



Peleburan Bijih Timah menggunakan *Reverberatory furnace* di Unit Metalurgi Muntok

(*Tin Ore Melting using a Reverberatory furnace in the Muntok Metallurgy Unit*)

Triana Prihatin¹, Galeh Satriando²

^{1,2} Akademi Komunitas Industri Pertambangan Bukit Asam, Indonesia

¹triana.prihatin@akipba.ac.id, ²galehsatriando28@gmail.com

Penulis Korespondensi: Triana Prihatin | **Email:** triana.prihatin@akipba.ac.id

Diterima (*Received*): 18/08/2024 | Direvisi (*Revised*): 18/08/2024 | Diterima untuk Publikasi (*Accepted*): 30/08/2024

ABSTRAK

Proses peleburan bijih timah di Unit Metalurgi Muntok PT Timah Tbk menggunakan *Reverberatory furnace*. Meskipun teknologi ini telah mapan, masih terdapat tantangan dan area perbaikan yang perlu diidentifikasi dan diatasi. Fokus utama adalah pada efisiensi, keberlanjutan, dan kualitas produk akhir dalam proses peleburan bijih timah. Proses ini melibatkan beberapa tahapan penting seperti pencucian bijih timah, peningkatan kadar bijih, dan tahap peleburan dengan tata cara yang terperinci. Indonesia, sebagai produsen timah terbesar kedua di dunia, memiliki peran signifikan dalam industri ini, dengan PT Timah Tbk sebagai pemimpin utama dalam ekstraksi dan pengolahan timah. Dengan lebih dari 98% hasil produksi timah diekspor, Indonesia memiliki potensi besar sebagai pemasok timah untuk pasar global. Permintaan yang terus meningkat untuk logam timah menjadikannya komoditas yang sangat diperlukan dalam berbagai industri. Oleh karena itu, upaya untuk meningkatkan efisiensi proses, mengurangi dampak lingkungan, dan memastikan kualitas produk akhir menjadi hal yang penting dalam industri peleburan bijih timah.

Kata Kunci: bijih timah; *Reverberatory furnace*; metalurgi

ABSTRACT

The tin smelting process at PT Timah Tbk's Muntok Metallurgical Unit uses a *Reverberatory furnace*. Although this technology has been developed, there are still challenges and areas of improvement that need to be identified and addressed. The main focus is on efficiency, shortages, and quality of the final product in the lead smelting process. This process involves several important stages such as washing the tin, increasing the level of preservation, and the melting stage with detailed procedures. Indonesia, as the second largest tin producer in the world, has an important role in this industry, with PT Timah Tbk as the main leader in tin extraction and processing. With more than 98% of tin production exported, Indonesia has great potential as a tin supplier for the global market. The ever-increasing demand for tin makes it a much-needed commodity in various industries. Therefore, efforts to increase process efficiency, reduce environmental impact, and ensure the quality of the final product are important in the tin smelting industry.

Keywords: tin ore; *Reverberatory furnace*; metallurgy

© Author(s) 2024. This is an open-access article under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License (CC BY-SA 4.0).

1. Pendahuluan

Indonesia memiliki peran penting dalam industri penambangan timah global dan menjadi produsen timah terbesar kedua setelah Cina dalam dekade terakhir. Kontribusi signifikan Indonesia terhadap produksi timah global memengaruhi pasokan dan harga di pasar internasional. PT Timah Tbk, sebagai perusahaan terbesar di sektor ini, selalu berada di tiga besar produsen timah dunia dan mengekspor lebih dari 98% produksinya (Irzon, 2021). Permintaan yang meningkat untuk timah

menjadikannya komoditas penting dalam berbagai industri seperti elektronik, bahan bangunan, dan otomotif. Indonesia, dengan cadangan timah yang besar, berperan signifikan dalam industri ini, dengan PT Timah Tbk sebagai pemimpin utama dalam ekstraksi dan pengolahan timah, serta berperan kunci dalam memenuhi permintaan global.

