

ANALISIS KEBUTUHAN PRIMARY AIR PADA KILN BURNER UNTUK MEMPRODUKSI KLINKER

Jabosar Ronggur Hamonangan Panjaitan^{*1)}, Faiza Tursida¹⁾, Gustia Rahmadini¹⁾,
Rahman Etika Putra²⁾

¹⁾Program Studi Teknik Kimia, Institut Teknologi Sumatera, Lampung 35365, Indonesia

²⁾PT. Semen Padang, Indarung, Sumatera Barat, Indonesia

*Email: jabosar.panjaitan@tk.itera.ac.id

Abstrak

Klinker merupakan bahan utama dalam produksi semen yang diproduksi dengan proses kalsinasi pada kiln dengan burner sebagai alat pembakar. Pada penelitian ini diteliti kebutuhan udara proses pembakaran pada burner untuk memproduksi klinker. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh bahwa kebutuhan udara untuk proses pembakaran bahan bakar yaitu 127.403,849 (Nm^3/jam). Kebutuhan udara pembakaran jika penggunaan 8% *primary air* yaitu 10.192,3 (Nm^3/jam) dan untuk penggunaan 10% persen *primary air* yaitu 12.740,38 (Nm^3/jam). *Flow primary air* operasional (10,6%) mendekati nilai dari *flow primary air* teoritis (10%), dengan *flow primary air* operasional sebesar 13.504,8 (Nm^3/jam) dan teoritis sebesar 12.740,38 (Nm^3/jam).

Kata kunci: klinker, *primary air*, semen.

Abstract

Clinker is the main ingredient in cement production which was produced by calcination process in a kiln with a burner. In this research, air requirements for the combustion process in burner to produce clinker were investigated. Based on the results, it was found that the air requirement for fuel combustion process was 127,403.849 (Nm^3/hour). The combustion air requirement if 8% primary air used was 10,192.3 (Nm^3/hour) and for 10% primary air used was 12,740.38 (Nm^3/hour). The operational primary air flow (10.6%) was close to the theoretical primary air flow (10%), which operational primary air flow was 13,504.8 (Nm^3/hour) and theoretical primary air flow (10%) was 12,740.38 (Nm^3/hour).

Keywords: *clinker, primary air, cement.*

1. PENDAHULUAN

Semen adalah produk industri dengan bahan baku utama berupa batu kapur yang mengeras jika bercampur dengan air. Batu kapur mengandung senyawa kalsium oksida (CaO) yang dapat dimanfaatkan untuk memproduksi semen. Bahan utama pembuatan semen adalah klinker yang merupakan bahan padat berbentuk butiran yang dihasilkan dari proses pembakaran berbagai bahan utama campuran semen dalam alat pembakar (kiln) (Rahmawati & Damayanti, 2017). Selain batu kapur, bahan baku utama yang juga digunakan untuk membentuk klinker antara lain tanah liat, pasir besi (Fe_3O_4), pasir silika (SiO_2), gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (Sari et al., 2017). Pada produksinya seluruh bahan baku tersebut dibakar sampai meleleh untuk membentuk klinker (Rahmawati & Damayanti, 2017).

Produksi industri semen termasuk industri yang menggunakan energi cukup besar sekitar 30 – 40% dari total biaya produksi (Wirawan & Sinaga, 2021). Hal ini disebabkan proses produksi semen dimulai dari penyediaan bahan mentah, penggilingan bahan mentah,

pembakaran, pendinginan klinker, penggilingan klinker, dan pengantongan semen (Riskiah & Safaruddin, 2022). Salah satu alat yang membutuhkan energi yang cukup besar adalah rotary kiln. Rotary kiln adalah alat yang digunakan untuk membentuk klinker (Arsadha et al., 2022). Klinker umumnya diproduksi pada suhu tinggi (Pamungkas, 2010). Klinker diproduksi menggunakan reaksi kalsinasi pada suhu 1260 – 1310 (Furwanto et al., 2013). Pada rotary kiln terdapat burner yang merupakan alat pembakar dari sistem *rotary kiln* yang berfungsi untuk mengoptimalkan pembakaran dan pelepasan panas di dalam kiln. Panas yang dihasilkan dari burner dapat digunakan untuk mengaktifkan reaksi kimia dalam menghasilkan klinker semen (Mateus et al., 2023) (Ammarullah et al., 2018). Burner menggunakan batu bara sebagai bahan bakar dengan oksigen yang diambil dari udara (Riskiah & Safaruddin, 2022).

