

PERANCANGAN SISTEM *FEEDER* MESIN *CORRUGATED CARDBOARD* *SLITTER* MENGGUNAKAN METODE VDI 2221

Bryan Septiano Christly¹, Agus Halim¹, Agustinus Purna Irawan¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Universitas Tarumanagara Jakarta
Email: Bryan.515180041@stu.untar.ac.id,

²Jurusan Teknik Mesin, Universitas Tarumanagara Jakarta
Email: agush@ft.untar.ac.id;

³Jurusan Teknik Mesin, Universitas Tarumanagara Jakarta
Email: agustinus@ft.untar.ac.id

ABSTRACT

Packaging is an integral part of a product. From all of the different varieties of packaging, cardboard packaging is the most used in different supply chains around the world. As of now, the production process in cardboard packaging industries is still heavily reliant on manual labour. To keep up with technological developments and maintain prevalence in the ever-severe market competition, automatization is the key to revolutionize the production process in cardboard packaging industries. The design of an automatic feeder for cardboard slitting process is intended as an attempt to answer those needs. To obtain an optimal result, the design process follows the method iterated in the VDI 2221 guide. The expected end-result of this design process is a finished design of the feeding system complete with detailed component specifications. The feeder design must be capable of accommodating 40 sheets of cardboard in one feeding cycle, with each sheet being 8 mm thick and weighing at most 1 kg/sheet. The obtained result of this research is a feeder design with a puller feeding system powered by a pneumatic cylinder; an adjustable platform powered by a stepper motor and a set of ballscrews. The result of this research indicates that the design has achieved its intended purpose, yet leaves room for further improvements.

Keywords: Cardboard; Feeding System; Automatization; VDI 2221 Method

ABSTRAK

Kemasan merupakan bagian yang bersifat integral dari sebuah produk. Dari berbagai jenis kemasan, karton merupakan kemasan yang paling umum digunakan dalam berbagai rantai pasokan di dunia. Saat ini, proses produksi pada industri percetakan karton sangat bergantung dengan pekerjaan manual. Demi mengikuti perkembangan zaman dan mempertahankan prevalensi dalam persaingan pasar yang semakin ketat, otomatisasi merupakan kunci untuk merevolusi proses produksi pada industri percetakan karton. Perancangan sistem pengumpan otomatis untuk proses slitting lembaran karton merupakan suatu upaya dalam menjawab kebutuhan tersebut. Untuk mendapatkan hasil rancangan yang optimal, perancangan dilakukan dengan mengikuti panduan metode VDI 2221. Hasil akhir dari perancangan ini berupa rancangan rampung dari pengumpan dengan spesifikasi komponen yang terperinci. Rancangan harus mampu mengakomodasi 40 lembar karton dalam satu siklus pengumpanan, dengan masing-masing lembaran memiliki ketebalan sebesar 8 mm dan berat paling besar 1 kg/lembar. Hasil yang diperoleh adalah rancangan pengumpan dengan sistem pengumpanan jenis *puller* yang ditenagai silinder pneumatik; *adjustable platform* yang ditenagai motor *stepper* dan sepasang *ballscrew*. Hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa rancangan yang dibuat telah memenuhi tujuan yang telah ditentukan, namun masih dapat dioptimasi lebih lanjut.

Kata Kunci: Karton; Sistem Pengumpan; Otomatisasi; Metode VDI 2221

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Otomatisasi proses produksi menjadi solusi dalam meningkatkan produktivitas secara substansial (Badiru, 2014; Lamb, 2013; Wilson, 2014). Dalam usaha percetakan, salah satu proses yang dapat diotomatisasi adalah pengumpanan (*feeding*) lembaran kardus ke dalam mesin *slitter*. *Slitting* merupakan proses yang bertujuan untuk memotong lembaran karton menjadi lembaran yang lebih kecil, ataupun melakukan proses *scoring/creasing* - memberikan garis lipatan pada lembaran karton (Twede et al., 2014; Yam, 2010). Dewasa ini industri 4.0 telah menjadi katalis yang mendorong kemajuan dalam teknologi di sektor industri, tidak terkecuali industri-industri *packaging* yang harus mampu mengikuti perkembangan teknologi tersebut guna

