



Contents list available at [Sinta](https://sinta)

ARMATUR

: Artikel Teknik Mesin & Manufaktur

Journal homepage: <https://scholar.ummetro.ac.id/index.php/armatur>



Perancangan Mesin *Automatic Can Crusher* Menggunakan Metodologi VDI 2222

Reka Ardi Prayoga¹, Metha Islameka^{2*}, Ade Ramdan³, Hanif Azis Budiarto⁴

¹Teknik Perancangan Manufaktur, Politeknik Manufaktur Bandung, Bandung City – Indonesia

ARTICLE INFO

Keywords:

can crusher machine

design

VDI 2222

ABSTRACT

The ineffective management of metal waste, especially aluminum cans, poses significant environmental challenges, particularly in urban areas like Bandung, Indonesia. Following the fire at Sari Mukti's final waste processing site, the city faced escalating waste problems. Additionally, in the Automation Construction Design course at Polman Bandung, students lack access to practical machines that meet industrial standards, affecting learning outcomes. This research focuses on designing an automatic can crusher machine using the VDI 2222 method to address these challenges. The machine is designed to compact used aluminum cans to 10% of their original volume, reducing storage space and recycling costs. The prototype measures 300 mm × 578 mm × 630 mm and can crush approximately 775 cans per hour with a power requirement of 36 W. The design was developed through analysis, concept generation, and optimization using SolidWorks and MathCAD. This study contributes to both environmental sustainability and educational innovation by providing a practical learning tool for engineering students.

Pendahuluan

Sampah selalu menjadi isu utama yang terjadi di kota-kota besar di dunia. Manajemen sampah yang kurang efektif

dapat merugikan kesehatan masyarakat, merusak lingkungan, dan mengganggu estetika kota [1]. Di Indonesia, tantangan dalam pengelolaan sampah melibatkan

*Corresponding author: metha@de.polman-bandung.ac.id

DOI: <https://10.24127/armatur.v6i1.8093>

Received January 17, 2025; Received in revised form March 17, 2025; Accepted March 18, 2025

Available online March 19, 2025

sejumlah faktor yang kompleks. Mulai dari sistem pengumpulan, transportasi, konversi, daur ulang, hingga keterbatasan kapasitas Tempat Pemrosesan Akhir sampah (TPA) [2].

Di Indonesia, permasalahan pengelolaan sampah logam menjadi salah satu tantangan krusial dalam sistem manajemen sampah. Menurut Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) tahun 2023, sampah logam menduduki peringkat kedua dengan persentase mencapai 18%, hanya berada di belakang sisa makanan yang mencapai 41.9% [3]. Sebagai contoh, Kota Bandung menghasilkan 1500 ton sampah setiap harinya, dan situasi semakin memburuk akibat darurat sampah sepanjang tahun 2023 akibat terbakarnya Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Sari Mukti. Kondisi ini menyoroti eskalasi masalah limbah logam yang mengancam kesehatan masyarakat dan integritas lingkungan, menandai urgensi untuk perbaikan sistem pengelolaan sampah yang lebih efektif [2].

Sebagian besar logam umumnya dapat diregenerasi tanpa mengurangi mutu mereka. Namun, kaleng bekas yang terbuat dari aluminium dan campuran logam lainnya, yang digunakan untuk minuman, makanan, dan bahan lainnya, memiliki potensi untuk mengalami reaksi dengan udara luar dan dapat mengalami korosi. Jika terpapar air, kaleng ini dapat menyebabkan pencemaran tanah dan mengurangi kesuburannya. Selain mencemari lingkungan, apabila tidak didaur ulang dengan benar, sampah kaleng yang sudah kosong juga memerlukan ruang penyimpanan yang signifikan, sehingga dapat meningkatkan biaya untuk proses pemindahan sampah ke tempat pembuangan akhir [4].

Masalah dalam pengelolaan limbah logam, khususnya kaleng aluminium, semakin mendesak mengingat limbah ini dapat mencemari lingkungan dan memerlukan ruang penyimpanan yang besar [5]. Berbagai strategi inovatif telah dikembangkan untuk mengatasi masalah ini.

Up-cycling, mengolah kaleng aluminium menjadi produk bernilai tinggi, seperti membran nano-pori, merupakan salah satu pendekatan berkelanjutan dalam manajemen limbah [6]. Selain itu, teknik sol-gel telah berhasil digunakan untuk mengubah limbah aluminium menjadi alumina berkualitas tinggi, menunjukkan potensi besar dalam menciptakan material bernilai tambah [5].

