

## RANCANG BANGUN *SEMI-AUTOMATIC HOPPER* GUNA MENINGKATKAN EFISIENSI KERJA

Wildan Yusuf Irvany, Danny Wicaksono\*, dan Fariz Luthfi Siregar

Program Studi Teknik Produksi dan Proses Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Politeknik Astra,  
Bekasi, Indonesia

*E-mail:* danny.wicaksono@polytechnic.astra.ac.id\*

*Abstract - The material weighing process in manufacturing industries is generally still performed manually, resulting in relatively long cycle times and low work efficiency. This study aims to design and develop a semi-automatic hopper as an auxiliary tool for material weighing to accelerate the workflow. The design methodology employed is VDI 2221, which encompasses the stages of task clarification, concept development, embodiment design, and detailed design, ensuring a systematic and structured approach. Implementation results indicate that the proposed tool successfully reduces the weighing cycle time from an average of 131 seconds to 12 seconds, thereby improving process efficiency by 90.8%. These findings demonstrate that the semi-automatic hopper is effective in accelerating material weighing processes within production environments.*

*Keywords: Weighing Process, Cycle Time, Mechanical Design*

**Abstrak** – Proses penimbangan material pada industri manufaktur umumnya masih dilakukan secara manual sehingga menghasilkan waktu siklus yang relatif lama dan berdampak pada rendahnya efisiensi kerja. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan *semi-automatic hopper* sebagai alat bantu penimbangan material guna mempercepat proses kerja. Metode perancangan yang digunakan adalah VDI 2221, yang mencakup tahapan penjabaran tugas, pengembangan konsep, perancangan wujud, dan perancangan rinci sehingga rancangan disusun secara sistematis dan terstruktur. Hasil implementasi menunjukkan bahwa alat yang dirancang mampu menurunkan waktu siklus penimbangan dari rata-rata 131 detik menjadi 12 detik, atau meningkatkan efisiensi proses sebesar 90,8%. Temuan ini menunjukkan bahwa *semi-automatic hopper* efektif dalam mempercepat proses penimbangan material pada lingkungan produksi.

**Kata Kunci:** Proses penimbangan, Waktu siklus proses, Perancangan mekanis

### I. PENDAHULUAN

Perkembangan industri manufaktur modern menuntut adanya peningkatan produktivitas, efisiensi, dan kualitas produk. Salah satu cara untuk mencapai tujuan tersebut adalah melalui penerapan sistem otomasi maupun semi otomatis, yang mampu mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja manual dan meminimalkan kesalahan manusia [1]. *Hopper* sebagai salah satu komponen penting dalam proses produksi memiliki peran utama dalam memperlancar aliran material, menstabilkan proses pengisian, serta mengoptimalkan kapasitas kerja [2].

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa penerapan metode desain sistematis seperti VDI 2221 dapat meningkatkan kinerja mesin. Studi mengenai rancang bangun mesin pemecah kulit otomatis membuktikan adanya peningkatan efisiensi dibanding metode manual [3]. Hal serupa ditunjukkan oleh mesin press minyak atsiri skala kecil yang menggunakan VDI 2221, di mana hasil penelitian memperlihatkan perbaikan kualitas hasil dan penyederhanaan proses produksi [4]. Penerapan metodologi yang sama juga berhasil meningkatkan keandalan sistem pada penelitian tentang pick and place dan color sorting [5].

Di Indonesia, penelitian terkait otomasi sederhana untuk mendukung efisiensi produksi telah dilakukan. Perancangan alat uji prestasi pompa menggunakan metode VDI 2221 membuktikan pentingnya pendekatan sistematis dalam pengembangan alat [6]. Rancang bangun *hopper* pencampur ragi tempe menghasilkan peningkatan efisiensi aliran material, sementara mesin pemotong singkong semi otomatis berkontribusi pada peningkatan kapasitas produksi dan pengurangan beban kerja operator [7].

Pada lingkup internasional, inovasi dalam otomasi terus dikembangkan. Studi tentang penerapan tekanan pada proses rotational molding membuktikan bahwa waktu siklus dapat dipangkas hingga 20% dengan tetap mempertahankan kualitas produk [8]. Perancangan mesin ekstruder hidrolik semi otomatis menggunakan metode VDI 2221 juga memperlihatkan efektivitas metodologi desain dalam menghasilkan rancangan yang fungsional dan efisien [9]. Inovasi lainnya adalah mesin semi otomatis untuk pengolahan bata ekologis berbasis limbah PET dan tembaga yang tidak hanya meningkatkan produktivitas tetapi juga mendukung keberlanjutan [10].

