

MENINGKATKAN KAPASITAS PRODUKSI SUSU KEMASAN KALENG MELALUI PERANCANGAN MESIN PALLETIZING

Dadan Heryada Wigenaputra¹, Ade Ramdan², Fajar Akbar³

^{1,2} Jurusan Teknik Perancangan Manufaktur, Politeknik Manufaktur Bandung

³ Prodi Teknologi Rekayasa Perancangan Manufaktur, Politeknik Manufaktur Bandung

Jalan Kanayakan 21 Dago, Bandung, Jawa Barat

e-mail: dadan_heryada@polman-bandung.ac.id

Abstrak

Sebuah perusahaan produsen susu kemasan kaleng membutuhkan sebuah *improvement* pada proses produksinya yang menginginkan proses produksi menjadi otomatis. Salah satu prosesnya yaitu memindahkan kaleng menuju *twister* minimal 1200 pcs/jam untuk jenis 400 gram dan minimal 600 pcs/jam untuk jenis 600 dan 800 gram. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, maka perlu dibuat sebuah rancangan mesin *palletizing* untuk memindahkan tumpukan kaleng menuju *twister* secara otomatis. Mesin yang dirancang harus mampu menahan beban dari tumpukan kaleng pada saat proses memindahkan kaleng menuju *twister*. Proses perancangan menggunakan metodologi VDI 2206 dari mulai menetapkan *requirement*, *system design*, *domain-specific design*, *system integration*, *verification/validation*, sampai dengan menghasilkan produk. Hasil proses perancangan telah menghasilkan sebuah rancangan yang mampu memindahkan kaleng menuju *twister* sebanyak 1500 pcs/jam untuk jenis kaleng 400 gram dan 810 pcs/jam untuk jenis kaleng 600 dan 800 gram. Konstruksi mesin *palletizing* sangat aman, karena beberapa komponen telah dianalisis kekuatannya dan memiliki faktor keamanan minimal 3,8.

Kata kunci: Meningkatkan kapasitas, Perancangan Mesin, *Palletizing*, VDI 2206.

Abstract

A company that produces canned milk requires an improvement in its production process which wants the production process to be automated. One process is to move the cans to the *twister* at a minimum of 1200 pcs/hour for the 400 gram type and a minimum of 600 pcs/hour for the 600 and 800 gram types. To overcome this problem, it is necessary to design a *palletizing* machine to move the pile of cans to the *twister*. The machine designed must be able to withstand the weight of the stack of cans during the process of moving the cans to the *twister*. The design process uses the VDI 2206 methodology starting from requirements, system design, domain-specific design, system integration, verification/validation, modeling and analysis and product models. The results of the design process have produced a design that is capable of moving cans towards the *twister* at 1500 pcs/hour for the 400 gram type and 810 pcs/hour for the 600 and 800 gram types. The components of the *palletizing* machine are declared very safe because several components have been analyzed and have minimum safety factor of 3.8.

Keywords: Increasing capacity, Machine Design, *Palletizing*, VDI 2206.

PENDAHULUAN

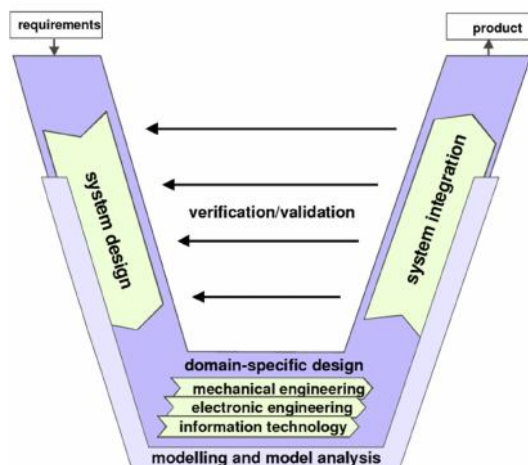
Salah satu anak perusahaan farmasi terkemuka di Indonesia yang memproduksi produk makanan dan minuman kesehatan ingin melakukan peningkatan kapasitas produksi terutama pada produk susu dalam kemasan kaleng. Kemasan kaleng susu ini memiliki beberapa jenis ukuran yang berbeda yaitu ukuran 400 gram, 600 gram, dan 800

