

Analisis Perpindahan Panas Tungku pada *Tunnel Kiln* untuk Proses Pembakaran Bata Merah di PT XYZ

Heat Transfer Analysis in the Tunnel Kiln for Combustion Process Red Brick at PT. XYZ

Irwan Suriaman¹, Uus Supriatna², M Rizky Anugrah³, Rohman⁴, Dede Ardi Rajab⁵, Yadi Heryadi⁶, T.B.U. Adi Subekhi⁷, Wawan^{8*}

^{1 2 3 4 5 6 7 8}Sekolah Tinggi Teknologi Wastukencana, Jalan Cikopak No. 53 Purwakarta

*Corresponding author: irwansuriaman@wastukencana.ac.id

History:

Abstrak

Keramik banyak digunakan oleh masyarakat dalam industri-industri untuk berbagai keperluan, sebagai contoh untuk membuat cangkir dan ubin. Saat ini keramik banyak digunakan pada berbagai bahan baku industri. Keramik digunakan sebagai bahan pembuatan busi, isolator listrik, dan bahan baku alat cetak. Industri keramik termasuk energi intensif dalam memanfaatkan energi listrik. Besarnya penyerapan energi berpengaruh pada besarnya biaya yang harus dikeluarkan oleh perusahaan untuk konsumsi energi. Untuk menekan biaya yang digunakan perusahaan keramik selama dalam produksi maka penggunaan energi adalah cara memperbesar efisiensi tungku pembakaran (*kiln*) tunnel. Oleh karena itu berdasarkan permasalahan tersebut riset dilakukan untuk melakukan analisis data hasil pengukuran besar laju aliran perpindahan panas secara konduksi pada ketebalan dinding, besar kerugian panas yang hilang secara konveksi di bagian luar dinding, serta besar kerugian biaya produksi yang terjadi akibat panas yang hilang. Hal ini bertujuan agar dapat diperoleh solusi penghematan energi listrik yang digunakan dalam produksi keramik. Maka didapatkan hasil dari konduksi yang paling tinggi berada pada zona *top firing* inti dari pembakaran bata merah dengan panas yang hilang mencapai 829,73 Watt. Sedangkan panas yang hilang dengan jarak 50 cm dan pada jarak 100 cm adalah zona *top firing* paling besar dalam kehilangan panasnya mencapai 0,1 MW dibanding zona yang lain. Untuk zona *preheating* mencapai 5 kW dan zona *cooling* mencapai angka 16 kW.

Kata kunci: *Tunnel kiln*, Keramik, *Heat Loss*

Abstract. Ceramics are widely used by people in industries for various purposes, for example to make cups and tiles. Currently ceramics are widely used in various industrial raw materials. Ceramics are used as materials for making spark plugs, electrical insulators, and raw materials for printing tools. The ceramics industry is energy intensive in utilizing electrical energy. The amount of energy absorption affects the amount of costs that must be incurred by companies for energy consumption. To reduce costs used by ceramic companies during production, the use of energy is a way to increase the efficiency of the tunnel kiln. Therefore, based on these problems, research was carried out to analyze the data resulting from measurements of the large flow rate of heat transfer by conduction in the thickness of the wall, the amount of heat loss lost by convection on the outside of the wall, and the amount of loss in production costs incurred due to heat loss. This aims to obtain a solution that saves electrical energy used in the production of ceramics. So it was obtained that the highest conduction was in the top firing zone of the core from burning red bricks with heat dissipation reaching 829.73 Watts. Meanwhile, the heat lost at a distance of 50 cm and at a distance of 100 cm is the top firing zone which has the greatest heat loss of up to 0.1 MW compared to the other zones. The preheating zone reaches 5 kW and the cooling zone reaches 16 kW.

Keywords: Tunnel Kiln, Ceramic, Heat Loss

1 Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Keramik adalah paduan dari unsur logam dan bukan logam. Awalnya, keramik banyak digunakan untuk membuat cangkir dan ubin. Saat ini keramik banyak digunakan sebagai bahan pembuatan busi, isolator listrik, dan bahan baku alat cetak. Keramik mampu dipakai pada temperatur tinggi. Keramik dapat dibedakan menjadi keramik tradisional dan keramik industri. Untuk rumah tangga perabotan keramik tradisional menjadi bahan pembuatan cangkir, ubin, tembok, dan roda gerinda. Sedangkan keramik industri dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan turbin, komponen otomotif dan pesawat ruang angkasa. Material dasar dari keramik yang paling tua adalah lempung. Sedangkan material dasar modernnya adalah koalin, rijang, dan felspar (Wahyudi, dkk., 2019).

