

PERANCANGAN TUNGKU PELEBURAN ZINC PADA PROSES *HOT-DIP GALVANIZING*

*Fikri Rinaldi¹, Yusuf Umardani², Muchammad²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: fikririnaldi746@gmail.com

Abstrak

Baja dan besi cor adalah salah satu dari beberapa jenis material yang banyak digunakan di industri manufaktur, otomotif, dan konstruksi. Sifatnya yang kuat yang mampu menahan beban yang besar yang ditumpukan padanya. Sayangnya, material ini dapat terserang korosi dengan mudahnya dalam aplikasi pemakaiannya. Salah satu metode pencegahan korosi pada baja adalah menggunakan teknik pelapisan hot-dip galvanizing, yakni mencelupkan baja ke dalam cairan zinc yang disertai reaksi kimia antara zinc dan baja pada permukaannya. Dalam praktik *hot-dip galvanizing* ini, salah satu komponen penting yang digunakan adalah tungku peleburan atau ketel atau wadah *zinc* cairnya. Penelitian ini bertujuan merancang tungku peleburan zinc yang dilengkapi dengan burner sebagai sumber panasnya. Perancangan didasarkan pada perhitungan kalor yang dibutuhkan beserta matriks pemilihan untuk menentukan bentuk tungku dan *burner*. Berdasarkan konsep desain bentuk cawang dan jenis burner, dipilih konsep 2 dengan cawang berbentuk kotak, yang selanjutnya akan menjadi dasar perancangan bentuk dan ukuran tungku. Kemudian pada *burner* dipilih konsep 3, dengan panas keluar dari *burner* secara horizontal menggunakan nosel. Berdasarkan pengujian analisis efisiensi peleburan, didapatkan nilai efisiensi peleburan *zinc* sebesar 15,6 %.

Kata kunci: *crucible*; efisiensi peleburan; tungku peleburan; *zinc*

Abstract

Steel and cast iron are among the many types of materials widely used in the manufacturing, automotive, and construction industries. Its strong nature is able to withstand large loads placed on it. Unfortunately, this material can be easily attacked by corrosion in its application. One method of preventing corrosion in steel is to use the hot-dip galvanizing coating technique, which is to dip the steel into a zinc liquid accompanied by a chemical reaction between the zinc and the steel on its surface. In this Hot dip galvanizing practice, one of the important components used is the melting furnace or kettle or container of molten zinc. This study aims to design a zinc melting furnace equipped with a burner as a heat source. The design is based on the calculation of the heat required along with the selection matrix to determine the shape of the furnace and burner. Based on the design concept of the shape of the branch and the type of burner, concept 2 was chosen with a box-shaped branch, which will then be the basis for designing the shape and size of the furnace. Then on the burner, concept 3 was chosen, with heat coming out of the burner horizontally using a nozzle. Based on the melting efficiency analysis test, the zinc melting efficiency value was obtained at 15.6%.

Keywords: *zinc*; *crucible*; *melting efficiency*; *melting furnace*

1. Pendahuluan

Salah satu material yang banyak dipakai di industri adalah baja, baik itu dalam konstruksi gedung dan bangunan, manufaktur, penerbangan, dan otomotif. Baja dipilih karena ketahanannya serta sifat mekaniknya yang bagus[1]. Sifat mekanik seperti kekuatan, keuletan, dan mampu keras (*hardened ability*) menjadikan baja banyak diaplikasikan pada berbagai bidang [2]. Sifat-sifat mekanik pada baja ini perlu diperhatikan dan menjadi pertimbangan dalam desain sehingga dapat diterapkan pada kondisi yang ditentukan.

Di balik sifat mekanik yang unggul, beberapa baja memiliki ketahanan korosi yang buruk. Korosi adalah proses terdegradasinya suatu material akibat reaksi kimia dan/atau interaksi fisik dengan lingkungannya. Dampak dari korosi pada baja sangat signifikan seiring berjalannya waktu, seperti kerusakan struktur bangunan, kebocoran sistem perpipaan, kegagalan rangka otomotif, dan lainnya. Selain itu, korosi juga akan mempengaruhi struktur ekonomi atau pembiayaan tertentu, seperti perawatan dan tindakan-tindakan pencegahannya [3].

Metode pencegahan korosi pada baja melibatkan berbagai pendekatan untuk melindungi material dari reaksi kimia yang menyebabkan kerusakan. Baja dapat dilindungi dengan menyegel permukaan beton untuk meminimalkan ion klorida, karbon dioksida, dan masuknya air, memodifikasi beton untuk mengurangi permeabilitas, dan melindungi batang penguat dari efek elemen korosif seperti klorida dan karbon dioksida [4]. Selain itu, pelapis pelindung memainkan peran penting dalam mengubah komposisi kimia permukaan baja, mencegah kontak langsung dengan lingkungan korosif, dan memperpanjang umur material. Teknik pelapisan seperti pelapisan konversi, implantasi sinar ion, dan penyemprotan termal, bersama dengan bahan seperti kromium dan kadmium, digunakan untuk mengurangi reaksi kimia dan meningkatkan ketahanan korosi, yang pada akhirnya mengurangi biaya penggantian [5].

