

Perancangan Mesin Pres Sampah Basah Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Sampah di Universitas Singaperbangsa Karawang

Willy Rolies*, Marno, Kardiman

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang, Jawa Barat

*Koresponden email: willyrolies20@gmail.com

Diterima: 4 September 2024

Disetujui: 10 September 2024

Abstract

Waste-to-energy (WtE) plants in Indonesia present a novel approach to the increasingly urgent challenge of waste management. This research project is concerned with the design of a waste press machine that will be suitable for use with the UNSIKA WtE incinerator. The primary objective is to reduce the volume of waste material entering the incinerator. This process not only enhances combustion efficiency but also contributes to a reduction in emissions and the utilisation of renewable energy. This research entails the selection of suitable materials for the press machine and the design of a mold that aligns with the dimensions of the incinerator hopper. The utilisation of SolidWorks 2023 software facilitates more precise design analysis and simulation. The findings of this research demonstrate that the constructed press machine is effective in reducing waste volume, thereby making a valuable contribution to waste management and the utilisation of renewable energy. In conclusion, this research not only provides a technical solution for waste management but also serves as a reference for further research in the same field.

Keywords: *waste press machine design, waste management, hydraulic press, combustion efficiency, solidworks.*

Abstrak

Pembangkit listrik tenaga sampah (PLTSa) di Indonesia merupakan solusi inovatif untuk masalah pengelolaan sampah yang semakin mendesak. Penelitian ini berfokus pada perancangan mesin press sampah yang sesuai dengan insenerator PLTSa UNSIKA, dengan tujuan utama untuk mengurangi volume sampah sebelum masuk ke insenerator. Proses ini tidak hanya meningkatkan efisiensi pembakaran, tetapi juga berkontribusi terhadap pengurangan emisi dan pemanfaatan energi terbarukan. Dalam penelitian ini, dilakukan pemilihan material yang tepat untuk mesin press, serta perancangan cetakan yang sesuai dengan dimensi hopper insenerator. Penggunaan software Solidworks 2023 memungkinkan analisis dan simulasi desain yang lebih akurat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mesin press yang dirancang mampu mengurangi volume sampah secara signifikan, sehingga memberikan kontribusi positif dalam pengolahan sampah dan pemanfaatan energi terbarukan. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memberikan solusi teknis untuk pengelolaan sampah, tetapi juga menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya dalam bidang yang sama.

Kata Kunci: *perancangan mesin press sampah, pengelolaan sampah, hidrolik, efisiensi pembakaran, solidworks*

1. Pendahuluan

Pengelolaan sampah merupakan salah satu tantangan besar yang dihadapi oleh banyak negara di seluruh dunia, termasuk Indonesia. Penumpukan sampah yang berlebihan dapat menciptakan dampak negatif terhadap lingkungan, kesehatan manusia, dan keberlanjutan sumber daya. Oleh karena itu, penting untuk mencari solusi inovatif yang dapat mengatasi masalah ini. Salah satu solusi yang menarik adalah menggunakan sampah sebagai sumber energi melalui pembangkit listrik tenaga sampah (PLTSa)[1].

Sebelum mengenal lebih dalam tentang PLTSa, penting untuk memahami apa itu sampah. Menurut UU-18/2008 tentang pengelolaan sampah, sampah adalah sisa kegiatan sehari-hari manusia dan/atau proses alam yang berbentuk padat. Di Indonesia, sampah biasanya dikelompokkan menjadi dua kategori utama: sampah organik (basah) dan sampah anorganik (kering). Selain itu, sampah dapat dikategorikan berdasarkan sumbernya, seperti sampah domestik, sampah dari daerah komersial, sampah dari perkantoran atau institusi, sampah dari jalan atau taman dan tempat umum, serta sampah dari industri dan rumah sakit yang sejenis sampah kota[2] [3].

Salah satu solusi inovatif untuk mengatasi masalah pengelolaan sampah adalah dengan mengubah sampah menjadi energi listrik melalui PLTSa. PLTSa adalah pembangkit yang memproduksi tenaga listrik

dengan memanfaatkan sampah sebagai bahan bakar utamanya, baik sampah organik maupun anorganik[4]. Sampah ini digunakan untuk memanaskan air di boiler, menghasilkan uap panas yang kemudian dimasukkan ke turbin uap untuk memutar generator, sehingga menghasilkan energi Listrik[5].