Perkembangan pembakaran barang-barang keramik menunjukkan adanya perubahan metode pembakaran, yaitu dari api unggun menjadi model tungku. Model tungku bertujuan untuk lebih memudahkan pengontrolan api. Udara panas akan naik, dan ini menjadi prinsip utama pengembangan tungku saat itu, Pembakaran bata tanah liat (bata merah) dapat dilakukan dengan menggunakan tungku permanen (*furnace*) dan tungku tak permanen (Purwadi, dkk., 2017).

Setiap permukaan dinding tungku pembakaran yang memiliki temperatur yang lebih tinggi (lebih panas) bila dibandingkan temperatur sekitarnya akan mengalami pelepasan kalor atau rugi kalor (*heat loss*) sehingga menaikkan temperatur lingkungan menjadi lebih tinggi. Banyaknya panas yang hilang tergantung pada banyak faktor, tapi temperatur permukaan dan ukurannya merupakan faktor yang sangat dominan, untuk mengurangi perpindahan panas ini digunakan isolator termal (Suriaman, dkk., 2022). Kerugian energi yang terjadi dapat dikurangi dengan memberikan lapisan isolator panas yang praktis dan ekonomis pada permukaan yang memiliki beda temperatur yang besar dengan sekitarnya. Beberapa peneliti sebelumnya telah melakukan studi untuk mencari nilai rugi kalor (*heat loss*). Namun pada riset-riset sebelumnya terfokus pada besaran kerugian kalor yang terjadi tanpa menganalisis setiap bagian pada tungku pembakaran atau *kiln* (Wahyudi, dkk., 2019).

Penyerapan energi pada industri keramik cukup besar, hal itu dikarenakan industri keramik bersifat energi intensif. Besarnya penyerapan energi berpengaruh pada besarnya biaya yang harus dikeluarkan untuk konsumsi energi (Afrizal, 2016). Semakin besar biaya yang dikeluarkan akan memperkecil margin keuntungan perusahaan. Jika biaya untuk konsumsi energi dapat ditekan, dengan demikian keuntungan perusahaan dapat ditingkatkan. Salah satu cara untuk menekan biaya penggunaan energi adalah dengan memperbesar efisiensi tungku pembakaran (Wiyatno, dkk., 2017).

1.2 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui laju aliran secara konduksi pada tungku pembakaran
2. Mengetahui panas yang hilang secara konveksi di luar dinding tungku pembakaran
3. Mengetahui kerugian produksi akibat panas yang hilang

1.3. Batasan Masalah

Untuk penelitian ini lebih terarah penyusun membatasi masalah dalam penelitian dalam ruang lingkup hanya berfokus pada:

1. Hanya berfokus menghitung perpindahan panas pada tungku pembakaran untuk *tunnel kiln* di bagian daerah pembakaran
2. *Tunnel kiln* yang di fokuskan hanya pada zona *preaheating*, *top firing* dan zona *cooling*

2 Kajian Pustaka

2.1 Tungku Pembakaran (*Furnace*)

Tungku pembakaran adalah sebuah perangkat yang digunakan untuk pemanasan. Tungku berasal dari bahasa latin *fornax* yaitu oven. Kadang-kadang orang juga menyebutnya dengan *kiln* (Manalu, 2019). *Furnace* sendiri sering dianalogikan dengan *furnace* sebagai keperluan industri yang digunakan untuk banyak hal, seperti pembuatan keramik, ekstraksi logam dari bijih (*smelting*) atau di kilang minyak dan pabrik kimia lainnya, misalnya sebagai sumber panas untuk kolom *distilasi fraksional* (Aresandi, 2015).