Dari sisi teoritis, sejumlah penelitian memberikan dasar kuat dalam pengembangan desain *hopper*. Model matematis untuk menganalisis efisiensi *hopper* berbentuk kerucut dapat menjadi acuan dalam proses optimasi wadah material [11]. Selain itu, penelitian tentang redesign semi otomatis pada produk mekatronika menunjukkan bagaimana metodologi desain dapat digunakan untuk menyederhanakan sistem tanpa mengurangi fungsionalitas [12]. Studi terbaru bahkan mengintegrasikan deep learning untuk optimasi aliran *hopper* melalui inverse optimization, sehingga desain dapat disesuaikan dengan kebutuhan produksi spesifik [13]. Sebagai acuan praktis di dunia industri, metode Jenike menjadi standar dalam merancang *hopper* agar aliran material granular tetap stabil dan terkendali [14].

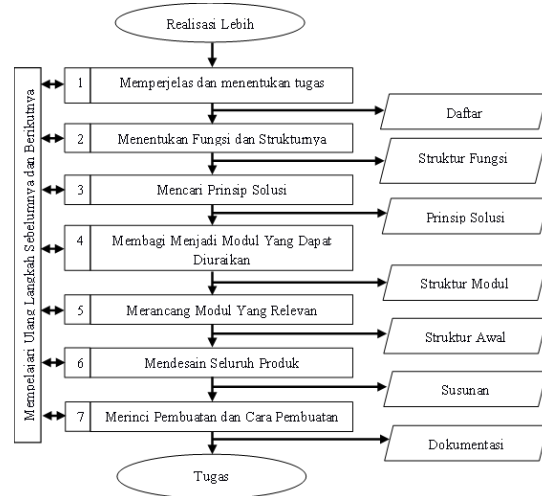
Terakhir, penelitian mengenai rancangan mesin pengisi pot bibit jeruk semi otomatis memperlihatkan relevansi otomasi sederhana dalam meningkatkan efisiensi pada skala industri [15]. Tujuan penelitian ini adalah menurunkan waktu proses penimbangan material pada area produksi dengan merancang dan mengembangkan *semi-automatic hopper* yang mampu mempercepat siklus kerja dibandingkan metode manual. Fokus penelitian diarahkan untuk menghasilkan rancangan alat yang secara kuantitatif terbukti meningkatkan efisiensi waktu penimbangan melalui pendekatan perancangan sistematis menggunakan metode VDI 2221.

**II. METODOLOGI PENELITIAN**

**2.1. Metode Penelitian**

Proses perancangan produk dalam rekayasa teknik membutuhkan pendekatan yang sistematis dan terstruktur untuk mencapai hasil yang optimal. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah metode VDI 2221 yang diperkenalkan oleh *Verein Deutscher Ingenieure* (VDI). Metode ini memberikan panduan langkah demi langkah dalam proses desain teknik, mulai dari perumusan masalah hingga perancangan rinci produk. Pendekatan sistematis yang ditawarkan VDI 2221 bertujuan untuk meningkatkan efisiensi, kualitas, dan keandalan produk, dengan mengutamakan analisis kebutuhan serta evaluasi alternatif solusi yang logis.

Langkah-langkah perancangan produk menurut metode VDI 2221 ditunjukkan pada gambar 1 sebagai berikut.



Gambar 1. Bagan Perencanaan Produk Menurut VDI 2221

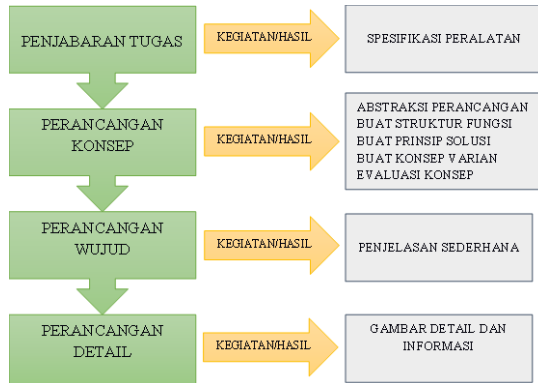
Sumber : (Pahl & Beits, 2007)

Metode VDI 2221 yang terdiri dari 7 langkah lalu dikelompokkan menjadi 4 fase yang ditunjukkan pada gambar 2.

