

Analisis Pengaruh Variasi Sudut Kemiringan *Feeder* Terhadap Waktu Tempuh pada Alat *Conveyor LowCost Energy (Karakuri)* di PT Dharma Precision Parts

Ade Muhamad Bukhori¹, Toni Prahasto², Ismoyo Haryanto²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto No.13, Tembalang, Kec. Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah 50275

*E-mail: adebukhori28@gmail.com

Abstrak

Proses material handling di PT. Dharma Precision Parts masih dilakukan secara manual. Operator masih melakukan pemindahan material dari proses A ke proses B tanpa adanya alat/mesin yang menyebabkan terhentinya waktu proses dimana tempat operator bekerja. Operator membutuhkan waktu selama 50 detik untuk memindahkan material sampai dia kembali ke area kerjanya. *Conveyor LowCost Energy (Karakuri)* merupakan salah satu mekanisme alat material handling yang akan membantu untuk memindahkan material dari satu proses ke proses selanjutnya. *Conveyor LowCost Energy (Karakuri)* di desain sebagai alat material handling yang sering digunakan oleh industri manufaktur karena memudahkan dalam mendistribusikan material serta tidak membutuhkan biaya yang banyak dalam proses pembuatannya. Penelitian ini akan membahas mengenai analisa kinematika dan dinamika dari pergerakan material pada *conveyor lowcost energy (karakuri)*. Persamaan gerak sistem ditentukan berdasarkan hukum gerak newton. Analisa gerak ini menggunakan software *Solidworks 2020* dengan fitur *Solidworks Motion* yang akan menggambarkan pergerakan dari pemindahan material karena faktor percepatan gravitasi. Percepatan gravitasi dimanfaatkan sebagai salah satu prinsip dari desain *karakuri* yang dirancang dengan kemiringan sudut tertentu sehingga material dapat bergerak tanpa adanya *energy* listrik seperti *conveyor* pada umumnya. Selanjutnya dengan melakukan analisa gerak, dapat menentukan tingkat keefektifan pada desain *conveyor lowcost energy (karakuri)* dan membandingkan sebelum dan setelah adanya *karakuri conveyor*.

Kata kunci: *karakuri; manufaktur; material handling; roller conveyor*

Abstract

The material handling process at PT Dharma Precision Parts is still done manually. The operator still moves the material from process A to process B without any tools/machines which causes a halt in the process time where the operator works. The operator takes 50 seconds to move the material until he returns to his work area. Conveyor LowCost Energy (Karakuri) is one of the material handling tool mechanisms that will help to move material from one process to the next. Conveyor LowCost Energy (Karakuri) is designed as a material handling tool that is often used by the manufacturing industry because it makes it easy to distribute material and does not require a lot of money in the manufacturing process. This research will discuss the kinematics and dynamics analysis of material movement on the lowcost energy conveyor (Karakuri). The equation of motion of the system is determined based on Newton's law of motion. This motion analysis uses Solidworks 2020 software with the Solidworks Motion feature which will describe the movement of the material transfer due to the gravitational acceleration factor. Gravitational acceleration is utilized as one of the principles of the karakuri design which is designed with a certain angle slope so that the material can move without electrical energy like a conveyor in general. Furthermore, by analyzing motion, it can determine the level of effectiveness of the lowcost energy conveyor design (karakuri) and compare before and after the karakuri conveyor.

Keywords: *karakuri; manufacture; material handling; roller conveyor*

1. Pendahuluan

Industri manufaktur adalah suatu badan usaha yang memproduksi barang mentah menjadi barang setengah jadi ataupun jadi. Salah satu faktor penting dalam menyeimbangkan proses produksi adalah material handling. Faktor yang mesti dipertimbangkan dalam proses material handling diantaranya bentuk, berat, karakteristik parts, jarak, kondisi area hingga pertimbangan ekonomi. Jenis peralatan yang dapat digunakan untuk memindahkan material dan part dalam proses manufaktur terdiri dari konveyor, roller, gerobak, truk forklift, dll [1].

