

PEMILIHAN MEKANISME CHAIN & SPROCKET PADA PERANCANGAN MESIN FLEXIBLE 3 AXIS CARTON STACKING

Atika Wahyuningsih^{1*}, Tri Hannanto Saputra², Gabriela Saras Pangestuti³, Adhi Satya Prabowo⁴, Yudhatama Alfian Sidik⁵

^{1,2,3,4,5} Program Studi Teknik Perancangan Mekanik dan Mesin, Politeknik ATMI Surakarta

Jl. Mojo No. 1 Karangasem, Laweyan, Surakarta 57145

*Email: atika.wahyuningsih@atmi.ac.id

Abstrak

Mesin Flexible 3 Axis Carton Stacking merupakan mesin yang berfungsi sebagai penata dan penyusun karton pada palet sehingga proses penyimpanan dan distribusi menjadi efektif. Tujuan perancangan mesin ini adalah memenuhi permintaan akan mesin paletizer tanpa mekanisme arm robot dan dengan input yang dapat divariasikan. Unit yang paling utama adalah stacking unit 3 axis yang berfungsi menata karton sesuai layout ke atas palet. Pemilihan mekanisme dilakukan dengan metode morfologi desain yang membandingkan satu mekanisme dengan mekanisme yang lain, lalu dipilih mekanisme yang paling sesuai untuk memenuhi kebutuhan. Kemungkinan mekanisme sumbu Z pada Stacking Unit yang dipilih untuk menggantikan arm robot adalah linear ball screw, double linear ball screw, dan chain & sprocket, dengan masing-masing mekanisme memiliki kelebihan dan kekurangan. Kelebihan mekanisme linear ball screw adalah pergerakan presisi dan halus, tidak bising. Kekurangannya jika beban yang ditumpu relatif berat dan screw relatif panjang maka besar kemungkinan screw untuk terpelanting. Kelebihan double linear ball screw dibanding single linear ball screw adalah mengurangi potensi screw terpelanting, namun kekurangannya adalah memerlukan inverter untuk menyinkronkan pergerakan kedua motor, dan jika pergerakan memiliki selisih waktu, dapat menyebabkan screw terkunci. Kelebihan chain & sprocket mampu menahan beban yang relatif berat, konstruksi lebih aman, dapat digunakan untuk konstruksi yang panjang, dan harga relatif murah dibandingkan dengan linear ball screw. Kekurangannya adalah mekanisme ini memiliki spealling dan memerlukan adjuster, juga bersuara bising. Masing-masing dikombinasikan dan dinilai melalui karakteristik teknis dan requirement listnya. Masing-masing dibuat peringkat dan didapatkan pemenang yaitu mekanisme chain & sprocket.

Kata kunci: karton, mekanisme, stacking

1. PENDAHULUAN

Pengemasan produk merupakan langkah penting yang harus diperhatikan dalam menjamin kualitas produk hingga sampai ke tangan konsumen. Dengan semakin meningkatnya permintaan pasar akan produk terutama produk makanan atau minuman dan kebutuhan pokok sehari-hari menjadikan kapasitas produksi semakin meningkat. Semakin meningkatnya kapasitas produksi ini yang menjadikan proses pengemasan harus dilakukan dengan cepat agar tidak menghambat proses sebelum dan sesudahnya. Untuk mempercepat proses pengemasan, banyak perusahaan yang menggunakan mesin paletizer pada bagian penyusunan dan pengemasan produk mereka. Mesin paletizer yang banyak digunakan umumnya menggunakan mekanisme *arm robot*, tetapi penggunaan mekanisme ini relatif mahal dalam proses pembuatan maupun *maintenance*. Namun ada pula yang tidak menggunakan mekanisme *arm robot*, salah satu contohnya adalah Model 72SA Semi-Automatic yang diproduksi ABC Packaging Machine Corporation. Penataan layout mesin ini dilakukan manual oleh operator, pengangkatan karton menggunakan *elevator table*, dan pergeseran menggunakan *low friction roller transfer table* yang dapat mengakomodasi karton berat. Mesin model ini juga dapat ditingkatkan menjadi pengoperasian otomatis seutuhnya.