Sebelum digunakan sebagai bahan bakar, sampah harus diolah dan diproses terlebih dahulu. Salah satu tahap penting dalam pengolahan sampah adalah pengompakan atau pemadatan sampah, yang bertujuan untuk mengurangi volume sampah dan kadar air yang terjebak pada sampah sehingga lebih efisien dalam transportasi dan pengelolaannya[6]. Di sinilah pentingnya rancang bangun mesin press sampah. Mesin press sampah adalah perangkat mekanis yang dirancang khusus untuk mengompakan sampah menjadi bentuk yang lebih padat. Proses pengompakan ini dilakukan dengan menerapkan tekanan tinggi pada sampah, yang mengurangi ruang yang diperlukan untuk penyimpanan dan transportasi[7].

Penelitian ini fokus pada perancangan mesin press sampah yang sesuai dengan insinerator PLTSa di Universitas Singaperbangsa Karawang (UNSIKA). Penelitian ini mempertimbangkan material yang digunakan, merancang cetakan sesuai dengan dimensi hopper, dan menggunakan software Solidworks 2023 untuk simulasi dan analisis desain. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengurangi volume sampah sebelum masuk ke insinerator PLTSa, serta berkontribusi terhadap pengurangan sampah, emisi, dan pemanfaatan energi terbarukan.

Penelitian ini juga mencakup pemilihan bahan atau material yang cocok untuk mesin press sampah dan mengetahui kemampuan mesin press sampah yang dirancang menggunakan perhitungan manual dan analisis software[8]. Material yang digunakan dalam perancangan mencakup UNP dan besi siku, serta menggunakan software Solidworks 2023 untuk simulasi dan analisis desain. Tujuan penelitian adalah untuk mengurangi volume sampah sebelum masuk ke insinerator PLTSa, berkontribusi terhadap pengurangan emisi, dan memanfaatkan energi terbarukan[9].

Manfaat dari penelitian ini mencakup kontribusi positif dalam pengolahan sampah dan pemanfaatan energi terbarukan, pengurangan volume sampah sebelum masuk ke insinerator, serta sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya[10]. Dengan menggunakan mesin press sampah, bentuk sampah dapat dibentuk menjadi balok-balok kecil dan volume sampah dapat berkurang dari volume aslinya, yang secara signifikan mengurangi kebutuhan ruang dan biaya yang terkait dengan pengolahan sampah[11]. Mesin press sampah juga memiliki keuntungan tambahan dalam konteks pembangkit listrik tenaga sampah. Dengan mengompakan sampah menjadi bentuk yang lebih padat, efisiensi pembakaran di dalam pembangkit listrik dapat ditingkatkan. Selain itu, proses pengompakan sampah juga menghilangkan udara yang terperangkap di dalam sampah, mengurangi risiko ledakan dan emisi gas rumah kaca yang berbahaya[12].

Dalam rangka mengatasi masalah pengelolaan sampah dan memenuhi kebutuhan energi yang berkelanjutan, rancang bangun mesin press sampah untuk pembangkit listrik tenaga sampah memiliki peranan yang penting[13]. Melalui pengembangan teknologi ini, diharapkan dapat tercipta solusi yang efektif dan berkelanjutan dalam mengatasi masalah sampah sambil menghasilkan energi listrik yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat. Penelitian dan pengembangan terus dilakukan untuk mengoptimalkan desain, mengurangi biaya produksi, dan meningkatkan kinerja mesin press sampah, sehingga dapat memberikan kontribusi positif dalam pengolahan sampah dan pemanfaatan energi terbarukan[14].