PT Dharma Precision Parts adalah perusahaan manufaktur yang menghasilkan komponen kendaraan roda dua dan roda empat. Saat ini, proses produksi di perusahaan tersebut masih menggunakan man power untuk memindahkan part

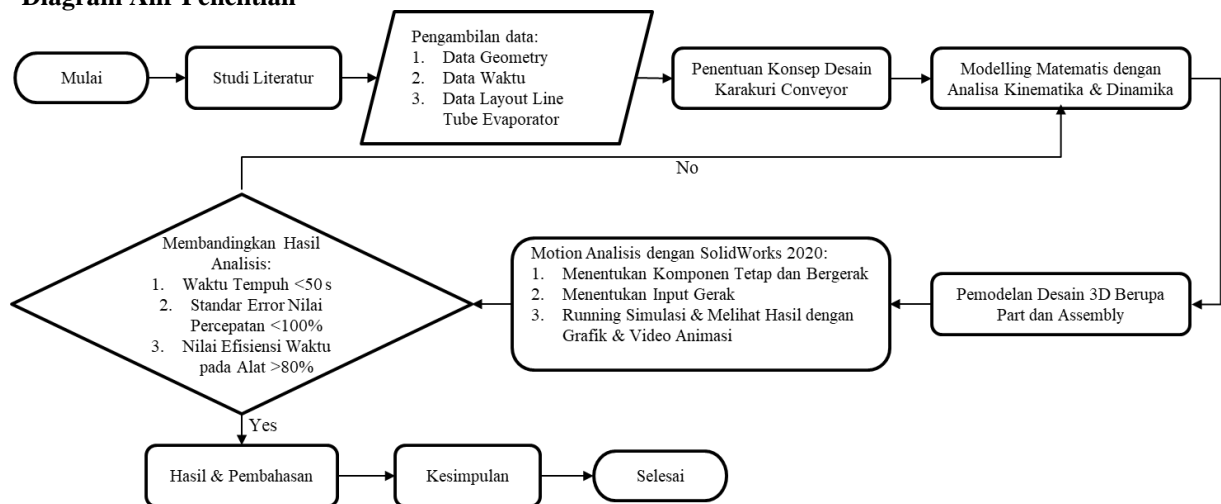
dari satu proses ke proses lainnya secara manual, terutama di line tube evaporator. Untuk meningkatkan efisiensi, PT Dharma Precision Parts akan menggunakan conveyor low cost energy (karakuri) sebagai alat material handling untuk memindahkan box yang berisi part tube evaporator dari satu proses ke proses lainnya. Desain conveyor ini harus memperhatikan faktor keamanan alat dan produk, jarak, kecepatan, dan waktu tempuh agar proses produksi menjadi lebih efisien daripada sebelumnya yang menggunakan proses manual handling dengan man power.

Istilah kaizen berasal dari Bahasa Jepang yang mengacu pada proses peningkatan secara bertahap yang dicapai dengan mengimplementasikan suatu inovasi teknologi. Kaizen mempunyai fokus pada pengurangan pemborosan proses dengan menjaga keandalan peralatan serta aliran sumber daya (material) agar tetap konstan [2]. Dalam kutipan lain, istilah Kaizen adalah tentang meningkatkan proses, layanan, dan produk secara permanen dalam langkah-langkah kecil, yang tertanam dalam budaya perusahaan. Ini selalu terjadi dengan keterlibatan setiap orang baik itu karyawan ataupun pimpinan yang akan terbentuk dalam suatu tim. Kaizen adalah filosofi atau cara berpikir yang dilakukan secara mandiri oleh karyawan sehari-hari [3]. Salah satunya dengan conveyor yang berfungsi untuk memindahkan material antara dua tempat operasi kerja tetap, baik secara terus-menerus atau sebentar-sebentar. Conveyor dapat terdiri dari berbagai jenis, dengan rol, roda, atau sabuk untuk membantu memindahkan material. ini dapat digerakkan dengan daya atau dapat didorong dengan bebas [4].

