

Perancangan Alat Bantu Pengemasan Kompos Hijau Padat pada *Green House* Universitas Telkom Menggunakan Metode *Ergonomic Function Deployment* (EFD) Untuk Menurunkan Risiko *Musculoskeletal Disorders* (MSDs)

1st Arief Budimansyah
Fakultas Rekayasa Industri
Universitas Telkom
Bandung, Indonseia

saviorel@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Sri Martini
Fakultas Rekayasa Industri
Universitas Telkom
Bandung, Indonseia

martini@telkomuniversity.ac.id

3rd Ilma Mufidah
Fakultas Rekayasa Industri
Universitas Telkom
Bandung, Indonseia

ilmamufidah@telkomuniversity.ac.id

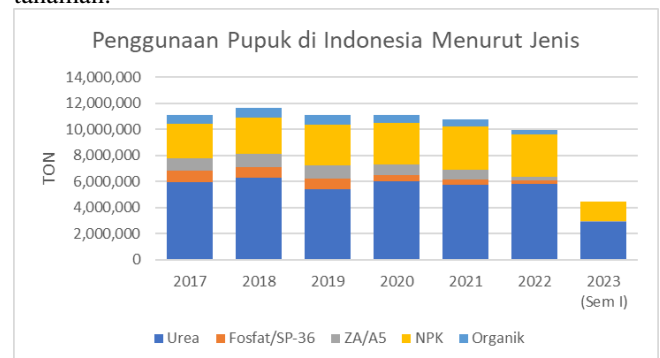
Abstrak — Pupuk anorganik banyak digunakan masyarakat Indonesia karena dampaknya yang terlihat dalam jangka waktu pendek, namun belakangan ini masyarakat mulai merasakan dampak buruknya sehingga banyak yang mulai pindah menggunakan pupuk organik. Untuk menunjang aktivitas tersebut maka produksi pupuk organik sangat penting untuk dilakukan. Universitas Telkom memiliki green house yang dapat membuat pupuk kompos dengan memanfaatkan sampah daun yang setiap hari terhasikan. Proses produksi pupuk kompos yang dilaksanakan di Universitas Telkom sebagian besar masih dilakukan secara manual dengan alat bantu seadanya, kondisi ini menyebabkan pekerja perlu berada pada postur yang kurang baik sehingga menimbulkan risiko terkena *Musculoskeletal Disorders* (MSDs). Untuk memperbaiki kondisi tersebut maka dilaksanakan penelitian ini dengan tujuan untuk membuat rancangan alat bantu pengemasan menggunakan metode *Ergonomic Function Deployment* (EFD) agar rancangan alat bantu sesuai dengan aspek ergonomi (ENASE) dan dapat meningkatkan efisiensi produksi pupuk kompos di Universitas Telkom. Penelitian ini menghasilkan desain alat bantu pengemasan berupa mesin screw conveyor, serta beberapa usulan pelengkap seperti meja kerja dan kursi. Penggunaan alat bantu ini dapat menurunkan nilai Rapid Upper Limb Analysis (RULA) dari 6 (enam) menjadi 2 (dua), serta mempercepat proses pengisian kemasan dari 55 detik menjadi 4 detik

Kata kunci— *ergonomic function deployment*, *musculoskeletal disorders*, tahap pengemasan, ergonomi, screw conveyor, RULA.

I. PENDAHULUAN

Indonesia dikenal sebagai salah satu negara agraris dikarenakan masyarakatnya yang mayoritas berprofesi sebagai petani dan tanahnya yang cocok untuk dijadikan lahan untuk bercocok tanam. Semakin berkembangnya teknologi dan pengetahuan tentang pengetahuan bercocok tanam maka semakin banyak pula metode-metode yang dapat dilakukan untuk membuahkan hasil yang semakin banyak dan semakin baik. Salah satu metode yang digunakan untuk

meningkatkan kualitas ini adalah dengan menggunakan pupuk. Pupuk merupakan suatu bahan yang memiliki berbagai macam kandungan yang dibutuhkan oleh tanah dan tanaman.



GAMBAR 1
Data Penggunaan Pupuk di Indonesia

Melihat data yang didapatkan dari dataindonesia [1], perbandingan penggunaan pupuk anorganik dan organik di Indonesia sangat berbeda jauh. Dengan banyaknya penggunaan pupuk anorganik dalam jangka waktu lama, para petani mulai merasakan dampaknya. Dampak dari penggunaan pupuk anorganik ini antara lain adalah tidak mudah terurai (*biodegradable*), merusak kualitas tanah, dan hasil tanaman yang kurang baik untuk dikonsumsi, sehingga secara berangsur para petani beralih menggunakan pupuk organik karena lebih ramah untuk lingkungan dan dapat meningkatkan kualitas tanah dalam jangka waktu panjang, juga menghasilkan tanaman yang sehat untuk dikonsumsi. Peralihan dari penggunaan pupuk anorganik ke pupuk organik ini membuat permintaan terhadap pupuk organik menjadi meningkat.

Dari data yang telah dipaparkan maka diperlukan suatu solusi untuk meningkatkan produksi pupuk organik dengan memanfaatkan limbah sisa organik seperti sampah daun kering, tulang, serta kotoran hewan, karena penggunaan pupuk organik dapat meningkatkan kembali kualitas tanah yang digunakan para petani.

Universitas Telkom merupakan salah satu universitas swasta unggul di Indonesia, dengan luas wilayah kampus sebesar 48 hektar, dan terdapat banyak pohon besar di area lingkungan Universitas Telkom yang menghasilkan sampah daun kering kurang lebih sampai dengan 4 ton per harinya. Sampah daun yang setiap harinya

terkumpul ini diubah menjadi kompos hijau yang dapat digunakan untuk lingkungan sekitar Universitas Telkom maupun dijual ke masyarakat untuk ikut menunjang permintaan pupuk organik yang meningkat.

Pada proses pembuatan kompos hijau ditemukan beberapa permasalahan pada tahap pengemasan kompos hijau yaitu, tahap pengemasan khususnya tahap pengisian kompos hijau ke dalam kemasan membutuhkan waktu yang cukup lama yaitu 74 detik per kemasan apabila dibandingkan dengan proses lainnya. Selain itu, ketika melakukan tahap pengemasan, pekerja perlu melakukan tahap tersebut menggunakan postur yang menimbulkan risiko *Musculoskeletal Disorders* (MSDs) apabila dilakukan terlalu sering dalam waktu yang lama.



GAMBAR 2
Postur Kerja Kondisi Eksisting

Apabila postur kerja tersebut dianalisis menggunakan RULA Employee Assessment Worksheet [2] maka akan didapatkan skor akhir 6 (enam) untuk postur yang digunakan ketika mengemas kompos hijau, yang dapat diartikan bahwa postur tersebut memiliki risiko cedera yang tinggi dan perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk perbaikan cara pengemasan ke depannya.