Pembakaran pada burner membutuhkan tiga syarat pembakaran antara lain oksigen, bahan bakar dan sumber penyalan (Syarif et al., 2020). Salah satu komponen penting pada pembakaran adalah udara. Pembakaran tidak akan terjadi jika udara masuk tidak

mencukupi bahkan dapat menyebabkan resiko ledakan (Utama & Zulkifli, 2020). Udara pembakaran terbagi atas dua yaitu udara primer untuk pembakaran bahan bakar padat dan udara sekunder untuk mereaksikan bahan yang mudah menguap (Panggabean et al., 2023).

Udara yang diperlukan untuk proses pembakaran semen berasal dari udara primer yang dialirkan pada burner (Susetyo et al., 2020). Laju alir udara perlu dikendalikan untuk menghasilkan pembakaran yang sempurna. Pembakaran yang optimal terjadi jika udara yang diperlukan untuk membakar terpenuhi secara proposional. Pembakaran yang sempurna akan menghasilkan karbondioksida dan air sebagai produk (Patabang, 2009). Penggunaan udara berlebih dapat dilakukan untuk memastikan pembakaran dapat berlangsung sempurna sehingga seluruh bahan bakar habis bereaksi dengan udara (Sylvia et al., 2018). Oleh sebab itu, pada penelitian ini akan diteliti analisis kebutuhan primary air pada kiln burner untuk memproduksi klinker.

2. METODE

Pada penelitian ini perhitungan kebutuhan primary air dilakukan secara sekunder dimana pengambilan data perhitungan dilakukan dari data alat yang telah ada. Data diambil pada bulan Juli 2023 dari Central Control Room (CCR) dan Laboratorium Quality Assurance dari PT. Semen Padang, Indarung, Sumatera Barat. Data yang sudah diperoleh kemudian diolah perhitungannya untuk mendapatkan nilai dari kebutuhan dari udara minimal, kebutuhan udara teoritis dan kebutuhan udara primary yang digunakan.

2.1 Data-Data Pendukung

Untuk menentukan nilai dari combustion air dan primary air data pendukung yang digunakan adalah sebagai berikut

Tabel 1. komposisi *fine coal*

Senyawa	% Berat
C	57,26
H ₂	4,2
O ₂	16,59
N ₂	0,9
S	0,28

Tabel 2. Data pengamatan

Parameter	Nilai	Satuan
<i>Feeding Kiln</i>	570	t/h
<i>Flow Primary Air</i>	225	Nm ³ /min
<i>Pressure primary air</i>	189	Mbar
	1.100	Nm ³ /min
	970	Nm ³ /min
<i>Flow Secondary air</i>	550	Nm ³ /min
	950	Nm ³ /min
	1.250	Nm ³ /min
	1.150	Nm ³ /min
<i>Burner Nozzle opening</i>	10	mm
<i>Axial opening</i>	100	%
<i>Radial Opening</i>	18	%
<i>Tonase fine coal</i>	22,48	t/h
<i>CV Fine Coal</i>	2.245	Kg/s

<i>Firing in kilns</i>	434	Kcal/Kg
<i>Kiln Production</i>	346,5	t/h
<i>Primary air temperatur</i>	30	°C

Tabel 3. Data tambahan

Parameter	Nilai	Satuan
<i>Isentropic exponent for air (K)</i>	1,4	-
<i>Gass constant for air (K)</i>	286,89	J/Kg.K
<i>Nozzle area (AN)</i>	7.281	mm ²
<i>Nozzle coefficient (KN)</i>	0,95	-
<i>ambient pressure</i>	989	mbar
<i>EV coal standart</i>	1,42	-
<i>Ev oil standart</i>	1,41	-

2.2 Perhitungan *Primary Air*

Flow Function (φ):

$$(\varphi) = \sqrt{\left(\frac{P_{amb}}{P_{amb}+PN}\right)^{\frac{2}{K}} - \left(\frac{P_{amb}}{P_{amb}+PN}\right)^{\frac{k+1}{k}}} \tag{1}$$

Primary Air Flow (M_{pr}):

$$M_{pr} = 10^{-4} \times AN \times KN \times \varphi \times (p_{amb} + PN) \times \sqrt{\frac{2k}{k-1}} \times \frac{1}{R(t_{pr}+273.15)} \tag{2}$$