Merancang pekerjaan atau stasiun kerja merupakan suatu hal yang perlu disesuaikan dengan tugas dari orangnya, bukan memaksa tubuh untuk menyesuaikan diri dengan suatu pekerjaannya[5]. Pemilihan stasiun kerja merupakan salah satu langkah untuk mempertimbangkan dalam proses desain material handling. Konsep conveyor berbasis karakuri merupakan konsep desain material handling yang dapat didefinisikan sebagai suatu gerakan tanpa daya atau daya rendah untuk meningkatkan tingkat otomatisasi menggunakan komponen yang ada seperti tuas, Cams, link, roda gigi, pegas dan memanfaatkan fenomena yang tersedia secara bebas seperti gravitasi [6]. Konsep ini didasari pada kondisi dari stasiun kerja yang ada pada line tube evaporator di PT. Dharma Precision Parts. Mekanisme gravitasi merupakan mekanisme yang signifikan dalam desain teknologi. Gaya gravitasi seringkali dimanfaatkan karena suatu mekanisme yang memungkinkan dalam beroperasi dengan konsumsi energi yang sangat rendah, memiliki ukuran actuator yang lebih kecil, keamanan yang lebih tinggi serta respon dinamis yang sangat baik [7]. Adapun dari segi Analisa gerak, metode yang digunakan berupa penerapan konsep hukum Newton II dan konsep usaha dan energi. Hukum Kedua Newton (Hubungan antara gaya, massa, dan percepatan) menjelaskan mengenai Perubahan kecepatan suatu benda sebanding dengan gaya total yang diberikan padanya, dan berlawanan arah dengan massa benda tersebut [8]. Sementara Dalam penelitian untuk design konveyor lowcost energy, selain penerapan perhitungan dengan metode hukum kedua Newton, digunakan perhitungan dengan metode work-energy untuk menetapkan hubungan sesaat antara gaya yang bekerja pada sebuah benda dan percepatan yang dihasilkan dari benda tersebut. Saat diperlukan untuk menentukan perubahan kecepatan atau perpindahan benda yang sesuai, dengan mengintegrasikan percepatan yang dihitung menggunakan persamaan kinematik yang sesuai[9].

2. Material dan metode penelitian

2.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

2.2 Data Penelitian

Pada penelitian ini, dilakukan Analisa gerak dengan perhitungan secara matematis menggunakan metode hukum newton II dan metode usaha & energi. Adapun hasil perhitungan berdasarkan dari variasi sudut kemiringan pada *feeder conveyor lowcost energy (karakuri)* sebesar 3°, 4°, dan 5° dengan melihat efisiensi waktu tempuh yang dicapai disetiap kemiringan. Berikut merupakan data waktu tempuh pada line tube evaporator di PT. Dharma Precision Parts:

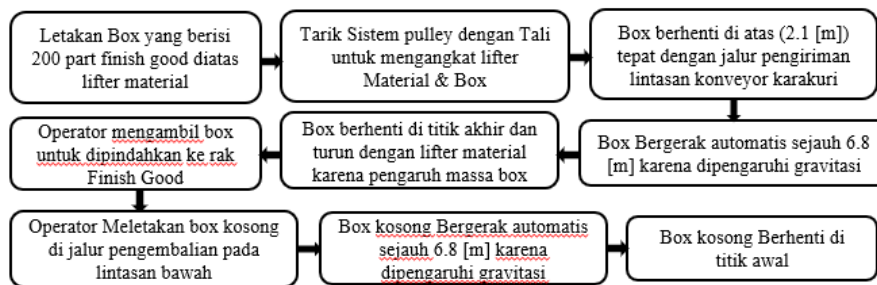
Tabel 1. Moving Process Line Tube Evaporator Diameter 10.5 & 14.5

Moving Process (Irregullar Work) Dia 10,5 & 14,5			
No	Working Station	Path Length	Time
1	Cutting to Chamfer	3 [m]	7 [s]
2	Chamfer to Washing	1 [m]	4 [s]
3	Washing to Final Inspection	1 [m]	4 [s]
4	Final Inspection to Store Finish Good	7,2 [m]	50 [s]

2.3 Pemodelan 3D Conveyor LowCost Energy (Karakuri)

2.4 Mekanisme Kerja Conveyor LowCost Energy (Karakuri)

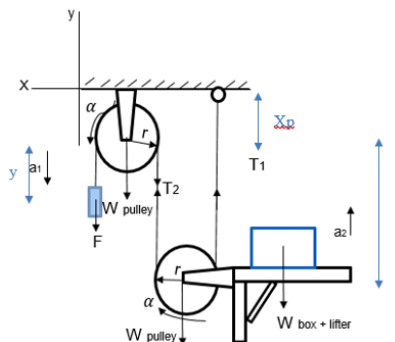
Adapun mekanisme kerja alat Conveyor LowCost Energy (karakuri) yang dirancang ini dapat dilihat dalam bentuk gambar diagram alir berikut.