RULA Employee Assessment Worksheet

Task Name: _____ Date: _____

A. Arm and Wrist Analysis

Step 1: Locate Upper Arm Position: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Step 2: Locate Lower Arm Position: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Step 3: Locate Wrist Position: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Step 4: Wrist Twist: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Step 5: Add Muscle Use Score: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Step 6: Add Force/Load Score: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Step 7: Find Row in Table C: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

B. Neck, Trunk and Leg Analysis

Step 8: Locate Neck Position: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Step 9: Locate Trunk Position: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Step 10: Locate Leg Position: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Step 11: Add Muscle Use Score: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Step 12: Add Force/Load Score: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Step 13: Find Column in Table C: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Scoring (Final score from Table C)

1-3 = acceptable posture
4-6 = further investigation, change may be needed
7-9 = investigate and implement change

RULA Score

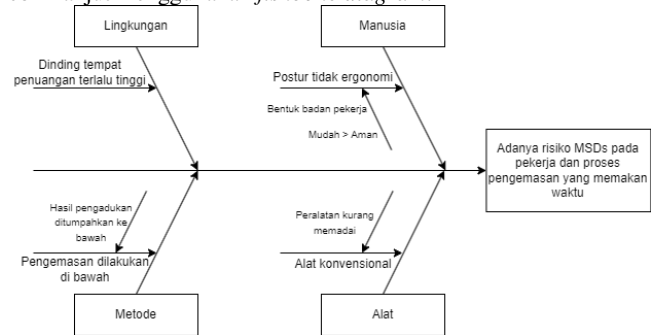
6

GAMBAR 3
Analisis RULA Kondisi Eksisting

Berdasarkan hasil dari identifikasi risiko penilaian RULA yang telah dilakukan maka terbukti bahwa postur eksisting dalam tahap pengemasan pupuk kompos hijau di Green House Universitas Telkom merupakan salah satu masalah yang perlu dicari solusinya. Untuk menyelesaikan permasalahan yang telah dijelaskan sebelumnya diperlukan suatu solusi yang dapat membuat tahap pengemasan dapat dilakukan dengan lebih cepat dan lebih aman tanpa menimbulkan risiko cedera yang tinggi.

Untuk mengidentifikasi akar permasalahan yang menyebabkan adanya risiko MSDs dan memperlambat tahap pengemasan kompos

hijau di *Green House* Universitas Telkom, diperlukan observasi lebih lanjut menggunakan *fishbone diagram*.



GAMBAR 4
Fishbone Diagram

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan menggunakan *fishbone diagram*, ditemukan beberapa permasalahan yang mengakibatkan adanya risiko cedera yang dialami oleh pekerja dan membuat tahap pengemasan membutuhkan waktu yang cukup lama. Identifikasi permasalahan ditemukan pada 4 (empat) aspek yaitu pada aspek manusia (pekerja), metode, lingkungan (tempat kerja), dan alat (mesin atau peralatan).

Pada bagian manusia, permasalahan teridentifikasi akibat postur pekerja yang tidak ergonomis dikarenakan pekerja lebih mementingkan kemudahan dalam melakukan pekerjaan dan mengesampingkan risiko terhadap postur kerja yang dilakukan, serta bentuk badan pekerja yang menyebabkan pekerja sulit menjangkau pupuk yang berada lebih dalam.

Pada bagian metode, permasalahan teridentifikasi akibat pengemasan harus dilakukan di bawah, dikarenakan pada tahap *mixing* (pencampuran), hasil kompos hijau dituangkan ke bawah.

Pada bagian lingkungan, permasalahan teridentifikasi akibat dinding tempat penampungan terlalu tinggi, sehingga pekerja perlu berada di atas dinding tempat penampungan untuk mengambil pupuk yang lebih dalam.

Sementara itu, pada bagian mesin atau peralatan permasalahan berasal dari tidak tersedianya alat bantu seperti kursi ataupun sekop yang dapat membantu pekerja menjadi lebih ergonomis.

Beberapa penyebab tersebut dapat diatasi dengan pembuatan alat bantu pengemasan sehingga dapat mengubah metode pengemasan yang dilakukan. Solusi ini diharapkan dapat menyelesaikan permasalahan yang sebelumnya sudah dijelaskan. Dengan pembuatan alat bantu pengemasan yang akan dirancang, diharapkan akan mempercepat tahap pengemasan dan mengurangi risiko pekerja terkena MSDs kedepannya.

II. KAJIAN TEORI

A. Pupuk

Pupuk merupakan bahan yang memiliki kandungan unsur hara, unsur hara merupakan sumber utama yang dibutuhkan oleh tanaman, unsur hara yang terkandung akan sangat menentukan tingkat pertumbuhan dan apa yang dihasilkan tanaman[3].

B. Ergonomi

Ergonomi berasal dari Bahasa Yunani yaitu Ergon (kerja) dan Nomos (peraturan), jika kedua kata tersebut digabungkan maka akan mendapatkan ergonomi yang dapat diartikan sebagai disiplin dalam bekerja. Ergonomi menetapkan teori, prinsip, data, dan metode untuk melakukan pekerjaan dengan tujuan untuk mengoptimalkan kesejahteraan manusia dan memperbaiki kinerja suatu sistem secara keseluruhan [4].

C. Musculoskeletal Disorders (MSDs)

Musculoskeletal Disorders (MSDs) adalah suatu cedera atau kelainan pada bagian otot, saraf, tendon, sendi, dan tulang belakang. MSDs dapat timbul di lingkungan kerja dikarenakan adanya lingkungan kerja yang ikut berkontribusi meningkatkan kemungkinan MSDs atau adanya pekerja yang sudah menjangkit MSDs dan kondisinya memburuk dikarenakan kondisi kerja yang ada[5].

D. Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

Rapid Upper Limb Assessment (RULA) adalah metode penilaian yang digunakan untuk menginvestigasi ergonomi pada tempat kerja yang ditemui permasalahan terhadap tubuh bagian atas. Metode ini dapat dilakukan tanpa alat bantu untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi lengan dan pergelangan tangan, serta leher, badan, dan kaki agar mendapatkan penilaian singkat terhadap postur tersebut[6].

E. Antropometri

Antropometri merupakan pengukuran tubuh manusia terkait pengukuran panjang, lebar, diameter, lingkaran, rasio dan proporsi tubuh sehingga bentuk, ukuran, dan topografi tubuh dapat diidentifikasi menggunakan dua atau lebih pengukuran[7].

F. Pengembangan Produk

Pengembangan produk adalah serangkaian kegiatan atau aktivitas yang didasari atas adanya peluang pasar yang dilanjutkan dengan proses produksi, penjualan, dan pengiriman suatu produk kepada pembeli[8].