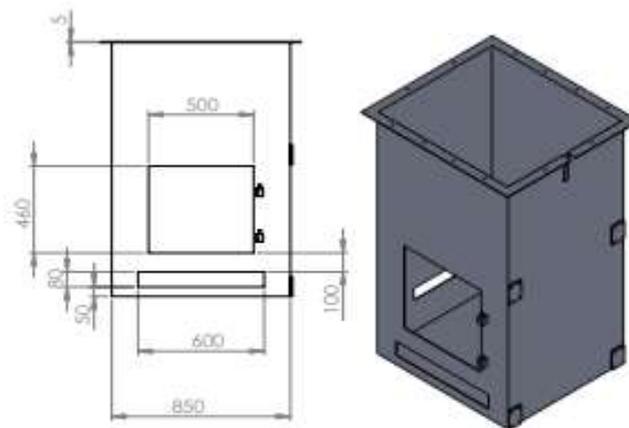
2. Metode Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menganalisis mesin press sampah domestik yang dapat dimanfaatkan untuk pembangkitan listrik tenaga sampah (PLTSa) di Universitas Singaperbangsa Karawang [15]. Proses perancangan melibatkan pemilihan material yang optimal, seperti UNP 100, besi siku, plat, dan besi hollow, dengan pertimbangan kekuatan dan efisiensi. Metode elemen hingga digunakan untuk melakukan simulasi dan validasi desain secara teoritis. Analisis ini memungkinkan peneliti untuk menentukan kekuatan struktur rangka dan cetakan, serta mendapatkan nilai tegangan, defleksi, dan faktor keamanan[16]. Dengan membandingkan hasil perhitungan teoritis dan hasil simulasi, diharapkan dapat diperoleh desain mesin press yang optimal dan efisien. Selain itu, penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi referensi bagi pengembangan desain mesin press sampah serupa di masa mendatang[17] [18].

Dalam Perancangan Mesin *Press* Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) di UNSIKA ini dibutuhkan Langkah-langkah perencanaan sebagai berikut:

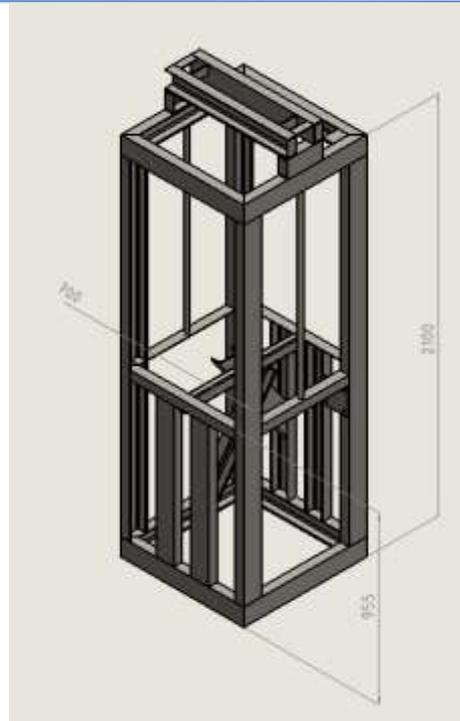
1. Studi Literatur
 Tahap awal dari penelitian ini mencari literatur dari hasil penelitian sebelumnya. Diharapkan dengan literatur yang didapat bisa memberikan keyakinan bahwa penelitian ini dapat dilaksanakan dan memberikan arahan untuk mengurangi kesalahan dalam penelitian.
2. Perancangan Alat
 Tahap kedua adalah perancangan alat berupa pembuatan design menggunakan software 3D *Modeling* seperti *Solidwork* hingga pembuatan *drawing* atau gambar teknik. Pada proses ini, perancangan dimulai dengan pembuatan komponen atau *part* yang dibutuhkan untuk membuat alat tersebut, kemudian dilakukan proses perakitan atau *assembly* dari komponen yang sudah dibuat, dan diakhiri dengan pembuatan *drawing* atau gambar teknik dari keseluruhan desain yang sudah dibuat.
3. Pemilihan Material
 Tahap ketiga adalah proses pemilihan material pada setiap komponen dari alat yang sudah dimodelkan dalam 3 dimensi. Pada proses ini, material harus sesuai dengan kondisi lingkungan dari tempat yang akan digunakan sebagai tempat bekerjanya alat tersebut dan material harus sesuai dengan fungsi dari setiap komponennya.
4. Analisis dan Simulasi Alat
 Pada proses akhir ini akan dikerjakan menggunakan software seperti *Solidwork* atau *Ansys* dengan melakukan beberapa Analisa seperti Analisa static pada struktur hingga simulasi proses kerja dari alat tersebut dengan tujuan untuk mengetahui apakah alat tersebut dapat bekerja secara optimal dan aman untuk dioperasikan.