2.2 Ruang Pembakaran (*Furnace*)

Furnace adalah dapur sebagai penerima panas bahan bakar untuk pembakaran, yang terdapat *fire gate* di bagian bawah sebagai alas bahan bakar dan yang sekelilingnya adalah pipa-pipa air ketel yang menempel pada dinding tembok ruang pembakaran yang menerima panas dari bahan bakar secara radiasi, konduksi, dan konveksi (Taufiqullah, 2021). *Furnace* adalah sebuah peralatan yang digunakan untuk melelehkan logam untuk pembuatan bagian mesin (*casting*) atau untuk memanaskan bahan serta mengubah bentuknya, misalnya untuk *rolling* atau penggulangan, penempaan, atau mengubah sifat-sifatnya melalui perlakuan panas (Aresandi, 2015)

2.3 Proses Pembakaran

Pembakaran dapat didefinisikan sebagai kombinasi reaksi kimiawi dari unsur oksigen dengan unsur yang mudah terbakar dari bahan bakar (reaksi oksidasi) yang berlangsung secara cepat maupun lambat pada suhu dan tekanan tertentu (Azhari, 2016). Pada reaksi oksidasi yang berlangsung cepat dihasilkan sejumlah energi elektromagnetik (cahaya), energi panas dan energi mekanik (suara) pada semua jenis pembakaran. Untuk kondisi campuran udara dan bahan bakar merupakan faktor utama yang harus diperhatikan untuk mendapatkan campuran yang sempurna. Pada reaksi pembakaran pada unsur-unsur yang dapat terbakar dari bahan bakar menghasilkan pembebasan energi yang tergantung pada produk pembakaran yang terbentuk tiga unsur utama yang dapat terbakar pada sebagian besar bahan bakar adalah karbon, hidrogen, dan belerang (Ibrahim, 2018).

2.4 Rumus-Rumus yang Digunakan

- a. Perpindahan panas konduksi (Wahyudi, dkk., 2019) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$q_x = -kA \frac{dt}{dx} \quad (1)$$

Dimana:

q_x = laju perpindahan panas konduksi (Watt)

k = konduktivitas thermal (W/ m.⁰C)

A = luas penampang yang tegak lurus dengan arah laju perpindahan panas (m²)

dt = perubahan suhu (⁰C)

dx = ketebalan bahan (m)

- b. Perpindahan panas konveksi (Wahyudi, dkk., 2019) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$q = \bar{h} \times A_s \times (T_s - T^\infty) \quad (2)$$

Dimana :

q = laju perpindahan panas (Watt)

\bar{h} = koefisien perpindahan panas (W/ m².⁰C)

A_s = luas perpindahan panas (m²)

T_s = temperatur dinding (⁰C)

T^∞ = temperatur sekeliling (⁰C)

3 Hasil Analisis dan Pembahasan

3.1 Hasil Perhitungan Panas Konduksi dan Konveksi

Data yang diperoleh dari observasi dan pengambilan data, kemudian dianalisis sehingga distribusi perpindahan panas diperoleh yang terdapat pada Tabel 1 sampai Tabel 5. Terdapat fluktuasi nilai kalor pada setiap pengukuran. Hal ini akibat terjadi pemanasan pada *kiln* sehingga transfer panas terjadi pada setiap bagian yang dianalisis.

3.2.1 Laju Aliran Panas Secara Konduksi

Untuk menghitung laju aliran panas secara konduksi ini hanya menghitung 3 zona bagian dalam tungku pembakaran yaitu zona *preaheating*, zona *top firing* dan zona *cooling*. Berikut hasil perhitungan laju aliran panas secara konduksi sebagai berikut:

a. Zona *Preheating* 1

Berdasarkan hasil pengukuran dari *kiln* pada beberapa variabel dapat diperoleh sebagai berikut:

$$k = 0,36 \text{ w/m}$$

$$A = 108,432 \text{ m}^2$$

$$T_1 = 350 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_2 = 41,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta x = 46 \text{ cm}$$

Sehingga dapat dihitung untuk:

$$q_x = k \cdot a \frac{\Delta t}{\Delta x}$$

$$q_x = \frac{(T_1 - T_2)}{\frac{\Delta x}{K \cdot A}}$$

$$q_x = \frac{(350 - 41,1)}{\frac{46}{0,36 \times 108,432}} = 261,36 \text{ W}$$

Untuk zona *preaheating* 1 laju aliran panas secara konduksi yaitu 261,36 Watt. Hasil perhitungan zona *preaheating* menentukan laju aliran panas secara konduksi. Untuk hasil dari zona *top firing* dan zona *cooling* ada dalam tabel, dimana untuk cara analisis sama dengan contoh perhitungan zona *preaheating*.