gram. Perbedaan dari ketiga produk ini diantaranya adalah ukuran diameter dan tinggi kaleng. Proses produksi susu kemasan kaleng memiliki beberapa tahapan proses. Keseluruhan tahapan proses ini melibatkan tujuh orang operator, dimana jumlah ini dinilai tidak efektif oleh pihak manajemen perusahaan. Perusahaan ingin melakukan peningkatan kapasitas dan atau mengurangi jumlah operator pada proses tersebut sehingga dapat dialihkan pada proses produksi lainnya. Untuk mengatasi permasalahan ini pada dasarnya telah

banyak metode dan alternatif solusi yang dapat dilakukan. Salah satu upaya peningkatan kapasitas produksi adalah dengan melakukan *planning capacity* seperti yang dilakukan oleh [1]. Peningkatan kapasitas produksi dapat pula dilakukan dengan melakukan pengumpulan data proses produksi dengan metode Stopwatch Time Studi (STS) untuk langkah inisiasi pengumpulan dan pengolahan data kemudian melakukan simulasi dan pemodelan untuk mendapatkan solusi line balancing seperti yang dilakukan oleh [2]. Beberapa solusi pada permasalahan upaya peningkatan efisiensi produksi banyak dilakukan dengan menggunakan metode *lean manufacturing* seperti yang dilakukan oleh [3], [4]. Proses proses yang tidak memiliki nilai tambah atau proses yang tidak berguna diupayakan untuk diminimalkan. Namun demikian, pada penyelesaian permasalahan dalam artikel ini akan dilakukan dengan cara melakukan perancangan sebuah sistem alat bantu atau mesin dengan mengidentifikasi proses yang penting atau kritis sehingga dapat mengurangi jumlah operator dan meningkatkan kapasitas produksi seperti pada [5].

METODE PENELITIAN

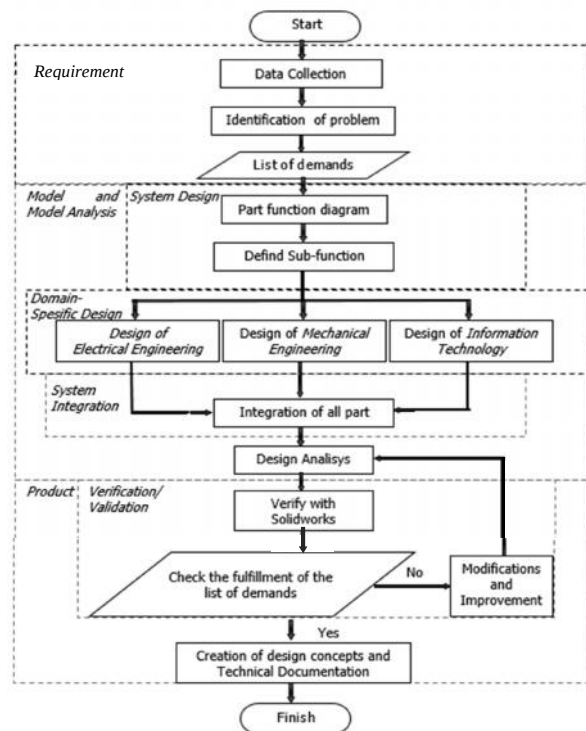
Perancangan mesin palletizing pada penelitian ini akan dilakukan dengan menerapkan metode perancangan VDI 2206 (*Verein Deutscher Ingenieure* 2206) seperti pada [6]. Agar fokus penyelesaian permasalahan fokus pada permasalahan yang ingin diselesaikan maka langkah-langkah yang dilakukan dapat dilihat seperti pada diagram alir pada Gambar 7 berikut.



Gambar 7. V-shaped model VDI 2206

Langkah-langkah proses perancangan yang dilakukan sesuai dengan tahapan seperti pada **Error! Reference source not found.** Mulai dari

menentukan kebutuhan (*requirement*), *System Design*, *part specific design*, hingga menghasilkan produk atau mesin yang diharapkan.



Gambar 2 Tahapan proses VDI 2206

HASIL DAN PEMBAHASAN

Requirement

Pada tahapan requirement terdapat diagram alir yang mengacu pada tahapan merencana dari metodologi VDI 2222 untuk menghasilkan daftar tuntutan, berikut ini diagram alir tahapan requirement yang ditunjukan pada **Gambar 8**. Pada tahapan ini dihasilkan daftar tuntutan yang dapat dilihat pada **Tabel 1**.