Dalam proses pembuatan rancangan mesin pres sampah rumah tangga untuk pembangkit listrik tenaga sampah (PLTSa) UNSIKA ini dikerjakan dengan menggunakan *software Solidworks 2023*. Untuk mendapatkan desain yang sesuai, diperlukan data terkait pembangkit listrik tenaga sampah (PLTSa) UNSIKA sebagai acuan atau parameter yang digunakan untuk memodelkan mesin pres sampah. Parameter yang digunakan untuk pembuatan desain mesin pres yaitu model dan dimensi dari pembangkit listrik tenaga sampah (PLTSa) UNSIKA. Berikut adalah data parameter untuk menentukan desain mesin pres.



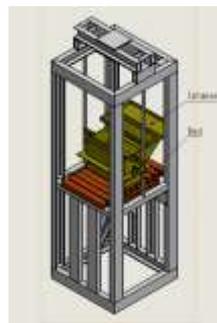
Gambar 1. Desain dan Ukuran Bodi Insinerator

Pada perancangan desain rangka mesin pres ini membutuhkan ukuran dari insinerator PLTSa di UNSIKA. Parameter pertama yang diperlukan yaitu ketinggian mulut hopper dengan lantai atau tanah tempat berdirinya insinerator. Berdasarkan data diatas, diperoleh ketinggian mulut hopper dengan lantai yaitu 1 meter. Selanjutnya, untuk parameter kedua yaitu lebar dari mulut hopper senilai 0,3 meter. Selain itu, seperti yang sudah disebutkan sebelumnya, perancangan rangka mesin pres ini menggunakan besi UNP 100, besi pejal, besi siku, dan besi *hollow* dengan material ASTM A36. Berikut data dan dimensi dari UNP 100, besi pejal, besi siku, dan besi *hollow* dengan material ASTM A36 berdasarkan data desain yang didapatkan[19].



Gambar 5. Desain Rangka Mesin Pres

Berdasarkan pada **Gambar 5**, maka dapat digambarkan posisi *bed* yang berfungsi sebagai dudukan dan penahan cetakan.



Gambar 6. Posisi *Bed* dan Cetakan Mesin Pres

Perhitungan pada rangka mesin pres sangat dibutuhkan untuk mengetahui reaksi serta ketahanan rangka terhadap beban yang diberikan. Perhitungan pada rangka mesin pres dilakukan secara simulasi pada *software solidworks* dan perhitungan teoritis agar didapatkan hasil yang maksimal [21] [22]. Pada perhitungan rangka mesin press ini, perhitungan secara spesifik diarahkan ke tempat penahan cetakan karena titik yang akan menerima beban terus menerus akan berada di titik tersebut. Terkait posisi rangka mesin press pada keseluruhan *assembly* mesin press dapat dilihat pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Rangka

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Tegangan Maksimal

Tegangan maksimal didapat dari momen lentur dan momen inersia yang telah dihitung sebelumnya. Dengan nilai y merupakan jarak dari sumbu netral (*centroid*) UNP ke titik dimana tegangannya maksimal terjadi, yaitu sebesar 0,04 m. Setelah itu barulah kita dapat mencari nilai tegangan normal maksimum dengan rumus seperti berikut.

$$\sigma_{maks} = \frac{M_L \times y}{I}$$

$$\sigma_{maks} = \frac{224,57 \text{ Nm} \times 0,03 \text{ m}}{1,78 \times 10^{-7} \text{ m}^4}$$

$$\sigma_{maks} = 3,785 \times \frac{10^8 \text{ N}}{\text{m}^2}$$

Maka diperoleh nilai tegangan maksimum pada rangka tengah pada *Bed* adalah sebesar $3,785 \times 10^7 \text{ N/m}^2$

3.2. Defleksi Maksimal

Untuk mendapatkan nilai defleksi atau *displacement*, membutuhkan nilai modulus elastisitas pada material, dimana modulus elastisitas pada *ASTM A36 Steel* adalah sebesar 200 Gpa. Maka defleksi dapat dihitung menggunakan formula berikut.

$$\delta = \frac{5qL^4}{384El}$$

$$\delta = \frac{5 \times 530,79 \times 0,45 \text{ m}^4}{384 \times 200 \times 10^9 (1,78 \times 10^{-7})}$$

$$\delta = 7,961 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

Dari hasil perhitungan didapatkan defleksi maksimum pada rangka sebesar $7,961 \times 10^{-3} \text{ mm}$.

