



Perancangan Tungku Peleburan Aluminium Kapasitas 3 kg Berbahan Bakar Campuran Oli Bekas dan Bensin

Pedro A Salasa^{1*}, Fauzan Saputra², Risa Melinda³

^{1*}Jurusan Teknik Mesin Universitas Gunadarma, Indonesia

^{2,3}Jurusan Teknik Mesin Universitas Gunadarma, Indonesia

Alamat: Jalan Margonda Raya 100, Depok, Jawa Barat, Indonesia

Korespondensi penulis: salasapedro@gmail.com

Abstract. *This study focuses on the design of a 3 kg capacity aluminum melting furnace using a mixture of used oil and gasoline as an alternative fuel to reduce energy costs in small-scale metal casting applications. The design process was carried out using SolidWorks software to create a 3D model and ANSYS for structural analysis. The furnace structure was made of mild steel with a refractory layer composed of TNC-80 SIC castable cement, Bangka sand, and fiberglass. The simulation results showed a maximum Von Mises stress of 6.980 N/m², a maximum displacement of 6.532 mm, and a safety factor of 8.897, indicating that the furnace structure is mechanically safe under high-temperature operational loads. The designed system is expected to serve as a reference for developing an efficient, low-cost, and environmentally friendly aluminum melting furnace using waste-based fuel.*

Keywords: *design, aluminum melting furnace, used oil, gasoline, structural analysis.*

Abstrak. Penelitian ini membahas perancangan tungku peleburan aluminium kapasitas 3 kg dengan bahan bakar campuran oli bekas dan bensin sebagai solusi alternatif terhadap tingginya biaya energi pada tungku konvensional. Proses perancangan meliputi pembuatan desain tiga dimensi menggunakan perangkat lunak SolidWorks, pemilihan material struktur baja, serta analisis kekuatan mekanis menggunakan metode elemen hingga. Hasil simulasi menunjukkan bahwa tungku memiliki tegangan maksimum 6.980 N/m², displacement maksimum 6,532 mm, dan faktor keamanan (safety factor) sebesar 8,897. Nilai ini menandakan bahwa struktur tungku aman terhadap beban operasional pada suhu tinggi. Perancangan ini diharapkan dapat menjadi dasar untuk pengembangan tungku hemat energi dan ramah lingkungan menggunakan bahan bakar limbah cair.

Kata kunci: perancangan tungku, aluminium, oli bekas, bensin, analisis struktural

LATAR BELAKANG

Proses peleburan aluminium memiliki peran vital dalam industri daur ulang logam karena mampu menghemat energi hingga 95% dibandingkan proses produksi primer dari bauksit (Haraldsson & Johansson, 2019). Dalam era Industri 4.0, tuntutan efisiensi energi dan keberlanjutan semakin mendorong penerapan konsep manufaktur cerdas yang mengintegrasikan efisiensi sumber daya dan sistem otomatisasi (Capuzzi et al., 2018).

Received: Juli 11, 2025; Revised: Juli 20, 2025; Accepted: Juli 21, 2025; Online Available: juli 21, 2025;

Published: juli 21, 2025;

*Corresponding author, salasapedro@gmail.com

Pada skala kecil, seperti industri rumah tangga maupun laboratorium pendidikan, tungku peleburan logam umumnya masih menggunakan bahan bakar konvensional berupa gas, listrik, atau kayu. Hal ini menyebabkan tingginya konsumsi energi dan rendahnya efisiensi panas (Mehrabi & Usher, 2020). Untuk menjawab permasalahan tersebut, diperlukan rancangan tungku yang hemat energi, ramah lingkungan, serta ekonomis sejalan dengan konsep *green manufacturing* (Bizjak et al., 2024).

Salah satu opsi potensial adalah pemanfaatan oli bekas sebagai bahan bakar alternatif karena memiliki nilai kalor tinggi dan mudah diperoleh. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan limbah cair seperti oli bekas mampu menghasilkan proses pembakaran yang stabil dan efisien (Arrhora & Gabral, 2023; Nugraha & Abdullah, 2019). Namun, sebagian besar riset terdahulu masih menitikberatkan pada karakteristik termal tanpa memperhatikan aspek kekuatan struktur tungku (Li et al., 2021).