Berikut tahapan dalam perancangan *semi-automatic hopper* menggunakan metode VDI 2221.

- a) Penjabaran Tugas (*Clarification of the task*)
- b) Perancangan Konsep (*Conceptual design*)
- c) Perancangan Wujud (*Embodiment Design*)
- d) Perancangan Detail (*Detail Design*)

Dalam tahap klarifikasi tugas, perancang harus memahami secara menyeluruh kebutuhan pengguna dan batasan teknis yang ada. Selanjutnya, perancangan konsep dilakukan dengan mengevaluasi berbagai prinsip solusi yang memungkinkan, diikuti dengan perancangan perwujudan yang mengarah pada penyusunan struktur utama produk. Terakhir, tahap perancangan detail melibatkan penentuan dimensi, material, dan spesifikasi teknis secara lengkap agar produk siap diproduksi.



Gambar 2. Sistematika Perancangan Sesuai dengan VDI 2221

## 2.2. Objek Penelitian

Tahap awal penelitian difokuskan pada analisis kondisi eksisting di lini produksi, khususnya pada proses penimbangan material. Saat penelitian dilakukan, metode yang digunakan masih sepenuhnya manual, di mana operator mengambil material secara langsung, menimbang menggunakan timbangan digital, kemudian menuangkan hasil timbang ke dalam wadah. Aktivitas ini dilakukan secara berulang-ulang dalam satu siklus kerja.

Hasil observasi lapangan menunjukkan bahwa rata-rata waktu penimbangan mencapai 131 detik per siklus. Durasi ini mencakup proses pengambilan material, penimbangan, penyesuaian berat agar sesuai target, serta pemindahan material ke wadah berikutnya. Jika diakumulasikan dalam satu hari produksi dengan jumlah siklus yang tinggi, total waktu yang terbuang menjadi sangat signifikan. Kondisi ini menunjukkan bahwa metode manual memberikan *loss time* dalam alur produksi.

Selain aspek waktu, terdapat pula keterbatasan dari sisi tenaga kerja. Proses manual menuntut ketelitian dan fokus tinggi dari operator untuk memastikan berat material sesuai standar. Namun, beban kerja berulang dalam jangka panjang dapat menyebabkan kelelahan fisik dan mental, sehingga meningkatkan potensi kesalahan penimbangan maupun variasi hasil. Variasi ini berisiko memengaruhi kualitas produk akhir, terutama jika material yang digunakan harus memiliki takaran presisi.

Lebih jauh lagi, proses manual juga menghambat efisiensi pemanfaatan sumber daya manusia. Tenaga kerja yang seharusnya bisa dialokasikan untuk aktivitas produksi bernilai

tambah, harus terkonsentrasi pada pekerjaan repetitif dan memakan waktu. Hal ini tidak sejalan dengan prinsip efisiensi produksi modern yang menekankan otomatisasi dan pengurangan aktivitas *non-value added*.

Dari hasil identifikasi tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa sistem manual yang digunakan saat ini tidak efektif untuk mendukung target produksi yang semakin meningkat. Waktu penimbangan yang relatif lama, potensi inkonsistensi hasil, serta tingginya ketergantungan pada tenaga manusia menjadi alasan utama perlunya dilakukan inovasi. Oleh karena itu, penelitian ini diarahkan untuk merancang dan membangun sebuah *hopper* semi otomatis yang diharapkan mampu:

1. Mengurangi waktu penimbangan sehingga lebih singkat dibandingkan metode manual.
2. Meningkatkan konsistensi dan akurasi hasil penimbangan, dengan meminimalisir pengaruh kelelahan operator.
3. Mengoptimalkan peran operator dengan mengurangi keterlibatan langsung pada proses yang repetitif, sehingga dapat fokus pada kegiatan lain yang lebih bernilai tambah.