Gambar 3 Mekanisme Kerja Conveyor LowCost Energy (Karakuri)

2.5 Modelling Matematis

2.5.1 Fase 1 (Pengangkatan Box dengan Lifter)



Gambar 4 Diagram Benda Bebas Analisa Gerak Lifter

Berdasarkan Gambar 4 mengenai diagram benda bebas di atas, dapat di tinjau Gerakan yang dipengaruhi oleh masing-masing pulley. Selain itu meninjau Panjang tali pada system gerak fase 1 dengan persamaan :

$$l = y(t) + 2\pi R_p + 2x(t) + x_p \tag{2.1}$$

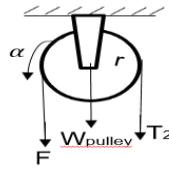
Dengan nilai $l, R_p,$ & x_p konstan, turunan ke-1 dan ke-2 dari persamaan 2.1 adalah:

$$0 = d^2 \frac{y(t)}{dt^2} + 0 + d^2 \frac{2x(t)}{dt^2} + 0$$

$$d^2 \frac{y(t)}{dt^2} = -2d^2 \frac{x(t)}{dt^2} \tag{2.2}$$

Hasil dari persamaan fungsi $d^2 \frac{y(t)}{dt^2} = a_1$, dan fungsi $-2 \frac{x(t)}{dt^2} = -2a_2$, sehingga persamaan ini akan menjadi variable untuk menentukan persamaan baru dalam Analisa kinematika gerak pada fase 1.

- Tinjau Benda 1 (Pulley1)



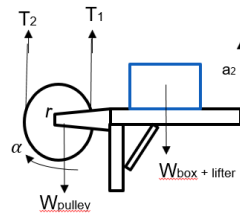
Pada fase ini, asumsi bahwa pulley memiliki massa dan $\theta_1 = \theta_2$, sehingga didapat persamaan $\alpha_1 = \frac{a_1}{R_p}$.

$$\begin{aligned} \sum M_o &= I_p \alpha_{pulley} \\ F - T_2 &= \frac{I_p a_1}{R_p^2} \end{aligned} \quad (2.3)$$

$$\begin{aligned} \sum F_{Y1} &= -m_{pul} a_1 \\ -F - T_2 - W_p &= -m_{pul} a_1 \end{aligned} \quad (2.4)$$

Dari hasil tinjauan benda 1, didapat 2 persamaan yang diakibatkan oleh gerak translasi dan rotasi pada pulley. Selanjutnya tinjau untuk persamaan yang ada pada benda 2

- Tinjau Benda 2 (Pulley2 dan beban box)



$$\begin{aligned} \sum M_o &= I_p \alpha_{pulley} \\ T_2 - T_1 &= \frac{I_p a_1}{R_p^2} \end{aligned} \quad (2.5)$$

$$\begin{aligned} \sum F_{Y1} &= (m_{pul} + m_{box} + m_{lif}) a_2 \\ T_2 + T_1 - W_p - W_{box+lifter} &= (m_{pul} + m_{box} + m_{lif}) a_2 \end{aligned} \quad (2.6)$$

Substitusi 4 persamaan diatas sehingga mendapatkan persamaan yang mendefinisikan gaya saat menggerakkan box dengan system pulley.

$$F = \frac{(a_2 - g)(m_{pul} + m_{box} + m_{lif})}{2} + \frac{I_p a_1}{R_p^2} + \frac{I_p a_2}{2R_p^2} \quad (2.7)$$

Untuk mendapatkan nilai gaya angkat minimum, diberikan nilai bahwa $d^2 \frac{x(t)}{dt^2} = a_2 = 0$, Sehingga gaya angkat minimum akan didapat dengan substitusi nilai $a_2 = 0$ pada persamaan 2.7.

$$F_{minimum} = \frac{-g(m_{pul} + m_{box} + m_{lif})}{2} \quad (2.8)$$

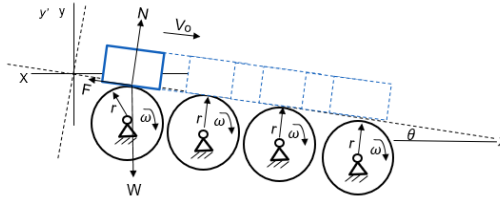
Dari persamaan 2.7 akan di dapat persamaan a_1 dan a_2 .