Mekanisme *arm robot* dalam mesin paletizer biasa digunakan untuk memindahkan karton ke atas palet. Dalam perancangan mesin Flexible 3 Axis Carton Stacking, unit yang bertugas memindahkan karton ke atas palet adalah Stacking Unit. Mekanisme yang dipilih

pada *unit* ini adalah mekanisme yang akan menggantikan mekanisme *arm robot* sehingga mampu menekan harga jual dan mempermudah *maintenance*. Itulah mengapa pemilihan mekanisme sumbu Z *Stacking Unit* dipilih sebagai topik yang akan dibahas pada jurnal ini.

1.1 Spesifikasi Input

Spesifikasi *input* dari mesin *Flexible 3 Axis Carton Stacking* ada 2 jenis yaitu karton dengan 3 macam ukuran dan palet.

Input pertama adalah karton dengan 3 dimensi yang berbeda sebagai contoh fleksibilitas mesin ini yaitu *input* yang dapat dikustomisasi. Karton 1 merupakan karton teh Tong Tji dengan ukuran panjang x lebar x tinggi adalah 72 cm x 29,5 cm x 14 cm. Karton 2 merupakan karton Indomie dengan ukuran panjang x lebar x tinggi adalah 30 cm x 24 cm x 21 cm. Karton 3 merupakan karton kopi *Good Day* dengan ukuran panjang x lebar x tinggi adalah 39 cm x 21 cm x 20 cm.



(a)



(b)



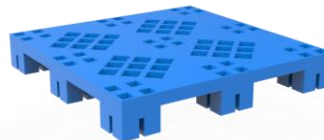
(c)

(a) Karton 1; (b) Karton 2; (c) Karton 3

Gambar 1. Input pertama

(b), (c) (www.tokopedia.com, 2019)

Input kedua adalah palet berbahan plastik dengan dimensi panjang x lebar x tinggi adalah 1000 mm x 1000 mm x 150 mm.

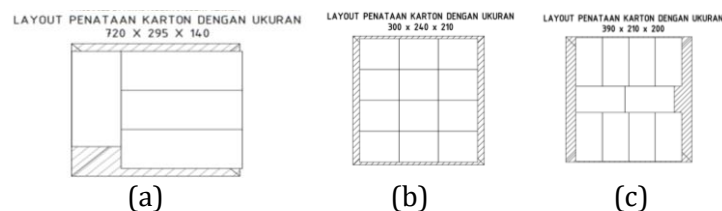


Gambar 2. Input kedua

(www.tokopedia.com, 2019)

1.2. Spesifikasi Output

Output dari mesin *Flexible 3 Axis Carton Stacking* adalah karton yang telah disusun di atas palet sesuai *layout* yang telah ditentukan dengan ketinggian maksimal 2000 mm di atas palet atau delapan tumpukan.



(a) Layout karton 1; (b) Layout karton 2; (c) Layout karton 3

Gambar 3. Spesifikasi Output

1.3. Batasan Proses

Batasan proses dalam perancangan mesin ini meliputi:

- a. Batasan *output* yaitu ketinggian maksimal karton yang tersusun di atas palet adalah 2000 mm.
- b. Batasan *input* meliputi berat maksimal 1 karton adalah 5 kg dan ukuran palet panjang x lebar x tinggi adalah 1000 mm x 1000 mm x 150 mm.
- c. Karton yang sudah tersusun di atas palet diambil manual oleh operator menggunakan *forklift*.
- d. *Forklift* yang digunakan untuk mengambil palet yang telah terisi karton dapat bermanuver dengan mudah.