Salah satu solusi permasalahan volume sampah kaleng bekas adalah *can crusher*. Namun, beberapa penelitian terkait *can crusher* sebelumnya masih memiliki keterbatasan, terutama dalam hal efisiensi energi dan kemampuan otomatisasi. Misalnya, sulitnya kontrol dalam otomatisasi dan penggunaan sistem pneumatik yang masih membutuhkan tekanan yang cukup tinggi hingga 0,8 MPa untuk menghancurkan kaleng [7]. Selain itu, penelitian terkait penggunaan PLC dalam otomatisasi *can crusher* memang telah menunjukkan hasil yang menjanjikan, tetapi masih menghadapi tantangan dalam optimalisasi penggunaan energi dan kompleksitas sistem yang memerlukan keahlian teknis khusus [8,9].

Oleh karena itu, dibutuhkan pengembangan mesin *can crusher* yang lebih sederhana namun tetap efisien dengan pendekatan mekanis-elektris, yang berfokus pada penggunaan motor listrik untuk mengurangi energi yang dibutuhkan dalam penghancuran kaleng.

Fokus dari penelitian ini adalah merancang mesin *can crusher* menggunakan metodologi Verein Deutscher Ingenieure (VDI) 2222, yang merupakan pendekatan sistematis untuk pengembangan produk teknik. Metodologi ini memungkinkan peneliti untuk mengintegrasikan berbagai aspek desain dan analisis, mulai dari konsep hingga implementasi. Rancangan yang dihasilkan nantinya akan dibuat dan diuji coba oleh mahasiswa, serta diintegrasikan ke dalam mata kuliah Perancangan Konstruksi Otomasi (PKO). Dengan cara ini, diharapkan mahasiswa dapat memperoleh pemahaman praktis tentang

desain mesin dan teknologi yang relevan, sambil berkontribusi pada pengembangan alat yang berkelanjutan dan efisien untuk pengelolaan limbah kaleng.

Metode Penelitian

Untuk memastikan bahwa rancangan yang dihasilkan sesuai dengan standar industri dan manufaktur, maka pendekatan yang diterapkan adalah menggunakan metodologi perancangan VDI 2222 dengan bantuan *software* Solidworks [10,11]. Selain itu, proses perhitungan dan kontrol rancangan dilakukan menggunakan bantuan *software* MathCad.

Gambar 1 merupakan modifikasi serta penyesuaian dari metodologi perancangan VDI 2222 yang dibagi menjadi 3 aktivitas utama yaitu: (1) Analisis yang digunakan untuk identifikasi produk dan pengumpulan data, (2) Pembuatan konsep dengan membuat daftar tuntutan untuk memperjelas pekerjaan serta dilakukan pengajuan alternatif fungsi dan konsep, (3) Proses perancangan yang menghasilkan *draft* rancangan dari evaluasi konsep rancangan serta melakukan optimasi sesuai dengan proses pembuatan, perakitan, perawatan.

Hasil dan Pembahasan

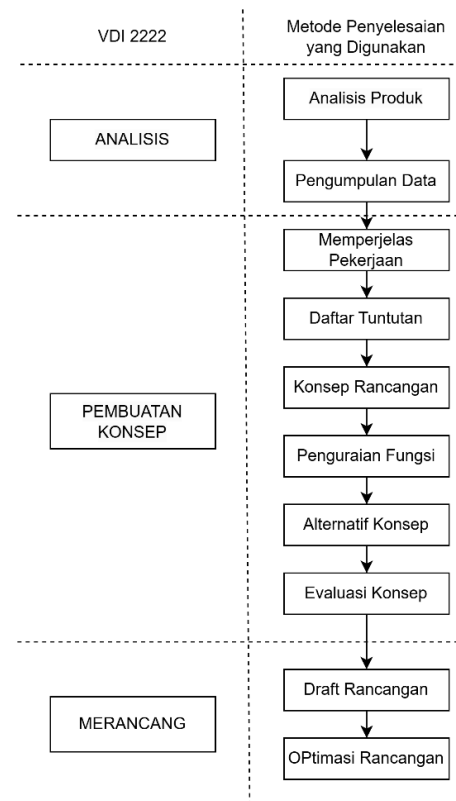
Analisis

Sebagaimana diuraikan dalam latar belakang, sampah kaleng yang sudah kosong memerlukan ruang penyimpanan yang signifikan, sehingga dapat meningkatkan biaya untuk proses pemindahan sampah ke tempat pembuangan akhir. Oleh karena itu, penggunaan alat atau mesin otomatis untuk mengubah volume kaleng utuh menjadi pipih dapat mengurangi ruang penyimpanan, mengoptimalkan waktu proses dan memudahkan pengrajin dalam mendaur ulang sampah kaleng.