$$a_2 = - \frac{4F + 2g(M_{box} + M_{lif} + M_{pul}) - \frac{4I_p a_1}{R^2}}{2 \left(M_{box} + M_{lif} + M_{pul} + \frac{I_p}{R^2} \right)} \quad (2.9)$$

$$a_1 = - \frac{4F + 2g(M_{box} + M_{lif} + M_{pul}) - \frac{4I_p a_1}{R^2}}{M_{box} + M_{lif} + M_{pul} + \frac{I_p}{R^2}} \quad (2.10)$$

2.5.2 Fase 2 (Gerak Box di Bidang Roller yang Miring)

- Menerapkan Metode Hukum kedua Newton



Gambar 5. Diagram Benda Bebas Motion Box di atas Roller Konveyor

- Analisa Gaya pada sumbu-x

$$\begin{aligned} \sum Fx' &= (m_{box})a'_x \\ W \cdot \sin\theta - F &= (m_{box})a'_x \\ W \cdot \sin\theta - \mu_k N &= (m_{box})a'_x \end{aligned} \quad (2.11)$$

- Analisa Gaya pada sumbu-y

$$\begin{aligned} \sum Fy' &= 0 \\ N &= W \cdot \cos\theta \end{aligned} \quad (2.12)$$

dari persamaan 2.11 dan 2.12, substitusikan, hingga mendapatkan persamaan percepatan box.

$$\begin{aligned} W \cdot \sin\theta - \mu_k W \cdot \cos\theta &= (m_{box})a'_x \\ g \sin\theta - \mu_k g \cos\theta &= a'_x \end{aligned} \quad (2.13)$$

Setelah mendapat nilai dari percepatan akibat gerak translasi pada box, selanjutnya meninjau dari persamaan momen pada gerak rotasi yang diakibatkan oleh putaran dari roller. Box berkontak dengan 11 Roller sehingga total momen Inersia roller adalah $11 * I_{roller} = \frac{11}{2} (m_{roller})r^2$, maka dari itu:

$$\begin{aligned} \sum M_o &= I_{rollertot} \alpha_{roller} \\ Fr &= \frac{11}{2} (m_{roller})r^2 \alpha_{roller} \\ \mu_k (m_{roller})g \cos\theta &= \frac{11}{2} (m_{roller})r \alpha_{roller} \\ \alpha_{roller} &= \frac{2\mu_k g \cos\theta}{11r} \end{aligned} \quad (2.14)$$

Asumsi pada kasus ini adalah Gaya-gaya yang mempengaruhi konstan sehingga percepatan menjadi konstan. untuk mencari nilai waktu tempuh serta kecepatan yang dihasilkan oleh Gerakan box, dapat menggunakan persamaan:

$$s = s_o + V_o \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a_x t^2 \quad (2.15)$$

$$v = V_o + a_x t \quad (2.16)$$

Dari persamaan 2.15 akan didapat persamaan baru untuk mencari waktu tempuh saat box bergerak dari titik awal hingga titik akhir.

$$t1 = - \frac{V_o - \sqrt{V_o^2 + 2 \cdot g \cdot s \cdot \sin(\theta) - 2g \cdot s \cdot \mu_k \cdot \cos(\theta)}}{g \sin(\theta) - g \cdot \mu_k \cdot \cos(\theta)} \quad (2.17 - a)$$

$$t2 = - \frac{V_o + \sqrt{V_o^2 + 2 \cdot g \cdot s \cdot \sin(\theta) - 2 \cdot g \cdot s \cdot \mu_k \cdot \cos(\theta)}}{g \cdot \sin(\theta) - g \cdot \mu_k \cdot \cos(\theta)} \quad (2.17 - b)$$