2. METODOLOGI

Proses penelitian ini memerlukan beberapa bahan dan peralatan sebagai perlengkapan dalam proses perancangan serta beberapa metode pengumpulan data dan perumusan masalah. Metode yang dipergunakan adalah perbandingan model ragam solusi komponen penyusun *unit*.

2.1. Alat

Alat yang digunakan dalam perancangan mesin *Flexible 3 Axis Carton Stacking* adalah sebagai berikut:

1. Laptop

Proses perancangan dilakukan dengan menggunakan laptop untuk menyusun laporan, gambar 2D, gambar 3D.

2. Software

Proses perancangan dilakukan dengan *software AutoCAD* untuk menyusun gambar 2D, *software SolidWorks* untuk menyusun gambar 3D, dan *Word* untuk menyusun laporan.

2.2. Bahan

Bahan yang digunakan sebagai dasar perancangan mesin *Flexible 3 Axis Carton Stacking* adalah sebagai berikut:

1. Hasil Wawancara

Hasil wawancara didapatkan secara langsung dari narasumber.

2. Hasil Presentasi

Dalam proses perancangan, dilakukan juga beberapa kali presentasi untuk menguji desain yang telah dibuat.

2.3. Metode Penelitian

Metode yang dipergunakan dalam perancangan mesin ini adalah dengan menyusun morfologi desain. Penyusunan morfologi desain dilakukan untuk membandingkan satu mekanisme dengan mekanisme yang lain, lalu dipilihlah mekanisme yang paling sesuai dengan kebutuhan pada mesin.

2.4. Proses Penelitian

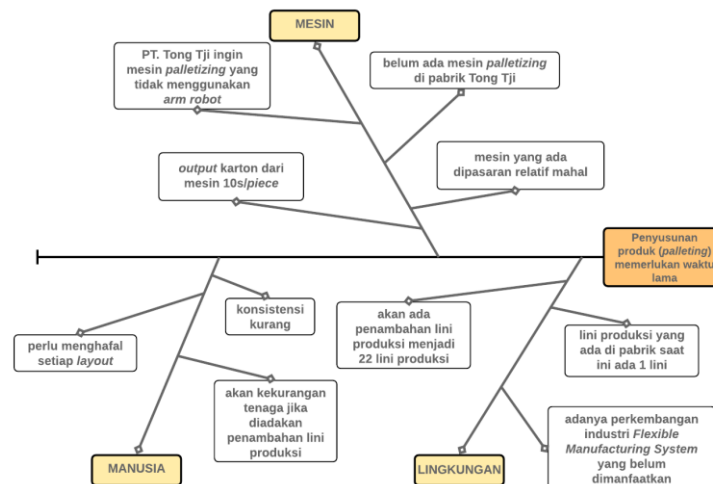
Metode pengerjaan dilakukan dengan beberapa tahapan yang ditunjukkan pada *flowchart* di gambar 1.



Gambar 4. Flowchart Proses Penelitian

2.2.1. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan wawancara dengan *customer*, sehingga didapatkan berbagai data yang dapat digunakan dalam penyusunan batasan masalah dan identifikasi masalah. Data yang didapat lalu digunakan sebagai dasar pembuatan diagram sebab akibat dan diagram keterkaitan.



Gambar 5. Diagram Sebab Akibat

2.2.2. Pembuatan Matriks Kebutuhan

Sebelum melakukan proses desain, beberapa data harus ditentukan keterkaitan antara satu dengan yang lain. Pada proses penentuan matriks kebutuhan, diperlukan beberapa data seperti *requirement list* yang didapatkan berdasarkan permintaan *customer*, *engineer characteristic* yang diperlukan untuk menjawab permintaan dari *customer*, setelah itu disusun matriks kebutuhan untuk menghubungkan antara *requirement list* dengan *engineering characteristic*.