Salah satu metode pencegahan korosi pada baja yang umum digunakan adalah *hot-dip galvanizing*. *Hot-dip galvanizing* adalah proses yang digunakan untuk melapisi komponen besi atau baja dengan lapisan seng untuk mencegah korosi dan karat. Metode ini melibatkan perendaman baja dalam bak seng cair, menciptakan ikatan metalurgi antara seng dan permukaan baja. Proses ini biasanya mencakup langkah-langkah seperti pengawetan dengan asam, bantuan pelapisan, dan *hot-dip galvanizing* itu sendiri, di mana baja dilapisi dengan lapisan seng [6,7]. *Hot-dip galvanizing* memainkan peran penting dalam melindungi komponen baja, terutama di industri seperti otomotif, konstruksi, dan teknik mesin [8]. Pelapisan dengan metode *hot-dip galvanizing* juga dapat digunakan untuk meningkatkan nilai estetika material yang dilapisi agar produk yang dihasilkan terlihat lebih menarik.

Salah satu komponen penting dalam *hot-dip galvanizing* adalah tungku peleburan *zinc*. Tungku ini berperan sebagai wadah *zinc* yang akan dicairkan nantinya melalui suatu proses konversi energi, baik energi listrik, kimia, dan lainnya. Pada industri kecil menengah, metode *hot-dip galvanizing* ini masih jarang dipakai untuk meningkatkan ketahanan korosi dari produk-produk berbahan baja yang dihasilkan, sehingga pembuatan dan penggunaan tungku peleburan untuk proses *hot-dip galvanizing* jarang dijumpai. Berdasarkan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Sanjaya dan Bagas pada 2023, tungku peleburan *zinc* berukuran diameter 15 cm dan tinggi 2 cm dengan menggunakan sumber panas dari pembakaran batu bara, tungku yang dibuat dapat melelehkan *zinc* 15 kg dalam waktu 1 jam. Akan tetapi, tungku ini tidak cocok digunakan untuk proses *hot-dip galvanizing* untuk produk-produk yang dihasilkan pada industri kecil dengan ukuran ± 10 cm. Selain itu, panas yang dihasilkan dari pembakaran batu bara juga kurang optimal dan kurang stabil sehingga menyebabkan suhu *zinc* tidak dapat dikontrol dengan baik [9,10].

Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan perancangan tungku peleburan *zinc* dengan kapasitas sedang dengan memanfaatkan energi pembakaran bahan bakar cair dengan bantuan *burner*. Komponen utama dari sistem ini adalah rumah tungku, *cawang/crucible*, serta *burner* yang digunakan sebagai alat yang mengalirkan dan mengatomisasi bahan bakar sehingga memudahkan terjadinya pembakaran.

2. Bahan dan Metode Penelitian

2.1. Komponen Tungku Peleburan

Tungku peleburan terdiri dari komponen-komponen yang mendukung kinerjanya. Berikut adalah beberapa komponen penting yang terdapat pada tungku peleburan.

2.1.1 Lapisan Tahan Panas / *Refractory Lining*

Dinding Refraktori/*Refractory Lining* merupakan lapisan material tahan panas yang melapisi bagian dalam tungku. Tujuan utama dari *refractory lining* adalah melindungi struktur tungku dari panas tinggi, korosi, dan abrasi yang terjadi selama proses peleburan. Ini adalah komponen penting yang memungkinkan tungku beroperasi pada suhu sangat tinggi secara berkelanjutan dan efisien.



Gambar 1 *Refractory Lining*

2.1.2 *Crucible*

Cawang/crucible/wadah pada tungku peleburan adalah tempat di mana bahan logam dipanaskan hingga suhu tinggi untuk meleleh atau dimurnikan. Komponen ini memainkan peran penting dalam proses peleburan industri [11]. *Crucible* harus mampu menahan panas ekstrem dan reaksi kimia tanpa terdegradasi atau melepaskan kontaminan ke dalam logam cair. Dalam tungku peleburan, *crucible* sering diisolasi dengan bahan tahan api dan mungkin termasuk elemen pemanas untuk proses peleburan terkontrol [12]. Ketika *crucible* sangat penting untuk pemrosesan logam yang efisien, kinerjanya dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti komposisi material dan metode pemanasan, yang dapat menyebabkan tantangan dalam mempertahankan kondisi leleh yang optimal.