- Menerapkan Metode Work-Energy

Pada pembahasan ini, dijelaskan penerapan metode work-energy pada kasus yang sama berdasarkan pada Gambar 5 mengenai diagram benda bebas saat box bergerak diatas roller. Secara umum persamaan work-energy pada fase 2 ini dapat dinyatakan:

$$T_1 + U_{1-2} = T_2 \quad (2.18)$$

Dengan meninjau diagram benda bebas untuk fase 2 mengenai Analisa gerak pada system box yang berjalan diatas roller, akan didapat persamaan:

$$\begin{aligned} U_{1-2} &= T_2 - T_1 \\ (m_{box}g \sin\theta - \mu_k m_{box}g \cos\theta) s &= \frac{1}{2} m_{box} (v_2^2 - v_1^2) \end{aligned} \quad (2.19)$$

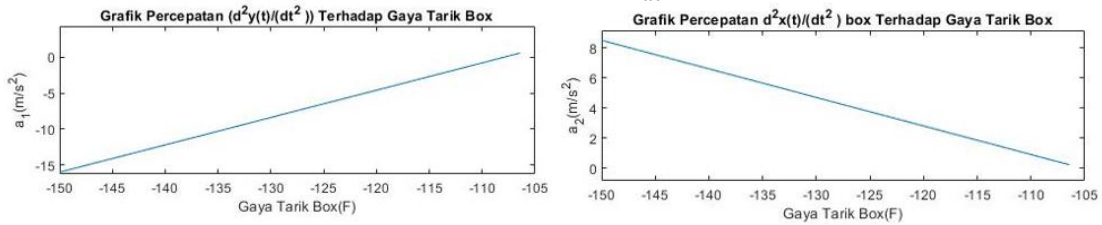
Dari persamaan 2.19 diatas asumsi bahwa nilai $v_1 = v_o = 0$. Sehingga akan didapat nilai kecepatan saat box berada di titik akhir ($s = 7m$).

$$v_2 = \sqrt{(m_{box}g \sin\theta - \mu_k m_{box}g \cos\theta) 2s} \quad (2.20)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Analisa Pengakatan Box dengan Lifter

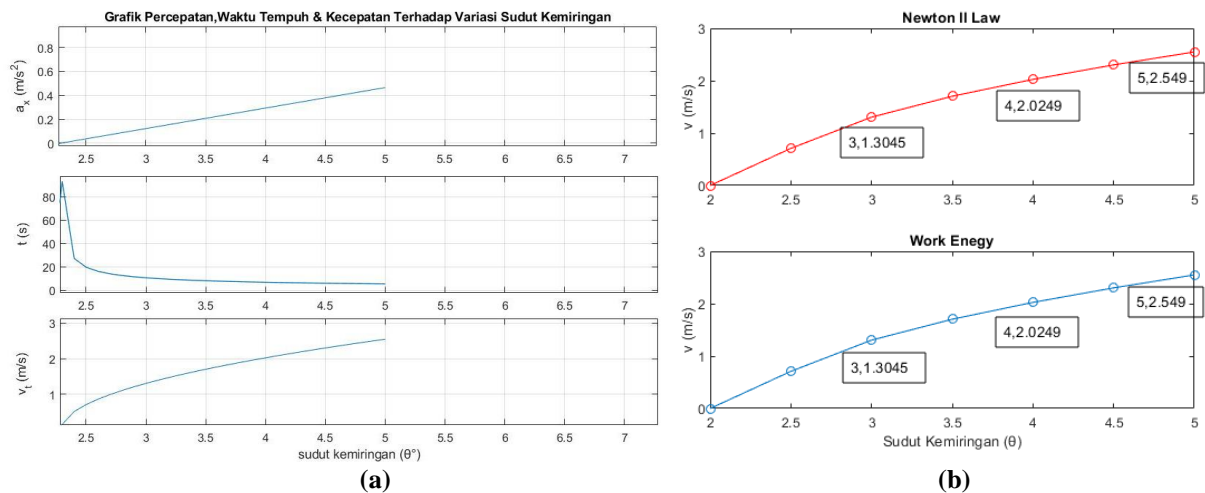
Pada grafik di bawah ditampilkan bahwa percepatan 1 (percepatan di pulley1) akan bergerak jika gaya angkat minimum sebesar $F = -106.4385 \text{ N}$ (arah ke bawah). Percepatan ini memiliki nilai negative karena arah percepatan yang sama dengan gaya angkat (F). Sementara percepatan 2 (percepatan box) memiliki nilai positif karena arah gerak box ke atas. Pada grafik tersebut diperlihatkan bahwa nilai $d^2 \frac{y(t)}{dt^2} = -2d^2 \frac{x(t)}{dt^2}$.