mempertahankan daya saing baik di pasar domestik maupun internasional. Pengetahuan dan penggunaan sistem otomasi industri menjadi kunci dalam mempertahankan prevalensi pada era industri 4.0, sebab daya saing dari suatu perusahaan akan sangat bergantung pada penguasaan teknologi informasi (IT) pada masa yang mendatang (West, 2018). Tujuan dari perancangan ini adalah mencari mekanisme feeder yang optimal untuk memindahkan material berupa lembaran karton serta menghasilkan rancangan sistem *feeder* yang mampu bekerja secara sinergis dengan mesin *slitter* yang ada di PT. Dutakarya Packindo. Sistem *feeder* yang dicanangkan juga harus aman untuk digunakan secara konstruksi maupun pemakaian. Sistem *feeder* yang dirancang harus mampu mengumpan kardus dengan panjang 300 mm hingga 600 mm, lebar 300mm hingga 450 mm. Rancangan sistem *feeder* diutamakan untuk memfasilitasi jenis karton dengan jumlah permintaan yang paling tinggi, yaitu tipe *single wall*, *b flute*.

Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, peneliti memiliki beberapa rumusan masalah yaitu antara lain:

1. Bagaimana proses pemilihan konsep rancangan menggunakan metode VDI 2221
2. Bagaimana mekanisme *feeder* yang optimal untuk pemindahan material lembaran karton
3. Bagaimana perancangan sistem *feeder* yang mampu bekerja secara sinergis dengan mesin *slitter*

2. METODE PENELITIAN

Metode perancangan yang digunakan adalah metode VDI 2221. Penggunaan metode VDI 2221 bertujuan untuk menghasilkan rancangan *feeder* yang optimal untuk kebutuhan pengumpanan lembaran karton. Masing-masing konsep rancangan yang diajukan dinilai menggunakan berbagai alat bantu VDI 2221 yang berupa tabel dan grafik. Melalui hasil penilaian tersebut akan didapatkan konsep solusi yang paling optimal dan akan dilanjutkan ke tahap perancangan detail. Hasil dari perancangan detail merupakan rancangan akhir *feeder* beserta daftar komponen lengkap. Secara garis besar, Tahapan perancangan menggunakan Metode VDI 2221 dapat dibagi menjadi beberapa tahap sebagai berikut (Pahl dan Wallace, 2007):

1. Perencanaan dan Klarifikasi Tugas: Spesifikasi Informasi
2. Perancangan Konsep: Spesifikasi Prinsip Solusi (Konsep)
3. Perancangan Wujud: Spesifikasi Tata Letak (Konstruksi)
4. Perancangan Terperinci: Spesifikasi Produksi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

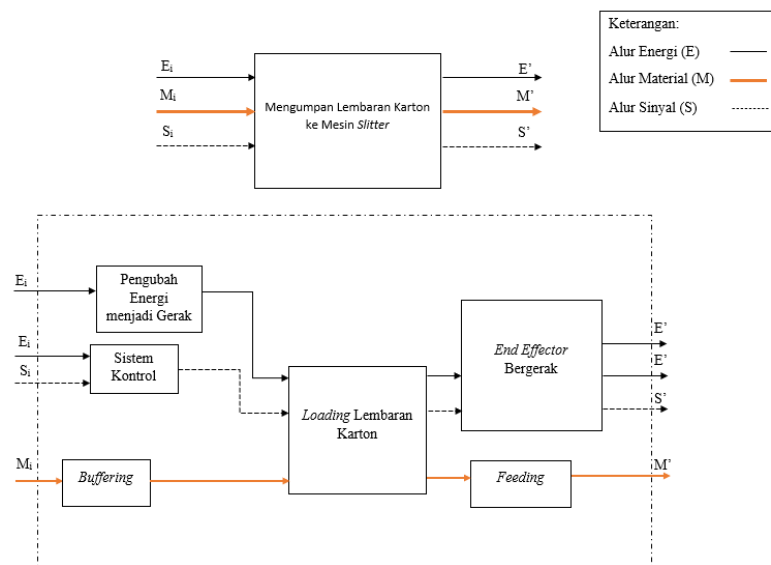
Metode VDI 2221

Pada tahapan pertama; klarifikasi tugas; daftar kehendak dibuat guna mempermudah dalam menjabarkan spesifikasi-spesifikasi yang menjadi target dalam perancangan sistem *feeder*. Kehendak yang dijabarkan terbagi menjadi dua jenis, yaitu *demand* dan *wish*. *Demand* merupakan spesifikasi dari alat yang menjadi suatu keharusan untuk dimiliki, berbeda dengan *wish* yang merupakan fitur pelengkap dan tidak menjadi suatu keharusan. Daftar kehendak dari rancangan sistem *feeder* dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Daftar Kehendak Sistem *Feeder* (Michael, 2020; Yakub, 2016)