Proses perancangan *stacking unit* didapatkan dengan pemilihan mekanisme untuk ketiga sumbu, motor atau penggerak yang digunakan, hingga pemilihan rangka. Pemilihan dilakukan dengan metode kotak morfologi, dan dipilih berdasarkan kemampuan untuk memenuhi *requirement list* dan diukur menggunakan *engineering characteristic* yang dijelaskan di dalam hasil dan pembahasan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan konsep *Stacking Unit* ini dilakukan dalam beberapa tahap, yaitu pembuatan desain morfologi, deskripsi konsep, kriteria pembobotan, kriteria penilaian, dan penilaian ketiga buah konsep untuk mendapatkan sebuah konsep pemenang yang sesuai dengan kebutuhan.

3.1. Penentuan Matriks Kebutuhan

Matriks kebutuhan diawali dengan data permintaan *customer* yang didapatkan dengan wawancara langsung beserta tingkat kepentingannya.

Tabel 1. Requirement List

No.	Kebutuhan	Keperluan
1	Layout penataan dipilih yang terbaik	5
2	Output dapat diakses <i>forklift</i>	5
3	Positioning karton dilakukan secara otomatis	5
4	Kapasitas produksi 2520 karton/hari	4
5	Jumlah operator maksimal 2 orang	3
6	Harga mesin tidak melebihi Rp 250.000.000	3
7	Dapat dijual terpisah (per Unit)	3
8	Tegangan listrik 380V	2
9	Mudah dioperasikan	2
10	Maintenance mudah	2

Berdasarkan tabel *requirement list* di atas, dapat diketahui bahwa *layout* penataan dipilih yang terbaik memiliki tingkat kepentingan yang paling tinggi (bernilai 5), sedangkan yang memiliki nilai kepentingan

Tabel 2. Characteristic Engineering

Characteristic Engineering	
1	Kecepatan konveyor (mm/sekon)
2	Kekuatan komponen mengangkat/memproses beban (kg)
3	Panjang <i>stroke</i> pendorong (mm)
4	Kekuatan plat 3 <i>axis</i> mengangkat beban (kg)
5	Kemampuan <i>frame</i> menahan beban (N)
6	Lama waktu pada satu siklus proses (sekon/ <i>pcs</i>)
7	Harga mesin (Rp)
8	Panjang langkah gerakan 3 <i>axis</i> (mm)
9	Kecepatan putaran motor (rpm)
10	Daya pembebanan motor (P)
11	Torsi yang bekerja pada motor (Nm)

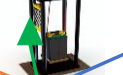
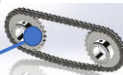
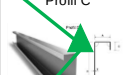
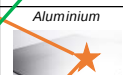
Setelah menentukan *characteristic engineering*, lalu dirumuskan hubungan antara *requirement list* dengan *characteristic engineering* pada tabel matriks kebutuhan.

Customer Needs	Engineering Characteristic	Tingkat Kepentingan									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Layout penataan dipilih yang terbaik	5	☆			☆			☆			
Output dapat diakses <i>forklift</i>	5	△		◇							
Positioning karton dilakukan secara otomatis	5	◇			△	△		☆			
Kapasitas produksi 2520 karton/hari	4	☆		◇		△	☆		◇	△	☆
Jumlah Operator maksimal 2 orang	3		△								☆
Harga mesin tidak melebihi Rp 250.000.000	3		☆		☆	◇		☆	△	◇	
Dapat dijual terpisah (per unit)	3							△			
Tegangan listrik 380V	2		△		◇				☆		
Mudah dioperasikan	2							△			◇
Maintenance mudah	2			△			△		△	◇	
Absolute Importance		27	34	13	37	21	16	49	20	13	23
Relative Importance (%)		10,67	13,44	5,14	14,62	8,30	6,32	19,37	7,91	5,14	9,09
											Total
											253
											100

Gambar 6. Matriks Kebutuhan

3.2. Perancangan Konsep *Stacking Unit*

Desain morfologi unit ini akan berisikan tentang bagaimana proses pembentukan *Stacking Unit* berdasarkan pemilihan transmisi sumbu Z, transmisi sumbu Y, transmisi sumbu X, *frame*, material, motor sumbu X, motor sumbu Z, sistem *stopper*, dan *guide* sumbu Z.