3.3. Safety Factor

Untuk mendapatkan nilai *safety factor* pada objek, nilai yang harus diketahui ialah *yield strenght* pada material yang digunakan. Diketahui bahwa nilai *Yield Strenght* pada *ASTM A36 Steel* adalah sebesar $1,724 \times 10^8 \text{ Pa}$. Maka nilai *safety factor* bisa didapatkan dari perhitungan berikut.

$$FS = \frac{S_y}{\sigma_{maks}}$$

$$FS = \frac{2,5 \times 10^8 \text{ Pa}}{3,785 \times 10^7 \text{ Pa}}$$

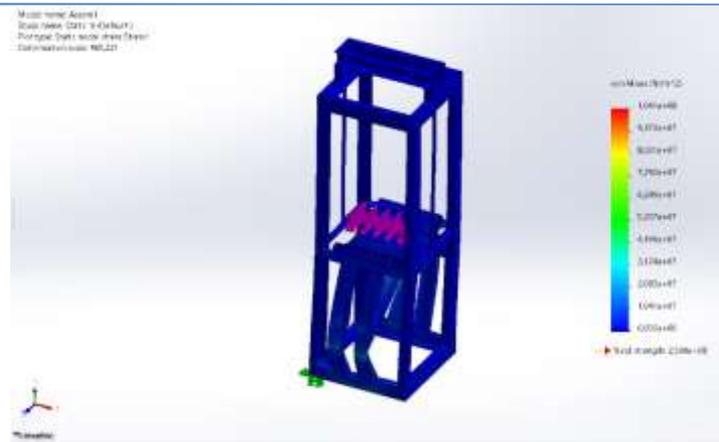
$$FS = 6,605$$

3.4. Simulasi SolidWorks pada Bed dan Rangka

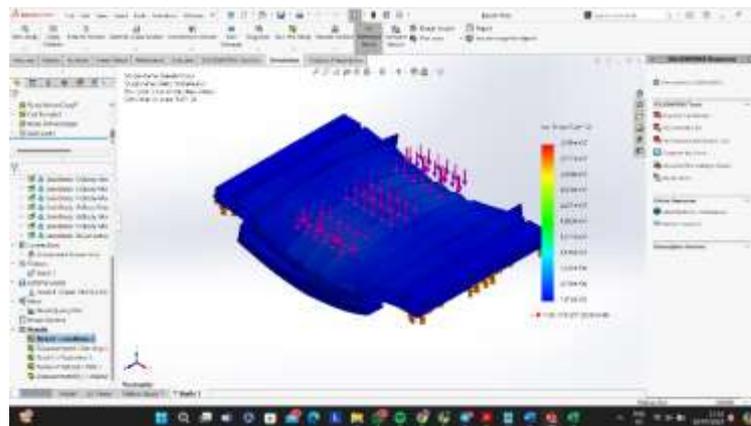
Dalam perancangan rangka mesin press menggunakan baja UNP 100 dengan ketebalan 5mm dengan material *ASTM A36* karena memiliki kekakuan yang cukup baik dan barang mudah ditemukan dipasaran, untuk dimensi dari rangka ini memiliki ukuran dengan tinggi 2000 mm, panjang dan lebar 700 mm. Adapun untuk simulasi dari desain kali ini menggunakan software *solidworks 2023*, dengan beban $x \text{ kg}$ pada dudukan cekatakan, berikut merupakan hasil dari simulasi rangka dalam keadaan statis.

3.4.1. Stress

Berikut merupakan hasil stress / tegangan yang terjadi pada *bed* rangka mesin press dengan menerima beban total 200 kg dalam keadaan statis.



