara dengan Biomassa," *J. Rekayasa Proses*, vol. 6, no. 2, p. 51, 2012.
- [12] A. Muchtar and A. Fitriati, "Analisis Penerapan Metode Bag Weight Statistics Menggunakan SAP ECC 6 Dan Pengaruh Sistem Kalibrasi Berkala Di Weighbridge Dalam Upaya Mengurangi Terjadinya Over Weight Pada ...," *Temat. J. Informatics Inf. Syst.*, vol. 2, no. 1, pp. 25–30, 2014.
- [13] F. A. Ansori, "Perpindahan Panas Clinker pada Grate Cooler di PT Indocement Tunggal Prakarsa Tbk.," *Ilm. Tek. Mesin*, vol. 02, no. 02, pp. 18–27, 2022.