Tabel 1. Hasil perhitungan laju aliran secara konduksi

Lokasi	Laju aliran panas konveksi (kW)					
	<i>Preheat 1</i>	<i>Preheat 2</i>	<i>Preheat 3</i>	<i>Top firing</i>	<i>Cooling 1</i>	<i>Cooling 2</i>
Dinding	261,36 ±	263,82 ±	263,99 ±	829,73 ±	275,17 ±	275,23 ±
Luar	21,15	13,16	19,21	11,17	15,14	11,17

Tabel 1 hasil perhitungan laju aliran panas secara konduksi di atas, menunjukkan bahwa hasil dari perhitungan secara konduksi panas yang hilang paling besar berada pada zona *top firing*. Dimana zona *top firing* adalah zona yang benar benar fokus pada proses pembakaran dengan temperatur panas yang tinggi.

3.2.2 Laju Aliran Panas Secara Konveksi

Pada analisis laju aliran panas secara konveksi ini hanya menghitung 3 zona bagian dalam tungku pembakaran yaitu zona *preaheating*, zona *top firing* dan zona *cooling* (Wiyatno, dkk., 2017). Berikut hasil perhitungan laju aliran panas secara konveksi setelah dilakukan pengambilan data beberapa variabel pada *kiln*.

$$\begin{aligned} q &= h.A (\Delta t) \\ &= h.A (T_f - T_{00}) \\ &= 0,778048406 \times 20,799 (350 - 40,2) \\ &= 16,1826288 \times (309,8) \\ &= 5,01 \text{ kW} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan untuk zona *preaheating* 1 laju aliran panas secara konveksi jarak 50 cm dari *kiln* yaitu 5,01 kW. Untuk daerah *preaheating* zona *preaheating* menentukan laju aliran panas secara konveksi dengan jarak 50 cm. Untuk hasil dari zona *top firing* dan zona *cooling* ada dalam Tabel 2, untuk cara perhitungannya sama dengan contoh perhitungan zona *preaheating*. Hasil riset-riset ini belum pernah dilakukan oleh periset pada setiap zona dari area *kiln*.

Tabel 2. Hasil perhitungan laju aliran secara konveksi jarak 50 cm

Lokasi	Laju aliran panas konveksi (kW)					
	<i>Preheat 1</i>	<i>Preheat 2</i>	<i>Preheat 3</i>	<i>Top firing</i>	<i>Cooling 1</i>	<i>Cooling 2</i>
Dinding luar	5,01 ±	5,05 ±	5,06 ±	107,44 ±	16,39 ±	16,35 ±
jarak 50 cm	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15

Pada Tabel 2 hasil perhitungan laju aliran panas secara konveksi jarak 50 cm di atas, menunjukkan bahwa hasil dari perhitungan secara konveksi panas yang hilang paling besar berada pada zona *top firing*. Dimana zona *top firing* ini untuk panas yang hilang sangat besar dalam jarak 50 cm ini hal ini karena area *top firing* sumber panas dari *kiln*.

$$\begin{aligned} q &= h.A (T_f - T_{00}) \\ &= 0,778048406 \times 20,799 (350 - 39,8) \\ &= 16,1826288 \times (310,2) \\ &= 5,02 \text{ kW} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan zona untuk zona *preaheating* 1 laju aliran panas secara konveksi jarak 100 cm dari *kiln* yaitu 5,02 kW untuk daerah *preaheating*. Pada Daerah *preaheating* menentukan laju aliran panas secara konveksi dengan jarak 100 cm perhitungan sama saja dengan jarak 50 cm. Untuk hasil dari zona top firing dan zona *cooling*. Untuk cara perhitungannya sama dengan contoh perhitungan zona *preaheating*.