Gambar 6 Grafik Percepatan Terhadap Gaya Tarik

3.2 Hasil Analisa Gerak Box di Bidang Roller yang Miring dengan Metode Hukum Newton II & Usaha-Energi

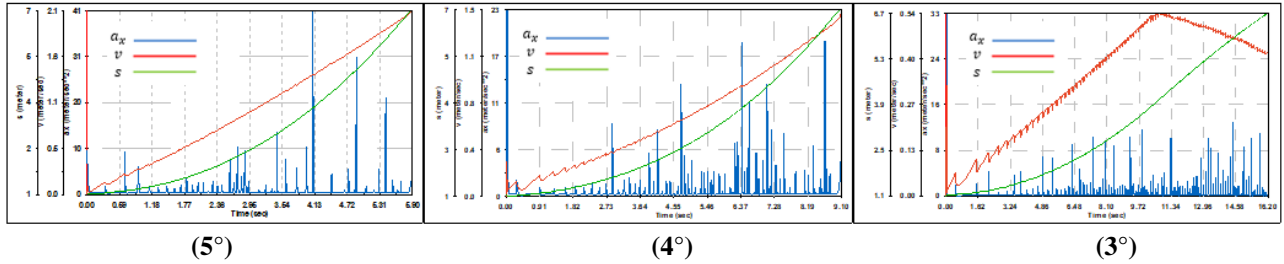
Dari persamaan 2.17 dapat dihitung untuk nilai waktu tempuh selama box bergerak dari titik awal stasiun final inspection menuju titik akhir store finish good. Nilai waktu didapat dengan menghitung persamaan diatas dan memasukan nilai dari variasi variable kemiringan sudut ($0^\circ-5^\circ$) yang ditampilkan dengan grafik diatas. Pada Gambar 7 (kanan) dapat dilihat bahwa hasil perhitungan nilai kecepatan akibat pengaruh variasi sudut dengan menggunakan 2 metode memiliki nilai yang sama. Sehingga perhitungan tersebut dapat menjadi nilai validitas untuk dapat membandingkan dengan hasil perhitungan motion analisis menggunakan software Solidworks 2020 yang akan dijelaskan pada pembahasan selanjutnya.



Gambar 7 (a) Grafik Hasil Analisis Perhitungan Kecepatan akhir, Percepatan, & Waktu Terhadap Variasi Sudut Kemiringan Konveyor Karakuri (Newton II Law). (b) Nilai Kecepatan dengan perhitungan Newton II Law dan Work-Energy

3.3 Hasil Analisa Motion Analisis dengan SolidWorks

Percepatan, kecepatan serta waktu tempuh memiliki nilai yang bervariasi yang diakibatkan oleh adanya variasi kemiringan sudut dan percepatan gravitasi. grafik kecepatan benda pada kemiringan 3° awalnya masih konstan karena gaya gravitasi yang bekerja pada benda masih lebih besar dibandingkan gaya gesekan. Namun, seiring waktu berjalan, kecepatan benda akan berkurang secara perlahan karena gaya gesekan antara benda dan roller semakin besar akibat waktu kontak yang semakin lama. Akibatnya, kecepatan benda akan berkurang lebih cepat, sehingga grafik kecepatan vs waktu menjadi tidak linear. Namun, ketika kemiringan sudut lebih besar dari 3 derajat, gaya gravitasi yang bekerja pada benda juga semakin besar sehingga dapat seimbang dengan gaya gesekan antara benda dan roller. Hal ini membuat kecepatan benda tetap konstan meskipun kemiringan sudut semakin besar.