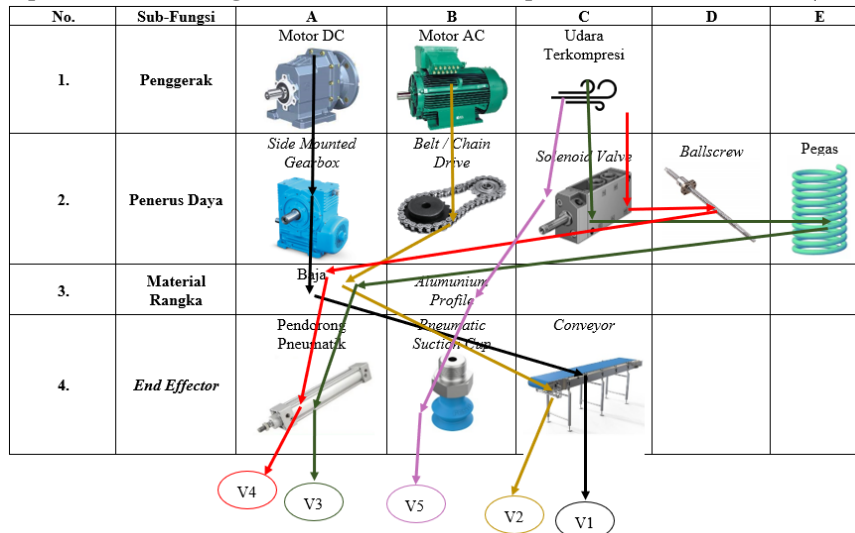
Demand (D) / Wishes (W)	Persyaratan
	FUNGSI
D	Memindahkan dan mengumpan (<i>feed</i>) lembaran karton ke dalam mesin <i>slitter</i>
	MATERIAL
D	Komponen dan Rangka tidak mudah mengalami kerusakan
D	Komponen dan Rangka kokoh (<i>rigid</i>)
D	Komponen dan Rangka tidak mudah terkena korosi
	GEOMETRI
D	Benda yang dipindahkan berbentuk lembaran (<i>sheet</i>) dengan ketebalan 7 mm dan lebar maksimum 600 mm
W	Dapat dipindahkan dengan mudah
W	Konstruksi dari alat dibuat seringkasan mungkin (<i>compact</i>)
	ENERGI
D	Energi berasal dari udara (pneumatik) / listrik (motor)
D	Sumber energi dapat diandalkan
W	Hemat energi
	KINEMATIKA
D	Pergerakan efisien dan ringkas
D	Pengumpanan barang dilakukan secara presisi
W	Kecepatan pengumpanan dapat diatur
	SINYAL
D	Sistem kontrol menggunakan <i>relay</i>
D	Dapat dioperasikan menggunakan tombol/tuas
	ASSEMBLY
D	Menggunakan komponen-komponen standar yang mudah ditemukan
W	Dapat dibongkar-pasang dengan mudah
	PERAWATAN
D	Dapat dengan mudah dirawat
W	Dapat dengan mudah diperbaiki
	PRODUKSI
D	Komponen dapat dibuat dengan mudah menggunakan metode produksi konvensional
	OPERASI
D	Metode pengoperasian dapat dipahami dengan mudah oleh operator
	KESELAMATAN
D	Aman bagi operator dan lingkungan
D	Tidak berpotensi untuk merusak mesin yang diumpan
D	Terdapat tombol <i>emergency</i>
	ERGONOMI
D	Konstruksi memiliki bentuk yang proporsional dengan kebutuhan
	BIAYA
D	Biaya pembuatan dan perawatan ekonomis

Selain daftar kehendak, diagram struktur yang menjabarkan fungsi dan subfungsi dari sistem *feeder* juga dibuat guna memperjelas tahapan kerja yang harus dilewati oleh rancangan agar pemecahan masalah dapat tercapai. Diagram struktur fungsi dapat dilihat pada gambar 1.

Gambar 1. Diagram Struktur Fungsi Sistem *Feeder* (Lesmana, 2020; Yakub, 2016)

Melalui penjabaran tahapan kerja sistem *feeder* yang telah dijabarkan pada diagram struktur fungsi, maka dapat dibuat solusi sub fungsi untuk menghasilkan varian konsep rancangan dari kombinasi prinsip solusi. Prinsip solusi beserta kombinasi prinsip solusi yang dicanangkan dapat dilihat pada skema klasifikasi pada tabel 2.