Pembuatan Konsep

Tahapan pembuatan konsep meliputi: (1) aktivitas memperjelas pekerjaan yang harus diselesaikan, (2) membuat daftar tuntutan, (3) membuat konsep rancangan, (4) menguraikan fungsi

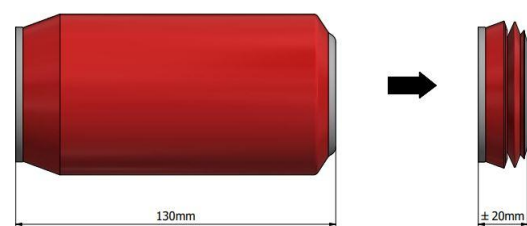
dari usulan konsep rancangan, (5) pembuatan alternatif konsep berdasarkan fungsi yang telah ditetapkan, dan (6) penilaian dari aspek pembuatan, perakitan, dan perawatannya.



Gambar 1. Diagram Alir Metodologi Perancangan VDI 2222 tiga Aktivitas Utama

(1) Memperjelas Pekerjaan

Di tahapan ini, pekerjaan yang berhubungan dengan semua fungsi mesin *automatic can crusher* akan diperjelas. Setelah melalui proses analisis di tahapan sebelumnya, ditentukanlah bahwa fungsi mesin adalah untuk membuat kaleng utuh menjadi kaleng pipih. Ilustrasi produk awal dan produk setelah proses dari mesin ini dapat dilihat pada Gambar 2.



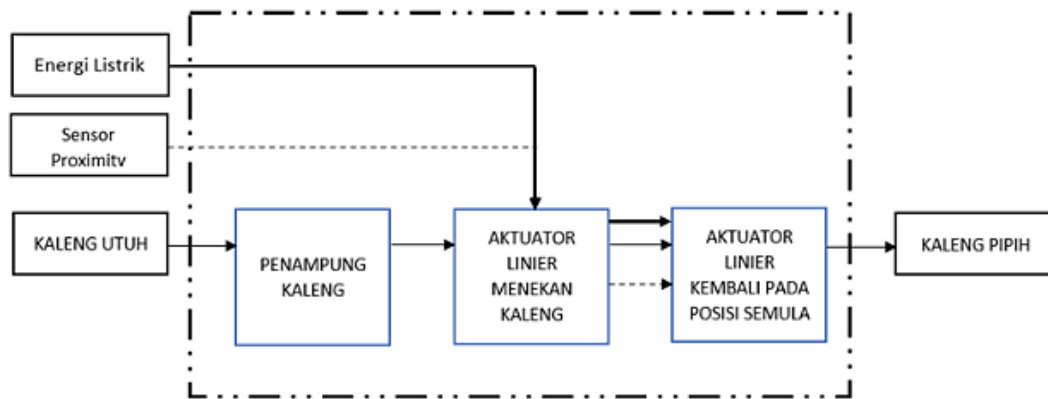
Gambar 2. Ilustrasi Produk Awal (kaleng utuh) dan Produk Akhir (menjadi pipih)

(2) Membuat Daftar Tuntutan

Pembuatan konsep rancangan



Gambar 4. Diagram *black-box*



Gambar 3. Diagram *glass-box*

Pembuatan daftar tuntutan ini bertujuan untuk menjelaskan secara rinci kriteria-kriteria yang diinginkan agar rancangan mesin penghancur kaleng otomatis dapat memenuhi persyaratan. Daftar tuntutan ini terdiri dari beberapa tuntutan utama, yaitu kebutuhan yang wajib dipenuhi atau hasil yang diharapkan dari suatu rancangan. Detail dari daftar tuntutan untuk mesin penghancur kaleng otomatis dapat ditemukan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Daftar Tuntutan

No.	Tuntutan Utama	Kriteria
1.	Proses Otomatis	- Mesin menyala ketika ada kaleng - Mesin mati ketika tidak ada kaleng
2.	Pengurangan Ukuran Kaleng	Hingga 10% - 20% volume awal
3.	Penggunaan Komponen	Dirancang agar mesin bersifat <i>portabel</i>

(3) Membuat Konsep Rancangan

dilakukan berdasarkan fungsi masing-masing komponen dari *mesin automatic can crusher*. Pada tahap pembuatan konsep rancangan ini, digunakan diagram *black-box* dan *glass-box* untuk merinci diagram alur proses serta mengidentifikasi fungsi dari setiap bagian komponen mesin, termasuk input, proses, dan output mesin yang akan dirancang, sebagaimana tergambar pada Gambar 3 dan 4.