No	Sub Function	Solution		
		1	2	3
1	Transmisi Sumbu Z	Linear Ball Screw 	Lift Mechanism 	Chain and Sprocket 
2	Transmisi Sumbu X	Chain and Sprocket 	Shaft with CAM 	Rack Gear 
3	Frame	Aluminium Profil 	Profil H 	Profil C 
4	Material	MS Sheet 	SPCC 	Aluminium 
5	Motor sumbu X	Motor Servo 	Motor Stepper 	Motor elektromagnetik break 
6	Motor sumbu Z	Motor Servo 	Motor Stepper 	Motor elektromagnetik break 
7	Sistem Stopper	Silinder Pneumatic 	Sistem Screw 	Sistem Screw 
8	Guide sumbu Z	Linear Shaft 	Linear Guideway 	SBR Linear Rail Guide 
9	Transmisi Sumbu Y	Single Acting Cylinder 	Double Acting Cylinder 	Linkage 
		Konsep 1 	Konsep 2 	Konsep 3 

Gambar 7. Morfologi Desain *Stacking Unit*

Konsep yang dihasilkan dari morfologi desain di atas dinyatakan dalam garis berhubungan dimana konsep 1 digambarkan dengan garis berwarna oranye, konsep 2 dengan garis berwarna biru, dan konsep 3 dengan garis berwarna hijau.

3.3. Penilaian Konsep *Stacking Unit*

Penilaian konsep *Stacking Unit* dilakukan dalam 3 tahap, yaitu pembobotan faktor penilaian, penentuan kriteria penilaian, dan penilaian ketiga konsep.

1. Pembobotan Faktor Penilaian.

Pembobotan faktor penilaian dilakukan dengan membandingkan parameter. Parameter disusun secara vertikal dan horizontal dan diberi angka 2 untuk parameter pemenang, 1 jika kedua parameter yang dibandingkan bernilai seimbang, dan 0 untuk parameter yang kurang penting dibandingkan parameter pembandingnya. Parameter lalu dijumlahkan secara vertikal. Pembobotan faktor penilaian akan dijelaskan melalui tabel 5.

PEMBOBOTAN UNIT 2		Kekuatan plat 3 axis mengangkat beban (kg)	Panjang langkah gerakan 3 axis (mm)	Panjang stroke pemadat (mm)	Kemampuan frame menahan beban (N)	Lama waktu pada satu siklus proses (sekon/pcs)	Harga mesin (Rp)
Kekuatan plat 3 axis mengangkat beban (kg)	1	0	0	1	0	1	
Panjang langkah gerakan 3 axis (mm)	2	1	1	1	0	1	
Panjang stroke pemadat (mm)	2	1	1	2	2	2	
Kemampuan frame menahan beban (N)	1	1	0	1	0	1	
Lama waktu pada satu siklus proses (sekon/pcs)	2	2	0	2	1	2	
Harga mesin (Rp)	1	1	0	1	0	1	
Total	9	6	2	8	3	8	
Bobot	1	0,7	0,2	0,9	0,3	0,9	

Gambar 8. Pembobotan Faktor Penilaian *Stacking Unit*

2. Kriteria Penilaian

Kriteria penilaian dibuat dengan pertimbangan *voice of engineer* dan *requierement list*. Kriteria memiliki nilai 5,4,3,2 atau 1 dengan kondisi tertentu. Kriteria penilaian dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Kriteria Penilaian *Stacking Unit*