Tabel 2. Prinsip Solusi Sub Fungsi dan Kombinasi Prinsip Solusi Sistem *Feeder* (Lesmana, 2020)



Kombinasi Varian:

V1: A1>A2>A3>C4

V2: B1>B2>A3>C4

V3: C1>C2>E2>A3>A4

V4: C1>C2>D2>A3>A4

V5: C1>C2>B3>B4

Melalui tabel di atas didapatkan 5 varian konsep dengan kombinasi prinsip solusi yang variatif. Ke-5 varian konsep tersebut akan dinilai dan diseleksi sehingga didapatkan varian yang paling optimal untuk memenuhi kebutuhan perancangan. Pada tahap seleksi varian konsep, digunakan tabel seleksi (*selection chart*). Penilaian dari masing-masing varian konsep menggunakan tabel seleksi dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Seleksi Varian Konsep (Michael, 2020)

Selection Chart									
Varian Dievaluasi dengan Kriteria Solusi:					Keputusan Tanda Solusi Varian (SV):				
(+) Ya					(+) Meningkatkan Solusi				
(-) Tidak					(-) Menghilangkan Solusi				
(?) Kekurangan Informasi					(?) Mengumpulkan Informasi				
(!) Periksa Spesifikasi					(!) Periksa Spesifikasi untuk Perubahan				
Sesuai dengan Fungsi Keseluruhan									
Sesuai dengan Daftar Kehendak									
Secara Prinsip dapat Diwujudkan									
Dalam Batasan Biaya Produksi									
Pengetahuan tentang Konsep Memadai									
Sesuai dengan Keinginan Pembuat									
Memenuhi Syarat Keamanan									
	A	B	C	D	E	F	G	Keterangan	SV
V1	-	+	+	+	+	-	+	Tidak Sesuai	-
V2	+	+	+	+	+	+	+	Sesuai	+
V3	+	-	+	+	+	-	+	Tidak Sesuai	-
V4	+	+	+	+	+	+	+	Sesuai	+
V5	+	+	+	-	-	-	+	Tidak Sesuai	-

Pada tabel seleksi varian konsep, akumulasi jumlah (+) pada masing-masing kriteria penilaian diakumulasi untuk menghasilkan keputusan tanda solusi varian (SV). Hasil dari SV menentukan varian mana yang memenuhi kebutuhan dan keinginan dari perancangan.

Berdasarkan hasil tabel seleksi varian konsep, varian 2 dan varian 4 memenuhi kriteria penilaian yang diharapkan. Setelah melalui proses seleksi varian, maka kedua varian yang memenuhi kriteria penilaian akan melalui proses evaluasi varian konsep berdasarkan parameter-parameter yang ditentukan penulis. Hasil proses evaluasi varian konsep dapat dilihat pada tabel 4.

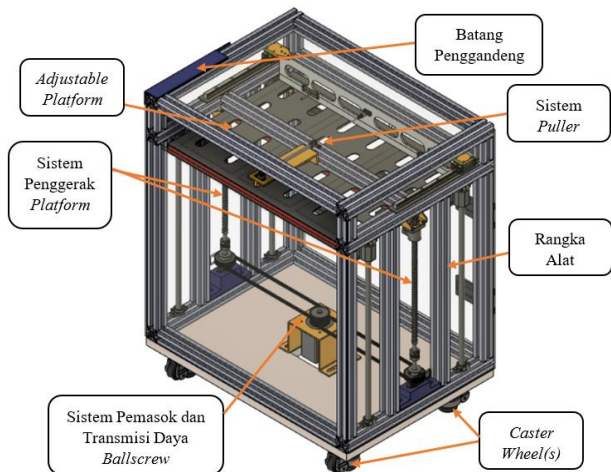
Tabel 4. Evaluasi Varian Konsep (Michael, 2020)