Dengan demikian, rancangan *hopper* semi otomatis ini tidak hanya ditujukan untuk meningkatkan kecepatan proses, tetapi juga memberikan kontribusi terhadap peningkatan efisiensi keseluruhan sistem produksi.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Penjabaran Tugas

Langkah awal dalam proses perancangan teknik dimulai dengan identifikasi masalah dan kebutuhan pengguna. Pada tahap ini, informasi dikumpulkan dari berbagai sumber seperti data teknis, masukan dari pengguna, spesifikasi alat sebelumnya, dan kendala operasional di lapangan. Proses ini bertujuan untuk menghasilkan daftar persyaratan desain (*requirement list*), yang terdiri dari:

- a) Tuntutan (*Demand*): Merupakan persyaratan mutlak yang harus dipenuhi.
- b) Keinginan (*Wishes*): Merupakan aspek tambahan yang diharapkan ada dalam desain

Adapun penjabaran desain untuk *semi-automatic hopper* yang dijelaskan dalam tabel 1.

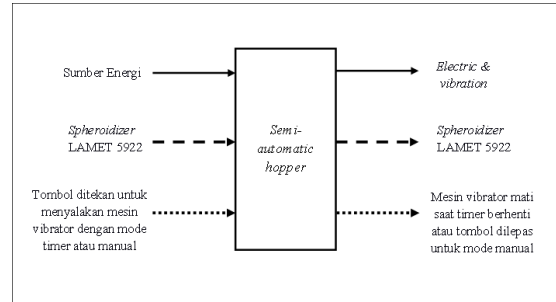
Tabel 1. Klarifikasi Perancangan *Semi-automatic Hopper*

D/W	PERSYARATAN
	<b>GEOMETRI</b>
D	Ukuran <i>hopper</i> a. Panjang 1100 mm b. Lebar 595 mm c. Tinggi 450 mm
D	Ukuran rangka <i>hopper</i> a. Panjang 1106 mm b. Lebar 606 mm c. Tinggi 1430 mm
	<b>KINEMATIK</b>
D	<i>Hopper</i> bergetar saat mesin vibrator menyala
	<b>PENGERAK</b>
D	Menggunakan mesin vibrator 50/60 Hz
	<b>MATERIAL</b>
W	Material yang banyak di pasaran
D	Material yang kuat dan kokoh
	<b>KESELAMATAN</b>
D	Aman dalam pengoperasian
	<b>PRODUKSI</b>
D	Mudah dalam fabrikasi
	<b>KEMAMPUAN OPERASI</b>
D	Pengoperasian dapat dilakukan secara manual ataupun semi otomatis
	<b>PERAWATAN</b>
D	Mudah perawatannya
W	Part mudah didapat dan dibuat
	<b>ESTETIKA</b>
W	Mempunyai bentuk dan desain yang sederhana
W	Bentuk pengelasan yang bagus dan kuat
	<b>PEMAKAIAN</b>
D	Digunakan untuk menampung dan menimbang <i>spheroidizer</i> LAMET 5922

### 3.2. Perancangan Konsep

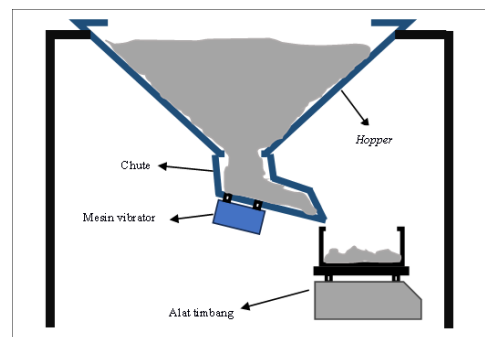
Struktur fungsi menunjukkan secara urutan urutan yang terjadi pada fungsi yang berkaitan antara input dan output dari suatu sistem dalam menentukan tugas pekerjaan. Langkah struktur fungsi merupakan tugas pengukuran dan pemecah tugas secara bebas dengan rumusan secara abstrak.

Setelah masalah utama diketahui, kemudian dibuat fungsi utama secara keseluruhan. Fungsi utama ini digambarkan dengan blok diagram yang menunjukkan hubungan input dan output, seperti terlihat pada gambar 3 sebagai berikut.