UNIT 2 Flexible 3 Axis Carton Stacking						
No	Kriteria	5	4	3	2	1
1	Kekuatan plat 3 axis mengangkat beban (kg)	135-150 kg	120-135 kg	100-120 kg	80-100 kg	< 80 kg
2	Panjang langkah gerakan 3 axis (mm)	2200 mm	2000 mm	1800 mm	1500 mm	< 1500 mm
3	Panjang stroke pemadat (mm)	1200-1400 mm	1000-1200 mm	800-1000 mm	600-800 mm	< 600 mm
4	Kemampuan frame menahan beban (N)	Mampu menahan beban 1500 N	Mampu menahan beban 1200 N	Mampu menahan beban 1000 N	Mampu menahan beban 800 N	Mampu menahan beban < 800 N
5	Lama waktu pada satu siklus proses (sekon/pcs)	< 5-10 sekon/piece	10 sekon/piece	10-15 sekon/piece	15-20 sekon/piece	20-25 sekon/piece
6	Harga mesin (Rp)	< Rp250.000.000	Rp250.000.000	Rp250.000.000-Rp280.000.000	Rp280.000.000-Rp300.000.000	> Rp300.000.000

3. Penilaian Konsep

Penilaian ketiga konsep dalam morfologi desain *Stacking Unit* dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Penilaian Konsep

Unit 2 Flexible 3 Axis Carton Stacking								
No	Kriteria	Bobot	Konsep 1		Konsep 2		Konsep 3	
			Nilai	Total	Nilai	Total	Nilai	Total
1	Kekuatan plat 3 axis mengangkat beban (kg)	1	5	5	5	5	5	5
2	Panjang langkah gerakan 3 axis (mm)	0,7	4	2,8	4	2,8	4	2,8
3	Panjang <i>stroke</i> pemadat (mm)	0,2	1	0,2	2	0,4	1	0,2
4	Kemampuan <i>frame</i> menahan beban (N)	0,9	3	2,7	5	4,5	3	2,7
5	Lama waktu pada satu siklus proses (sekon/pcs)	0,1	2	0,2	2	0,2	5	0,5
6	Harga mesin (Rp)	0,9	4	3,6	5	4,5	3	2,7
Total		3,8	19	14,5	23	17,4	21	13,9
Peringkat			2		1		3	

Dari penilaian konsep pada tabel 4 dapat disimpulkan bahwa konsep kedua adalah pemenang konsep *Stacking Unit* karena mendapatkan peringkat 1 serta kegunaannya sudah mampu mencukupi kebutuhan mesin yang akan dirancang.

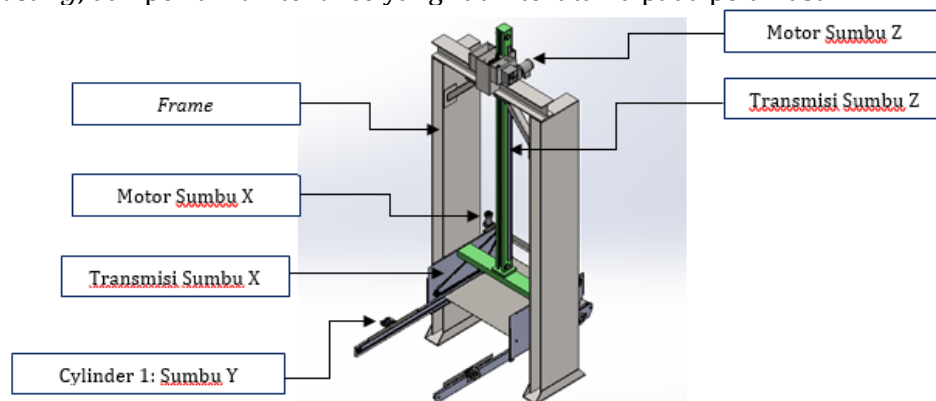
3.4. Deskripsi Konsep *Stacking Unit*

Stacking Unit adalah *unit* yang berfungsi untuk menyusun atau menumpuk karton ke atas palet dan dapat menyesuaikan ketinggian tumpukan sesuai *input* yang telah diberikan. *Input unit* ini adalah karton yang telah tersusun sesuai *layout* dan siap ditumpuk ke atas palet. Rancangan pertama *stacking unit* ini adalah menggunakan mekanisme *linear ball screw*,