Gambar 8. Simulasi tegangan (*stress*) pada rangka

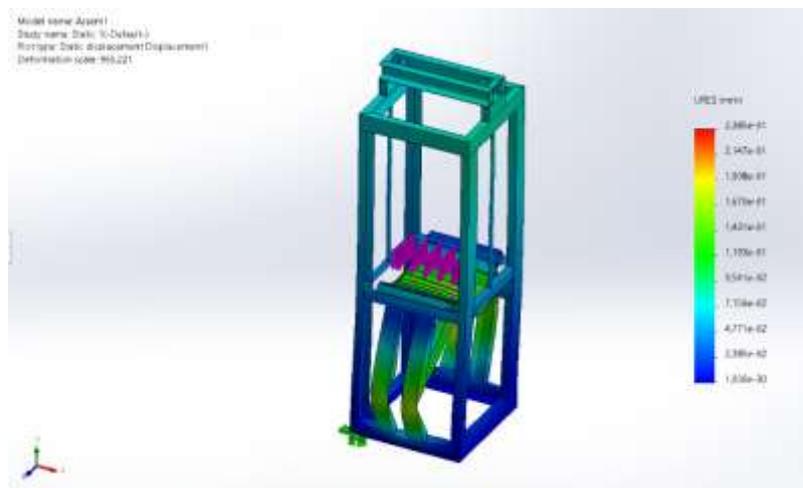


Gambar 9. Simulasi tegangan (*stress*) pada bed

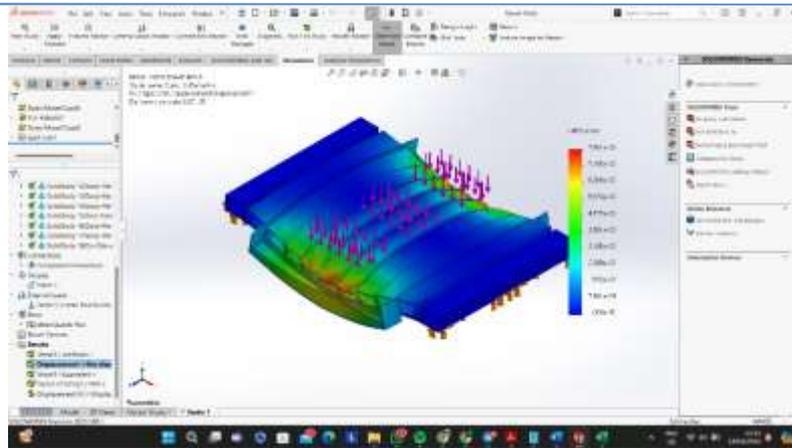
Pada **Gambar 8** menunjukkan hasil dari *stress (von misses)* maksimum sebesar $1,041 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ dan **Gambar 9** menunjukkan hasil dari *stress (von misses)* maksimum sebesar $3,785 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ ditandai dengan diagram berwarna merah yang berarti mendekati batas maksimum material.

3.4.2. Displacement

Berikut merupakan hasil displacement / defleksi yang terjadi pada rangka mesin pres dengan menerima beban total sebesar 200 kg dalam keadaan statis.