Kriteria Evaluasi			Parameter		Varian 4			Varian 2		
No.	Ket.	W	Ket.	Unit	Tingkat	N	B	Tingkat	N	B
1.	Gerakan Sekuensial Sederhana	0,08	Jumlah Bagian yang Bergerak	-	Sedang	6	0,48	Rendah	8	0,64
2.	Faktor Pengganggu Kecil	0,12	Faktor Pengganggu	-	Rendah	7	0,84	Sedang	6	0,72
3.	Komponen Mudah Diganti	0,1	Kerumitan Konstruksi	-	Sedang	8	0,8	Tinggi	5	0,5
4.	Komponen Tahan Lama	0,1	Jumlah Komponen per Tahun	Unit / Thn	1	8	0,8	1	8	0,8
5.	Biaya Pembuatan Ekonomis	0,075	Biaya Pembuatan Alat	-	Tinggi	6	0,45	Sedang	7	0,525
6.	Biaya Perawatan Ekonomis	0,075	Biaya Perawatan Alat	-	Rendah	7	0,525	Sedang	6	0,45
7.	Mudah Dibuat dan Dirakit	0,06	Kerumitan bentuk Kerumitan	-	Sedang	7	0,42	Tinggi	6	0,36
8.	Konstruksi Aman	0,015	Keamanan Konstruksi	-	Tinggi	8	0,12	Tinggi	8	0,12
9.	Jumlah Komponen Sedikit	0,075	Jumlah Komponen	-	Tinggi	5	0,375	Tinggi	6	0,45
10.	Bentuk Compact	0,06	Kesederhanaan Konstruksi	-	Tinggi	9	0,54	Rendah	4	0,24
11.	Tampilan Menarik	0,015	Estetika Alat	-	Tinggi	7	0,105	Sedang	6	0,09
	Ket.: N = Nilai B = Bobot	$\sum W=1$				$\sum V_1$ = 78	$\sum VW_1$ = 5,455		$\sum V_1$ = 70	$\sum VW_1$ = 4,895

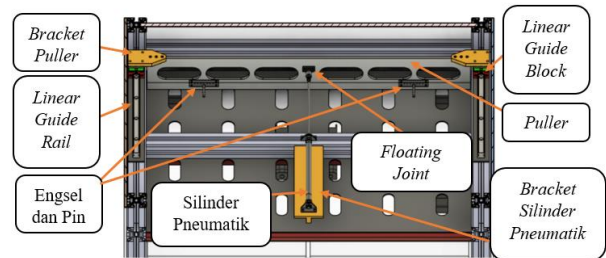
Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa varian 4 merupakan solusi rancangan yang paling ideal diantara kandidat-kandidat solusi rancangan dan memenuhi syarat-syarat perancangan yang telah ditentukan. Dengan demikian varian 4 dinyatakan lolos seleksi VDI 2221 yang telah dibuat oleh perancang dan dilanjutkan ke tahap perancangan detil sebagai solusi sistem *feeder* mesin *corrugated cardboard slitter*.

Hasil Perancangan Sistem Feeder

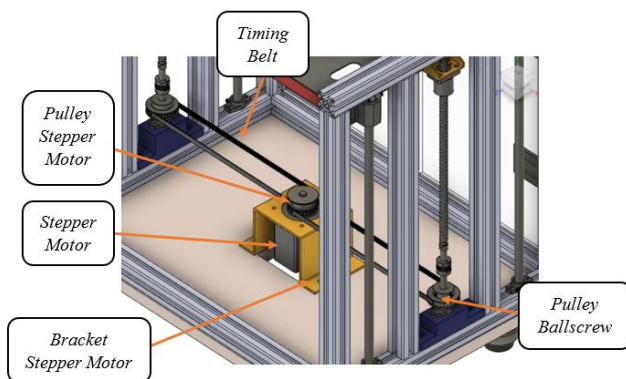
Dengan mengacu pada prinsip solusi sub fungsi dan kombinasi prinsip solusi varian terpilih, maka dilakukan pengembangan konsep menjadi rancangan detil sistem *feeder* mesin *corrugated cardboard slitter* dengan geometri sebagai berikut:



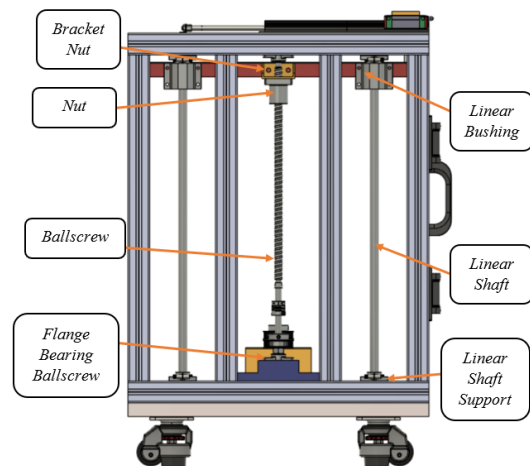
Gambar 2. Tampak Isometri Rancangan



Gambar 3. Sistem *Puller* Rancangan



Gambar 4. Sistem Daya Rancangan



Gambar 5. Sistem Penggerak *Platform* Rancangan

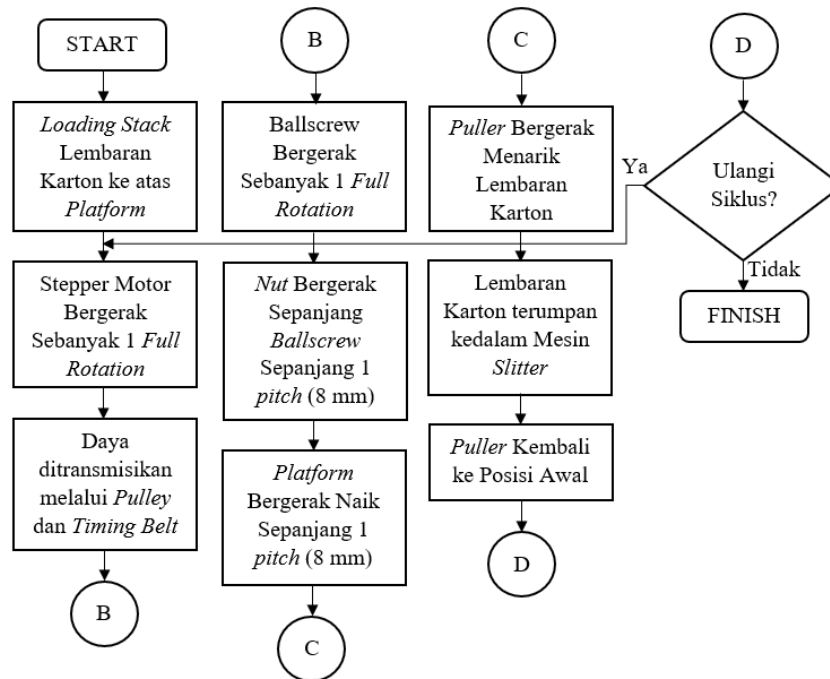
Sistem Kerja Rancangan *Feeder*

Setelah proses perancangan detail, sistem perancangan dari varian 5 belum menggambarkan secara lengkap sistem kerja dari *feeder* yang telah dirancang, sehingga dibuat pembaharuan dengan cara menambah solusi sub fungsi untuk menghasilkan suatu sistem perancangan yang rampung. Hasil pembaharuan sistem perancangan varian 5 dapat dilihat pada tabel 5 berikut:

Tabel 5. Hasil Pembaharuan Sistem Perancangan Metode VDI 2221 Varian 5

No.	Fungsi	Komponen
1.	Penggerak	<i>Stepper Motor (Ballscrew)</i> , Kompresor Udara (Silinder Pneumatik)
2.	Penerus Daya	<i>Timing Belt & Pulley, Ballscrew & Nut</i>
3.	Material Rangka	<i>Alumunium Profile & Baja</i>
4.	<i>End Effector</i>	Silinder Pneumatik & <i>Puller</i>

Mengacu pada sistem perancangan di atas, maka alur kerja sistem rancangan *feeder* dapat digambarkan menggunakan diagram alir sebagai berikut:



Gambar 6. Diagram Alur Sistem Rancangan Feeder

Spesifikasi Rancangan Feeder

Untuk menentukan spesifikasi komponen yang digunakan pada rancangan harus dilakukan berbagai kalkulasi kebutuhan terlebih dahulu. Berikut merupakan hasil perhitungan parameter perancangan dari sistem feeder yang dirancang.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Sistem Feeder Mesin *Corrugated Cardboard Slitter* (Khurmi, 2004; Carpinteri, 2017)

No.	Parameter	Hasil
Sistem Puller		
1.	Berat Puller	7,928 N
2.	Gaya Gesek Total	5,157 N
3.	Bore Size Minimum	4,37 mm
Sistem Penggerak Platform		
1.	Berat Platform	82,687 N
2.	Kecepatan Rata-Rata; Kecepatan Putaran Rata-Rata	0,035 m/s ; 6 r/min
3.	Kecepatan Maksimum; Kecepatan Putaran Maksimum	0,07 m/s ; 12 r/min
4.	Kecepatan Putaran Kritis; Kecepatan Putaran Maksimum yang Diizinkan	9678,57 r/min ; 5213 r/min
5.	Efisiensi Mekanik Teoritis	94,6%
6.	Beban <i>Buckling</i> ; Beban Maksimum yang Diizinkan	2043,167 kg ; 1043,167 kg
7.	Beban Dinamis	88,106 kg
8.	Inersia Putar Efektif	$7,935 \times 10^{-5} \text{ kg.m}^2$
9.	Masa Pakai Ballscrew dan Bearing	14124,401 jam
10.	Masa Pakai Linear Bushing	12256,581 jam
Sistem Pemasok dan Transmisi Daya Ballscrew		
1.	Torsi yang Dibutuhkan	6,33 Nm
2.	Daya yang Direncanakan	0,159 kW
3.	Panjang Timing Belt	762,246 mm
4.	Lebar Timing Belt	9,5 mm
5.	Tegangan Timing Belt; Defleksi Timing Belt	7,077 N ; 5,679 mm