Gambar 2 Crucible

2.1.3 Burner

Burner komponen penting yang digunakan untuk menghasilkan panas yang diperlukan untuk mencairkan logam. *Burner* biasanya menggunakan bahan bakar seperti gas alam, propana, minyak, atau batubara untuk menghasilkan api dan panas yang tinggi. Dengan menggunakan burner yang tepat dan efisien, proses peleburan logam dapat dilakukan dengan lebih cepat, lebih aman, dan lebih ekonomis.



Gambar 3 Burner

2.2. Zinc dan Hot-Dip Galvanizing

Zinc (Zn) adalah logam yang diaplikasikan secara umumnya sebagai paduan untuk menyediakan berbagai fungsi pada material, seperti ketahanan korosi yang tinggi, elektroda dengan densitas energi yang lebih tinggi pada baterai, dan lain-lain, tergantung pada area yang diaplikasikannya [13]. *Zinc* merupakan logam yang berwarna putih kebiruan logam ini mudah ditempa pada temperatur 110 – 150 °C. Titik lebur dari seng berada pada temperatur 419,5 °C.

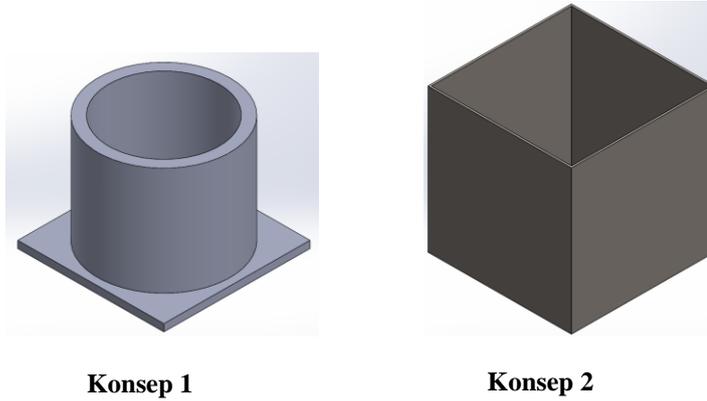
Hot-dip galvanizing adalah metode *coating* atau pelapisan dengan cara pencelupan logam ke dalam rendaman cairan *zinc* (Zn) atau paduan *zinc* dengan tujuan utama untuk melindungi logam dari korosi pada atmosfer. Keuntungan signifikan dari *zinc* (Zn) yang digunakan untuk membentuk lapisan ini dibandingkan elemen lain adalah memberi perlindungan *galvanic* sebagai tambahan perlindungan penghalang yang sangat kuat [14]. Proses *hot-dip galvanizing* banyak digunakan untuk mengaplikasikan *zinc coating* tipis pada permukaan lembaran baja. *Hot-dip galvanizing* juga memiliki daya rekat yang sangat baik ke substrat logam karena ikatan interdifusi metalurgi terbentuk di permukaan. Interdifusi ini mengarah pada pembentukan lapisan senyawa intermetalik. Lapisan intermetalik yang terbentuk selama galvanisasi adalah *gamma*, *delta*, dan *zeta*, dengan urutan kandungan besi yang menurun dalam komposisinya [15].

2.3. Alur Penelitian

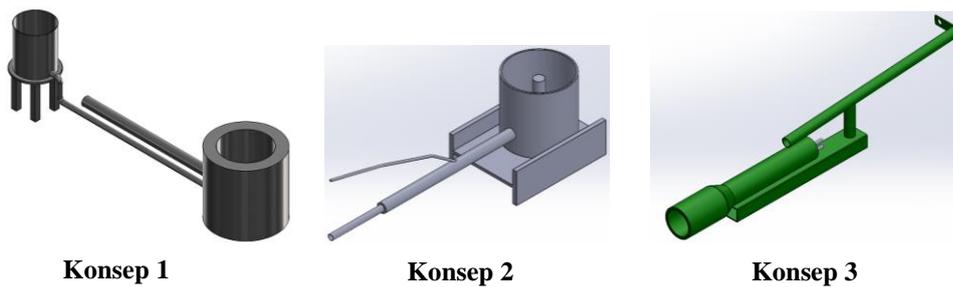
Penelitian ini menggunakan metode matriks keputusan dan melakukan analisis efisiensi peleburan *zinc* pada tungku peleburan. Matriks keputusan adalah metode penilaian dengan membandingkan alternatif-alternatif berdasarkan pemenuhan kriteria keinginan konsumen yang sifatnya relatif. Matriks keputusan pada perancangan tungku peleburan *zinc* ini meliputi matriks pemilihan konsep desain *crucible* dan matriks pemilihan konsep desain *burner* yang akan digunakan.