G. Ergonomic Function Deployment (EFD)

Ergonomic Function Deployment (EFD) merupakan salah satu turunan dari metode pengembangan Quality Function Deployment (QFD), metode EFD menerapkan prinsip ergonomi ENASE untuk mengembangkan sebuah produk yang lebih ergonomis untuk digunakan[9]. EFD merupakan metode pengembangan produk yang menerapkan konsep ergonomi pada keinginan konsumen menggunakan House of Ergonomic (HoE)[10].

H. Computer Aided Design (CAD)

Computer Aided Design (CAD) dapat diartikan sebagai pemanfaatan sistem komputer untuk membantu dalam proses kreasi, modifikasi, analisis, atau optimasi dari suatu desain (Sarcar, Rao dan Narayan, 2008)[11].

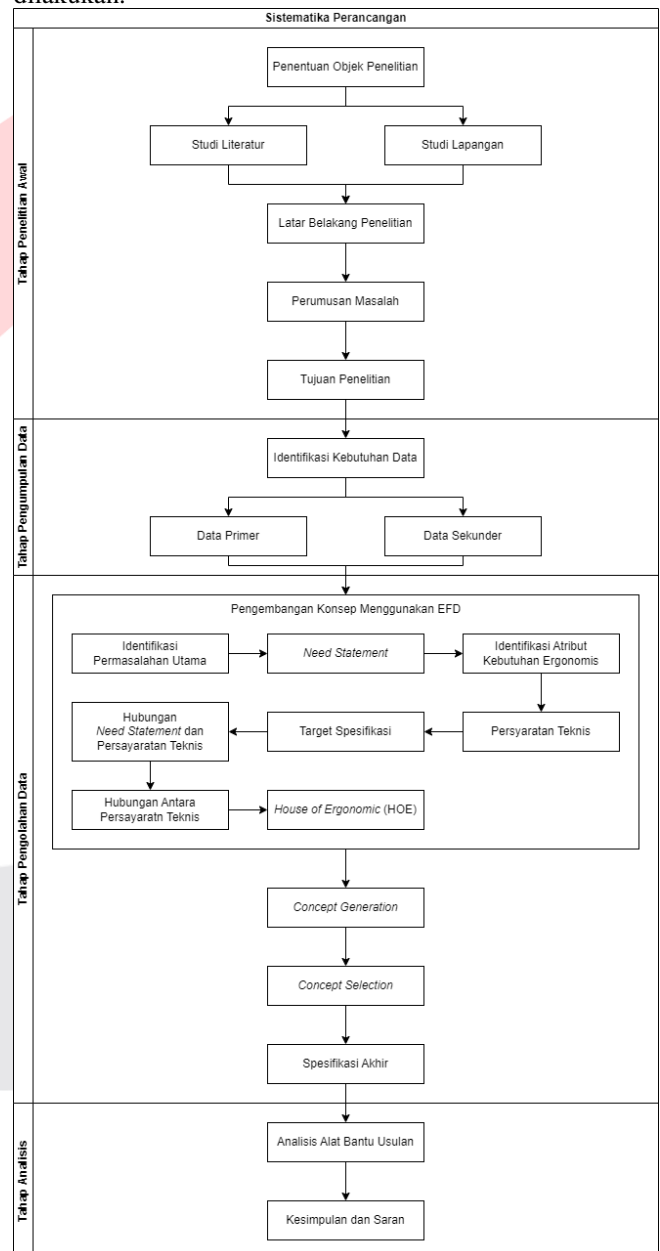
III. METODE

Terdapat 4 (empat) tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini. Pada tahapan awal dilakukan penentuan objek penelitian dengan melakukan studi lapangan dan studi literatur, setelah ditemukan suatu objek penelitian yang dikira terdapat permasalahan kemudian dibuat latar belakang penelitian dan dirumuskan permasalahannya.

Pada tahap kedua dilakukan pengumpulan data dengan melakukan observasi dan wawancara di tempat objek penelitian. Pertama-tama dilakukan identifikasi data apa saja yang diperlukan untuk melakukan penelitian, kemudian data yang diperlukan tersebut dikumpulkan dan dikategorikan menjadi dua data yaitu data primer dan data sekunder.

Pada tahap ketiga dilakukan pengolahan data yang sudah dikumpulkan. Data yang sudah didapatkan pada tahap sebelumnya diolah menggunakan EFD sehingga mendapatkan *House of Ergonomic* (HoE), dari HoE yang didapatkan kemudian dibuat beberapa macam konsep alat bantu yang dapat memenuhi kebutuhan pengguna, konsep yang telah dibuat akan melewati beberapa tahap penyelsihan sehingga ditemukan konsep yang paling memenuhi kebutuhan. Dari konsep yang telah terpilih kemudian dibuatkan spesifikasi dari konsep alat bantu tersebut.

Pada tahap terakhir akan dilakukan analisis tentang alat bantu usulan dan menyimpulkan hasil dari penelitian yang dilakukan.



GAMBAR 5
Sistematika Perancangan

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengambilan Data

1. Perhitungan nilai RULA postur kerja eksisting

Postur kerja ketika melakukan tahap pengemasan dapat dilihat pada gambar berikut.



GAMBAR 6
Sudut Postur Kerja Kondisi Eksisting

Apabila dilakukan analisis menggunakan RULA maka akan mendapatkan hasil seperti pada gambar 1. Hasil akhir dari menganalisis postur kerja saat tahap pengemasan adalah 6.

2. Need Statement

Need statement merupakan spesifikasi yang perlu dipenuhi untuk benda yang akan dikembangkan, spesifikasi ini didapatkan dari mengolah kalimat dari *customer statement* dan mengambil esensi keinginan dan keperluan yang dirasakan oleh pekerja yang menggunakan alat tersebut.

TABEL 1
Need Statement

No.	<i>Customer Statement</i>	<i>Need Statement</i>
1.	Buat lebih nyaman; Buat pegangan yang lebih layak	Alat nyaman saat digunakan
2.	Mudah dipakai; Sempel dan mudah digunakan	Mekanisme kerja alat sederhana
3.	Bisa digunakan sembari duduk	Alat dapat digunakan pada posisi duduk
4.	Lebarnya tidak terlalu besar jadi mudah menuang ke plastik kemasan	Alat dapat mengemas pupuk kompos ke dalam kemasan dengan rapi
5.	Bisa sobek kalau sudah lama dipakai; tahan karat karena dipakai di luar ruangan	Alat menggunakan material yang tahan lama
6.	Sekali menyerok jumlah yang terambil cukup banyak	Alat dapat mengemas pupuk kompos dalam jumlah yang banyak dalam satu waktu
7.	Membuat tangan pegal; dulu membuat jari sakit tapi sudah terbiasa	Alat aman untuk digunakan
8.	ketika menyerok sembari duduk membuat postur membungkuk sehingga menimbulkan rasa pegal	Alat dapat digunakan dengan postur yang ergonomi.