Gambar 3. Diagram Fungsi *Semi-automatic Hopper*

Berdasarkan diagram fungsi yang diketahui menjadi konsep perancangan pada *semi-automatic hopper* yang akan dibuat, ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. Konsep Perancangan *Semi-automatic Hopper*









Terdapat struktur fungsi berdasarkan konsep perancangan *semi-automatic hopper*, diantaranya:

- Hopper*
- Mesin vibrator
- Chute
- Alat timbang

Setelah struktur fungsi utama beserta sub-fungsinya tersusun, langkah selanjutnya adalah menentukan prinsip-prinsip solusi yang dapat memenuhi setiap sub-fungsi tersebut. Proses ini dilakukan menggunakan *metode kombinasi* dalam bentuk matriks morfologi, di mana berbagai alternatif solusi dikumpulkan sebanyak mungkin tanpa batasan awal. Alternatif yang telah dihimpun kemudian dievaluasi berdasarkan kriteria teknis, kemudahan fabrikasi, biaya, serta aspek keselamatan, sehingga opsi yang kurang efisien dapat dieliminasi. Dengan demikian, konsep yang dipertahankan pada fase perancangan berikutnya menjadi lebih sederhana, fokus, dan realistis untuk diwujudkan. Prinsip solusi yang terpilih untuk sub-fungsi hopper ditunjukkan

pada tabel 2 sebagai dasar pengembangan konsep desain.

Tabel 2. Prinsip Solusi untuk Sub-fungsi









Bagian Utama Alat	1	2
Hopper	 Limas segi empat	 Kerucut
Rangka	 Rangka kaki 4	 Rangka kaki 5
Mesin Vibrator	 Vibrator engine 3000 V.P.M.	 Vibrator engine 1500 V.P.M.
Alat Timbang	 Bench scale	 Hanging scale

Setelah diperoleh berbagai varian dari prinsip-prinsip solusi, tahap berikutnya adalah menetapkan kombinasi jalur dari varian tersebut yang dianggap paling relevan dan layak untuk dijadikan dasar dalam pengembangan rancangan *semi-automatic hopper*. Setiap varian solusi yang ada memiliki kelebihan dan kekurangan, sehingga proses pemilihan tidak hanya sekedar menggabungkan alternatif, tetapi juga melibatkan evaluasi mendalam berdasarkan kriteria seperti efisiensi teknis, kemudahan fabrikasi, biaya produksi, serta keselamatan kerja. Dengan adanya pertimbangan ini, jalur kombinasi yang dipilih diharapkan dapat merepresentasikan solusi yang seimbang antara performa dan keterbatasan sumber daya yang tersedia.

Hasil dari proses ini kemudian dirumuskan dalam bentuk jalur varian struktur fungsi yang menjadi acuan dasar untuk melanjutkan ke tahap pengembangan desain konseptual. Jalur yang terpilih memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai arah pengembangan rancangan, sehingga proses perancangan dapat berjalan lebih fokus dan sistematis. Secara visual, jalur kombinasi yang telah ditetapkan disajikan pada tabel 3, yang berfungsi sebagai pedoman dalam menentukan rancangan

konseptual *hopper* semi otomatis pada tahap berikutnya.

Tabel 3. Jalur Varian Prinsip Solusi

Bagian Utama Alat	1	2
Hopper		
Rangka		
Mesin Vibrator		
Alat Timbang		

Keterangan:

Variasi *semi-automatic hopper*

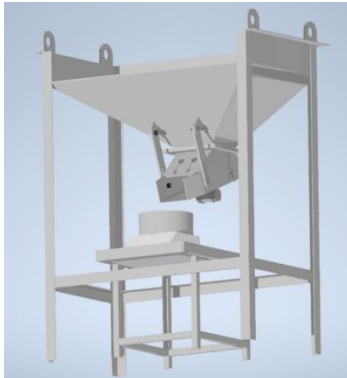
1. Varian 1  = A1 – B1 – C1 – D1
2. Varian 2  = A2 – B1 – C1 – D1

Desain *semi-automatic hopper* yang dipilih pada tahap konseptual adalah varian 1 dengan bentuk limas segi empat. Pemilihan bentuk ini didasarkan pada pertimbangan kemudahan proses pembuatan dibandingkan dengan hopper berbentuk kerucut. Bentuk limas segi empat memungkinkan proses pemotongan material, penyambungan, dan pengelasan dilakukan dengan lebih sederhana sehingga waktu dan biaya fabrikasi dapat ditekan. Selain itu, konstruksi dengan bentuk bidang datar lebih mudah disesuaikan dengan ukuran material yang tersedia di pasaran, sehingga tidak memerlukan perlakuan khusus dalam tahap manufakturnya.