tetapi karena mempertimbangkan jarak tempuh yang cukup jauh untuk menjangkau ketinggian 2000 mm di atas palet (kurang lebih 2850 mm dari tanah), maka digunakanlah mekanisme *chain & sprocket*. Selain itu kelemahan mekanisme *linear ball screw* adalah berputar secara eksentris ketika digunakan untuk jarak tempuh yang cukup jauh, apalagi jika beban yang ditumpu berat. *Stacking Unit* harus mampu menahan beban maksimal 1 karton 5 kg, jika mengambil permisalan *layout* karton 2, maka beban yang harus ditumpu *stacking unit* adalah 125 kg. Rancangan kedua menggunakan *linear ball screw* berjumlah 2 kanan kiri dipilih dengan mempertimbangkan beban yang harus ditahan oleh *unit* ini. Kekurangan dari mekanisme ini adalah sinkronisasi gerakan *screw* keduanya.

Konsep pemenang pada *stacking unit* adalah penggunaan mekanisme *chain & sprocket* untuk transmisi sumbu Z (naik turun), mekanisme *chain & sprocket* untuk transmisi sumbu X (maju mundur), dan menggunakan *single acting cylinder* untuk gerakan sumbu Y (pemampat karton). Motor yang digunakan sebagai penggerak sumbu X dan Z adalah motor *electromagnetic brake*. Sistem *stopper* pada *unit* ini berfungsi untuk menahan karton yang sudah berada di atas palet saat sumbu X mundur, agar palet tetap berada di atas palet dan tidak ikut terbawa mundur oleh sumbu X.

Kelebihan system dalam *stacking unit* ini adalah mampu mengangkat beban berat, konstruksi yang cukup kuat serta harga yang relatif murah jika dibandingkan dengan mekanisme *arm robot*. Kekurangan *unit* ini adalah suara *chain* yang dihasilkan cukup bising, perlu *adjusting*, dan perlu *maintenance* yang rutin terutama pada pelumasan.



Gambar 9. Konsep Pemenang *Stacking Unit*

4. KESIMPULAN

Setelah melakukan beberapa kali pemilihan konsep perancangan, didapatkan mekanisme sumbu Z *stacking unit* pada mesin *Flexible 3 Axis Carton Stacking* menggunakan mekanisme *chain & sprocket*, yang secara ilmiah dapat memenuhi *requirement list* dapat mengangkat beban karton maksimal 5 kg untuk 12 kardus (diambil dari *layout* dengan jumlah terbanyak) dalam sekali jalan. Selain itu *maintenance* mekanisme ini relatif cukup mudah dengan pelumasan dibandingkan dengan menggunakan mekanisme *arm robot*. Mekanisme *chain & sprocket* dapat digunakan untuk pergerakan yang cukup panjang, sehingga memungkinkan untuk mengangkat karton hingga ketinggian 2 meter di atas palet.

Mekanisme *chain & sprocket* memiliki harga yang relatif lebih murah dibandingkan mekanisme *linear ball screw*, sehingga dapat membantu menghemat biaya sehingga *requirement list* harga mesin dibawah Rp 250.000.000 dapat tercapai.

DAFTAR PUSTAKA

- ABC Packaging Machine Corporation, 2020, *Palletizer Model 72SA*, <https://www.abcpackaging.com/products/palletizers/model-72sa>, diakses tanggal 15 Juni 2020.
- Robert L. Mott, 2004, *Machine Elements in Mechanical Design*, 4th Ed., Pearson Prentice Hall, New Jersey.