B. Ergonomic Function Deployment

1. Customer attributes

Tahap pertama dalam mengembangkan alat bantu pengemasan menggunakan metode EFD adalah menginterpretasikan *need statement* yang sebelumnya sudah didapatkan ke dalam prinsip ergonomi ENASE yaitu efektif, nyaman, aman, sehat, dan efisien.

TABEL 2
Customer Attributes

No	Prinsip Ergonomi	<i>Need Statement</i>	Deskripsi	Kode
1	Efektif	Alat dapat mengemas pupuk kompos ke dalam kemasan dengan rapi	Alat memiliki <i>outlet</i> yang lebih kecil dari ukuran kemasan sehingga pupuk kompos yang keluar dari alat tidak berceceran.	V1
		Mekanisme kerja alat sederhana	Alat memiliki cara penggunaan yang mudah dilakukan	V2
2	Nyaman	Alat nyaman saat digunakan	Bagian alat yang dioperasikan pengguna terasa nyaman.	V3
		Alat dapat digunakan pada posisi duduk	Alat memiliki desain yang dapat digunakan dengan nyaman ketika duduk	V4
3	Aman	Alat aman untuk digunakan	Alat tidak melukai ketika digunakan	V5
4	Sehat	Alat dapat digunakan dengan postur yang ergonomis	Alat memiliki desain yang membuatnya dapat dioperasikan dengan postur yang ergonomis	V6
5	Efisien	Alat dapat mengemas pupuk dalam jumlah yang banyak dalam satu waktu	Alat memiliki kapasitas simpan yang besar dan dapat mengeluarkan pupuk kompos sesuai ukuran kemasan dalam satu siklus	V7
		Alat menggunakan material yang tahan lama	Alat menggunakan material yang kuat dan tahan karat	V8

2. Technical Response

Pada tahap ini, aspek teknis yang dibutuhkan sebagai acuan perancangan alat bantu akan didapatkan melalui *needs statement* yang sudah didapatkan.

TABEL 3
Technical Response

No.	<i>Need Statement</i>	<i>Technical Response</i>	Satuan
1.	Alat dapat mengemas pupuk ke dalam kemasan dengan rapi	Kecepatan transfer	Kg/s
		Ukuran <i>discharge/outlet</i> tidak lebih besar dari kemasan	Cm
2.	Mekanisme kerja alat sederhana	Sistem operasi yang sederhana dan mudah digunakan	Binary
3.	Alat nyaman saat digunakan	Nilai RULA	Skor
4.	Alat dapat digunakan pada posisi duduk	Ketinggian penanjakan alat	Cm
5.	Alat aman untuk digunakan	Terdapat penutup untuk komponen yang berpotensi melukai	Binary
6.	Alat dapat digunakan dengan postur yang ergonomis	Nilai RULA	Skor
7.	Alat dapat mengemas pupuk dalam jumlah yang banyak dalam satu waktu	Kapasitas alat	Kg/h
		Kecepatan transfer	Kg/s
8.		Kekuatan material	MPa

	Alat menggunakan material yang tahan lama	Material tahan karat	Binary
--	---	----------------------	--------

3. Target Specification

Spesifikasi target dari *technical response* yang sebelumnya sudah ditentukan dapat dilihat pada Tabel berikut.

TABEL 4
Target Specification

No.	Technical Response	Nilai	Satuan	Referensi
1.	Kecepatan transfer	1 - 3	Kg/s	[12]
2.	Ukuran discharge/outlet tidak lebih besar dari kemasan	10-20	cm	Kemasan Eksisting
3.	Sistem operasi yang sederhana dan mudah digunakan	Ya	Binary	[13]
4.	Nilai RULA	<4	Skor	RULA Assessment Worksheet
5.	Ketinggian penajakan alat	55 - 70	cm	Data Antropometri
6.	Terdapat penutup untuk komponen yang berpotensi melukai	Ya	Binary	OSHA
7.	Kapasitas alat	>1000	Kg/h	Kondisi produksi eksisting
8.	Kekuatan material	>400	MPa	[14]
9.	Material tahan karat	Ya	Binary	[15]

4. Klein Grid Matrix dan Planning Matrix

Untuk membuat *Klein Grid Matrix* diperlukan penentuan *centerline* yang akan berpengaruh pada prioritas kebutuhan yang akan diintegrasikan pada alat yang akan dibuat, *centerline* ini didapatkan menggunakan variabel *need statement* yang diberikan bobot sesuai dengan hasil wawancara tingkat kepuasan dan tingkat kepentingan pengguna.

TABEL 5
Weighted Average Performance

Weighted Average Performance (Customer Satisfaction)							
V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8
4.5	5	2.5	4.5	4.5	1.5	2.5	2
Weighted Average Performance (Customer Importance)							
V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8
4.5	5	3.5	3.5	5	4.5	4	3.5

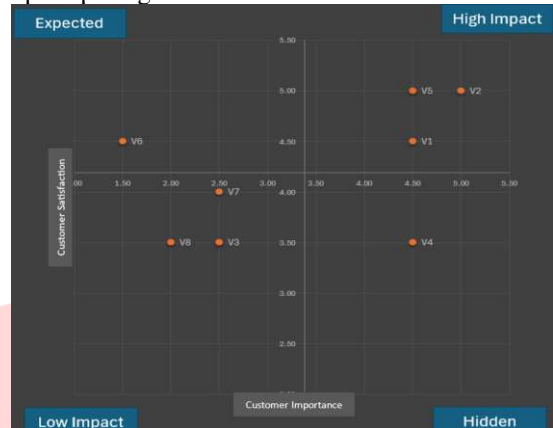
Dari nilai pembobotan tingkat kepuasan dan kepentingan yang telah didapatkan, selanjutnya *centerline* untuk matriks dapat ditentukan dengan merata-ratakan nilai pembobotan dari tingkat kepuasan dan kepentingan untuk menjadi *centerline* sumbu X dan Y seperti pada tabel berikut.

TABEL 6
Intersection Point

Intersection Point (X):	3.38
-------------------------	------

Intersection Point (Y):	4.19
-------------------------	------

Dari hasil perhitungan didapatkan titik tengah yang akan digunakan untuk pembuatan *klein grid matrix* yaitu pada titik 3.38 untuk sumbu X dan titik 4.19 untuk sumbu Y seperti pada gambar berikut.