Proses metalurgi ekstraksi timah di PT Timah Tbk melibatkan serangkaian langkah kompleks yang dimulai dari penambangan hingga pengolahan akhir (Wibisana, 2016; Zulhan, 2017; Sukamto & Hutomo, 2021). Setelah

bijih timah diekstraksi dari deposit alaminya, proses pengolahan dimulai di fasilitas PT Timah Tbk. Salah satu unit metalurgi yang penting adalah di Muntok, di mana bijih timah dilebur menggunakan *Reverberatory furnace*. Metode ini melibatkan pemanasan bijih dalam tungku khusus yang dirancang untuk memisahkan logam dari bahan-bahan lainnya. Meskipun telah menjadi teknologi yang mapan, proses ini masih memiliki tantangan dan area perbaikan yang perlu diidentifikasi dan diatasi.

Salah satu permasalahan yang muncul adalah efisiensi dan keberlanjutan proses peleburan bijih timah menggunakan *Reverberatory furnace* di Unit Metalurgi Muntok PT Timah Tbk. Meskipun metode ini telah digunakan selama bertahun-tahun, tetap ada ruang untuk peningkatan efisiensi proses, pengurangan dampak lingkungan, dan peningkatan kualitas produk akhir. Pertanyaan tentang bagaimana meningkatkan efisiensi penggunaan energi, mengurangi emisi gas rumah kaca, dan memastikan kualitas timah yang dihasilkan memenuhi standar internasional adalah beberapa dari banyak pertimbangan yang perlu dijawab.

Penelitian secara khusus tentang *reverberatory furnace* di industri peleburan bijih timah belum banyak ditemukan, terutama yang berfokus pada efisiensi proses. Ada beberapa penelitian yang dilakukan di peleburan industri logam sejenis seperti nikel dan aluminium. Penelitian Cabascango & Bazhin (2020) menunjukkan bahwa dengan mengoptimalkan komposisi gas alam dan konfigurasi pembakar, resirkulasi gas buang dapat ditingkatkan, yang berkontribusi pada peningkatan kandungan panas dalam logam cair serta efisiensi keseluruhan dalam proses pemurnian nikel. Pada tahun berikutnya, Cabascango & Bazhin (2021) menekankan pentingnya mengatur jumlah udara berlebih secara optimal untuk mencapai pembakaran gas alam yang sempurna. Mereka menyoroti bahwa pengaturan yang tidak tepat, baik terlalu banyak atau terlalu sedikit udara berlebih, dapat menurunkan efisiensi, baik melalui penurunan suhu saluran keluar atau pembakaran yang tidak sempurna. Penelitian Sharikov & Cabascango (2021) fokus pada analisis proses rumit dalam tungku *reverberatory*, dengan mengembangkan model berdasarkan data eksperimen untuk memahami hubungan antara laju penyerapan panas, peleburan, pemasakan, dan efisiensi energi. Mereka mempelajari keseimbangan energi dalam proses peleburan dan retensi, serta bagaimana perpindahan panas melalui radiasi termal dan konveksi dipengaruhi oleh sifat aliran lokal seperti tekanan, suhu, dan kecepatan gas. Benedict, A. O., & Bernard, A. O. (2023) membahas desain dan konstruksi tungku *reverberatory* berbahan bakar gas untuk mendaur ulang potongan aluminium yang sering digunakan dalam produk otomotif dan kemasan. Tungku ini didesain untuk mempertahankan sebanyak mungkin panas, karena kehilangan panas dapat mengurangi efisiensi peleburan, meningkatkan konsumsi energi, dan memperpanjang waktu peleburan. Penelitian-

penelitian ini menunjukkan perkembangan yang signifikan dalam optimasi proses peleburan dan pemurnian logam, dengan fokus pada peningkatan efisiensi energi dan kualitas hasil akhir melalui pengaturan komposisi bahan bakar, udara, serta desain tungku.