Metode *black box*, mengacu pada sistem buram di mana cara kerja internal disembunyikan, sering dikaitkan dengan alat AI dan proses kreatif pikiran [12,13]. Di sisi lain, metode desain *glass box*, menekankan transparansi dan penjelasan, memungkinkan pemahaman yang jelas tentang mekanisme dalam sistem. Dalam konteks desain produk mesin, evolusi dari teori *black box* ke *grey box* dan akhirnya ke desain *glass box* menandakan kemajuan menuju implementasi skema desain yang lebih rinci dan konkret [12,14,15].

(4) Menguraikan Fungsi

Penguraian fungsi merupakan aktivitas untuk mengumpulkan ide-ide serta untuk mendapatkan sebuah solusi

berdasarkan diagram *black-box* yang telah didefinisikan sebelumnya.

Terdapat tiga bagian fungsi dari sebuah mesin *automatic can crusher* yaitu sebagai berikut:

a. Fungsi Aktuator

Aktuator berfungsi untuk mendorong/menekan kaleng utuh menjadi kaleng pipih.

b. Fungsi Penampung Kaleng

Fungsi Penampung kaleng adalah komponen yang bertugas sebagai penyimpan kaleng di awal proses, penyusun kaleng utuh, serta penentu kaleng utuh yang keluar menuju tempat kaleng dipipihkan.

c. Fungsi Sensor

Fungsi sensor adalah komponen yang digunakan untuk meneruskan daya listrik atau sinyal dari sistem kepada kontroler atau langsung kepada aktuator. Dalam hal ini, fungsi sensor bekerja untuk mendeteksi ada atau tidaknya kaleng.

d. Fungsi Rangka

Fungsi rangka digunakan sebagai tempat penggabungan rangkaian komponen desain sesuai fungsi yang dibutuhkan.

(5) Pembuatan Alternatif Konsep

Tahap selanjutnya yaitu pembuatan alternatif konsep, uraian dari setiap fungsi komponen diberikan sebuah alternatif yang bertujuan untuk mencari sebuah solusi yang paling optimal berdasarkan penilaian secara teknis maupun non-teknis.

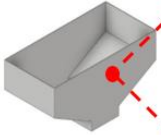
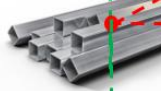
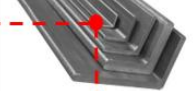
Tabel 2. Alternatif fungsi bagian

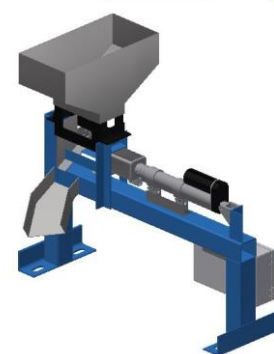
Fungsi Bagian	Alternatif 1	Alternatif 2
Aktuator	Pneumatik	Motor Listrik
Penampung Kaleng	Corong Per	Corong Silinder
Sensor	Sensor Laser	Sensor Induktif
Rangka	Hollow	Siku

Dari alternatif fungsi yang diidentifikasi di awal, dilakukan penilaian dari masing-masing fungsi bagian yang kombinasinya dapat dilihat pada Tabel 3.

Pada Tabel 3, ditampilkan kotak morfologi yang menghasilkan 2 alternatif fungsi kombinasi rancangan. Setelah melalui penilaian, akan didapatkan satu alternatif fungsi kombinasi rancangan yang paling optimal.

Tabel 3. Diagram morfologi mesin *Automatic Can Crusher*

No.	Fungsi Bagian	Alternatif 1	Alternatif 2
1.	Aktuator		
2.	Penampung Kaleng (Hopper)		
3.	Sensor		
4.	Rangka		



Gambar 5. Model 3D variasi terpilih

(6) Penilaian/Evaluasi

Dengan mempertimbangkan evaluasi dari segi teknis dan ekonomis, dipilihlah *Varianten-Kombination und Konfiguration* (VVK, atau biasa disebut dengan AVK, Alternatif Variasi Kombinasi) nomor dua, seperti yang terlihat dalam Tabel 4 dan 5.

AVK-2 mengadopsi aktuator dengan tipe aktuator listrik, penampungan kaleng

(*hopper*) berbentuk corong persegi, sensor induktif, dan kombinasi rangka besi *hollow* dan siku untuk menopang fungsi komponen-komponen tersebut. Ilustrasi AVK terpilih dapat dilihat pada Gambar 5.