### 3.3. Perancangan Wujud

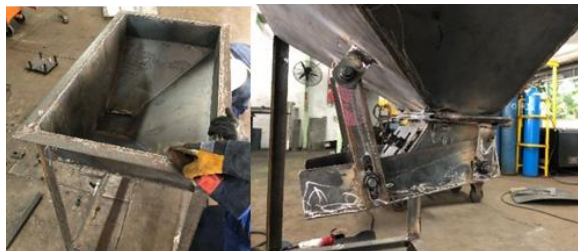
Dengan rancangan ini, material dapat ditampung dan dikeluarkan secara lebih cepat dan praktis tanpa melalui tahapan manual yang berulang. *Hopper* dilengkapi rangka penopang yang stabil serta dirancang agar mudah dioperasikan oleh operator. Secara keseluruhan, desain ini mampu meningkatkan

efisiensi proses penimbangan sekaligus mendukung kelancaran produksi. Desain terpilih tersebut ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Desain *Semi-automatic Hopper* yang Terpilih

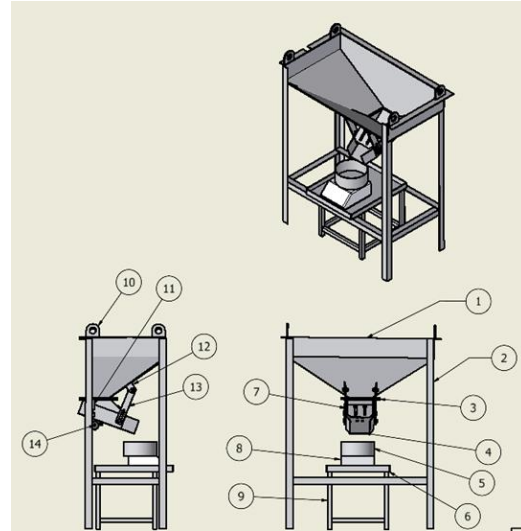
Dalam proses pembuatan dan perakitan *hopper* menggunakan metode pengelasan (welding). Pengelasan digunakan untuk menyatukan bagian-bagian struktur yang bersifat permanen. Teknik ini diterapkan pada rangka utama, *hopper* dan sambungan antar pelat logam dalam struktur *hopper*. Lalu, penyambungan antar komponen yang bersifat bongkar-pasang dilakukan dengan menggunakan baut. Metode ini dipilih untuk memudahkan proses perawatan, penggantian komponen, serta fleksibilitas dalam perakitan. Berikut dokumentasi pembuatan dan perakitan *hopper* yang ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. Proses Pembuatan dan Perakitan *Hopper*

### 3.4. Perancangan Detail

Pada tahap perancangan detail, setiap komponen yang membentuk *semi-automatic hopper* diidentifikasi secara spesifik. Informasi yang dicantumkan meliputi nama masing-masing part, jumlah yang dibutuhkan, serta fungsi utama dari tiap komponen dalam keseluruhan mekanisme alat. Ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 7. Desain Keseluruhan *Semi-automatic Hopper*

Terdapat 12 part pada *semi-automatic hopper* yang dibagi menjadi beberapa fungsi. Penjelasan nama *parts*, jumlah, dan fungsi akan dijabarkan pada tabel 4 berikut ini.

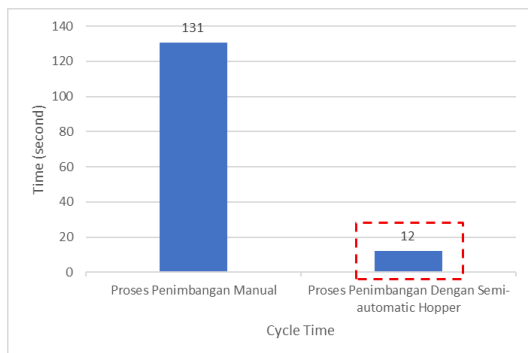
Tabel 4. Keterangan dan Fungsi *Part Semi-automatic Hopper*

Nama Part	Fungsi
Hopper	Menampung material
Rangka Hopper	Menopang seluruh bagian hopper
Slide Gate	membuka/menutup aliran material spheroidi
Chute	Media untuk mengalirkan material ke timbangan
Penampung Takaran	Media penampung material saat ditimbang
Penopang Timbangan	Menopang timbangan
Shield Chute	Menjaga aliran material yang keluar hopper
Timbangan (Bench Scale)	Menimbang material yang keluar dari hopper
Rangka Penopang Timbangan	Menopang alat timbang
Tow Hook	Media transportasi pemindahan hopper dengan crane
Hanger Belakang Chute	Media menggantung bagian belakang chute
Hanger Depan Chute	Media menggantung bagian depan chute
Adjuster Chute	Mengatur tinggi rendahnya chute
Mesin Vibrator	Menggetarkan hopper membantu mengeluarkan material