2.4. Konsep Desain

Dalam penelitian ini, tahap konsep design dilakukan dengan membuat beberapa alternatif yang dapat dijadikan pertimbangan dalam melakukan perancangan alat permeabilitas gas. Tahap konsep design bertujuan untuk menentukan alternatif konsep design mana yang paling efektif dan efisien dalam perancangan alat permeabilitas gas yang akan dibuat. Pada tahap ini konsep design *crucible* yang dibuat yaitu ada dua konsep design serta konsep desain *burner* yang dibuat ada tiga. Konsep-konsep tersebut akan dijelaskan sebagai berikut:



Gambar 4 Konsep Desain *Crucible*



Gambar 5 Konsep Desain *Burner*

2.5. Analisis Efisiensi Peleburan *Zinc* pada Tungku Peleburan

Pada penelitian ini, sebanyak 91 kg *zinc* dilelehkan pada tungku, kemudian diamati waktu yang dibutuhkan untuk melelehkan material tersebut. Rumus efisiensi tungku dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$\eta = \frac{Q_{zinc}}{m_b \cdot NK}$$

dimana η adalah efisiensi, Q_{zinc} adalah kalor untuk melebur *zinc*, m_b adalah massa bahan bakar yang terpakai, dan NK adalah nilai kalor bahan bakar [16]. Nilai kalor bahan atau disebut juga sebagai *heating value* terdiri atas dua jenis, yakni LHV dan HHV. HHV merupakan total energi yang dilepaskan saat bahan bakar dibakar, termasuk panas dari kondensasi uap air. Hal ini sangat penting untuk aplikasi yang membutuhkan output energi maksimum, seperti dalam pembangkit listrik. Sementara LHV menunjukkan energi yang tersedia dari pembakaran tanpa memulihkan panas laten uap air. Hal ini sangat relevan untuk sistem pembakaran yang tidak mengembunkan uap air, seperti turbin gas.

Pada penelitian ini, penentuan efisiensi tungku peleburan dievaluasi dengan mengacu pada nilai LHV bahan bakar dengan asumsi air yang dihasilkan dari reaksi pembakaran berbentuk uap. Maka, efisiensi tungku dapat dievaluasi dengan persamaan 2.11 berikut ini.

$$\eta = \frac{Q_{zinc}}{m_b \cdot NK} = \frac{m_{zinc} \cdot c_p \cdot \Delta T + m_{zinc} \cdot h_{zinc}}{\dot{V}_b \cdot t \cdot \rho_b \cdot LHV}$$

dimana \dot{V}_b adalah laju aliran bahan bakar, t adalah waktu peleburan, dan ρ_b adalah massa jenis bahan bakar

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Matriks Keputusan

Berdasarkan konsep desain pada Gambar 4 dan Gambar 5, terdapat 2 alternatif desain tungku dan 3 alternatif desain *burner* yang akan dipilih dan diseleksi. Berikut adalah hasil dari matriks keputusan tersebut.

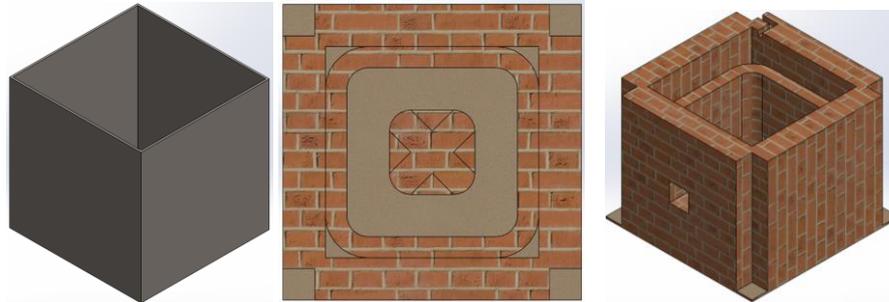
Tabel 1 Matriks Keputusan Bentuk *Crucible*

Pertimbangan	Bobot	Konsep 1		Konsep 2	
		Skor	Total	Skor	Total
Biaya	3	4	12	4	12
Kemudahan Pembuatan	4	3	12	4	16
Sirkulasi Panas	4	4	16	3	12

Pertimbangan	Bobot	Konsep 1		Konsep 2	
		Skor	Total	Skor	Total
Kemudahan Pengoperasian	4	3	12	4	16
Maintenance	3	3	9	4	12
Total			61		68

Berdasarkan Tabel 1 matriks keputusan konsep desain tungku, didapatkan nilai total tertinggi adalah pada konsep 2, yakni 68. Untuk biaya, konsep 2 dan konsep 1 sama memiliki biaya pembuatan yang lebih murah dikarenakan bentuk yang lebih sederhana. Kemudian, pada kriteria kemudahan pembuatan, konsep 2 dan konsep 1 sama-sama lebih mudah untuk dibuat karena bentuk yang lebih sederhana. Selanjutnya, untuk sirkulasi panas konsep 2 memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan konsep lainnya yang memiliki rongga berbentuk tabung yang memudahkan terjadinya aliran panas. Selanjutnya, untuk pengoperasian dan *maintenance*, konsep 2 lebih unggul daripada konsep yang lain. Hal ini karena konsep 2 memiliki bentuk tungku yang kotak sehingga lebih memudahkan pembersihan kotoran *zinc* selama proses pencelupan *hot-dip galvanizing*.