Gambar 10. Simulasi defleksi (*displacement*) pada rangka

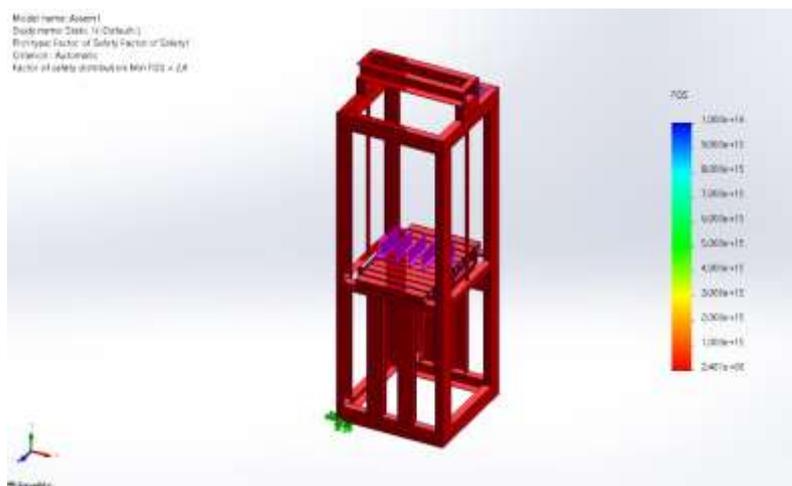


Gambar 11. Simulasi defleksi (*displacement*) pada bed

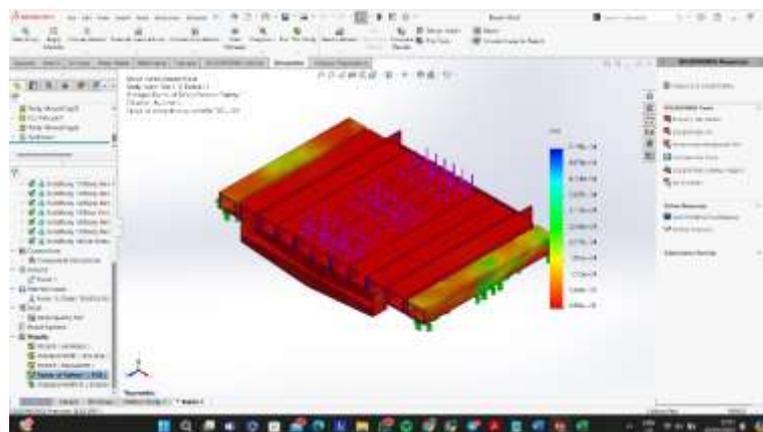
Pada Gambar 10 menunjukkan hasil dari displacement maksimum sebesar $2,385 \times 10^{-1} \text{ mm}$ dan pada Gambar 11 menunjukkan hasil dari displacement maksimum sebesar $7,961 \times 10^{-3} \text{ mm}$ ditandai dengan diagram berwarna merah yang berarti mendekati batas maksimum material.

3.4.3. Safety Factor

Untuk mendapatkan nilai *safety factor* pada objek, nilai yang harus diketahui ialah *Yield* diketahui dari tabel X Data material ASTM A36 Steel:



Gambar 12. Simulasi *safety factor* pada rangka



Gambar 13. Simulasi *safety factor* pada bed

Pada Gambar 12 menunjukkan hasil dari safety of factor minimum sebesar 2,401 dan pada Gambar 13. menunjukkan hasil dari safety of factor minimum sebesar 6,604 ditandai dengan diagram berwarna merah.

4. Kesimpulan

Sampah yang masuk ke dalam incinerator memiliki volume lebih kecil dengan massa yang lebih berat disaat dimasukkan, dimana sampah kering memiliki berat 4 kg pada ukuran maksimal cetakan $3000\text{cm}^3 \times 4$. Setelah sampah di press memiliki berat rata – rata 7 kg pada ukuran maksimal cetakan $3000\text{cm}^3 \times 4$.

Kontribusi pada pengurangan sampah dan pemanfaatan energi terbarukan dapat dilihat dengan penambahan opsi menggunakan sampah basah yang di press untuk dimasukkan kedalam incinerator sebagai bahan bakar pembangkit listrik tenaga sampah. Desain mesin press saat ini sudah membantu untuk memudahkan dan menambah efisiensi pembakaran sampah pada incinerator guna bahan bakar PLTSA.