Adapun tujuan dari penulisan artikel ini adalah untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi proses, dampak lingkungan, dan kualitas produk akhir dalam proses peleburan bijih timah di PT Timah Tbk menggunakan *Reverberatory furnace*.

2. Metodologi

Proses pengolahan bijih timah dengan kadar Sn 20-30% di Pusat Pencucian Bijih Timah melibatkan beberapa tahapan penting (Wibisana, 2016). Berdasarkan instruksi kerja peleburan Timah (Unit Metalurgi, 2018), pertama, bijih timah yang dihasilkan dari tambang laut dan tambang darat diproses di Pusat Pencucian Bijih Timah untuk dipisahkan dari mineral ikutan lainnya. Kedua, kadar bijih timah ditingkatkan hingga mencapai 70-72% sebagai syarat utama peleburan. Dan selanjutnya, proses peningkatan kadar bijih timah ini diperlukan untuk mendapatkan produk akhir berupa logam timah berkualitas dengan kadar Sn yang tinggi dan kandungan pengotor (impurities) yang rendah. Dalam hal ini, Pusat Pencucian Bijih Timah memegang peran penting dalam mempersiapkan bijih timah dengan kadar yang optimal untuk proses selanjutnya yaitu peleburan menggunakan *Reverberatory furnace*.

2.1. *Reverberatory furnace*

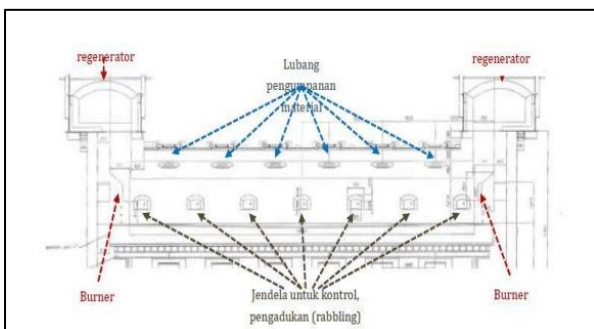
Reverberatory furnace atau disebut juga dengan *Fixed Hearth Furnace* merupakan peralatan yang digunakan untuk proses peleburan berbagai bahan baku logam sehingga menghasilkan logam baru dengan komposisi unsur tertentu (Weiss, 1985). Konstruksi *Reverberatory furnace* yang digunakan pada PT. Timah Tbk dapat dilihat pada Gambar 1 (Unit Metalurgi, 2019) dan Gambar 2. Pemilihan bahan bakar sangat penting karena gas buang dari bahan bakar bersentuhan langsung dengan bahan mentah. Misalnya, beberapa bahan mungkin tidak tahan terhadap sulfur dalam bahan bakarnya. Bahan bakar padat dapat menghasilkan partikel yang dapat mengganggu bahan mentah yang ditempatkan di dalam tungku. Pada tungku peleburan di PT. Timah Tbk, bahan bakar cair khususnya Bahan Bakar Minyak dengan kekentalan tinggi digunakan karena biayanya lebih murah dan pembakarannya efisien. Konstruksi lapisan tungku membentuk struktur tungku dan terdiri dari:

- 1) Perapian Utama: Terbuat dari bahan tahan api alumina tinggi, posisi lantai yang miring memungkinkan timah dan terak yang dihasilkan mengalir menuju lubang sadapan.

- 2) Falls Hearth: Dibangun dari bahan tahan api alumina, posisi lantai yang miring memudahkan pembuangan tetesan timah dari perapian utama.
- 3) Dinding: Dinding depan dilengkapi 2 lubang sadapan, dinding belakang terdapat 7 pintu *Rabbling*, dan blok pembakar dengan 3 pipa air pendingin masing-masing di dinding kiri dan kanan. Dinding bawah menggunakan bahan tahan api magnesit yang bersentuhan dengan timah dan terak, sedangkan dinding atas menggunakan bahan tahan api alumina tanpa kontak langsung dengan timah dan terak.
- 4) Atap: Atap melengkung, ditempatkan 1,2 - 1,6 meter di atas lantai, berisi 12 lubang pengisian untuk memasukkan material ke dalam tungku. Bahan tahan api alumina tinggi digunakan untuk atap.
- 5) Up take dan Cross Flue: Saluran ini mengangkut gas buang dan produk samping reaksi dari tungku ke regenerator yang terletak di atas blok burner di dinding kiri dan kanan, menggunakan bahan tahan api alumina.
- 6) Regenerator: Struktur tahan api yang digunakan untuk menangkap panas dari gas buang tungku, yang kemudian digunakan untuk memanaskan udara pembakaran. Setiap tungku dilengkapi dengan dua buah regenerator yang beroperasi secara bergantian.