Dari hasil pemilihan matriks keputusan, desain konsep 2 dimodifikasi pada beberapa aspek, seperti penambahan bentuk kotak dengan *fillet* agar memudahkan proses aliran panas, serta lubang untuk saluran asap. Selain itu, untuk menjaga panas di dalam tungku, dipasang penutup pada tungku. Gambar 6 berikut adalah desain tungku peleburan beserta cawangnya pada *software* (dimensi lebih lengkapnya dapat dilihat pada lampiran).



Gambar 6 Desain Tungku Peleburan

Kemudian hasil matriks keputusan pemilihan konsep desain *burner* ditunjukkan pada Tabel 2 berikut ini.

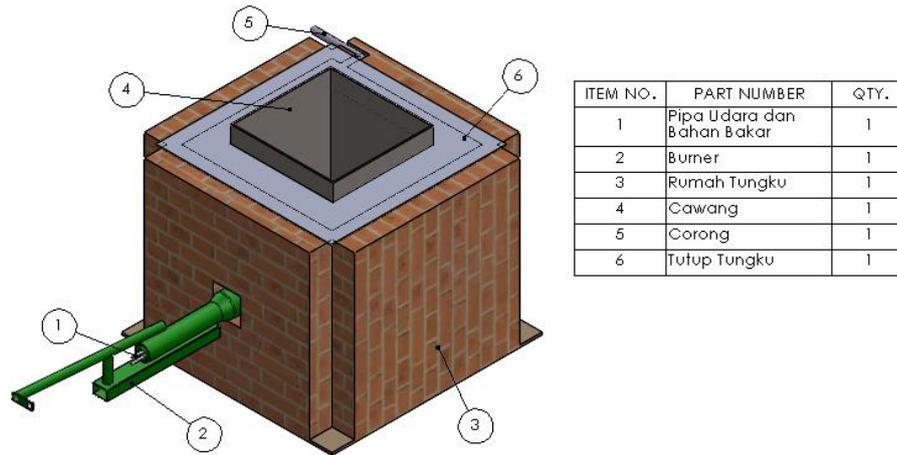
Tabel 2 Matriks Keputusan Konsep Desain *Burner*

Pertimbangan	Bobot	Konsep 1		Konsep 2		Konsep 3	
		Skor	Total	Skor	Total	Skor	Total
Biaya	2	4	8	4	8	2	4
Kemudahan Pembuatan	3	4	12	3	9	3	9
Panas yang dihasilkan	4	2	8	3	12	4	16
Stabilitas selama pemakaian	3	2	6	2	6	4	12
Total			34		35		41

Berdasarkan Tabel 2 matriks keputusan, didapatkan nilai total tertinggi adalah pada konsep 3, yakni 41. Secara biaya, konsep 3 membutuhkan biaya pembuatan yang lebih banyak dibandingkan dua konsep lainnya karena membutuhkan *part* yang lebih kompleks, seperti nozel dan pipa kecil. Dari segi kemudahan pembuatan, karena lebih kompleks, konsep 3 membutuhkan waktu yang lebih untuk pembuatannya. Kemudian untuk panas yang dihasilkan serta stabilitas selama pemakaian, konsep 3 lebih unggul dibandingkan dua konsep lainnya dikarenakan pada konsep 3, bahan bakar cair diatomisasi menjadi ukuran yang lebih kecil sehingga memudahkan terjadinya reaksi pembakaran serta panas yang lebih stabil

3.2. Hasil Assembly Konsep Desain

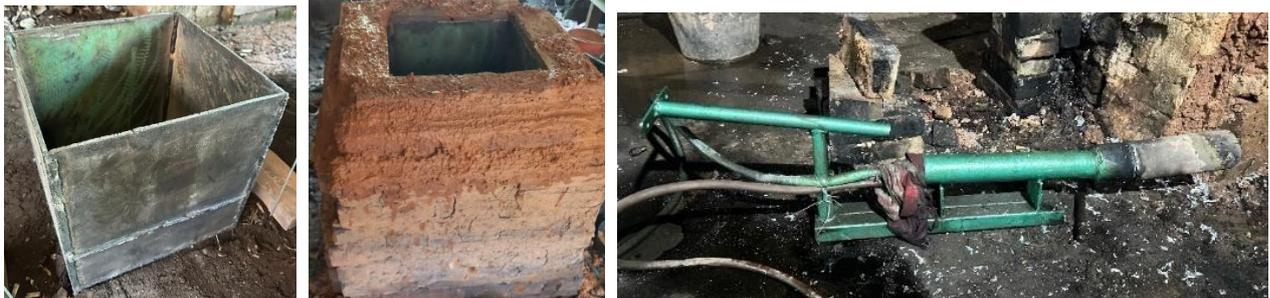
Setelah ditentukan konsep desain berdasarkan matriks keputusan di atas dan komponen – komponen yang digunakan berikut adalah hasil *assembly* perancangan tungku peleburan yang di tunjukkan pada Gambar 7 berikut.