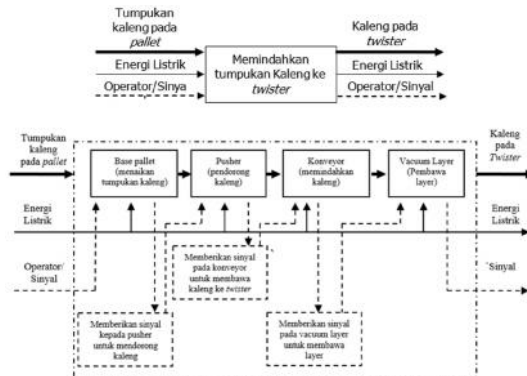
Gambar 8. Diagram alir proses VDI 2222

Tabel 1 Daftar tuntutan

No	Deskripsi Tuntutan	Nilai
1	Tinggi Mesin Palletizing	≤ 2950 mm
2	Beban minimal yang diangkat	170 Kg
3	Kapasitas produksi kaleng jenis 400 gram	≥ 1200 Pcs/jam
4	Kapasitas produksi kaleng jenis 600 & 800 gram	≥ 600 Pcs/jam

System Design

Setelah mengidentifikasi kebutuhan dengan menghasilkan daftar tuntutan, selanjutnya pada tahapan ini dibuat diagram fungsi bagian seperti pada **Gambar 9** dan pendefinisian sub-fungsi berdasarkan urutan proses cara kerja mesin *palletizing*.



Gambar 9. Diagram fungsi dan sub fungsi Mesin Palletizing

Domain-Specific Design

Tahap selanjutnya adalah *Domain-Specific Design*. Pada tahap ini dilakukan perancangan yang lebih rinci dari masing-masing sub fungsi untuk memenuhi fungsi keseluruhan. Domain-specific terdiri atas *domain* mekanik (*Mechanical engineering*), *domain* elektrik (*Electrical engineering*) dan *domain* teknologi informasi (*Information technology*).

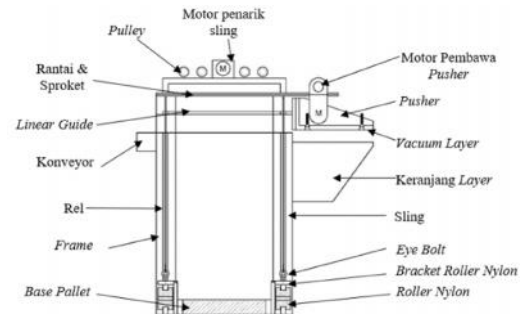
Domain Mekanik

Perancangan domain mekanik dilakukan dengan cara membuat alternatif rancangan. Alternatif rancangan dibuat sebagai pembandingan antara rancangan satu dan yang lainnya. Pada tahap ini, perancangan hanya dilakukan pada bagian mekanik sehingga pemilihan komponen hanya dilakukan pada sub-fungsi *base pallet*, *pusher*, *vacuum layer*, dan konveyor.

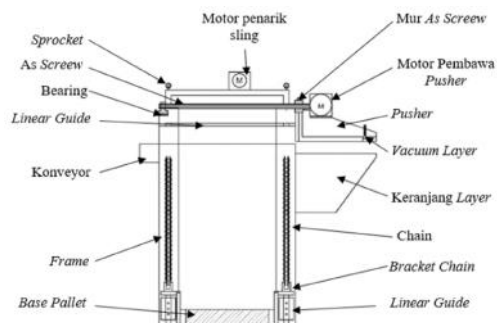
Tahap berikutnya adalah menggabungkan beberapa alternatif untuk menghasilkan variasi konsep rancangan yang optimal. Proses penentuan alternatif berdasarkan kebutuhan dan kecocokan dalam konstruksi yang akan dihasilkan. Variasi alternatif konsep yang dibuat dapat dilihat pada gambar 5, 6, 7, dan 8.