Konstruksi dan komponen *Reverberatory furnace* ini berperan penting dalam efisiensi dan efektivitas proses peleburan logam. *Reverberatory furnace* memiliki dua fungsi utama:

- 1) Tempat peleburan (smelting): Tempat di mana terjadi perubahan kimia akibat temperatur tinggi, seperti reaksi reduksi dari oksida logam menjadi logam cair.
- 2) Tempat melebur: Tempat di mana terjadi perubahan fisik karena peningkatan temperatur dari keadaan padat menjadi cair, misalnya pencairan logam timah dari bentuk padat menjadi cair.



Gambar 1. Lay out Reverberatory furnace



Gambar 2. Konstruksi Reverberatory furnace

2.2. Pengoperasian Peleburan Bijih Timah Menggunakan Reverberatory furnace

Operasi proses Peleburan Bijih Timah menggunakan *Reverberatory furnace* melibatkan beberapa langkah dan pertimbangan utama. Tungku Reverberatori berfungsi sebagai peralatan utama untuk proses ekstraksi pirometalurgi, mengisolasi material yang sedang diproses dari kontak langsung dengan bahan bakar tetapi tidak dari gas pembakaran. Proses operasionalnya meliputi pengisian komposisi bijih timah ke dalam tungku, peleburan bijih, dan penyadapan timah cair. Parameter seperti tekanan tungku, pengaturan burner, pasokan udara, dan jenis bahan bakar sangat penting untuk pengoperasian yang efisien. Penggunaan bahan bakar minyak tertentu, laju aliran udara, dan pengendalian suhu merupakan faktor penting dalam mencapai hasil timah yang diinginkan. Selain itu, konstruksi dan lapisan tungku memainkan peran penting dalam mengarahkan aliran timah cair dan terak untuk pemrosesan yang efektif.

Tahapan operasional pengisian material (charge material) ke dalam *Reverberatory furnace* pada saat peleburan bijih timah meliputi dua tahap yaitu Charge A dan Charge B. Charge A terdiri dari pengisian tungku dengan komposisi tertentu dari hopper setelah penyadapan C, dan dilakukan *Rabbling* untuk pemerataan material. Muatan B diisi di lain waktu, mengikuti proses pengisian komposisi dan penggerusan yang serupa. Peralatan pengisi daya mencakup alat pelindung diri dan peralatan teknis seperti tongkat pengisi daya. Proses pengisian daya meliputi menyiapkan peralatan dan alat pelindung diri, menyesuaikan pengaturan panel instrumen, memeriksa katup pengatur, membuka pintu pengisian daya tertentu, menurunkan material dari hopper, dan memastikan penutupan pintu pengisian daya dengan benar. Setelah proses pengisian selesai, pembakar tungku diaktifkan kembali, dan area tersebut dibersihkan. Prosedur pengisian A dan B sama.