Draft Rancangan

Draft rancangan mesin *automatic can crusher* memiliki kapasitas sebanyak ± 13 kaleng dengan diameter kaleng sebesar 66 mm dan untuk kaleng berdiameter 53 mm dapat menampung kaleng sebanyak ± 17 kaleng. Mesin ini juga memiliki dimensi luar 300 mm $\times$ 578 mm $\times$ 630 mm dengan berat kosong 14 Kg yang terdiri dari 17 komponen. *Draft* rancangan dapat dilihat pada Gambar 6.

Perhitungan dan Kontrol Rancangan

(1) Perhitungan Awal

Perhitungan awal digunakan untuk mengetahui nilai-nilai yang akan berguna dalam penentuan komponen. Perhitungan awal ini akan menentukan panjang *stroke* yang dibutuhkan untuk membuat kaleng menjadi pipih hingga 10% tinggi awal dan menentukan daya motor yang akan digunakan. Beberapa proses perhitungan dibantu oleh *software* MathCad. Berikut perhitungan awal yang digunakan menggunakan MathCad.

- a) Volume Kaleng (V_1) sebelum proses *crushing* dicari menggunakan Persamaan (1)

$$V_1 = \pi \cdot r_1^2 \cdot h_1 \quad (1)$$

Di mana:

$\varnothing$ Kaleng (d_1) = 66 mm

Radius (r_1) = 33 mm

Tinggi (h_1) = 130 mm

Dari data-data tersebut di atas, diperoleh bahwa nilai

$$V_1 = 444.755 \text{ mm}^3$$

- b) Volume Kaleng (V_c) setelah proses *crushing* dicari menggunakan Persamaan (2)

$$V_c = \pi \cdot r_c^2 \cdot h_c \quad (2)$$

Di mana:

$\varnothing$ Kaleng (d_c) = 66 mm

Radius (r_c) = 33 mm

Tinggi (h_c) = 20 mm

Dari data-data tersebut di atas, diperoleh bahwa nilai

$$V_c = 68.424 \text{ mm}^3$$

- c) Panjang *stroke* yang dibutuhkan untuk menekan hancur hingga tinggi 20 mm adalah 110 mm. Namun, untuk memastikan bisanya kaleng memasuki area penumbukan, celah 8 mm dibuat di depan aktuator sebelum kaleng. Sehingga, *stroke* aktuator yang dibutuhkan adalah minimal 118mm atau 4,46 inci.

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, proses *crushing* mampu untuk menurunkan volume kaleng dari 444755 mm³ hingga 68424 mm³, atau sekitar 15% dari volume awal, menghilangkan hingga 85% volume kaleng awal. Hal ini telah memenuhi target pengurangan volume kaleng hingga sebesar 10% sampai 20% dari volume awal.

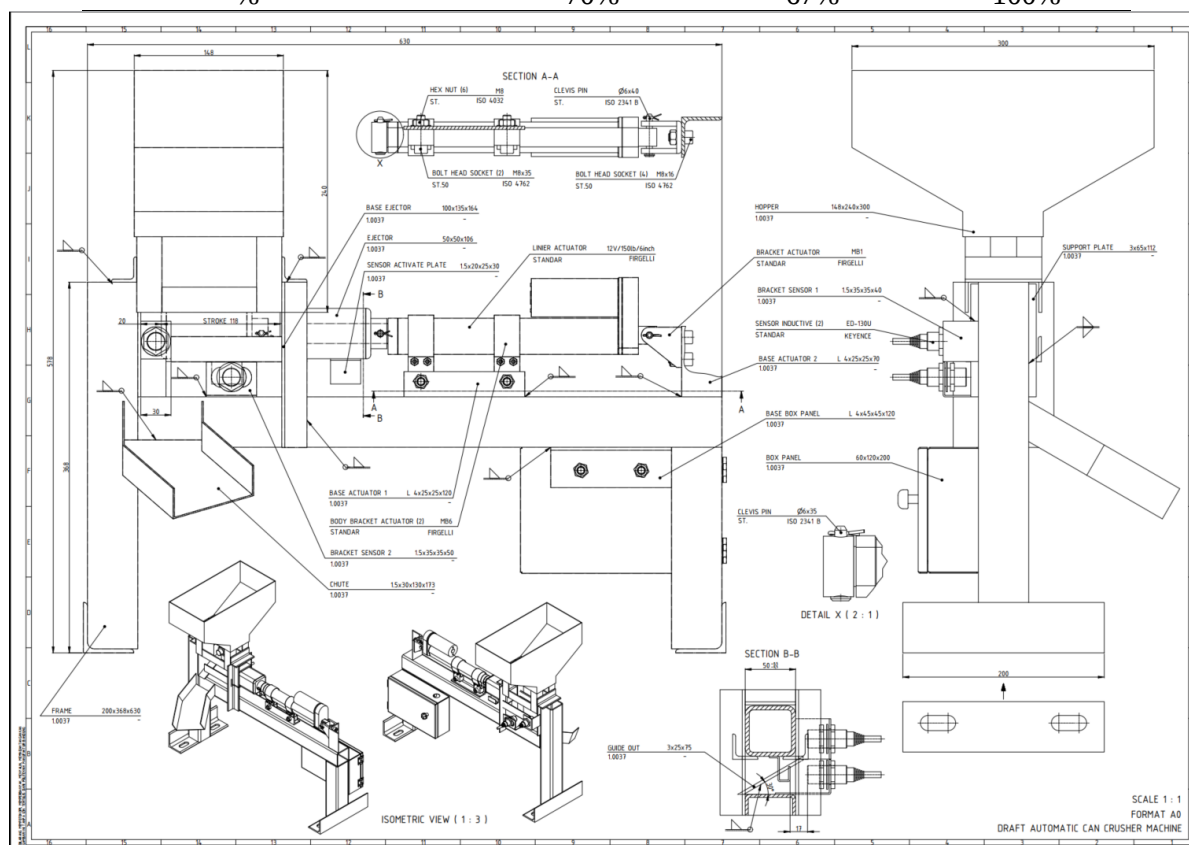
Gambar 7 menunjukkan pilihan aktuator linear yang sesuai dengan target *stroke*, yakni minimal 118mm. Linear motor ini berjenis DC sehingga memudahkan dalam penentuan sumber listrik. Adapun spesifikasi input tegangannya adalah 12V DC dan kuat arus maksimal 3 Ampere. Setelah melalui perhitungan, diperoleh informasi bahwa daya motor ini adalah 36 Watt. Nilai daya ini berguna untuk proses menentukan kecukupan sumber energi mesin ini.