Berdasarkan tabel 5, dapat dilihat bahwa setiap komponen pada *hopper* memiliki fungsi spesifik yang saling mendukung dalam membentuk satu kesatuan sistem. *Hopper* berperan sebagai wadah utama, sedangkan rangka dan penopang memberikan kekuatan struktural agar alat stabil saat beroperasi. Komponen pengatur aliran seperti *slide gate*, *chute*, dan *shield chute* berfungsi untuk memastikan material dapat dialirkan dengan lancar menuju timbangan. Sementara itu, keberadaan penopang timbangan, hanger, serta *adjuster chute* membantu menjaga posisi dan ketepatan pengukuran. Fitur tambahan seperti *tow hook* dan mesin vibrator juga ditambahkan untuk mempermudah proses pemindahan *hopper* serta memastikan aliran material tetap optimal. Dengan demikian, integrasi seluruh komponen ini menjadikan *hopper* semi otomatis dapat bekerja secara efektif sesuai dengan tujuan perancangan.

### 3.5. Evaluasi

Setelah diwujudkan sebuah perancangan, dilakukan pengujian terhadap *semi-automatic hopper*. Pengujian ini melibatkan aspek seperti *cycle time*. Pada gambar 8, menunjukkan hasil *cycle time* setelah implementasi *semi-automatic hopper*.



Gambar 8. *Cycle Time* setelah Penggunaan *Semi-automatic Hopper*

Pada gambar 8, dapat dilihat bahwa setelah penerapan *semi-automatic hopper* untuk penimbangan material, berhasil menurunkan *cycle time* secara signifikan dengan rata-rata 12 detik per siklus penimbangan.

Penerapan *semi-automatic hopper* dalam proses penimbangan *material* terbukti mampu meningkatkan efisiensi kerja secara signifikan. Efisiensi dihitung menggunakan rumus efisiensi.

Efisiensi =  $\frac{\text{Output Maksimal} \times \text{Output Aktual}}{\text{Sumber}}$  × 100%  
Sumber : (Sutalaksana, Iftikar Z, 2006)

$$\text{Efisiensi (\%)} = \left( \frac{\text{Cycle Time Lama} - \text{Cycle Time Baru}}{\text{Cycle Time Lama}} \right) \times 100\%$$

$$= \left( \frac{131 - 12}{131} \right) \times 100\% = \left( \frac{119}{131} \right) \times 100\% \approx 90.84\%$$

Hasil ini menunjukkan bahwa *semi-automatic hopper* mampu meningkatkan efisiensi waktu kerja sebesar 90,84%, yang berkontribusi langsung pada peningkatan produktivitas serta pengurangan beban kerja.

## IV. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengembangkan *semi-automatic hopper* sebagai alat bantu penimbangan material menggunakan pendekatan perancangan sistematis metode VDI 2221. Hasil implementasi menunjukkan bahwa alat yang dirancang mampu menurunkan waktu proses penimbangan dari rata-rata 131 detik menjadi 12 detik, sehingga meningkatkan efisiensi waktu sebesar 90,8% dibandingkan metode manual.

Berdasarkan hasil tersebut, *semi-automatic hopper* dapat dinyatakan efektif dalam mempercepat proses penimbangan material dan dapat menjadi alternatif pengganti proses manual pada lingkungan produksi yang membutuhkan peningkatan efisiensi waktu..