Setelah melakukan perhitungan kebutuhan sistem rancangan, maka dapat dibuat daftar komponen dari sistem *feeder* mesin *corrugated cardboard slitter* lengkap dengan merk, tipe/material dan jumlah yang digunakan. Komponen yang digunakan pada rancangan dibagi menjadi dua jenis, yaitu komponen standar yang dapat dibeli (*buy*) di pasaran, dan komponen khusus yang harus dibuat (*make*). Daftar komponen yang digunakan dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Daftar Komponen sistem *feeder* mesin *corrugated cardboard slitter* (Tindell, 2014)

No.	Komponen	Merk	Tipe / Material	Jumlah	Make (M) / Buy (B)
1.	Silinder Pneumatik	SMC	CDJ2M10-150Z-B	1	B
2.	<i>Floating Joint</i>	SMC	JA10-4-070	1	B
3.	<i>Puller</i>	-	Alumunium	1	M
4.	<i>Bracket Puller</i>	-	ASTM A36	2	M
5.	<i>Linear Guide Block</i>	Hiwin	HGH20 CA	2	B
6.	<i>Linear Guide Rail</i>	Hiwin	HGR20R	4	B
7.	Bracket Silinder Pneumatik	-	ASTM A36	1	M
8.	<i>Adjustable Platform</i>	-	AISI 202 (<i>Slotted Plate</i>) ASTM A500 (<i>Truss</i>)	1	M
9.	<i>Ballscrew & Nut</i>	Hiwin	R14-8B1-FSW-389-471-0.008	2	B
10.	<i>Bracket Nut</i>	-	ASTM A36	2	M
11.	<i>Flange Bearing Ballscrew</i>	Fushi	KFL000	4	B
12.	<i>Linear Shaft</i>	Misumi	PSSFG16-595	4	B
13.	<i>Linear Bushing</i>	Misumi	LHGS16-20	4	B
14.	<i>Linear Support</i>	Misumi	SMYHF16	8	B
15.	<i>Bracket Linear Bushing</i>	-	ASTM A36	4	M
16.	<i>Pulley Ballscrew</i>	Misumi	ATP32XL037-B-H10	2	B
17.	<i>Pulley Motor</i>	Misumi	U-ATP32XL050-A-P0.5	2	B
18.	<i>Timing Belt</i>	Misumi	TBN300XL037	2	B
19.	<i>Stepper Motor</i>	Misumi	HT34-505D-ZAA	1	B
20.	<i>Bracket Stepper Motor</i>	-	ASTM A36	1	M
21.	<i>Alumunium Profile</i>	-	Luas Penampang Profil 25 mm x 25 mm ($L_{Total} = 9648$ mm)	-	B
22.	<i>Base</i>	-	ASTM A36	1	M
23.	<i>Caster Wheel</i>	Supo	Model-60	4	B
24.	<i>Loading Door dan Cover Rangka</i>	-	Acrylic	-	B
25.	<i>Handle Loading Door</i>	Halder	24320.0010	2	B
26.	<i>Engsel Loading Door</i>	Ganter	GN 237	4	B
27.	<i>Engsel Puller</i>	Takigen	B-78-B	2	B
28.	<i>Batang Penggandeng</i>	-	ASTM A36	1	M
29.	<i>Roller Batang Penggandeng</i>	Misumi	RORMCWF40-D30-L20-E5-G5	1	B

Dari hasil rancangan yang telah dibuat, dapat dikatakan bahwa rancangan dapat menjadi solusi bagi permasalahan yang ingin dipecahkan dan dapat beroperasi dengan baik jika diwujudkan. Kelebihan utama dari rancangan yang telah dibuat adalah geometri yang *compact* serta *portable*, meskipun demikian geometri yang *compact* merupakan hasil dari kompromi kemampuan pengumpanan alat. Untuk mencapai geometri yang *compact* dibutuhkan ukuran silinder pneumatik dengan panjang langkah (*stroke*) yang lebih kecil dan pemasangan di bagian tengah *feeder*, hal tersebut menyebabkan ukuran karton yang lebih rendah dari lebar *feeder* tidak dapat diumpan menggunakan *feeder*.