GAMBAR 7
Klein Grid Matrix

TABEL 7
Planning Matrix

No	Needs Statement	Klein Grid Matrix	Customer Satisfaction	Customer Importance	Goal	Improvement Ratio	Satis Point	Raw Weight	Normalized Raw Weight
1	Alat dapat mengemas pupuk ke dalam kemasan dengan rapi	HI M	4.5	4.5	4.5	1	1.5	6.75	0.14
2	Mekanisme kerja alat sederhana	HI M	5	5	5	1	1.5	7.5	0.15
3	Alat nyaman saat digunakan	LI M	5	3.5	4.25	0.85	1	2.98	0.06
4	Alat dapat digunakan pada posisi duduk	HI D	4.5	3.5	4	0.89	1.2	3.73	0.08
5	Alat aman untuk digunakan	HI M	4.5	5	4.75	1.06	1.5	7.92	0.16
6	Alat dapat digunakan dengan postur yang ergonomis	E XP	1.5	4.5	3	2	1.2	10.8	0.22
7	Alat dapat mengemas pupuk dalam jumlah yang banyak dalam satu waktu	LI M	2.5	4	3.25	1.3	1	5.2	0.1
8	Alat menggunakan material yang tahan lama	LI M	2	3.5	2.75	1.38	1	4.81	0.1
Total Raw Weight								49.69	1

5. Relationship Between Need Statement and Technical Response

Pada tahap ini akan ditentukan hubungan dari *needs statement* dan *technical response* yang telah dijabarkan

sebelumnya ke dalam tiga kategori yaitu *strong*, *moderate*, dan *weak*.

TABEL 8
Relationship Symbol

Simbol	Nilai	Keterangan
	9	Strong
	3	Moderate
	1	Weak

Hasil dari identifikasi hubungan antara *needs statement* dan *technical response* untuk alat bantu pengemasan dapat dilihat pada tabel berikut.

TABEL 9
Relationship of Need Statement and Technical Response

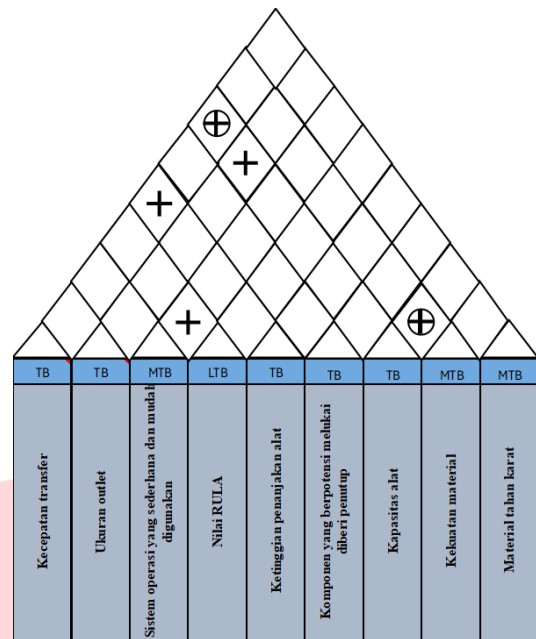
Needs Statement \ Technical Response	Kecepatan transfer	Ukuran outlet	Sistem operasi yang sederhana	Nilai RULA	Ketinggian penajangan alat	Komponen yang berpotensi melukai diberi penutup	Kapasitas alat	Kekuatan material	Material tahan karat
Alat dapat mengemas pupuk ke dalam kemasan dengan rapi	⊕	⊕			△				
Mekanisme kerja alat sederhana			⊕						
Alat nyaman saat digunakan				⊕	⊕				
Alat dapat digunakan pada posisi duduk				⊕	⊕				
Alat aman untuk digunakan			⊕			⊕		⊕	⊕
Alat dapat digunakan dengan postur yang ergonomi				⊕	⊕				
Alat dapat mengemas pupuk dalam jumlah yang banyak dalam satu waktu	⊕	△					⊕		
Alat menggunakan material yang tahan lama								⊕	⊕

6. Technical Response Correlations

Pada tahap ini akan ditentukan hubungan antara masing-masing *technical response* yang sudah didapatkan untuk mengetahui seberapa terhubung masing-masing *technical response* dan apakah hubungan tersebut berbanding lurus atau terbalik.

TABEL 10
Correlation Symbol

Simbol	Keterangan	Penjelasan
	Strong Positive	Hubungan kuat dengan nilai berbanding lurus
	Moderate Positive	Hubungan sedang dengan nilai berbanding lurus
	Moderate Negative	Hubungan sedang dengan nilai berbanding terbalik
	Strong Negative	Hubungan kuat dengan nilai berbanding terbalik

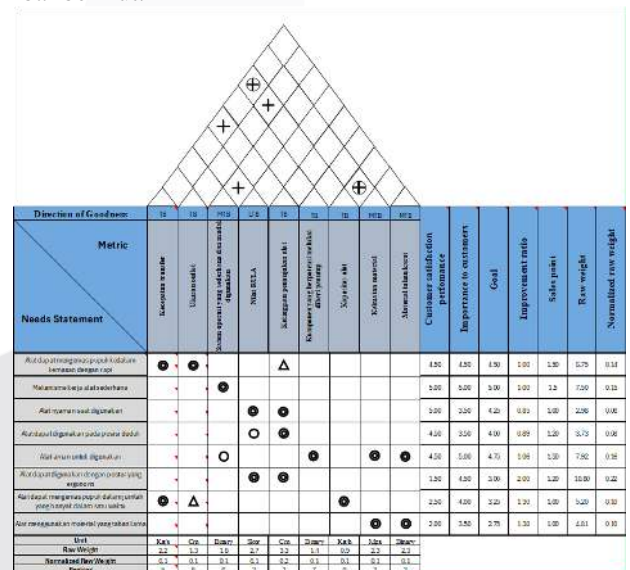


GAMBAR 8

Technical Response Correlation

7. House of Ergonomic

Tahap terakhir dalam pengembangan alat bantu pengemasan menggunakan EFD adalah pembuatan *House of Ergonomic* (HoE) dengan menggabungkan hasil dari tahap-tahap sebelumnya, untuk menggambarkan seluruh komponen, dan hubungannya seperti yang dapat dilihat pada gambar berikut.

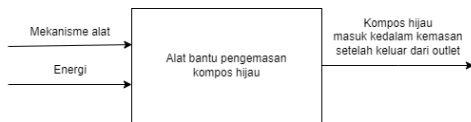


GAMBAR 9

House of Ergonomic

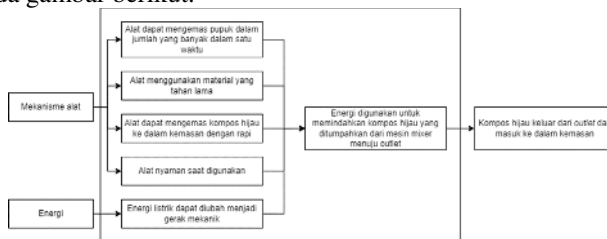
C. Concept Generation

Untuk memulai tahap *concept generation* pertama-tama perlu melakukan klasifikasi permasalahan sesuai dengan *need statement* yang dapat mendukung pengembangan alat bantu pengemasan sebelumnya. Setelah mengklasifikasikan permasalahan, maka akan dilanjutkan dengan pembuatan *function diagram* dalam bentuk *black box* seperti yang dapat dilihat pada berikut dengan tujuan untuk menggambarkan keseluruhan fungsi alat bantu pengemasan.