Theoretical Air Amount (L_{min}):

$$L_{min} = \frac{EV_{coal\ standar} \times tonase\ fine\ coal \times CV_{fine\ coal} \times EV_{Oil} \times}{3600} \tag{3}$$

Primary Air Percentage (L_p):

$$L_p = \frac{m_{pr}}{L_{min}} \times 100\% \tag{4}$$

Penggunaan *Primary Air*:

$$Primary\ Air = Primary\ air\ percentage \times Kebutuhan\ udara\ di\ pembakaran \tag{5}$$

Keterangan

- P amb *Ambient pressure*
- PN *Primary air pressure at Nozzle*
- K *Isentropic exponent for air*
- AN *Nozzle area*
- KN *Nozzle coefficient*
- (φ) *Flow function*
- PN *Primary air pressure at nozzle (mbar)*
- R *Konstanta gas untuk udara (J/Kg.K)*
- T_{pr} *Primary air temperature*
- EV *Empirical value*
- CV *Calory value*

- LP *Primary air flow percentage (kg/s)*
- L_{min} *Stoichiometric combustion air flow (kg/s)*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 4 merupakan hasil perhitungan kebutuhan udara yang dibutuhkan dalam pembakaran (*combustion air*) dan kebutuhan *primary air* yang digunakan. Sedangkan pada Tabel 5 merupakan hasil perhitungan kebutuhan udara dalam proses pembakaran secara teoritis.

Berdasarkan Tabel 5, diperoleh total *combustion air* sebesar 5,667 Nm³/kg coal sehingga dengan penggunaan *fine coal* sebesar 22.480 kg/h diperoleh kebutuhan udara pembakaran sebesar 127.403,849 Nm³/jam. Kebutuhan udara pembakaran dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain jenis bahan bakar, kehilangan panas, desain kiln, dan kadar air. Jenis bahan bakar yang digunakan dalam kiln mempengaruhi jumlah udara pembakaran yang diperlukan. Bahan bakar yang berbeda memiliki karakteristik pembakaran yang berbeda dan kebutuhan udara perlu disesuaikan. P.T Semen Padang menggunakan bahan bakar berupa *fine coal* dengan campuran bituminus dan antrasit maka nilai minimal *combustion air* yaitu 1,42 kg/1000 kcal (Buckmaster et al., 2005). Kehilangan panas di kiln mempengaruhi kebutuhan udara pembakaran. Jika terjadi kehilangan panas yang tinggi, diperlukan lebih banyak udara pembakaran untuk mempertahankan suhu yang diinginkan di dalam *kiln*. Desain *kiln* mempengaruhi kebutuhan udara pembakaran. Ukuran, bentuk, dan konfigurasi *kiln* mempengaruhi aliran udara dan jumlah udara yang dibutuhkan untuk pembakaran. Kadar air *raw mix* keluar klinker yang akan diproses di kiln mempengaruhi kebutuhan udara pembakaran. *Raw mix* yang masih mengandung air membutuhkan lebih banyak udara untuk pembakaran dari pada *raw mix* kering (Wahyu & Sumiati, 2009).

Berdasarkan Tabel 6, hasil perhitungan diperoleh kebutuhan udara pembakaran pada penggunaan *primary air* 8 % sebesar 10.192,3 Nm³/jam dan pada

penggunaan *primary air* 10 % sebesar 12.740,38 Nm³/jam. Berdasarkan teoritis persen *primary air* maksimum yang boleh digunakan dalam pengoperasian yaitu 10 %. Hal ini dikarenakan *primary air* memiliki temperatur yang rendah. Pemberian terlalu banyak *primary air* dapat mendinginkan nyala api dan menurunkan suhu sehingga menyebabkan pembakaran tidak sempurna dan pembentukan CO₂. Jika persen *primary air* yang diberikan terlalu kecil maka tidak memenuhi kebutuhan oksigen yang digunakan, sehingga bahan bakar tidak terbakar sempurna.

Dari Tabel 7 dapat disimpulkan bahwa *total primary air* pada operasional lebih besar dibandingkan nilai dari teoritis. Nilai *flow primary air* biasanya lebih kecil dari teoritis, kelebihan kebutuhan *primary air* ini dapat terjadi karena kondisi yang tidak sempurna di dalam sistem, maka diperlukan udara yang jumlahnya lebih besar dari *theoretical air* untuk menjamin terjadinya proses pembakaran secara sempurna. Hal lain yang menyebabkan kebutuhan *primary air* lebih besar karena adanya kebocoran atau hambatan pada saluran udara, perubahan kecepatan udara, tekanan udara dan kesalahan kalibrasi. Kelebihan *flow primary air* pada unit *kiln burner* dapat menyebabkan beberapa konsekuensi seperti kehilangan panas, ketidakstabilan api, dan mengurangi efisiensi.