Tabel 3. Hasil perhitungan laju aliran secara konveksi jarak 100 cm

Lokasi	Laju aliran panas konveksi (kW)					
	<i>Preheat 1</i>	<i>Preheat 2</i>	<i>Preheat 3</i>	<i>Top firing</i>	<i>Cooling 1</i>	<i>Cooling 2</i>
Dinding	5.019,9 ±	5.058,7 ±	5.097,5 ±	107.716,1 ±	16.411,7 ±	16.363,9 ±
luar jarak 100 cm	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15

Dari Tabel 3 hasil perhitungan laju aliran panas secara konveksi jarak 100 cm di atas, menunjukkan bahwa hasil dari perhitungan secara konveksi panas yang hilang paling besar berada pada zona top *firing*. Dimana zona top *firing* ini untuk panas yang hilang sangat besar dalam jarak 100 cm ini.

3.2.3 Menghitung Kerugian Biaya Produksi Akibat Panas Yang Hilang

Untuk menghitung kerugian biaya produksi yaitu dengan cara menghitung panas yang hilang pada jarak 50 cm dan 100 cm yang sudah diketahui jumlahnya, lalu dibagi dengan kalori batu bara, lalu dikalikan dengan harga batu bara per kilogram.

1. Menghitung bagian zona *preaheating* 1, 2, dan 3 pada jarak 50 cm

$$\frac{5.013,3784}{5.900} \times 1.600$$

$$= 1,36 \text{ kW / kilo kalori hasil dari zona } \textit{preaheating} \text{ 1}$$

$$\frac{5.045,74366}{5.900} \times 1.600$$

$$= 1,37 \text{ kW / kilo kalori hasil dari zona } \textit{preaheating} \text{ 2}$$

$$\frac{5.055,45324}{5.900} \times 1.600$$

$$= 1,37 \text{ kW/ kkalori untuk hasil dari zona } \textit{preaheating} \text{ 3}$$

Hasil perhitungan biaya produksi akibat panas yang hilang pada zona *preaheating* pada jarak 50 cm, dan untuk zona top *firing* dan zona *cooling*nya selebihnya sama caranya seperti itu dan hasilnya sudah ditabelkan.

Tabel 4. Kerugian biaya produksi akibat panas yang hilang jarak 50 cm

Lokasi	Laju aliran panas konveksi (kW/ kkalori)					
	<i>Preheat 1</i>	<i>Preheat 2</i>	<i>Preheat 3</i>	<i>Top firing</i>	<i>Cooling 1</i>	<i>Cooling 2</i>
Dinding	1,36 ±	1,37 ±	1,37 ±	29,14 ±	4,45 ±	4,43 ±
luar jarak 50 cm	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15

Pada Tabel 4 hasil perhitungan kerugian biaya produksi jarak 50 cm di atas, menunjukkan bahwa hasil dari perhitungan kerugian biaya produksi paling besar berada pada zona *top firing*. Pada zona *top firing* ini untuk kerugian biaya sangat besar dalam jarak 50 cm dengan berada pada angka 30 kW/ kkalori. Hal ini karena kelajuan kalor yang dihasilkan pada zona *top firing* paling besar. Tentunya hal ini menjadi sangat penting untuk diperhatikan untuk menurunkan biaya produksi dalam pembuatan keramik.

2. Menghitung bagian *preaheating* 1, 2, dan 3 jarak 100 cm

$$\frac{5.019,85145}{5.900} \times 1.600$$

$$= 1,36 \text{ kW/ kkalori hasil dari zona } \textit{preaheating} 1$$

$$\frac{5.058,68976}{5.900} \times 1.600$$

$$= 1,37 \text{ kW / kkalori hasil dari zona } \textit{preaheating} 2$$

$$\frac{5.097,52807}{5.900} \times 1.600$$

$$= 1,38 \text{ kW / kkalori hasil dari zona } \textit{preaheating} 3$$

Hasil perhitungan biaya produksi akibat perhitungan panas yang hilang pada zona *preaheating* pada jarak 100 cm, dan untuk zona *top firing* dan zona *cooling*nya selebihnya sama cara yang sama untuk hasil yang ditabelkan.