GAMBAR 10
Black Box

Dari *black box* yang telah dibuat, selanjutnya perlu dilakukan penguraian secara lebih detail menjadi *sub-fungsi* yang lebih spesifik dan sederhana untuk membantu pembuatan konsep rancangan alat bantu pengemasan dengan membuat *sub-function diagram* seperti yang dapat dilihat pada gambar berikut.



GAMBAR 11
Subfunction Diagram

Dengan menggunakan acuan *sub-fungsi* dari gambar di atas, konsep untuk alat bantu pengemasan mulai dibuat dengan bantuan *morphology chart*.

TABEL 11
Morphology Chart

Fungsi \ Opsi	Opsi 1	Opsi 2
Alat dapat mengemas kompos hijau ke dalam kemasan dengan rapi	Helicoid Flight Screw Conveyor	
Alat menggunakan material yang tahan lama	Stainless Steel Grades 304	
Alat nyaman saat digunakan		
Alat dapat mengemas pupuk dalam jumlah yang banyak dalam satu waktu	Standard Pitch	Short Pitch
Energi listrik dapat diubah menjadi gerak mekanik	Motor 0.1 KW	Motor 0.2 KW

Berdasarkan opsi yang tersedia akan terdapat empat (4) kombinasi konsep yang dapat dilanjutkan kepada tahap penilaian selanjutnya. Kombinasi konsep yang akan digunakan dapat dilihat pada tabel berikut ini.

TABEL 12
Concept Combination

Fungsi	Alat dapat mengemas kompos hijau ke dalam kemasan dengan rapi	Alat menggunakan material yang tahan lama	Alat nyaman saat digunakan	Alat dapat mengemas pupuk dalam jumlah yang banyak dalam satu waktu	Energi listrik dapat diubah menjadi gerak mekanik
Konsep					

A	1	1	1	1	1
B	1	1	1	1	2
C	1	1	1	2	1
D	1	1	1	2	2

D. Concept Selection

Tahap *concept selection* perlu dilakukan sebelum pemilihan konsep akhir yang akan digunakan, tahap ini berfungsi untuk membandingkan dan mengeliminasi konsep yang kurang cocok. Tahapan ini memerlukan kriteria pemilihan konsep yang berhubungan dengan *need statement* yang didapatkan. Berikut ini merupakan kriteria yang akan digunakan sebagai pembandingan konsep-konsep.

TABEL 13
Selection Criteria

No.	Need Statement	Selection Criteria
1.	Alat nyaman saat digunakan	Kenyamanan pengguna
2.	Alat dapat digunakan pada posisi duduk	
3.	Alat aman untuk digunakan	Keamanan alat
4.	Alat dapat digunakan dengan postur yang ergonomis	
5.	Alat dapat mengemas pupuk dalam jumlah yang banyak dalam satu waktu	Performa alat
6.	Alat dapat mengemas pupuk ke dalam kemasan dengan rapi	
7.	Alat menggunakan material yang tahan lama	Ketahanan alat
8.	Alat mudah digunakan	Kemudahan penggunaan

E. Concept Screening

Tahap *concept screening* yang bertujuan untuk menyaring konsep yang tersedia dan apabila memungkinkan juga meningkatkan dan/atau mengembangkan konsep tersebut. Sebagai acuan untuk membandingkan konsep yang tersedia, peneliti mereferensikan mesin *screw conveyor* dengan *incline* yang dijual oleh PT Jetpak Mandiri Jaya[16].

TABEL 14
Concept Screening

Selection Criteria	A	B	C	D	Reference
Kenyamanan pengguna	+	+	+	+	0
Keamanan alat	0	+	0	+	0
Performa alat	-	-	+	+	0
Ketahanan alat	0	0	0	0	0
Kemudahan penggunaan	-	-	-	-	0
Total (+)	1	2	2	3	
Total (0)	2	1	2	1	
Total (-)	2	2	1	1	
Total Skor	-1	0	1	2	
Peringkat	4	3	2	1	
Lanjutkan?	N	N	Y	Y	

Berdasarkan concept screening yang dilaksanakan pada tabel di atas, didapatkan hasil konsep yang terpilih yaitu konsep C dan D sebagai konsep yang akan dilanjutkan ke tahap penilaian selanjutnya.

F. Concept Scoring

Sebelum penilaian dilakukan, masing-masing kriteria perlu diberikan bobot kepentingan sesuai dengan technical response dari need statement yang termasuk kriteria tersebut. Berikut merupakan bobot dari masing-masing kriteria yang digunakan untuk tahap concept scoring.

TABEL 15
Selection Criteria's Weight

No.	Need Statement	Selection Criteria	Weight
1.	Alat nyaman saat digunakan	Kenyamanan pengguna	18%

No.	Need Statement	Selection Criteria	Weight
2.	Alat dapat digunakan pada posisi duduk		
3.	Alat aman untuk digunakan	Keamanan alat	25%
4.	Alat dapat digunakan dengan postur yang ergonomis		
5.	Alat dapat mengemas pupuk dalam jumlah yang banyak dalam satu waktu	Performa alat	16%
6.	Alat dapat mengemas pupuk ke dalam kemasan dengan rapi		
7.	Alat menggunakan material yang tahan lama	Ketahanan alat	22%
8.	Alat mudah digunakan	Kemudahan penggunaan	18%

Berikutnya dilakukan penilaian konsep-konsep yang terpilih berdasarkan pada selection criteria yang sudah ditentukan. Hasil penilaian konsep alat bantu pengemasan kompos hijau dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 16 Concept Scoring

		Concepts			
		C		D	
Selection Criteria	Weight	Rating	Weighted Score	Rating	Weighted Score
Kenyamanan pengguna	18%	5	0.9	5	0.9
Keamanan alat	25%	4	1	5	1.25
Performa alat	16%	4	0.64	5	0.8
Ketahanan alat	22%	3	0.66	3	0.66
Kemudahan penggunaan	18%	4	0.72	4	0.72
Total Score		3.92		4.33	
Rank		2		1	
Continue?		No		Yes	

Berdasarkan hasil dari penilaian konsep yang dilakukan, konsep D dengan total skor 4.33, merupakan konsep yang terpilih sebagai konsep yang akan dikembangkan lebih lanjut.

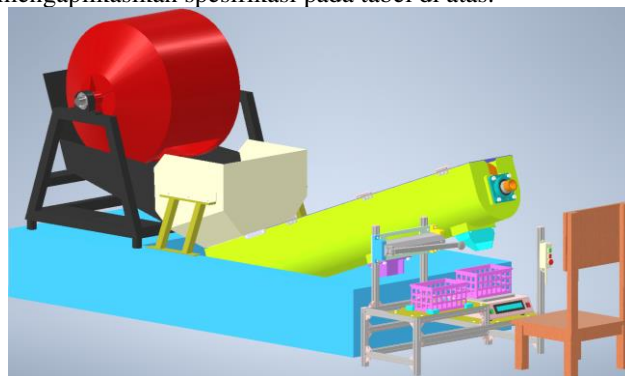
G. Hasil Rancangan

Berdasarkan concept scoring didapatkan bahwa konsep yang terpilih adalah konsep D. Setelah mendapatkan konsep terpilih yang akan digunakan, selanjutnya akan ditentukan spesifikasi akhir rancangan alat bantu pengemasan kompos hijau. Berikut ini merupakan spesifikasi akhir rancangan tersebut.