Selain dari segi geometri, rancangan *feeder* juga sudah disesuaikan untuk dapat mengumpan lembaran karton jenis *single wall b flute* dengan baik. Saat ini, komponen-komponen yang

digunakan disesuaikan untuk menghasilkan pergerakan *platform* secara vertikal sesuai dengan ketebalan satu lembar karton jenis *single wall b flute* (8 mm) setiap satu putaran penuh dari *ballscrew*. Akan tetapi, untuk mengumpan jenis karton lain dengan ketebalan yang berbeda dibutuhkan sistem kontrol atau aktuator yang lebih mutakhir.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Melalui proses perancangan yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Varian konsep yang paling optimal untuk sebagai *feeder* lembaran karton untuk mesin *slitter* adalah varian 5. Varian tersebut kemudian dikembangkan menjadi rancangan akhir dengan solusi sub fungsi komponen penggerak berupa *stepper motor* untuk *ballscrew* dan kompresor udara untuk silinder pneumatik; penerus daya berupa konfigurasi *timing belt – pulley* dan *ballscrew – nut*; material rangka berupa *aluminium profile* dan baja; serta *end effector* berupa silinder pneumatik dan *puller*.
2. Rancangan *feeder* dapat beroperasi memenuhi kebutuhan perancangan. Sesuai dengan perhitungan yang telah dibuat, komponen-komponen yang digunakan dapat bekerja sesuai dengan yang direncanakan dan dapat menahan beban operasional yang diberikan. Mengacu pada daftar komponen, dapat dikatakan bahwa sebagian besar dari komponen-komponen yang digunakan dapat diperoleh dengan mudah di pasaran, sehingga prototipe alat dapat diwujudkan dengan mudah.
3. Rancangan *feeder* yang dicanangkan mampu memfasilitasi proses pengumpanan lembaran karton dengan jenis dan dimensi yang sudah ditentukan. Rancangan dapat beroperasi sebagai pengganti proses pengumpanan manual mesin *slitter*, sehingga mengurangi pekerjaan manual (*manual labor*) secara keseluruhan.

Saran

Terdapat beberapa saran yang dapat digunakan untuk pengembangan rancangan ini, yaitu:

1. Rancangan dapat dikembangkan agar mampu mengakomodasi pengumpanan karton dengan jenis dan dimensi yang lebih variatif.
2. Prototipe rancangan agar dapat dibuat sehingga didapatkan data spesifikasi rancangan yang lebih konkret sesuai dengan hasil pengujian.
3. Rancangan dapat dibuat menggunakan kombinasi prinsip solusi yang lebih terbarukan, sehingga sejalan dengan perkembangan teknologi.

Ucapan Terima Kasih (*Acknowledgement*)

Penulis berterima kasih atas kontribusi serta dukungan yang telah diberikan oleh pihak PT. Dutakarya Packindo yang telah memfasilitasi penulis selama proses riset berlangsung.

REFERENSI

- Badiru, A. (2014). *Handbook of Industrial and Systems Engineering*. Taylor & Francis, Boca Raton
- Carpinteri, A. (2017). *Advanced Structural Mechanics*. CRC Press, Boca Raton.
- Khurmi, R. dan Gupta, J. (2004). *A Text Book of Machine Design*. Eurasia Publising House (Pvt) Ltd, New Delhi.
- Lamb, F. (2013). *Industrial automation: Hands-on*. McGraw-Hill Education, New York.
- Lesmana, J. (2020). "Design of automatic hand sanitizer with ultrasonic sensor". Tarumanagara International Conference of the Applications of Technology and Engineering (TICATE) 2020, Jakarta, 3-4 Agustus 2020.
- Michael, V. et al. (2020). Design of pick and place and color sorting system using VDI 2221. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1007.

- Pahl, G. dan Wallace, K. (2007). *Engineering Design: A systematic approach*. Springer, Berlin.
- Tindell, H. (2014). *Engineering Materials*. Crowood, New York.
- Twede, D. et al. (2014). *Cartons, crates and corrugated board: Handbook of Paper and Wood Packaging Technology*. DEStech Publications, Lancaster.
- West, D. (2018). *The Future of Work: Robots, AI, and Automation*. Brookings Institution Press, Washington, D.C.
- Wilson, M. (2014). *Implementation of Robot Systems: An introduction to robotics, automation, and successful systems integration in manufacturing*. Butterworth-Heinemann, Oxford.
- Yakub, Y. (2016). *Desain dan Validasi Sistem Otomasi Feeder Mesin Run-Out Velg Steel untuk Mobil Kategori I-IV menggunakan Metode VDI 2221*. Bina Teknika, 11-12.
- Yam, K. (2010). *The Wiley Encyclopedia of Packaging Technology*. Wiley, Hoboken.