Dari Tabel 8 menunjukkan bahwa semakin kecil persentase *primary air* maka kebutuhan udara pembakaran pada kiln juga akan semakin kecil. *Flow primary air* ditentukan oleh kipas atau peniup yang digunakan. *Flow primary air* biasanya dipantau oleh *flow meter* yang ditempatkan di *inlet fan* atau *blower*. Meningkatnya *flow primary air* akan meningkatkan momentum burner dan meningkatkan masuknya udara sekunder. Nyala api yang ditimbulkan akan menjadi lebih panjang dan lebih lama.

Tabel 4. Perhitungan kebutuhan udara

Parameter Perhitungan	Nilai	
Perhitungan <i>combustion air</i>	L _{min} , fuel	5,667 Nm ³ /kg coal
	Penggunaan batu bara	22.480 kg/h
	Kebutuhan udara dalam proses pembakaran	127.403,849 kg/h
Perhitungan persentase <i>primary air</i> operasional	Flow function (φ)	0,141
	Primary air flow (M _{pr})	2,12 kg/s
	Theoretical air amount (L _{min})	19,907 kg/s
	Primary air percentage (L _p)	10,6%

	8%	10.192,3 Nm ³ /jam
Penggunaan <i>primary air</i>	10%	12.740,38 Nm ³ /jam
	10,6%	13.504,8 Nm ³ /jam
	90%	114.663 Nm ³ /jam

Tabel 5. Kebutuhan udara dalam proses pembakaran secara teoritis

Combustion air (Nm³/kg coal)	Penggunaan <i>fine coal</i> (kg/h)	Total kebutuhan udara teoritis (Nm³/jam)
5,667	22.480	127.403,849

Tabel 6. Kebutuhan udara pembakaran pada penggunaan *primary air* 8% dan 10%

Total kebutuhan udara teoritis (Nm³/jam)	8 % (Nm³/jam)	10 % (Nm³/jam)
127.403,849	10.192,3	12.740,38

Tabel 7. Perbandingan *flow primary air* teoritis dengan *flow primary air* operasional

Flow <i>primary air</i> teoritis (Nm³/jam) (10%)	Flow <i>primary air</i> operasional (Nm³/jam) (10.6%)
12.740,38	13.504,8

Tabel 8. Kebutuhan udara pembakaran pada setiap persentase *primary air*

Persentase <i>primary air</i> 8% (Nm³/jam)	Persentase <i>primary air</i> 10% Nm³/jam)	Persentase <i>primary air</i> 10,6% Nm³/jam)
10.192,3	12.740,38	13.504,8

4. SIMPULAN

Pada penelitian ini diteliti kebutuhan udara proses pembakaran pada burner untuk memproduksi klinker. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kebutuhan udara untuk proses pembakaran bahan bakar yaitu 127.403,849 (Nm³/jam). Kebutuhan udara pembakaran jika penggunaan 8% primary air yaitu 10.192,3 (Nm³/jam) dan untuk penggunaan 10% persen primary air yaitu 12.740,38 (Nm³/jam). Flow primary air operasional (10,6%) mendekati nilai dari flow primary air teoritis (10%), dengan flow primary air operasional sebesar 13.504,8 (Nm³/jam) dan teoritis sebesar 12.740,38 (Nm³/jam).

5. DAFTAR PUSTAKA

Ammarullah, M. I., Prakoso, A. T., Wicaksono, D., Fadhlurrahman, I. G., Yani, I., & Basri, H. (2018). Analisis Perpindahan Kalor Konveksi pada Rotary Kiln di PT. Semen Baturaja (Persero) Tbk.

Jurnal Rekayasa Mesin, 18(2), 101–106. <https://ejournal.unsri.ac.id/index.php/jrm/article/view/6347/0>

Arsadha, J. P., Rimadhina, R., Jannah, A. M., Robiansyah, R., & Safaruddin, S. (2022). *Analisa Pengaruh Mineral Klinker Terhadap Kuat Tekan Semen untuk Mendapatkan Proporsi Bahan Baku Portland Composite Cement (PCC) dengan Penurunan Faktor Klinker*. June.