Tabel 4. Penilaian teknis terhadap variasi kombinasi

Kriteria	Bobot	Penilaian Teknis Terhadap Konsep				Nilai Optimum	
		AVK 1		AVK 2			
Biaya Pembuatan	4	7	28	7	28	10	40
Biaya Perawatan	3	6	18	7	21	10	30
Biaya Komponen Standar	3	8	24	6	18	10	30
Total Nilai	10		70		67		100
Rata-rata		2,1		2,01		3	
%		70%		67%		100%	

Tabel 5. Penilaian ekonomis terhadap variasi kombinasi

Kriteria	Bobot	Penilaian Teknis Terhadap Konsep				Nilai Optimum	
		AVK 1		AVK 2			
Ketercapaian Fungsi	4	7	28	7	28	10	40
Pembuatan Komponen	3	6	18	7	21	10	30
Perawatan	3	8	24	6	18	10	30
Total Nilai	10		70		67		100
Rata-rata		2,1		2,01		3	
%		70%		67%		100%	



Gambar 6. Draft rancangan can crusher



Gambar 7. Linear Actuator terpilih

(2) Perhitungan Kekuatan Rangka

Berdasarkan diagram fungsi, rangka diharuskan untuk mampu menopang keseluruhan fungsi komponen. Sehingga perlu dipastikan agar rangka yang akan dibuat memiliki kemampuan untuk menopang keseluruhan fungsi komponen [16]. Berikut ini merupakan perhitungan