Gambar 3. Hopper Tanur

Tahap selanjutnya adalah *Rabbling*. *Rabbling* adalah proses optimalisasi pencampuran material utama (bijih timah, antrasit, dan batu kapur) dan material yang bersirkulasi di dalam tungku. Fungsinya antara lain mempercepat reaksi antara bijih timah, antrasit, batu kapur, dan sirkulasi material, mempercepat aliran material dalam tungku untuk pencapaian suhu yang lebih cepat, dan memfasilitasi proses peleburan material untuk memastikan penyadapan tepat waktu. Perlengkapan untuk *Rabbling* meliputi alat pelindung diri (helm, sarung tangan, sepatu safety, celemek, masker, dan kaca mata safety) dan peralatan teknis berupa alat *Rabbling* besi solid hexagonal yang didesain seperti garpu dengan panjang 6 meter. Tata cara *Rabbling* meliputi penggunaan alat pelindung diri, menurunkan besi yang belum dirabble ke lantai *Rabbling* agar mudah digunakan, meletakkan setrika di atas roller sebagai penyangga, membuka pintu *Rabbling*, memeriksa material tungku, memposisikan pekerja di kedua sisi untuk mengacak-acak, mengarahkan setrika ke bagian material penuh, dan mengulangi proses untuk semua pintu mengacak-acak. Setelah kegiatan *Rabbling* selesai, blok *Rabbling* harus dibersihkan, dan pintu *Rabbling* ditutup rapat. Peralatan *Rabbling* dan prosedur untuk Charge B sama.



Gambar 4. Proses *Rabbling*

Tahapan selanjutnya adalah *Tapping*, yaitu proses pengambilan Timah cair (Sn) dan terak I dalam satu kali kampanye peleburan bijih Timah. Ada tiga tahap penyadapan dalam operasi peleburan bijih timah:

- 1) *Tapping A*: Melibatkan ekstraksi hanya timah mentah empat jam setelah pengisian A untuk mengurangi volume material dalam tungku sebelum pengisian B.
- 2) *Tapping B*: Melibatkan pengambilan timah mentah jika penyadapan A berhenti karena muatan B atau aliran terak. Peralatan dan tata cara penyadapan A dan B sama.
- 3) *Tapping C*: Melibatkan pengambilan seluruh bahan, termasuk timah/timah mentah dan terak I (dengan kandungan Sn 20-25%), untuk mengosongkan tungku untuk siklus berikutnya.

Perlengkapan *Tapping* meliputi alat pelindung diri (helm, masker, sarung tangan, celemek, sepatu safety, kaca mata, dan pelindung wajah) dan peralatan teknis seperti pelampung, perapian depan, steiger, kakap, alat sadap, tanah liat, kayu, pipa, dan oksigen. Tata cara *Tapping* meliputi penyiapan peralatan, pemeriksaan dan pembersihan komponen tungku, pelaksanaan operasi *Tapping*, dan menjamin kelancaran aliran timah ke dalam tungku depan. Selain itu, selama *Tapping C*, petugas harus memantau aliran terak atau timah di atas saluran *Tapping*, membersihkan sumbatan, dan mengendalikan aliran berlebih. Setelah *Tapping C*, sangat penting untuk membersihkan sampah di tungku depan, menutup lubang sadapan atas, dan memindahkan timah yang terkumpul di pelampung ke area pemurnian menggunakan alat berat crane.



Gambar 5. Proses *Tapping*

Dalam peleburan bijih timah, parameter utamanya adalah sebagai berikut:

- 1) Suhu: Suhu proses yang dibutuhkan adalah 1350 °C dengan kenaikan 40 °C per jam untuk memudahkan penyadapan A dan penyadapan C. Merine Fuel Oil (MFO) dan antrasit masing-masing digunakan sebagai bahan bakar dan peredam.
- 2) Draf Tungku: Draf operasional yang ideal untuk tungku peleburan bijih timah adalah 25-35 mm H₂O. Fungsi

draft adalah untuk mengekstraksi gas pembakaran menggunakan exhaust fan, mengarahkannya ke filter untuk memisahkan produk samping reaksi.