Buckmaster, J., Clavin, P., Liñán, A., Matalon, M., Peters, N., Sivashinsky, G., & Williams, F. A. (2005). Combustion theory and modeling. *Proceedings of the Combustion Institute*, 30(1), 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.proci.2004.08.280>

Furwanto, E., Aryanto, & Basri, H. (2013). Pengukuran Overall Equipment Effectiveness Sebagai Indikator Awal Dalam Melakukan Peningkatan Volume Produksi (Studi Kasus Pada Industri Semen di Sumatera Selatan). *Seminar Nasional AVoER*

- (*Added Value of Energy Resources*), *V*(November), 1–11.
- Mateus, M. M., Neuparth, T., & Cecilio, D. M. (2023). Modern Kiln Burner Technology in the Current Energy Climate: Pushing the Limits of Alternative Fuel Substitution. *Fire*, 6(2). <https://doi.org/10.3390/fire6020074>
- Pamungkas, Y. (2010). Teknologi Co-processing: Solusi Alternatif Mereduksi Bahan Bakar Fosil dan Gas CO₂ di Industri Semen Indonesia. *Jurnal Rekayasa Proses*, 4(2), 45–50.
- Panggabean, T., Mandang, T., Nelwan, L. O., & Hermawan, W. (2023). Pengaruh Laju Umpan Bahan Bakar dan Laju Aliran Udara terhadap Kinerja Pembakaran Tungku Fixed Bed. *AgrITECH*, 43(1), 32. <https://doi.org/10.22146/agritech.70508>
- Patabang, D. (2009). Analisis kebutuhan udara pembakaran untuk membakar berbagai jenis batu bara. *Jurnal SMARTek*, 7(4), 279–282.
- Rahmawati, B., & Damayanti, R. W. (2017). Pengendalian Kualitas Produk Klinker Pada PT. XYZ Dengan Menggunakan Grafik T₂Hotteling. *Prosiding Seminar Dan Konferensi Nasional*, 365–374.
- Riskiah, D. A., & Safaruddin. (2022). *Proses Produksi Semen Portland PT.Semen Baturaja*.
- Sari, I. A. ., Pramusanto, & Sriwidayati. (2017). Analisa Klinker Berdasarkan Lime Saturation Factor (LSF), Silica Modulus (SM) dan Alumina Modulus (AM) Untuk Menjaga Kualitas Produk Di PT Cemindo Gemilang Desa Darmasari Kecamatan Bayah Kabupaten Lebak Provinsi Banten Clinker Analysis Based On Lime. *Prosiding Teknik Pertambangan*, 63–72.
- Susetyo, A. R., Nas, C., & Suliestyah. (2020). Analisis kebutuhan udara untuk pembakaran batubara pada boiler unit 3 di PLTU Suralaya. *Indonesian Mining and Energy Journal*, 3(2), 36–41. <https://doi.org/10.4028/0-87849-450-2.415>
- Syarief, A., Setiambodo, Y. B., Ramadhan, M. N., & Sabitah, A. (2020). Analisis Kebutuhan Udara Pembakaran Untuk Mengoptimalkan Proses Pembakaran Boiler Pt. Pln (Persero) Sektor Pembangkitan Asam Asam Unit 3 & Unit 4. *Info-Teknik*, 21(1), 85. <https://doi.org/10.20527/infotek.v21i1.8966>
- Sylvia, N., Saragih, M. H. L., & Azhari. (2018). Simulasi Proses Pembakaran Bahan Bakar Batubara pada Straight Burner di Unit Rotary Kiln Terhadap Distribusi Temperatur dan Total Energi Menggunakan CFD. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia (SNTK), November*, 165–172.
- Utama, M. F. ., & Zulkifli. (2020). Kalkulasi kebutuhan udara pembakaran pada turbin gas PG-9001A sebagai penyedia panas untuk pembangkitan steam di HRSG B-9203A berdasarkan kondisi fired mode. *Jurnal Reaksi*, 18(02), 1–8.
- Wahyu, D., & Sumiati, R. (2009). Analisis energi pada sistem rotary kiln Unit Indarung IV , PT . Semen Padang. *Jurnal Teknik Mesin*, 6(2), 79–91.
- Wirawan, H., & Sinaga, N. (2021). Exergy Analysis of Rotary Kiln in Cement Industry. *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, 6(1), 65–84. <https://doi.org/10.20527/sjmekinematika.v6i1.191>.