No	Fungsi Bagian	Alternatif		
		Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
1	Fungsi bagian Base Pallet			
2	Fungsi bagian pusher			
3	Fungsi bagian vacuum layer			
4	Fungsi bagian konveyor			
Variasi Konsep Kombinasi (VKK)		VKK1	VKK2	VKK3

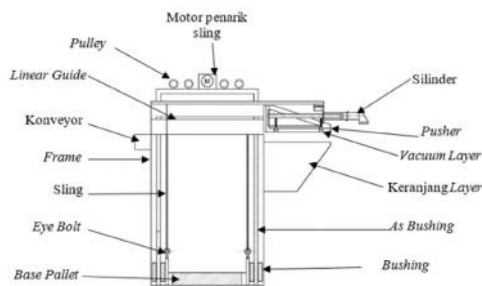
Gambar 10. Kotak Morfologi



Gambar 11. Variasi Kombinasi 1 (VKK1)



Gambar 12. Variasi Kombinasi 2 (VKK2)



Gambar 13. Variasi Kombinasi 3 (VKK3)

Tahap selanjutnya adalah melakukan evaluasi terhadap masing-masing variasi konsep kombinasi yang telah dibuat. Evaluasi ini dilakukan dengan menilai masing-masing variasi konsep kombinasi berdasarkan aspek teknis seperti pada Tabel 2 dan ekonomis pada Tabel 3, skala penilaian variasi konsep kombinasi ini dapat dilihat pada Tabel 4. Tahapan penilaian ini mengacu pada dilakukan untuk menentukan konsep yang paling optimal dari variasi konsep kombinasi yang telah dibuat sebelumnya.

Tabel 2 Penilaian Aspek Teknis

No	Aspek yang dinilai	Alternatif Konsep			Nilai Ideal
		1	2	3	
1	Kestabilan proses gerakan menaikkan <i>base pallet</i>	3	4	3	4
2	Kestabilan proses gerakan mendorong kaleng oleh <i>pusher</i>	4	4	3	4
3	Kestabilan proses <i>vacuum</i> pada <i>layer</i>	4	3	4	4
4	Kebisingan mesin	3	3	2	4
5	Kehigienisan konstruksi mesin terhadap produk	3	3	3	4
7	Kemudahan perakitan komponen mesin	3	2	2	4
8	Keamanan	3	3	3	4
Total		23	22	20	28
Rt = Total/28		0.821	0.786	0.714	1.000

Tabel 3 Penilaian Aspek Ekonomis

No	Aspek yang dinilai	Alternatif Konsep			Nilai Ideal
		1	2	3	
1	Kemudahan mengganti komponen	4	2	2	4
2	Kesederhanaan bentuk komponen	4	3	2	4
3	Penggunaan jumlah komponen standar	3	3	3	4
4	Proses pembuatan komponen	4	2	2	4
5	Proses perawatan komponen	3	2	2	4
Total		18	12	11	20
Re = Total/20		0.900	0.600	0.550	1.000

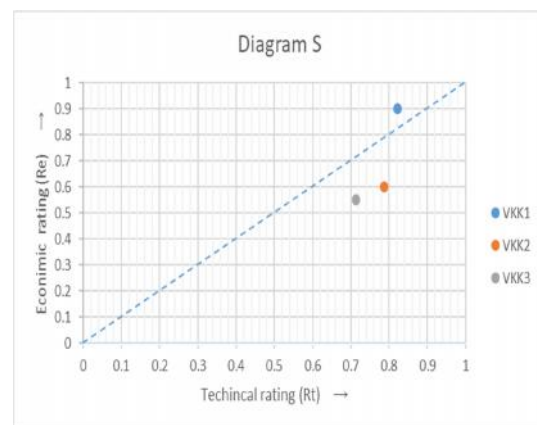
Tabel 4 Skala Penilaian

Skala Penilaian					
Nominal	0	1	2	3	4
Kriteria	Sangat Kurang	Kurang	Cukup	Baik	Sangat Baik