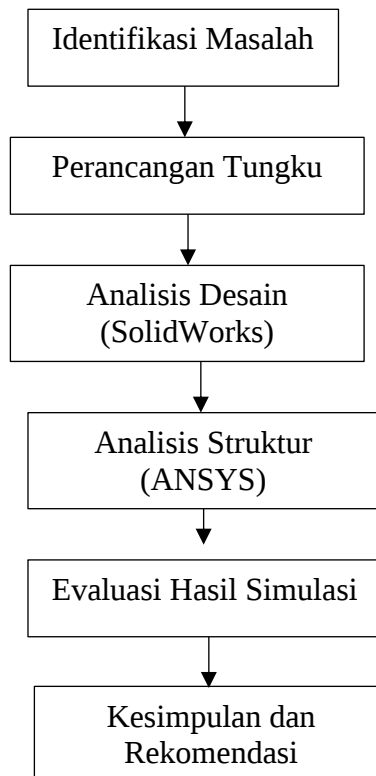
Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini berfokus pada perancangan serta analisis kekuatan struktur tungku peleburan aluminium berkapasitas 3 kg dengan bahan bakar campuran oli bekas dan bensin. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat mendukung penerapan sistem produksi efisien dan berkelanjutan dalam konteks manufaktur modern (Palacz et al., 2020).

METODE PENELITIAN

Jenis Penelitian.

Penelitian ini termasuk dalam kategori eksperimen rekayasa (*engineering experimental research*), yang berfokus pada proses perancangan dan analisis struktur tungku peleburan aluminium berkapasitas 3 kg menggunakan campuran bahan bakar oli bekas dan bensin. Prosedur penelitian dilakukan dengan pendekatan berbantuan komputer melalui perangkat lunak Computer-Aided Design (CAD) dan Computer-Aided Engineering (CAE) untuk mendapatkan model tiga dimensi sekaligus menganalisis kekuatan struktur secara numerik (Li et al., 2021).

Pendekatan penelitian dilakukan melalui kombinasi metode perancangan berbantuan komputer (CAD/CAE) dan analisis numerik untuk mengevaluasi kekuatan struktur secara teoritis. Tahapan penelitian ditunjukkan pada Gambar 1 berikut:



Gambar 1 Bagan Alir Penelitian

Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dimulai dengan identifikasi masalah, dilanjutkan dengan pembuatan desain tiga dimensi menggunakan SolidWorks, kemudian analisis numerik dengan ANSYS berdasarkan metode elemen hingga (Finite Element Method). Analisis ini bertujuan menentukan distribusi tegangan, deformasi, serta faktor keamanan pada struktur tungku (Palacz et al., 2020).

Tahapan selanjutnya adalah perancangan model tungku menggunakan perangkat lunak SolidWorks untuk menghasilkan desain tiga dimensi yang akurat dan mudah dianalisis. Hasil rancangan kemudian diuji secara virtual melalui analisis numerik dengan metode elemen hingga (FEM) menggunakan perangkat lunak ANSYS, guna mengetahui distribusi tegangan, deformasi, serta faktor keamanan struktur.

Setelah diperoleh hasil simulasi, dilakukan evaluasi performa desain dengan membandingkan hasil analisis terhadap standar kekuatan material dan kebutuhan operasional pada suhu tinggi. Hasil evaluasi ini menjadi dasar untuk menentukan kelayakan rancangan dan memberikan rekomendasi perbaikan desain agar lebih efisien dan aman.