TABEL 17
Spesifikasi Akhir

No.	Technical Response	Nilai	Satuan
1.	Ketinggian penanjakan alat	57	Cm
2.	Nilai RULA	3	Skor
3.	Kekuatan material	580	MPa
4.	Material tahan karat	Ya	Binary
5.	Kecepatan transfer	± 1.25	Kg/s
6.	Sistem operasi yang sederhana dan mudah digunakan	Ya	Binary
7.	Terdapat penutup untuk komponen yang berpotensi melukai	Ya	Binary
8.	Ukuran outlet	14	Cm
9.	Kapasitas alat	1098	Kg/h

Berikut merupakan hasil rancangan alat bantu pengemasan kompos hijau beserta meja dan kursi pelengkap menggunakan software Autodesk Inventor dengan mengaplikasikan spesifikasi pada tabel di atas.



GAMBAR 12

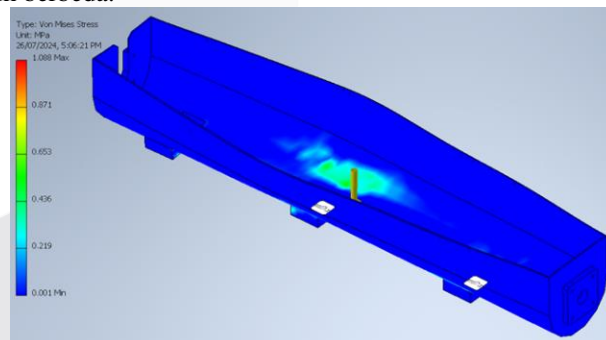
Rancangan Alat Bantu Pengemasan Usulan

H. Verifikasi

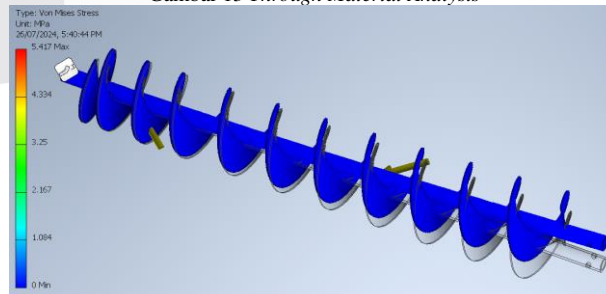
Setelah dilakukan perancangan desain 3D, selanjutnya perlu dilakukan pengujian *material stress analysis*, *particle simulation*, postur kerja usulan, dan efisiensi waktu.

1. Analisis Material

Material yang akan digunakan untuk alat bantu pengemasan kompos hijau (screw conveyor dan kelengkapannya) dipilih dengan mempertimbangkan karakteristik kompos hijau sehingga material yang dipilih harus tahan karat dan kuat. Salah satu material yang umum digunakan untuk pembuatan screw conveyor adalah material stainless steel 304 dikarenakan propertinya yang tahan karat, kuat, dan lebih murah apabila dibandingkan dengan material stainless steel 316 meskipun memiliki properti yang tidak jauh berbeda.



Gambar 13 Through Material Analysis

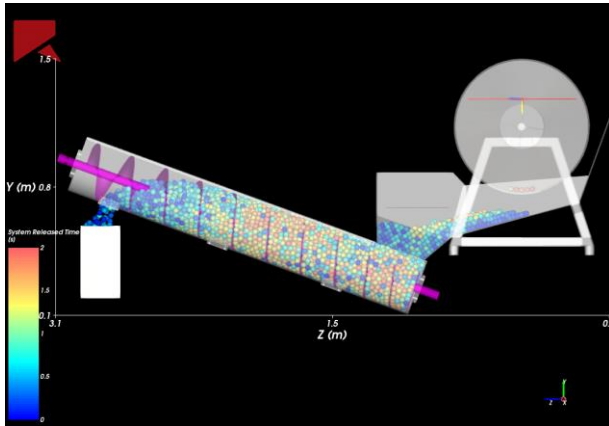
GAMBAR 14
Screw Material Analysis

Berdasarkan analisis von mises stress yang dilakukan menggunakan Autodesk Inventor, didapatkan kesimpulan bahwa material yang dipilih aman untuk digunakan karena

memiliki kekuatan material yang jauh lebih tinggi dari *stress* maksimum yang dihasilkan.

2. Simulasi Partikel

Dengan menggunakan software Rocky DEM, analisis partikel (yang merepresentasikan kompos hijau), dapat dilakukan untuk menunjukkan berfungsi atau tidaknya alat bantu pengemasan yang diusulkan dan bagaimana pergerakan kompos hijau yang dipindahkan menggunakan alat usulan tersebut.



GAMBAR 15
Simulasi Partikel

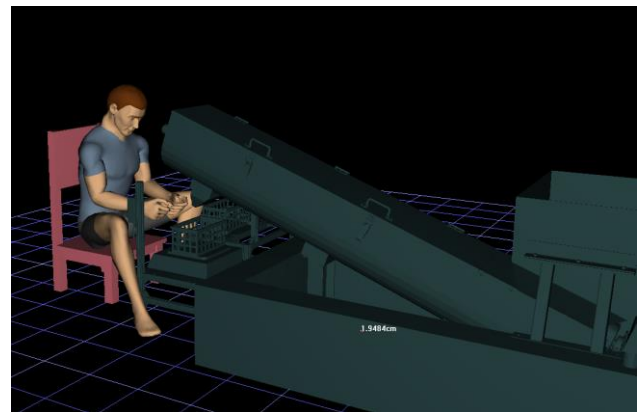
Dari simulasi partikel yang sudah dibuat menggunakan software Rocky DEM dengan pengaturan kecepatan perputaran screw sebesar 30 rpm terdapat beberapa informasi yang dapat diambil yaitu sebagai berikut:

1. Partikel membutuhkan waktu sekitar 13 detik untuk dipindahkan dari inlet menuju outlet.
2. Untuk mengisi kotak bervolume 10 kg menggunakan alat bantu pengemasan *screw conveyor*, membutuhkan waktu sekitar 6 (enam) detik, maka untuk mengisi kemasan 5 kg membutuhkan waktu sekitar 3 detik.
3. Untuk mengeluarkan 50kg partikel melalui outlet membutuhkan waktu sekitar 46 detik yang berarti untuk mengeluarkan 5kg partikel dibutuhkan waktu rata-rata sekitar 4.6 detik.