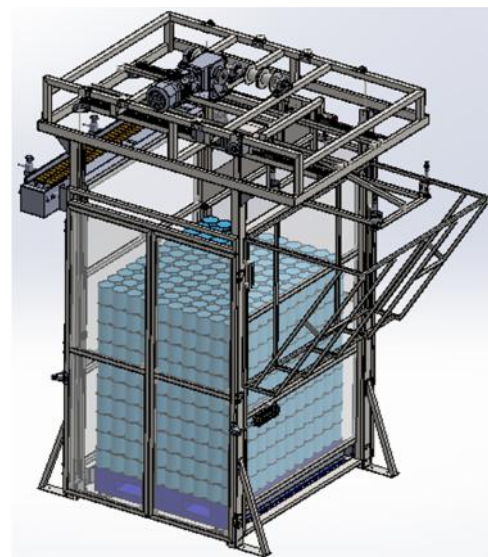
Setelah dilakukan penilaian dari aspek teknis dan ekonomis, selanjutnya dilakukan penilaian keseluruhan yang digambarkan melalui diagram s, diagram s ini menunjukkan nilai dari aspek teknis (Rt) pada koordinat sumbu x dan aspek ekonomis (Re) pada sumbu y yang dapat dilihat pada Gambar 14. Garis diagonal pada diagram S

menunjukkan nilai keseimbangan antara aspek teknis dan ekonomis, sehingga variasi konsep kombinasi yang nilainya semakin dekat dengan garis diagonal menandakan nilai dari aspek teknis dan aspek ekonomisnya lebih seimbang dan itu yang akan menjadi pilihan dalam variasi konsep kombinasi.

Berdasarkan diagram “S” yang ditunjukkan pada gambar 9, variasi konsep kombinasi 1 nilai pada aspek ekonomis dan aspek teknisnya mendekati garis diagonal dan nilainya pun lebih baik dibandingkan dengan variasi konsep kombinasi yang lain. Sehingga variasi konsep kombinasi 1 ditentukan sebagai konsep yang ideal. Selanjutnya variasi konsep kombinasi 1 dipilih untuk dilakukan perancangan selanjutnya. Hasil rancangan dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 14. Diagram “S”



Gambar 15. Hasil Rancangan

Domain Elektrik

Perancangan domain elektronik/elektronika dilakukan apabila tahapan perancangan domain mekanik telah selesai dilakukan, pada tahap ini dipilih komponen pada bagian elektronika yang diperlukan. Komponen pada bagian elektronika digunakan untuk memenuhi fungsi otomatisasi pada komponen mekanik. Berikut ini adalah beberapa komponen utama yang digunakan untuk memenuhi fungsi pergerakan otomatis mesin palletizing yang dirancang, dapat dilihat pada **Gambar 16**.



Gambar 16. Komponen Elektrik

Domain Teknologi Informasi

Program PLC adalah suatu program yang berisi perintah-perintah untuk mengoperasikan komponen pada ranah mekanik dan elektronika. Program PLC juga digunakan untuk memproses data masukan dari sensor (*input*) menjadi suatu perintah (*output*).

Human Machine Interface (HMI) adalah sistem antar muka yang berfungsi untuk memudahkan operator dalam pengendalian mesin seperti merubah program, dsb. HMI juga dapat digunakan untuk menampilkan peringatan apabila terjadi kesalahan pada proses pemesinan yang dilakukan. Sehingga kesalahan dapat diatasi sesegera mungkin. HMI juga dapat diintegrasikan dengan sensor untuk menampilkan kondisi proses yang sedang dilakukan, seperti kecepatan potong, getaran, dsb.

Program HMI adalah suatu program yang dibuat untuk mengintegrasikan antara *hardware* (LCD, *push button*, dsb.) dengan *software* yang telah dibuat. Sehingga memudahkan operator dalam pengoperasian HMI.

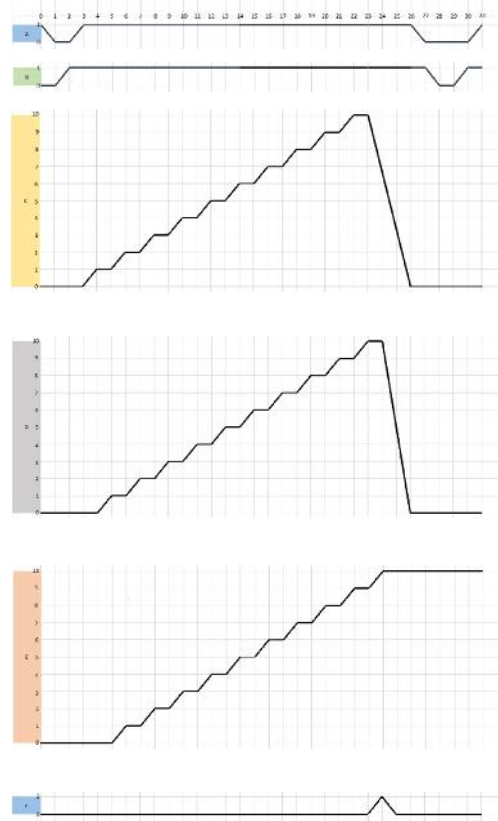
System Integration

Tahapan selanjutnya dari perancangan dengan metode VDI 2206 adalah *system integration*. Pada tahapan ini dilakukan penggabungan antara ketiga bagian yang telah dilakukan perancangan pada tahapan sebelumnya.