Material dan Komponen

Pemilihan material dan komponen merupakan tahapan penting dalam proses perancangan tungku peleburan aluminium, di mana kinerja serta ketahanan struktur sangat bergantung pada karakteristik material yang harus mampu menahan suhu tinggi, tekanan internal, dan perubahan termal. Ini menuntut pendekatan berlapis: lapisan refraktori yang bersentuhan langsung dengan logam cair harus memiliki ketahanan kimia superior, bersifat non-wetting untuk mencegah infiltrasi aluminium, dan tahan korosi terhadap fluks, sehingga material berbasis alumina tinggi (Al_2O_3) atau silikon karbida (SiC) sering menjadi pilihan utama. Tepat di belakangnya, sistem insulasi (seperti ceramic fiber atau papan kalsium silikat) memainkan peran krusial dalam meminimalkan kehilangan panas berkat konduktivitas termal rendahnya, yang tidak hanya vital untuk efisiensi energi tetapi juga untuk melindungi integritas rangka utama baja. Rangka baja eksternal ini, sebagai tulang punggung struktural, harus dirancang dengan kekakuan yang cukup untuk menopang keseluruhan beban dan mampu mengakomodasi ekspansi termal dari seluruh lapisan internal tanpa mengalami deformasi. Selain itu, sistem pembakaran (seperti burner) beroperasi di lingkungan paling ekstrem, menuntut penggunaan material canggih seperti superalloy atau keramik teknis yang mampu menahan suhu sangat tinggi, oksidasi, dan kejutan termal. Pada akhirnya, semua komponen ini harus berfungsi sebagai sistem terintegrasi, karena kegagalan pada satu lapisan misalnya, insulasi yang buruk dapat dengan cepat menyebabkan kegagalan katastropik pada struktur baja, menegaskan bahwa kesuksesan desain terletak pada keseimbangan holistik antara ketahanan kimia, stabilitas termal, dan integritas mekanis (Capuzzi et al., 2018).

Rangka utama menggunakan baja karbon (*mild steel*) karena memiliki kekuatan mekanik tinggi dan mudah difabrikasi (Mehrabi & Usher, 2020). Lapisan refraktori terdiri atas semen *castable* TNC-80 SIC, pasir Bangka, dan serat fiberglass yang berfungsi sebagai isolator panas (Li et al., 2021). Sistem bahan bakar menggunakan campuran oli bekas dan bensin dengan rasio 70:30 untuk memaksimalkan nyala api dan efisiensi pembakaran (Nugraha & Abdullah, 2019). Blower udara berfungsi menyalurkan oksigen guna meningkatkan efisiensi pembakaran sebagaimana diterapkan pada rancangan tungku berbahan bakar limbah cair di penelitian terdahulu (Design and Fabrication of Waste Oil-Fired Furnace, 2019).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Perancangan

Hasil desain tiga dimensi menunjukkan tungku berbentuk silinder vertikal dengan tinggi total 450 mm dan diameter ruang bakar 410 mm. Rangka luar terbuat dari baja karbon, dinding bagian dalam dilapisi material refraktori untuk menahan panas.

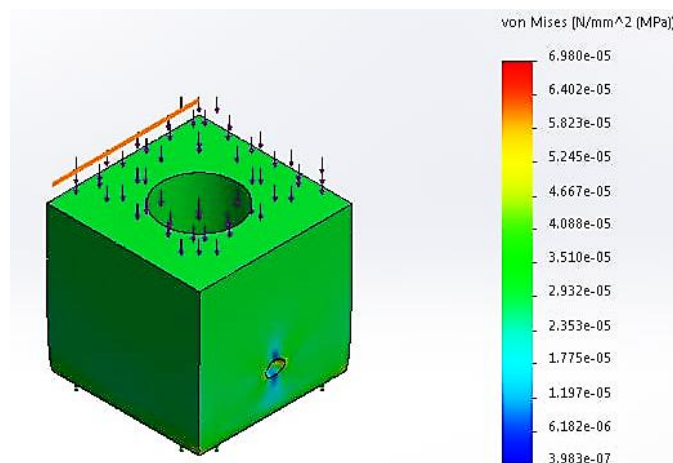
Desain sistem pembakaran menggunakan pipa injektor bahan bakar di bagian bawah yang terhubung ke blower udara untuk meningkatkan pembakaran. Lubang penuangan logam cair terletak di bagian atas tungku yang dapat ditutup dengan penutup baja tahan panas.