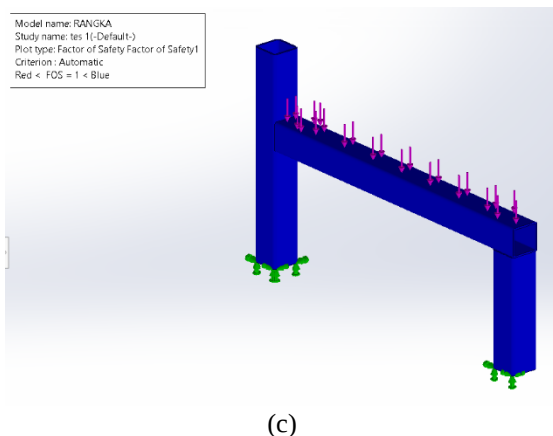
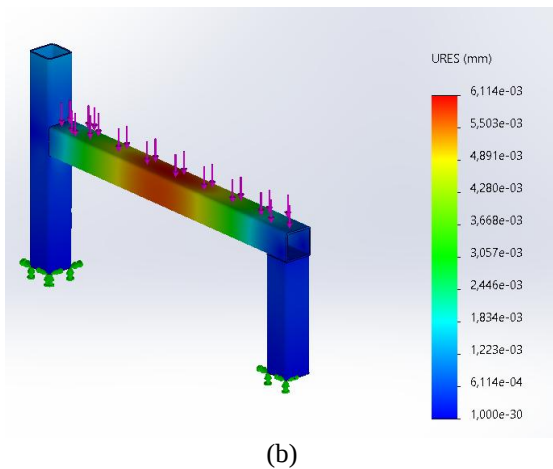
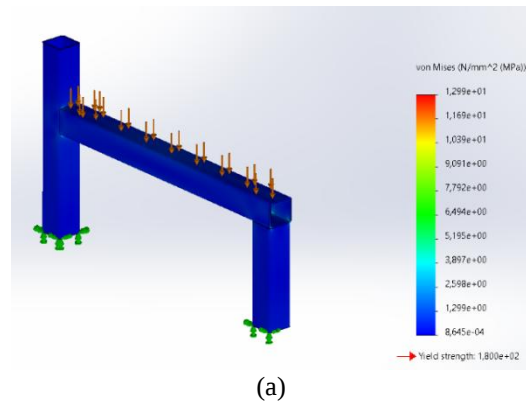
kekuatan rangka, berdasarkan massa seluruh komponen yang ditopang oleh rangka, sebesar 16,7kg.

$$F = m \cdot g \quad (3)$$

Di mana:

Massa (m) = 16,7 kg
Percepatan gravitasi = 10 m/s²

Maka nilai Gaya Berat yang diterima struktur adalah **F = 167 N**.



Gambar 7. (a) Simulasi kekuatan rangka *von misses* (b) pergeseran (*displacement*) (c) *factor of safety*

Hasil analisa kekuatan rangka dan *displacement* menggunakan Solidworks menunjukkan bahwa rangka yang digunakan kuat (memiliki tegangan dan defleksi yang lebih rendah dari batas izinnya) untuk menopang beban sebesar 167 N. Berdasarkan perhitungan di atas dapat disimpulkan bahwa rangka yang akan dibuat memiliki nilai *safety factor* yang aman sehingga rangka dapat menopang semua fungsi komponen yang nantinya akan dirakit pada rangka tersebut.

(3) Perhitungan Cycle Time

Cycle time digunakan untuk mengetahui berapa waktu dan jumlah yang dibutuhkan mesin untuk memipihkan kaleng dalam 1 kali proses. Berikut ini merupakan perhitungan untuk menentukan *cycle time* yang dibutuhkan.

- Kecepatan aktuator (diperoleh dari katalog) adalah 2 inci/s atau 50,8 mm/s.
- Waktu yang dibutuhkan dalam 1 gerakan maju mundur/1 periode adalah

$$T = 2 \cdot \left(\frac{\text{panjang stroke}}{\text{kecepatan aktuator}} \right) \quad (4)$$

Dengan Panjang stroke aktuator adalah 118 mm, dan kecepatan aktuator = 50,8 mm/s

- Maka diperoleh nilai periode T adalah 4,65 s, sehingga frekuensinya adalah $f = \frac{1}{T}$ yaitu 0,215 Hz.
- Banyaknya kaleng yang dapat ditumbuk dalam 1 menit dan 1 jam dapat diperoleh melalui perhitungan berikut.

$$n_{\text{minute}} = f \cdot 60, \quad (5)$$

$$n_{\text{hour}} = f \cdot 3600. \quad (6)$$

Berdasarkan perhitungan yang didapatkan, dalam 1 menit, mesin ini dapat memipihkan kaleng sebanyak ±13 kaleng/menit, dan dalam 1 jam, mesin ini

dapat memipihkan kaleng sebanyak ± 775 kaleng.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil kajian dan perancangan mesin *automatic can crusher*, diperoleh kesimpulan bahwa mesin ini dirancang dengan dimensi kompak, yaitu 300 mm (panjang) $\times$ 578 mm (lebar) $\times$ 630 mm (tinggi), serta berat kosong 14 kg yang mencakup 17 komponen utama. Desain tersebut dioptimalkan untuk memastikan efisiensi ruang dan kemudahan operasional. Dari aspek energi, mesin ini memerlukan daya listrik sebesar 36 W, menunjukkan tingkat konsumsi energi yang relatif rendah untuk aplikasi penghancuran kaleng skala kecil hingga menengah. Selain itu, kapasitas produksi mesin mencapai ± 775 kaleng per jam, yang mengindikasikan kemampuan optimal dalam meningkatkan produktivitas daur ulang kaleng. Kombinasi parameter desain, efisiensi energi, dan kapasitas tinggi ini menjadikan mesin *automatic can crusher* sebagai solusi potensial untuk mendukung praktik pengelolaan limbah yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Referensi