## V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. T. Kurniawan and I. Yani, "Rancang Bangun Mesin Pencacah Plastik dengan Model Desain Pisau Pemotong Crusher," *J. Tek. Mesin Fak. Teknol. Ind. Inst.*, vol. 4, no. 2, pp. 3–20, 2019, [Online]. Available: [https://repository.unsri.ac.id/6139/0Ahttps://repository.unsri.ac.id/6139/3/RAMA\\_21201\\_03051381520044\\_0025127104\\_01\\_front\\_ref.pdf](https://repository.unsri.ac.id/6139/0Ahttps://repository.unsri.ac.id/6139/3/RAMA_21201_03051381520044_0025127104_01_front_ref.pdf)
- [2] S. A. Muttalib, A. F. Hidayat, and A. Priyati, "Rancang Bangun Hopper Out Put Campuran Ragi Tempe Dengan Kedelai," *J. Ilm. Rekayasa Pertan. dan Biosist.*, vol. 7, no. 1, pp. 17–23, 2019, doi: 10.29303/jrpb.v7i1.99.
- [3] C. G. R. Ruiz, M. A. T. Cardeña, and J. J. J. de C. Fonfría, "Design and analysis of an automatic shell cracking machine of metohuayo ('caryodendron orinocense karst') with a capacity of 50 kg/h," *Agric.*, vol. 10,

- no. 11, pp. 1–23, 2020, doi: 10.3390/agriculture10110537.
- [4] T. Geramitcioski, V. Mitrevski, and V. Mijakovski, “Design of a small press for extracting essential oil according VDI 2221,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 393, no. 1, pp. 1–9, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/393/1/012131.
- [5] V. Michael, A. Halim, and A. P. Irawan, “Design of pick and place and color sorting system using VDI 2221,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1007, no. 1, pp. 1–8, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/1007/1/012165.
- [6] A. Basri and D. M. Fitri, “Perancangan Alat Uji Prestasi Pompa Menggunakan Metode VDI 2221,” *J. Tek. Mesin*, vol. 10, no. 3, 2021.
- [7] S. A. Pamungkas, “Rancang Bangun Mesin Pemotong Singkong Semi Otomatis Dilengkapi Dengan Autowasher,” *Jrm*, vol. 06, pp. 5–24, 2021.
- [8] Z. Ortega, L. Suárez, J. Kelly-Walley, P. R. Hanna, M. McCourt, and B. Millar, “Use of Pressure in Rotational Molding to Reduce Cycle Times: Comparison of the Thermomechanical Behavior of Rotomolded Reed/Polyethylene Composites,” *J. Compos. Sci.*, vol. 8, no. 1, pp. 1–15, 2024, doi: 10.3390/jcs8010017.
- [9] C. L. Nieto-Yali, R. A. Ceras-Eguavil, A. K. Albornoz-Zevallos, M. M. Beraún-Espíritu, C. A. Coaquira-Rojo, and S. Turpo-Ccoa, “Design of a Semi-Automatic Hydraulic Extruder Machine for the Manufacture of Pastry Bricks Using VDI 2221,” *E3S Web Conf.*, vol. 465, pp. 1–7, 2023, doi: 10.1051/e3sconf/202346501016.
- [10] A. Ibarra, G. Quispe, and C. Raymundo, “Design of a Semi-automatic Machine for Processing Ecological and Antibacterial Bricks to Save Concrete Based on Polyethylene and Copper Terephthalate Residues in Huancayo,” no. January 2021, pp. 830–835, 2021, doi: 10.1007/978-3-030-68017-6\_123.
- [11] M. Bembenek, V. Dmytriv, V. Banha, R. Horodniak, and J. Pawlik, “A Mathematical Model for Conical Hopper Mass Efficiency,” *Appl. Sci.*, vol. 14, no. 16, 2024, doi: 10.3390/app14167373.
- [12] L. Walter, B. Schleich, and S. Wartzack, “An approach for semi-automatic redesign of mechatronic products by multidisciplinary optimisation,” *Proc. Des. Soc.*, vol. 1, no. August, pp. 385–394, 2021, doi: 10.1017/pds.2021.39.
- [13] Y. Choi and K. Kumar, “Inverse analysis of granular flows using differentiable graph neural network simulator,” *Comput. Geotech.*, vol. 171, 2024, doi: 10.1016/j.compgeo.2024.106374.
- [14] C. Li, X. Li, X. Chen, Z. Wang, M. Sun, and D. Huang, “Global self-similarity of dense granular flow in silo: The role of silo width,” *AIChE J.*, vol. 70, no. 11, pp. 1–12, 2024, doi: 10.1002/aic.18583.
- [15] Q. Xu, S. Li, J. Zhang, J. Zhu, and H. Pan, “Design and test of self-propelled citrus seedling pots filling and placing machine,” *Int. J. Agric. Biol. Eng.*, vol. 16, no. 1, pp. 104–110, 2023, doi: 10.25165/j.ijabe.20231601.7817.