Analisis Kekuatan Struktural

Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak ANSYS untuk mengevaluasi distribusi tegangan dan deformasi akibat beban termal dan mekanis. Hasil simulasi berikut ini:

1. Analisis von mises

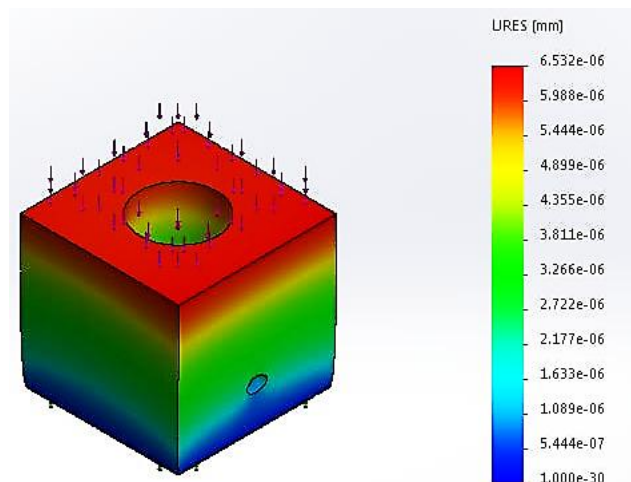
Dari analisis yang dilakukan pada dari material semen dengan cara pemberian beban pada tungku tersebut, maka diperoleh suatu data yang menunjukkan tegangan maksimum (*von mises*) yang bekerja pada tungku tersebut. Stress atau tegangan yang telah dianalisis menunjukan bahwa nilai tertinggi stress yang di terima oleh tungku adalah 6.980 N/m²



Gambar 2. Hasil simulasi von mises

2. Analisis Displacement

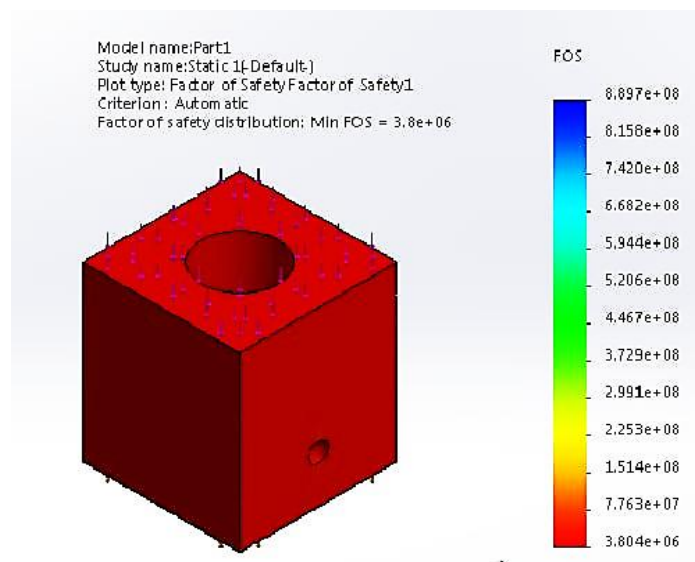
Displacement atau pergerakan yang terjadi akibat beban yang terdapat pada tungku. Berikut adalah gambar dari hasil simulasi displacement dapat dilihat dari gambar 3 tersebut bahwa pergerakan maksimal yang terdapat pada tungku adalah sebesar 6,532 mm ditunjukkan dengan warna merah, sedangkan untuk pergerakan minimalnya sebesar 1 mm ditunjukkan dengan warna biru.



Gambar 3. Hasil simulasi displacement

3. Faktor keamanan (*Safety Factor*)

Safety factor atau faktor keamanan merupakan suatu batas aman dari suatu alat yang sudah menjadi standar ketetapan.



Gambar 4. Simulasi Safety Factor

Nilai faktor keamanan yang tinggi menunjukkan bahwa desain aman terhadap beban operasional pada suhu hingga 750 °C. Material baja karbon dinilai memadai untuk menahan tekanan dan ekspansi akibat panas.

Evaluasi Desain

Berdasarkan hasil simulasi dan kriteria kekuatan material, desain tungku ini dinilai layak untuk tahap implementasi prototipe. Kombinasi bahan refraktori terbukti memberikan ketahanan termal yang baik, sementara struktur baja memastikan kekuatan mekanik yang cukup tanpa deformasi berlebih..

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil perancangan, pembuatan, dan pengujian tungku peleburan aluminium kapasitas 3 kg berbahan bakar campuran oli bekas dan bensin, dapat disimpulkan hal-hal berikut:

1. Tungku peleburan aluminium kapasitas 3 kg berhasil dirancang menggunakan material utama baja karbon dengan lapisan refraktori berbahan semen castable, pasir Bangka, dan serat fiberglass.
2. Hasil analisis simulasi menunjukkan bahwa struktur tungku memiliki faktor keamanan 8,897, tegangan maksimum 6.980 N/m², dan displacement maksimum 6,532 mm.
3. Desain ini dinilai layak secara struktural dan dapat dijadikan dasar untuk pembuatan prototipe serta pengujian performa termal pada tahap berikutnya.