- [1] P. Li, Ed., "Solid Waste Management," 2023, *IntechOpen, Rijeka*. doi: 10.5772/intechopen.1000359.
- [2] E. Agustina, R. S. Gewe, and I. M. W. Widyarsana, "Evaluasi Sistem Pengelolaan Sampah Di Kawasan Perumahan Di Kota Bandung," *Jurnal Teknik Lingkungan*, vol. 26, no. 2, pp. 88–102, 2020, doi: 10.5614/j.tl.2020.26.2.7.
- [3] SIPSN, "Komposisi Sampah." Accessed: Jan. 17, 2023. [Online]. Available: <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/public/data/komposisi>
- [4] M. Darmawan, B. Ricky, E. Joseph, and I. Samsi, "Rancang Bangun Mesin Penghancur Kaleng Minuman Berbasis Sistem Pneumatik," *Cylinder - Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 7, no. 1, pp. 34–39, 2021.
- [5] A. A. Bin Mokaizh *et al.*, "Elucidating the Effects of Reaction Time on the Physicochemical Characterization of Valorized Synthesized Alumina," *Materials*, vol. 15, no. 9, p. 3046, Apr. 2022, doi: 10.3390/ma15093046.
- [6] L.-R. Lee, Y.-F. Chen, S. Zheng, M.-H. Chang, and J.-T. Chen, "Upcycling Discarded Aluminum Cans into Nanoporous Membranes as an Eco-Friendly and Cost-Effective Strategy for Fabricating Polymer Nanoarrays and Self-Cleaning Surfaces," *ACS Appl Nano Mater*, vol. 6, no. 19, pp. 18558–18570, Oct. 2023, doi: 10.1021/acsanm.3c04051.
- [7] M. Darmawan, B. Ricky, E. Joseph, I. Samsi, and S. Mario, "Rancang Bangun Mesin Penghancur Kaleng Minuman Berbasis Sistem Pneumatik."
- [8] N. A. A. Hadi *et al.*, "Development of an automatic can crusher using programmable logic controller," *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, vol. 9, no. 3, p. 1795, Jun. 2019, doi: 10.11591/ijece.v9i3.pp1795-1804.
- [9] D. Vimal Kumar *et al.*, "Design and Fabrication Of The Double Acting Can Crushing Machine," 2017. [Online]. Available: www.ijnrd.org
- [10] R. Adhiharto, A. B. Nusantara, and A. I. Komara, "Perancangan Ulang dan Analisa Mesin Benchtop Injection Molding dengan Metode

- VDI 2222,” *JTRM (Jurnal Teknologi dan Rekayasa Manufaktur)*, vol. 5, no. 2, pp. 153–168, 2023, doi: 10.48182/jtrm.v5i2.148.
- [11] A. Priyamanggala, M. Yazid Diratama, R. Cahyadi Jurusan Teknik Manufaktur, and P. Manufaktur Bandung, “Perancangan Jig and fixture Untuk Pembuatan Ragum Tipe 125,” vol. 25, no. 1, pp. 17–24, 2023.
- [12] B. Robson and R. Cooper, “Glass Box and Black Box Machine Learning Approaches to Exploit Compositional Descriptors of Molecules in Drug Discovery and Aid the Medicinal Chemist,” *ChemMedChem*, Jul. 2024, doi: 10.1002/cmdc.202400169.
- [13] I. Malmberg, “Die Blackbox ausleuchten. Potenziale von Design-Based Research für Phasen der Lehrerinnen- und Lehrerprofessionalisierung,” *BzL - Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung*, vol. 38, no. 1, pp. 79–93, Apr. 2020, doi: 10.36950/bzl.38.1.2020.9313.
- [14] T. Todorov, B. Romanov, and Y. Sofronov, “Design and simulation of mould tools with conformal cooling system based on multi-shot moulding technology,” 2022, p. 060007. doi: 10.1063/5.0090748.
- [15] B. Talgorn, L. D. Sébastien, and M. Kokkolaras, “Blackbox Optimization in Engineering Design: Adaptive Statistical Surrogates and Direct Search Algorithms,” 2015, pp. 359–383. doi: 10.1007/978-3-319-18320-6_19.
- [16] A. Pratama and D. Agusman, “Analysis of Frame Construction Strength in Belt Conveyor Design Using Ansys Workbench,” *Sainteks: Jurnal Sains dan Teknik*, vol. 5, no. 1, pp. 19–28, Mar. 2023, doi: 10.37577/sainteks.v5i1.527.