Pada tahapan ini dibuat diagram sekuensial yang dimana menjelaskan prinsip kerja mesin palletizing yang dapat dilihat pada **Gambar 17**, dimulai dengan mengidentifikasi enam aktuator yang digunakan beserta kondisi awalnya yang dapat dilihat pada **Gambar 18**.

Berikut dapat dilihat konsep penempatan posisi sensor mesin palletizing pada gambar 14 Top View (a), Isometrik View (b).

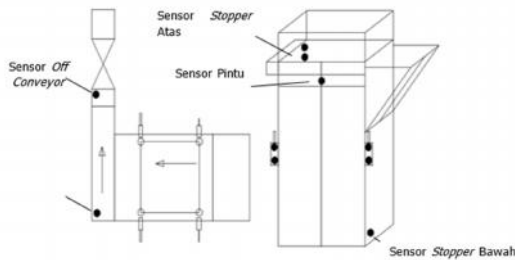
Sensor pintu berada pada bagian depan mesin dan terletak pada rangka bagian atas pintu, sensor tersebut mendeteksi adanya manusia yang membawa tumpukan kaleng, ketika sensor tersebut aktif maka pintu mesin secara otomatis terbuka dan operator siap memasukan tumpukan kaleng, ketika operator meninggalkan mesin dan sensor mendeteksi bahwa tidak ada keberadaan manusia maka pintu secara otomatis tertutup.



Gambar 17. Diagram Sekuensial

No	Aktuator	Simbol	Keterangan
1	A = Pintu	A+	Pintu terbuka
		A-	Pintu tertutup
2	B = Operator	B+	Memasukan tumpukan kaleng
		B-	Mengeluarkan tumpukan kaleng
3	C = Base Pallet	C+	Base pallet naik
		C-	Base pallet turun
4	D = Pusher	D+	Pusher maju
		D-	Pusher mundur
5	E = Konveyor	E+	Konveyor maju
		E-	Konveyor mundur
6	F = Vacuum Layer	F+	Vacuum layer maju
		F-	Vacuum layer mundur

Gambar 18. Tipe Aktuator



Gambar 19. Posisi Sensor

Sensor stopper atas berada pada bagian atas rangka mesin, yang dimana ketika base pallet yang membawa tumpukan kaleng dinaikan dan kaleng terdeteksi oleh sensor stopper atas, maka base pallet akan berhenti. Sensor stopper atas juga memberikan sinyal kepada pusher untuk mendorong kaleng menuju konveyor. Sensor on conveyor berada pada bagian idler conveyor dengan tujuan mendeteksi keberadaan kaleng yang telah didorong oleh pusher. Ketika sensor aktif maka konveyor akan bergerak sehingga memindahkan kaleng menuju twister, apabila konveyor selesai memindahkan kaleng ke twister dan sensor mendeteksi ketidak beradaan kaleng, maka konveyor berhenti dan pusher diperintahkan untuk mendorong kaleng berikutnya.

Perhitungan *cycle time*

Dalam perhitungan *cycle time* mesin palletizing harus menentukan pergerakan apa saja yang dilakukan oleh mesin dan membagi pembobotan waktu untuk asumsi dalam proses perhitungan. Adapun proses pergerakan mesin dan perkiraan waktu dapat dilihat pada **Gambar 20** yang menjelaskan tentang proses pergerakan mesin untuk memindahkan kaleng menuju *twister* dalam 1 *pallet*.