5. Referensi

- [1] Izharsyah, Jehan Ridho. "Analisis strategis Pemko Medan dalam melakukan sistem pengelolaan sampah berbasis open dumping menjadi sanitary landfill." *Jurnal Ilmiah Muqoddimah: Jurnal Ilmu Sosial, Politik dan Humaniora* 4.2 (2020): 109-117.
- [2] D. oleh Enri Damanhuri Tri Padmi, "Pengelolaan Sampah," 2010
- [3] R. Samsinar and K. Anwar, "Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Kapasitas 115 Kw (Studi Kasus Kota Tegal)," *Jurnal Elektum*, vol. 15, no. 2.
- [4] V. Panchal, P. Chauhan, B. Vishvakarma, and M. Engineer..., "Design and Development of Hydraulic Press with Die," 2016, doi: 10.13140/RG.2.1.2517.6169/1.
- [5] B. Tuahta Bangun, R. Purba, and H. Batih, "Analisis Ketahanan Energi Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA) Metode Landfill dan Thermal di Tempat Pembuangan Sampah Terpadu (TPST) Bantar Gebang," *Jurnal Ilmiah Program Studi Teknik Elektro*, vol. 2, 2019.
- [6] R. A. Putra and A. Wahid, "Perancangan Dan Pembuatan Prototipe Mesin Pengepress Hidrolik Limbah Plastik," *Journal Mechanical and Manufacture Technology*, vol. 2, no. 1, 2021. (2014). Distributed Generation Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Kota (PLTSA) Type *Incinerator* Solusi Listrik Alternatif Kota Medan. *Jurnal Sains Dan Teknologi*, 121-128.
- [7] K. David Somade *et al.*, "Design and Analysis of an Hydraulic Trash Compactor Digital Technology Enabled Circular Economy: Models for Environmental and Resource Sustainability View project See Profile Design and Analysis of an Hydraulic Trash Compactor", [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/342424735>
- [8] R. Baidya, B. Debnath, D. De, and S. K. Ghosh, "Sustainability of Modern Scientific Waste Compacting Stations in the City of Kolkata," *Procedia Environ Sci*, vol. 31, pp. 520–529, 2016, doi: 10.1016/j.proenv.2016.02.072.
- [9] Binaindojaya. (2020). *Glasswool: Insulator Terbaik untuk Bangunan Modern*. *Jurnal Bahan Bangunan Indonesia*, 12(2), 45-52..
- [10] Wiramas. (2021, 15 Mei). *Plat Besi: Panduan Lengkap untuk Pemilihan dan Penggunaan*. Diperoleh dari https://wiramas.com/page/view/20_plat_besi
- [11] Alya, Z., & Zulfikar, A. (2021, Agustus 1). *Harga Besi Siku Terbaru: Analisis dan Perbandingan*. 99.co. <https://www.99.co/blog/indonesia/harga-besi-siku-terbaru/>
- [12] Green Generation Indonesia. (n.d.). Pembangkit Listrik Tenaga Sampah. Retrieved from <https://greeneration.org/>
- [13] Ardiansah, J., & Budijono, A. P. (2020). Penentuan Dimensi Hopper Pada Mesin Filler Berdasarkan Karakteristik Luncur Material (Grain, Powder). *Jurnal Teknik Mesin*, 8(2), 65-76
- [14] M. B and A. H. Setyono, "Perancangan dan Analisis Kekuatan Frame Sepeda Hibrid "Trrisona" Menggunakan Software Autodesk Inventor," *JIPTEK*, vol. 20, no. 2, p. 37, 2016.
- [15] R. S and dkk, "Perancangan dan Simulasi Frame Mobil Gokart," *Enthalpy*, vol. 3, pp. 1-10, 2018.
- [16] Khoiron, Mohammad Syifaul. "Perbandingan Kekakuan dan Kekuatan Chassis dan Body Kendaraan yang Terbuat dari Material Aluminium dan Carbon Fiber terhadap Beban Vertikal dan Torsional Bending." *Skripsi: Institut Teknologi Sepuluh Nopember*. (2016).
- [17] Maharani, Pelangi Shafira, and Faimun Faimun. "Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Grand Dharmahusada Lagoon Menggunakan Struktur Komposit Baja Beton CFT dengan Sistem Rangka Bresiing Eksentris Tipe Two-Story-X Braced." *Jurnal Teknik ITS (SINTA: 4, IF: 1.1815)* 8.1 (2019): D10-D17.
- [18] "Juvinall, R. C., & Marshek, K. M. (2017). *Fundamentals of machine component design* (7th ed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons."

- [19] Basselo, Daswin, Stenly Tangkuman, and Michael Rembet. "Optimasi Diameter Poros Terhadap Variasi Diameter Sproket Pada Roda Belakang Sepeda Motor." *Jurnal Poros Teknik Mesin Unsrat* 3.1 (2014)
- [20] Pasha, Adnan Kemal, and Riki Andra Putra. "Analisa Kemuluran Rantai Sepeda Motor Terhadap Usia Pemakaian Rantai." *Prosiding Seminar Nasional Cendekiawan*. 2018.
- [21] Aprilani, Muhamad Yoga. "Optimalisasi Insinerator Kapasitas 5kg Sampah Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTsa) Di Kampus Unsika." *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan* 9.12 (2023): 55-61.
- [22] H. A. E.-H. and M. M. E.-S. A. A. Shabana, "Bearing Design and Selection for Optimum Performance and Reliability," *International Journal of Rotating Machinery*, vol. 2013, Article ID 731243, 10 pages, 2013.