- 3) Tekanan Tungku: Tekanan yang dipasang harus -0,02 inci Pengukur air, dan tekanan gas buang harus di bawah 7000°C untuk mengurangi beban draft tungku.
- 4) Pembakar: Pembakar terdiri dari pipa berukuran ¾ inci, kepala pembakar, dan nozel berukuran 1,3 mm dan 1,4 mm. Ini menyemprotkan dan mencampur bahan bakar dengan udara sebelum pembakaran. Perhatian harus diberikan untuk menghindari mengarahkan api ke atap.
- 5) Pasokan Udara: Pasokan udara untuk peleburan bijih timah diatur pada 6000 m³/jam, dapat disesuaikan hingga 7000 m³/jam berdasarkan suhu yang diperlukan. Pemanasan udara dilakukan dengan menggunakan regenerator.
- 6) Bahan Bakar: Merine Fuel Oil (MFO) adalah bahan bakar yang digunakan dengan tekanan operasional 25-30 bar dan laju aliran 100-200 l/jam.

Parameter ini sangat penting untuk pengoperasian proses peleburan bijih timah yang efisien dan aman.

3. Pembahasan

Dari tahapan-tahapan dalam peleburan bijih timah menggunakan *Reverberatory furnace* terdapat beberapa langkah penting yang harus diperhatikan.

- 1) Charge Material
 - a. Charge A: Pengisian material komposisi dari hopper ke dalam tanur setelah kegiatan *Tapping C* selesai. *Rabbling* dilakukan setiap jam sekali dengan target jam ke-5 setelah charge material sudah merata sempurna.
 - b. Charge B: Pengisian material komposisi dari hopper ke dalam tanur pada jam ke-6 setelah charge A. *Rabbling* dilakukan setiap jam sekali dengan target jam ke-10 material sudah merata sempurna.
- 2) *Tapping* Peleburan Bijih Timah:
Melibatkan proses *Tapping A* dan *Tapping C*. Petugas *Tapping* harus memperhatikan kondisi aliran terak atau logam timah, menguras dross, dan mengangkat float yang berisi timah hasil *Tapping C* ke ketel penampung area rafinasi.
- 3) Parameter Peleburan Bijih Timah:
Meliputi aspek seperti temperatur proses, isapan tanur, tekanan tanur, brander, udara bakar, dan bahan bakar yang digunakan untuk mencapai kondisi operasional yang ideal.
 - a) Temperatur proses peleburan bijih timah harus mencapai 1350 °C dengan kenaikan 40°C per jam untuk memungkinkan *Tapping A* dan *Tapping C* dilakukan.
 - b) Isapan tanur yang ideal adalah 25-35 mm H₂O untuk menghisap gas hasil pembakaran dan memisahkan debu gas-gas hasil reaksi.

- c) Tekanan tanur harus -0.02 inch water Gauge dan tekanan gas buang harus di bawah 7000°C untuk mengurangi beban isapan tanur.
- d) Brander terdiri dari pipa ¾ inci, kepala brander, dan nozzle dengan ukuran tertentu untuk mengabutkan bahan bakar dan mencampurnya dengan udara sebelum pembakaran.
- e) Udara bakar yang terpasang adalah 6000 m³/jam, dapat ditingkatkan hingga 7000 m³/jam sesuai dengan kebutuhan temperatur.
- f) Bahan bakar yang digunakan adalah Merine Fuel Oil (MFO) dengan tekanan operasi 25-30 bar dan laju alir 100-200 l/h.

Dengan mengikuti tahapan-tahapan ini dengan cermat, diharapkan proses peleburan bijih timah menggunakan *Reverberatory furnace* dapat berjalan dengan efisien dan menghasilkan produk yang diinginkan.