Gambar 7 Assembly Tungku Peleburan dengan Burner

3.3. Hasil Pembuatan Tungku Peleburan dan Burner

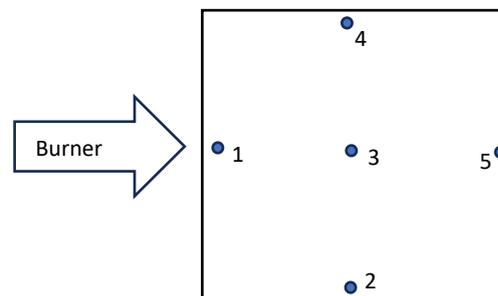
Hasil desain tungku peleburan dan burner selanjutnya memasuki tahap pembuatan.. *Crucible* dibuat dengan melakukan menyambung 5 plat baja berukuran 40 x 40 x 0,5 cm membentuk kotak dengan pengelasan listrik. Kemudian dari *crucible* dibangun rumah tungku dengan menyusun bata tahan api dan direkatkan dengan semen mortar tahan api. Selanjutnya, *burner* dibuat dengan merangkai pipa baja sebagai kerangka luar dengan pengelasan listrik serta membuat sistem pengkabutan bahan bakar dengan menggunakan nozel dari kuningan dan pipa baja kecil dengan menggunakan pengelasan asetilen. Gambar 8 berikut adalah hasil pembuatan tungku peleburan beserta burner.



Gambar 8 Hasil Pembuatan Tungku Peleburan dengan Burner

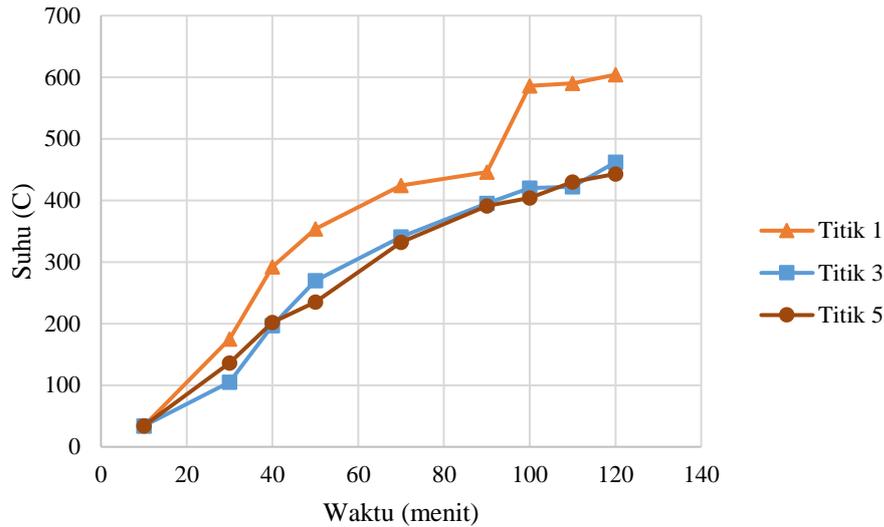
3.4. Hasil Analisis Efisiensi Peleburan Zinc pada Tungku Peleburan

Pada proses peleburan *zinc*, diamati perubahan suhu *zinc* pada tungku peleburan pada titik-titik yang ditunjukkan pada Gambar 9 berikut ini.