Perbedaan waktu pada poin 2 dan 3 disebabkan karena penanjakan arah perpindahan partikel (kompos hijau) dan terdapat celah antara screw dan through pada alat bantu pengemasan *screw conveyor* usulan, sehingga membuat partikel (kompos hijau) yang sedang dibawa oleh screw sebagian ada yang turun atau kembali ke pitch sebelumnya dan menyebabkan penambahan waktu perpindahan partikel secara keseluruhan. Kejadian ini baru dialami ketika *screw conveyor* mulai kosong. Dengan mengambil rata-rata dari kedua poin didapatkan waktu pengisian satu kemasan kompos hijau kapasitas 5 kg adalah 3.8 detik (pendekatan ke atas menjadi 4 detik).

3. Analisis RULA Postur Kerja Usulan

Analisis postur menggunakan alat usulan dilakukan menggunakan bantuan software Jack, analisis ini menggunakan tubuh lelaki default yang sudah tersedia karena alat bantu pengemasan usulan (*screw conveyor* dan kelengkapannya) diharapkan dapat digunakan oleh semua orang.



GAMBAR 16
Postur Kerja Usulan

Pekerja dapat menggunakan alat bantu yang diusulkan dalam posisi duduk menggunakan tempat duduk usulan yang dirancang, ketinggian tempat duduk rancangan adalah 25 cm yang dirancang dengan mengacu pada data antropometri lebar pinggul, tinggi bahu dalam posisi duduk, dan lebar bahu. Tempat duduk ini dirancang untuk memberikan kenyamanan untuk pengguna yang mengoperasikan mesin.

GAMBAR 17
Analisis RULA Postur Kerja Usulan

4. Efisiensi Waktu Usulan

Berdasarkan analisis simulasi partikel yang sudah dibuat, dapat diketahui bahwa pengisian kompos hijau ke dalam satu kemasan 5 kg dapat diselesaikan dalam waktu sekitar 4 detik. Apabila dibandingkan dengan waktu pengisian kompos hijau pada kondisi eksisting yaitu selama 55 detik, terdapat selisih waktu 51 detik. Selanjutnya data selisih waktu ini dikonversikan menjadi persentase efisiensi waktu menggunakan perhitungan berikut.

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{selisih waktu eksisting dan usulan}}{\text{waktu eksisting}} \times 100\%$$

$$= \frac{51}{55} \times 100\% = 92.7\%$$

V. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan di area pembuatan kompos hijau Universitas Telkom dengan fokus pada tahap pengemasan, didapatkan permasalahan mengenai MSDs dan waktu pengemasan yang kurang efisien. Untuk mengatasi

permasalahan yang ditemukan tersebut, dibuat rancangan solusi menggunakan metode EFD, dan menghasilkan solusi berupa rancangan alat bantu pengemasan screw conveyor beserta kelengkapannya.

Dari perancangan alat bantu pengemasan tersebut didapatkan kesimpulan bahwa alat usulan dapat menurunkan risiko MSDs yang dibuktikan dengan menurunnya skor RULA postur kerja dari 6 (enam) ke 2 (dua). Selain itu, penggunaan alat usulan juga dapat membantu efisiensi tahap pengemasan dengan membuat tahapan tersebut 92.7% lebih efisien dari kondisi eksisting.

REFERENSI

- [1] R. Mustajab, "Data Konsumsi Pupuk Indonesia (2017-Semester I/2023)," dataindonesia.id. Accessed: Aug. 19, 2024. [Online]. Available: <https://dataindonesia.id/industri-perdagangan/detail/data-konsumsi-pupuk-indonesia-2017semester-i2023>
- [2] M. Middlesworth, "A Step-by-Step Guide to the RULA Assessment Tool," ErgoPlus. Accessed: Aug. 19, 2024. [Online]. Available: <https://ergo-plus.com/rula-assessment-tool-guide/>
- [3] N. I. Masyur, E. H. Pudjiwati, and A. Murtalaksono, *Pupuk dan Pemupukan*. Syiah Kuala University Press, 2021.
- [4] "What Is Ergonomics (HFE)?," International Ergonomics & Human Factors Association. Accessed: Aug. 19, 2024. [Online]. Available: <https://iea.cc/about/what-is-ergonomics/>
- [5] "Work Related Musculoskeletal Disorders & Ergonomics," Centers for Disease Control and Prevention. Accessed: Aug. 19, 2024. [Online]. Available: <https://dataindonesia.id/industri-perdagangan/detail/data-konsumsi-pupuk-indonesia-2017semester-i2023>
- [6] L. Mcatamney and E. N. Corlett, "RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders," 1993.
- [7] M. Maulina, "Profil Antropometri dan Somatotipe pada Atlet Bulutangkis."
- [8] K. T. . Ulrich, S. D. . Eppinger, and M. C. . Yang, *Product design and development*. McGraw-Hill Education, 2020.
- [9] et. al., R. A. A. . (2021). Product Development of Mini Chamber with Ergonomic Function Deployment (EFD) Method. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT)*, 12(4), 771–781. Retrieved from <https://turcomat.org/index.php/turkbilmat/article/view/562>
- [10] F. R. El Ahmady, S. Martini, and A. Kusnayat, "PENERAPAN METODE ERGONOMIC FUNCTION DEPLOYMENT DALAM PERANCANGAN ALAT BANTU UNTUK MENURUNKAN BALOK KAYU," *JISI: Jurnal Integrasi Sistem Industri*, vol. 7, no. 1, p. 21, May 2020, doi: 10.24853/jisi.7.1.21-30.
- [11] K. L. Narayan, K. M. Rao, and M. M. M. Sarcar, *Computer Aided Design and Manufacturing*. PHI Learning Pvt. Ltd., 2008.
- [12] "Screw Conveyor Engineering Guide," KWS Manufacturing. Accessed: Aug. 19, 2024. [Online]. Available: <https://www.iqsdirectory.com/articles/screw-conveyors.html>
- [13] A. B. Rantawi, "PERANCANGAN UNIT TRANSFER (SCREW CONVEYOR) PADA MESIN PENGISI POLIBAG UNTUK MENINGKATKAN EFEKTIVITAS KINERJA DI BIDANG PEMBIBITAN".
- [14] F. A. Zakariya, "ANALISA REAKSI GAYA SCREW CONVEYOR PADA RANCANG BANGUN MESIN PENGILING BERAS SKALA RUMAH TANGGA," 2014.
- [15] M. R. Bateni, J. A. Szpunar, X. Wang, and D. Y. Li, "Wear and corrosion wear of medium carbon steel and 304 stainless steel," *Wear*, vol. 260, no. 1–2, pp. 116–122, Jan. 2006, doi: 10.1016/j.wear.2004.12.037.
- [16] "SCREW CONVEYOR - Mesin Conveyor," JETPAK. Accessed: Aug. 19, 2024. [Online]. Available: <https://www.mesinpackaging.co.id/product/screw-conveyor-mesin-conveyor-p1070262.aspx>