Tabel 5. Kerugian biaya produksi akibat panas yang hilang jarak 100 cm

Lokasi	Laju aliran panas konveksi (kW/ kkalori)					
	<i>Preheat 1</i>	<i>Preheat 2</i>	<i>Preheat 3</i>	<i>Top firing</i>	<i>Cooling 1</i>	<i>Cooling 2</i>
Dinding	1,36 ±	1,37 ±	1,38 ±	29,21 ±	4,45 ±	4,44 ±
luar jarak 100 cm	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15

Dari Tabel 5 hasil perhitungan kerugian biaya produksi jarak 100 cm di atas, menunjukkan bahwa hasil dari perhitungan kerugian biaya produksi paling besar berada pada zona *top firing*. Dimana zona *top firing* ini untuk kerugian biaya sangat besar dalam jarak 50 cm dengan berada di angka hamper 30 kW/ kkalori yang digunakan. Hal ini menjadi bahan analisis yang penting untuk menurunkan biaya produksi dalam pembuatan keramik. Salah satu cara dapat ditempuh dengan menggunakan isolasi termal yang baik pada *kiln* sehingga proses perpindahan energi ke lingkungan dapat diminimalisir.

4 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian serta analisis data yang telah dilakukan pada pengolahan data maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Untuk laju aliran panas secara konduksi panas yang hilang paling besar berada pada zona *top firing*, dengan zona *top firing* inti dari pembakaran bata merah yang panas yang hilang mencapai 829,73 W.
2. Untuk panas yang hilang secara konveksi masih terjadi panas yang hilang pada zona *top firing* pada jarak 50 cm dan 100 cm mencapai 100 kW, karena *top firing* inti pembakaran bata merah, maka dari itu zona *top firing* paling besar dalam kehilangan panas yang mencapai 100 kW jika dibanding zona yang lain. Untuk zona *preheating* mencapai 5 kW dan zona *cooling* mencapai angka 16 kW.
3. Kerugian biaya produksi juga sangat besar dalam kehilangan panas pada saat proses pembakaran yang didasarkan pada analisis kerugian energi yang terjadi pada *kiln*.

Referensi

- Afrizal, E., & Aziz, A. (2016). Kaji Ekperimental Perangkat Pengereng Surya (Solar Dryer) Jenis Pemanasan Tidak Langsung Dengan Penyimpan Panas Berubah Fasa Menggunakan Rak Bertingkat.
- Aresandi, R. (2015). Makalah *Furnace* dalam jurnal yang diakses dokumen.com: <https://fdokumen.com/document/rizky-aresandi-makalah-furnace.html>
- Azhari, H. W. (2016). Makalah "*Pembuatan Batu Bata*", dari blogspot.com: <http://hardiantiwindaazhari.blogspot.com/2016/12/makalah-pembuatan-batu-bata.html>
- Ibrahim, F. (2018). Studi Ekperimental Pengaruh Buka-an Katup *Burner Non Premix* Dan Penambahan Selubung Udara Terhadap Distribusi Temperatur *Non Premix "Turbulen Flame"*
- Manalu, S. (2019). Analisis Karakteristik Perpindahan Panas dan Faktor Gesekan pada Shell dan Tabung Alat Penukar Panas Tipe 1-2 Pass di PT. Indonesia Power UJP PLTU Pangkalan Susu.
- Purwadi, D. P. D., Sediono, W. S. W., Darmanto, S. D. S., & Haryadi, G. D. H. G. D. (2017). Aplikasi Tungku Tak Permanen Untuk Pembakaran Bata Merah. *INFO*, 16(1), 13-19.

- Purnama, D., Nugraha, R., Rizkia, Vika., (2022). Analisis Perbandingan Laju Perpindahan Panas antara *Stainless Steel* dengan CuNi pada *Air Cooler* Generator PLTA. *Jurnal Teknologika*, 2022-12(2) 205-215.
- Suriaman, I., Suprayitno, A., Hermanto, A., (2022). Analisis Pengaruh Laju Uap terhadap Efisiensi Turbin Uap Condensing pada PLTU PT. XXX. *Jurnal Teknologika*, 2022-12(2) 205-215
- Taufiqullah. (2021). Pengertian Tungku, dalam jurnal yang diakses dari tneutron.net: <https://www.tneutron.net/seni/pengertian-tungku>.
- Wahyudi, W., Ajiwiguna, T. A., & Qurthobi, A. (2019). Evaluasi Metode Prediksi Rugi Kalor Pada Plat Yang Terisolasi. *eProceedings of Engineering*, 6(2).
- Wiyatno, T. N., Amalia, P. R., & Haryanti, D. (2017). Analisis Efisiensi Panas Tununnel Kiln pada PT. XYZ dengan Neraca Massa dan Energi, 6(2), 65-74.