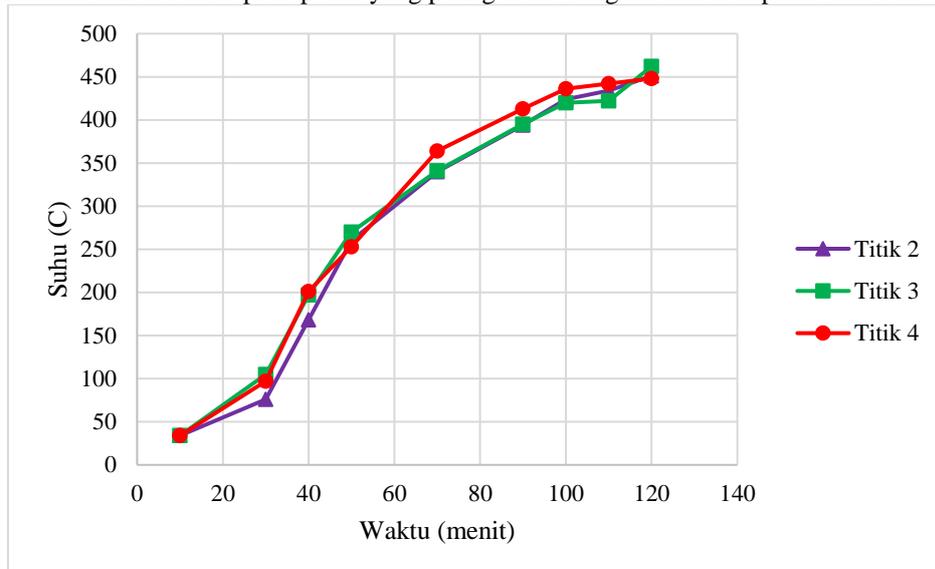
Gambar 9 Hasil Pembuatan Tungku Peleburan dengan Burner

Kemudian berdasarkan pengujian yang dilakukan, didapatkan grafik Gambar 10 dan Gambar 11 berikut, dimana grafik pada Gambar 10 menunjukkan perubahan suhu pada titik 1,3, dan 5 sedangkan grafik pada Gambar 11 menunjukkan perubahan suhu pada titik 2, 3, dan 4. Selain itu, diamati bahwa waktu peleburan total 91 kg *zinc* terjadi selama 120 menit dengan laju aliran bahan bakar yang digunakan sebanyak 40 mL/menit atau 0,04 L/menit.



Gambar 10 Grafik Perubahan Suhu pada Titik Pengamatan 1, 3, dan 5

Berdasarkan grafik pada Gambar 10, dapat diamati terjadinya peningkatan suhu dari titik 1, 3, dan 5. Dapat diamati bahwa pada titik 3 dan 5 peningkatan suhu yang terjadi hampir sama, artinya terjadi keseragaman suhu *zinc* pada titik tersebut. Lain halnya dengan titik 1 yang mengalami peningkatan suhu lebih cepat dibandingkan dengan yang lainnya. Hal ini dikarenakan titik 1 berada pada posisi yang paling dekat dengan semburan panas dari *burner*.



Gambar 11 Grafik Perubahan Suhu pada Titik Pengamatan 2, 3, dan 4

Berdasarkan grafik pada Gambar 11, dapat diamati terjadinya peningkatan suhu dari titik 2, 3, dan 4. Dapat diamati bahwa pada titik tersebut peningkatan suhu yang terjadi hampir sama, artinya terjadi keseragaman suhu *zinc* pada titik tersebut. Hal ini dikarenakan ketiga titik ini berada pada posisi yang sama terhadap lubang keluaran *burner* yang memungkinkan aliran panas yang mengalir ke titik tersebut adalah sama.

Kemudian dari data pengujian yang dilakukan, dapat dihitung performa tungku efisiensi berdasarkan persamaan 2.11, yakni

$$\eta = \frac{Q_{zinc}}{m_b \cdot NK} = \frac{m_{zinc} \cdot c_p \cdot \Delta T + m_{zinc} \cdot h_{zinc}}{\dot{V}_b \cdot t \cdot \rho_b \cdot LHV}$$

dimana suhu awal *zinc* adalah 34°C dan suhu saat *zinc* mencair adalah 419,5°C sehingga ΔT adalah 385,5 K, kalor spesifik *zinc* 0,46 kJ/kg K, kalor lebur *zinc* 100 kJ/kg, massa *zinc* yang digunakan adalah 91 kg. Kemudian laju aliran bahan bakar 40 mL/menit atau 0,04 L/menit dengan waktu peleburan 120 menit. Kemudian massa jenis bahan bakar adalah 0,855 kg/L dan LHV nya adalah 39,316 MJ/kg atau 39.316 kJ/kg [17]. Maka nilai efisiensi tungku dalam proses ini adalah

$$\eta = \frac{91 \text{ kg} \times \frac{0,46 \text{ kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 385,5 \text{ K} + 91 \text{ kg} \times 100 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{0,04 \frac{\text{L}}{\text{menit}} \times 120 \text{ menit} \times 0,855 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \times 39.316 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}$$