Berdasarkan hasil analisis perancangan dan evaluasi performa struktur, tungku peleburan aluminium berbahan bakar campuran oli bekas dan bensin telah menunjukkan kelayakan mekanis serta potensi efisiensi energi yang baik. Meskipun demikian, masih terdapat sejumlah aspek teknis yang dapat ditingkatkan. Beberapa rekomendasi berikut disusun untuk memberikan arah pengembangan lebih lanjut, antara lain:

1. Peningkatan Efisiensi Termal.

Diperlukan penambahan material isolator termal dengan konduktivitas panas rendah pada dinding luar tungku untuk mengurangi kehilangan panas dan meningkatkan efisiensi energi.

2. Optimasi Sistem Pembakaran

Laju suplai udara dari blower perlu diatur agar proses oksidasi bahan bakar berlangsung lebih sempurna, sehingga nyala api lebih stabil dan waktu peleburan dapat dipersingkat.

3. Pengujian Eksperimental Lanjutan

Pengujian lebih lanjut secara eksperimental diperlukan untuk mengetahui konsumsi bahan bakar aktual, distribusi suhu di dalam ruang bakar, serta tingkat emisi gas buang yang dihasilkan.

4. Pengembangan Otomatisasi dan Sensor Suhu

Disarankan penggunaan sistem kontrol berbasis mikrokontroler dengan sensor termokopel untuk memantau dan menjaga kestabilan suhu selama proses peleburan secara otomatis.

DAFTAR REFERENSI

- Arrhora, A., & Gabral, M. (2023). *Perancangan tungku silinder peleburan aluminium scrap*. Universitas Muhammadiyah Ponorogo. <https://eprints.umpo.ac.id/10950/>
- Bizjak, M., et al. (2024). Energy flexibility in aluminium smelting: A long-term perspective. *Applied Sciences*, 14(22), 10108. <https://doi.org/10.3390/app142210108>
- Capuzzi, S., Fiore, S., & Brondi, C. (2018). Preparation and melting of scrap in aluminum recycling. *Metals*, 8(4), 249. <https://doi.org/10.3390/met8040249>
- Design and fabrication of waste oil-fired furnace. (2019). *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 9(2). <https://www.ijeat.org/wp-content/uploads/papers/v9i2/B3334129219.pdf>
- Haraldsson, J., & Johansson, M. T. (2019). Energy efficiency in the supply chains of the aluminium industry: The cases of five products made in Sweden. *Energies*, 12(2), 245. <https://doi.org/10.3390/en12020245>
- Li, T., Li, A., Yu, J., Guo, Z., Yan, J., Yang, N., & Wu, Y. (2021). Research on structural optimization of regenerative melting aluminum furnace. *Advances in Applied Sciences*, 6(4), 132-141. <https://doi.org/10.11648/j.aas.20210604.19>
- Mehrabi, H. A., & Usher, P. (2020). Energy audit and cost saving in an aluminum sand casting foundry. *Journal of Environmental Friendly Materials*, 4(2), 47-51.

https://sure.sunderland.ac.uk/id/eprint/12933/1/JEFM_Volume%204_Issue%202_Pages%2047-51.pdf

- Nugraha, H. D., & Abdullah, A. G. (2019). The manufacture of burner lubricating-oil wasted fuel for aluminum smelting. *Journal of Engineering Research, Special Issue*, 76-84. https://kuwaitjournals.org/jer/public/journals/special_issue_1/9.pdf
- Palacz, M., Melka, B., Wecki, B., Siwec, G., Przylucki, R., Bulinski, P., ... & Blacha, L. (2020). Experimental analysis of the aluminium melting process in industrial cold crucible furnaces. *Metals and Materials International*, 26, 695-707. <https://doi.org/10.1007/s12540-019-00368-2>
- Technical and economical study of using used oil as fuel for aluminium smelting furnaces. (2022). *Proceedings of the 19th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO)*. SciTePress. <https://www.scitepress.org/Papers/2022/120021/120021.pdf>