No	Proses	Jumlah gerakan	Perkiraan Waktu	Satuan
1	Membuka pintu mesin	1x Proses	1	Menit
2	Memasukan tumpukan kaleng	1x Proses	2	Menit
3	Menutup pintu mesin	1x Proses	1	Menit
4	Menaikan Kaleng (<i>Base Pallet</i>)	10x Proses	1	Menit
5	Mendorong Kaleng (<i>Pusher</i>)	100x Proses	20	Menit
6	Memindahkan kaleng oleh konveyor	100x Proses	10	Menit
7	<i>Vacuum layer</i> menuju keranjang	10x Proses	5	Menit
8	Menurunkan <i>pallet</i> kosong	1x Proses	2	Menit
9	Membuka Pintu Mesin	1x Proses	1	Menit
10	Mengeluarkan <i>pallet</i> kosong	1x Proses	2	Menit
11	Memasukan tumpukan kaleng baru	1x Proses	2	Menit
12	Menutup Pintu mesin	1x Proses	1	Menit
TOTAL WAKTU dalam 1 <i>Pallet</i>			48	Menit

Gambar 20. Perhitungan Waktu Total

Apabila dilihat pada **Gambar 20**, bahwa ada empat proses yang harus menjadi perhatian utama dalam perhitungan *cycle time* yaitu proses menaikan kaleng, mendorong kaleng, memindahkan kaleng oleh konveyor dan proses *vacuum layer* menuju keranjang. Untuk mempermudah proses

perhitungan *cycle time*, dikarenakan dalam 1 pallet terdapat 10 tumpukan kaleng maka dilakukan perhitungan per 1 layer, berikut tabel yang menjelaskan tentang empat proses utama pergerakan mesin untuk memindahkan kaleng menuju twister dalam 1 *layer* yang dapat dilihat pada **Gambar 21**.

No	Proses	Jumlah gerakan	Perkiraan Waktu	Satuan
1	Menaikan Kaleng (<i>Base Pallet</i>)	1x Proses	6	Detik
2	Mendorong Kaleng (<i>Pusher</i>)	10x Proses	120	Detik
3	Memindahkan kaleng oleh konveyor	10x Proses	60	Detik
4	<i>Vacuum layer</i> menuju keranjang	1x Proses	30	Detik
TOTAL WAKTU dalam 1 <i>Layer</i>			216	Detik

Gambar 21. Perhitungan waktu pemindahan 1 layer

Berdasarkan perhitungan yang sudah dilakukan, maka didapatkan beberapa kecepatan komponen yang harus dipenuhi.

1. Kecepatan *base pallet*

$$n_{bp} = \frac{V_{bp} \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot r} = 36,537 \text{ rpm}$$

2. Kecepatan dorong *pusher*

$$n_p = \frac{V_p \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot r} = 34,083 \text{ rpm}$$

3. Kecepatan konveyor

$$n_k = \frac{V_k \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot r} = 33,879 \text{ rpm}$$

4. Kecepatan *vacuum layer*:

$$V_{vel} = \frac{S}{t} = \frac{1,2 \text{ m}}{30 \text{ s}} = 0,04 \text{ m/s}$$

Perhitungan Komponen Kritis

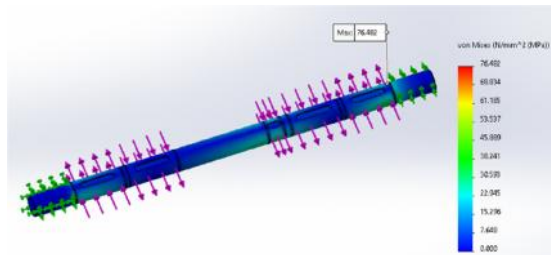
Tahapan selanjutnya dilakukan analisis komponen kritis pada mesin palletizing,

Berdasarkan perhitungan manual didapatkan data-data berikut ini:

Kontrol kegagalan von mises [7]

$$\begin{aligned} \sigma_n &= 0 \\ \sigma_x &= \sigma_n = 0 \\ \sigma_x &= \sigma_{bmax} = 76,819 \text{ MPa} \\ \tau_{xy} &= \tau_{geser} + \tau_{torsi} = 2,815 \text{ MPa} \\ \sigma_y &= 0 \\ \sigma_1 &= \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} = 76,922 \text{ MPa} \\ \sigma_2 &= \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} = -0,103 \text{ MPa} \\ \sigma_{Gab} &= \sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2 + \sigma_2^2} = 76,973 \text{ MPa} \\ \sigma_{Gab} &\leq \sigma_{bizin} \text{ (AMAN)} \\ SF &= \frac{\sigma_{yield}}{\sigma_{Gab}} = 3,833 \end{aligned}$$

Berdasarkan analisis dengan perangkat lunak CAE didapatkan data seperti pada **Gambar 22**.