$$= 0,156 = 15,6\%$$

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dengan judul “Perancangan Tungku Peleburan Zinc pada Proses Hot-Dip Galvanizing” diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Terdapat 2 konsep tungku peleburan pada penelitian ini. Dari kedua konsep tersebut dilakukan pemilihan dengan menggunakan matriks keputusan. Dari hasil matriks keputusan tersebut menunjukkan bahwa konsep 2 yang dipilih serta dikembangkan desainya karena memiliki kesesuaian lebih tinggi dibanding konsep 1 untuk menjadi acuan pembuatan tungku peleburan. Kemudian terdapat 3 konsep *burner* pada penelitian ini. Dari ketiga konsep tersebut dilakukan pemilihan dengan menggunakan matriks keputusan. Dari hasil matriks keputusan tersebut menunjukkan bahwa konsep 3 yang dipilih serta dikembangkan desainya karena memiliki kesesuaian lebih tinggi dibanding konsep 1 dan konsep 2 untuk menjadi acuan pembuatan *burner*.
2. Dari konsep 3 yang telah dipilih dan dibuat detail desainya maka proses dilanjutkan ke tahap pembuatan. Dari tahap ini dihasilkan pembuatan rumah tungku dengan ukuran $84 \times 84 \times 66$ cm, *cawing/crucible* dengan ukuran $40 \times 40 \times 40$ cm. Serta *burner* ukuran $8,8 \times 8,8 \times 62,6$ mm.
3. Pengujian peleburan dilakukan pada tungku peleburan dengan bukaan kran bahan bakar maksimal, didapatkan waktu peleburan selama 2 jam dengan laju aliran bahan bakar 40 mL/menit. Kemudian didapatkan efisiensi proses peleburan *zinc* sebesar 15,6%

5. Daftar Pustaka

- [1] Ahmada M, Aritonang S, Murniati R. Pengaruh Penambahan Titanium terhadap Kekuatan Material Baja sebagai Bahan Shielding Alutsista Pertahanan. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi* 2024;7:113–9. <https://doi.org/10.30596/rmme.v7i1.17309>.
- [2] De Yesus A, Soebiyakto G. Analisis Uji Tarik dan Metalografi Sifat Mekanik Besi Tuang Kelabu (FC-20) dengan Proses Heat Treatment. *PROTON* 2018;10:25–9.
- [3] Narimin Y. *Manajemen Korosi (Strategi Pengendalian Korosi)*. Bandung: 2023.
- [4] Poursae A. Corrosion Protection Methods of Steel in Concrete. *Corrosion of Steel in Concrete Structures*, Elsevier; 2023, p. 319–26. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821840-2.00014-6>.
- [5] V S, M R, Kumar SS, Tripathi V, Sharma R, Puthilibai G, et al. Study on Developments in Protection Coating Techniques for Steel. *Advances in Materials Science and Engineering* 2022;2022:1–10. <https://doi.org/10.1155/2022/2843043>.
- [6] Zhiru X, Lixin Z, Yang S, Weidong W, Qi Z, Jinjin Z, et al. Hot-Dip Galvanized Steel Tube and Manufacturing Method Thereof, 2020.
- [7] Yongdan S. *Steel Member Hot-Dip Galvanizing Process*, 2020.
- [8] Baumgürtel L, Pinger T. *Hot Dip Galvanizing Apparatus*, 2020.
- [9] Sanjaya M. Pengaruh Kekasaran Permukaan Baja ST60 terhadap Sifat Mekanik Hasil Pelapisan Hot Dip Galvanizing. Undergraduate Thesis. Diponegoro University, 2023.
- [10] Jarwanto A. Pengaruh Variasi Waktu Pencelupan Hot-Dip Galvanizing terhadap Ketebalan dan Kekerasan Lapisan dengan Menggunakan Baja ST 60. Undergraduate Thesis. Diponegoro University, 2023.
- [11] Zejian Q. *Preparation Method of Crucible Material for Industrial Smelting Furnaces*, 2018.
- [12] Ruqing W. *Crucible-Type Electric Smelting Holding Furnace*, 2017.
- [13] Cihangir S, Ryder KS, Unal A. Detailed investigation of zinc coating behaviours in various deep eutectic solvents. *Electrochim Acta* 2023;463:142708. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2023.142708>.
- [14] Grandhi S, Raja VS, Parida S. Effect of manganese addition on the appearance, morphology, and corrosion resistance of hot-dip galvanized zinc coating. *Surf Coat Technol* 2021;421:127377. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2021.127377>.
- [15] Jordan CE, Marder AR. {Fe-Zn} phase formation in interstitial-free steels hot-dip galvanized at 450 °C. *J Mater Sci* 1997;32:5593–602.
- [16] Yuniarto B, Sinaga N. Peningkatan Efisiensi Pembakaran Tungku Tradisional dengan Modifikasi Disain. In: Surya Y, editor. *Optimalisasi Peran Teknik Mesin Dalam Meningkatkan Ketahanan Energi*, Malang: Jurusan Mesin Fakultas Teknik UB; 2011, p. 24–8.
- [17] Suparta IN. Daur Ulang Oli Bekas Menjadi Bahan Bakar Diesel dengan Proses Pemurnian Menggunakan Media Asam Sulfat dan Natrium Hidroksida. *Jurnal Logic* 2017;17:73–9.