Selanjutnya, aspek penting lain dalam proses peleburan bijih timah menggunakan *Reverberatory furnace* adalah dengan mereduksi kandungan timah dalam terak 1 saat peleburan. Dengan mengurangi kandungan timah dalam terak, dapat meningkatkan kualitas logam timah yang dihasilkan. Terak yang memiliki kandungan timah yang tinggi dapat mengurangi kemurnian logam timah akhir. Kemudian, dengan mereduksi kandungan timah dalam terak, dapat meningkatkan efisiensi proses peleburan. Terak yang memiliki kandungan timah yang tinggi dapat menyebabkan masalah dalam proses peleburan dan pemisahan logam timah dari terak. Dalam kaitannya dengan ketentuan kualitas, spesifikasi produk logam timah sering kali mengatur batasan kandungan impurities, termasuk timah, dalam logam timah yang dihasilkan. Dengan mereduksi kandungan timah dalam terak, dapat memastikan bahwa produk akhir memenuhi standar kualitas yang ditetapkan. Dengan demikian, mereduksi kandungan timah dalam terak saat peleburan merupakan langkah penting untuk memastikan kualitas produk yang dihasilkan dan efisiensi proses peleburan yang optimal.

4. Kesimpulan

Dalam proses pengolahan bijih timah, terutama di PT. Timah Tbk, beberapa parameter kunci seperti temperatur, isapan tanur, tekanan tanur, brander, udara bakar, dan bahan bakar memiliki peran penting dalam menjaga efisiensi dan kualitas proses peleburan bijih timah. Temperatur proses yang harus dicapai, isapan tanur yang ideal, tekanan yang terpasang, karakteristik brander, pasokan udara bakar, dan jenis bahan bakar yang digunakan merupakan faktor-faktor yang harus diperhatikan dengan cermat.

Dengan memastikan semua parameter tersebut terjaga sesuai dengan standar yang ditetapkan, proses peleburan bijih timah dapat dilakukan dengan baik dan menghasilkan logam timah berkualitas tinggi dengan kadar pengotor yang

rendah. Dengan demikian, pemahaman yang mendalam terhadap parameter-parameter tersebut serta kemampuan untuk mengoperasikan peralatan dengan baik akan sangat membantu dalam mengoptimalkan kinerja unit metalurgi dan memastikan produksi logam timah yang berkualitas tinggi sesuai dengan standar yang ditetapkan.

5. Referensi

- Ebi, Wibisana. (2016). Operasi Peleburan Timah. Bangka: PT. Timah Tbk Unit Metalurgi Muntok.
- Irzon, R. (2021). Penambangan timah di Indonesia: Sejarah, masa kini, dan prospeksi. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 17(3), 179-189.
- Weiss, N. L. (1985). *Mineral Processing Handbook*. Volume 1. New York. Society of Mining Engineering.
- Sukamto, U., & Hutomo, R. A. (2021). Proses Fuming Untuk Recovery Timah di Terak Hasil Peleburan Tanur Reverberatory Unit Metalurgi Muntok Pt. Timah Tbk. *Journal of Metallurgical Engineering and Processing Technology*, 1(2), 110-116.
- Unit Metalurgi. (2018). Instruksi Kerja Peleburan. Muntok: Unit Metalurgi.
- Unit Metalurgi. (2019). Dokumentasi PT. Timah Tbk. Muntok: Unit Metalurgi.
- Zulhan, Zulfiadi. (2017). Terak (Slag): Pelatihan Pengolahan Mineral dan Metalurgi Ekstraksi (PPT). Muntok: LAPI ITB.
- Cabascango, V. Q., & Bazhin, V. Y. (2021). Combustion optimization in gas burners of *Reverberatory furnaces* during the melting of nickel alloys. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1728, No. 1, p. 012019). IOP Publishing.
- Sharikov, Y. V., & Cabascango, V. Q. (2021, February). Mathematical modeling of mass, heat and fluid flow in a *Reverberatory furnace* for melting nickel-containing raw materials. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1753, No. 1, p. 012064). IOP Publishing.
- Cabascango, V. Q., & Bazhin, V. Y. (2020, September). Influence of the natural gas composition and flue gas recirculation in a *Reverberatory furnace* for nickel alloys. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 919, No. 3, p. 032027). IOP Publishing.
- Benedict, A. O., & Bernard, A. O. (2023). The positive effect of designing a gas fired *Reverberatory furnace* in recycling aluminum scraps in our environment. *World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences*, 9(2), 049-057.