Gambar 22. Simulasi Tegangan pada Poros

Maka diperoleh hasil perbandingan perhitungan manual dengan perangkat lunak CAE seperti pada tabel 5.

Tabel 5 Hasil perhitungan manual dan CAE

Poros	Manual	Software	Selisih	Persentase
Tegangan	76,973 MPa	76,482 MPa	0,491	0,638%
Safety factor	3,833	3,596	0,237	6,183%

Faktor keamanan yang terjadi masih lebih besar dari faktor keamanan minimum kasus pembebanan dinamis berganti, dimana faktor keamanan minimum adalah 3 seperti pada [8].

KESIMPULAN

Hasil rancangan Mesin *Palletizing* perlu ditinjau dari segi keterpenuhan daftar tuntutannya. Dari proses perancangan tersebut, telah dihasilkan rancangan mesin yang mampu memindahkan kaleng menuju *twister* sebanyak 1500 pcs/jam untuk jenis kaleng susu 400 gram dan 810 pcs/jam untuk jenis kaleng susu 600 dan 800 gram. Konstruksi dari mesin *palletizing* dinyatakan sangat aman karena beberapa komponen telah dianalisis dan memiliki faktor keamanan minimal 3,8 sehingga rancangan mesin *palletizing* sangat aman. Hasil ketercapaian daftar tuntutan dapat di lihat pada **Gambar 23** berikut

No	Keterangan	Tuntutan	Aktual	Hasil
1	Tinggi Mesin <i>Palletizing</i>	≤ 2950 mm	2901 mm	✓
2	Beban minimal yang diangkat	170 Kg	245,96 Kg	✓
3	Kapasitas produksi kaleng jenis 400 gr	≥ 1200 Pcs/Jam	1500 Pcs/Jam	✓
4	Kapasitas produksi kaleng jenis 600&800 gr	≥ 500 Pcs/jam	810 Pcs/Jam	✓

Gambar 23. Ketercapaian Daftar Tuntutan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. M. Rani, "Meningkatkan Kapasitas Produksi dengan Capacity Planning (Studi pada PT XYZ)," *J. Manaj. dan Bisnis Performa*, vol. 16, no. 1, hal. 39–49, 2019, doi: 10.29313/performa.v16i1.4571.
- [2] A. Alfredo dan S. Raharjo, "Upaya Peningkatan Kapasitas Produksi & Koeffisien Efisiensi Improvement di Proses K-Contactor Backend pada PT X," vol. 11, no. 2, hal. 273–280, 2023.
- [3] Z. Zuryensi dan M. Asrol, "Improving the Efficiency of the Production Process in the Surface Mount Technology (Smt) Industry With a Lean Manufacturing Approach," *J. Darma Agung*, vol. 30, no. 3, hal. 253–271, 2022, doi: 10.46930/ojsuda.v30i3.2451.
- [4] S. A. Putri, A. Witonohadi, dan A. D. Akbari, "Production Process Improvement Design to Eliminate Waste in 428H Chain Products Using Lean Manufacturing at PT ABC," *Opsi*, vol. 15, no. 2, hal. 246, 2022, doi: 10.31315/opsi.v15i2.7714.
- [5] V. Chauhan, T. Kärki, dan J. Varis, "Design of tooling system and identifying crucial processing parameters for NFPC manufacturing in automotive applications," *J. Compos. Sci.*, vol. 5, no. 7, 2021, doi: 10.3390/jcs5070169.
- [6] J. Gausemeier dan S. Moehring, "VDI 2206-A New Guideline for the Design of Mechatronic Systems," *IFAC Proc. Vol.*, vol. 35, no. 2, hal. 785–790, 2002, doi: 10.1016/s1474-6670(17)34035-1.
- [7] Russell Hibbeler, *Mechanics of Material*, 10th Editi. 2015.
- [8] H. Wittel, D. Muhs, D. Jannasch, dan J. Voßiek, *Roloff/Matek Maschinenelemente*. 2009.