Gambar 8 Grafik Percepatan,Kecepatan & Perpindahan Terhadap Waktu Tempuh Box dengan menggunakan Motion Analysis Solidworks

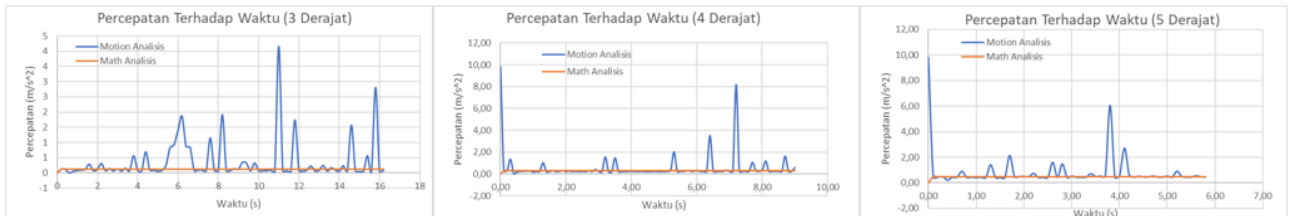
3.4 Perbandingan Hasil Motion Analysis SolidWorks dan Metode Modelling Matematis

Hasil perbandingan antara perhitungan dan juga data hasil motion analysis menggunakan solidworks pada gerakan pengiriman box dari final inspection menuju store finish good di tunjukan pada Tabel 4. 6. Nilai pada tabel akan digunakan untuk melihat kelayakan secara kinematis dari konsep design konveyor karakuri.

Table 2 Nilai Perhitungan Matematis dan Hasil Motion Analysis

θ	ax (m/s ²)		Error	Waktu (t)		Error
	Mathc Analysis	Motion Analysis		Math Analysis	Motion Analysis	
3°	0.12	0.37	208%	10.73	16.2	51%
4°	0.29	0.49	69%	6.91	9.1	32%
5°	0.46	0.69	50%	5.49	5.9	7.4%

Tabel di atas memperlihatkan Perbedaan nilai antara hasil perhitungan matematis dan juga hasil motion analysis. Sudut 5° memiliki capaian waktu tempuh yang paling cepat dengan nilai 5.9 [s] dengan nilai error sebesar 7.4%. Sementara untuk sudut 3° memiliki waktu tempuh sebesar 16.2 [s] dengan nilai error 50.9%. Nilai tersebut dipengaruhi karena percepatan pada hasil motion analisis yang tidak konstan. Percepatan yang tidak konstan terjadi karena gaya gesekan antara benda dan roller yang dapat mengubah karakteristik Gerakan dan menghasilkan percepatan yang tidak konstan. Gesekan ini dapat berasal dari faktor-faktor seperti gesekan geser, gesekan udara, atau gaya hambatan lainnya. Selain itu, Pergerakan benda dapat dipengaruhi oleh gaya-gaya yang berubah seiring waktu. Misalnya, jika ada gaya eksternal yang berubah atau berhenti bekerja pada benda, hal ini dapat menyebabkan perubahan percepatan secara tiba-tiba. Berikut ditampilkan grafik percepatan terhadap waktu antara hasil motion analisis dan perhitungan secara modelling matematis



Gambar 9 Grafik Percepatan Terhadap Waktu dari Perbandingan Antara Hasil Motion Analisis dan Math Analisis

3.5 Efektivitas Konveyor Karakuri

Secara efektivitas design, hasil dari motion analysis memiliki nilai waktu tempuh yang akan mempengaruhi terhadap proses pengiriman box. Tujuannya adalah untuk reduce waktu pengiriman box yang sebelumnya dilakukan secara manual oleh operator lalu dirubah dengan system material handling berupa karakuri konveyor. Berikut adalah nilai efektivitas akibat adanya material handling dari final inspection ke store finish good.

Table 3 Nilai Efektivitas Waktu Tempuh Akibat Konveyor Karakuri

θ	Waktu Tempuh [s]		Presentase (Reduce Time)
	Before Improvement	After Improvement	
3°	50	16.2	67.6%
4°	50	9.1	81.8%
5°	50	5.9	88.2%

Tabel 3 dapat dilihat pada design karakuri konveyor menyebabkan peningkatan efektivitas kerja operator untuk material handling yang sebelumnya masih dilakukan secara manual. Variasi sudut kemiringan 5° untuk lintasan feeder memiliki nilai yang cukup efektif untuk diterapkan pada stasiun kerja area final inspection menuju store finish good. Hal tersebut dapat dilihat dari pengurangan waktu yang cukup signifikan sebesar 88.2% dari waktu saat proses masih dilakukan secara manual. Hal itu akan membantu terhadap peningkatan produktivitas line dengan mengalih fungsikan

pekerjaan operator ke pekerjaan lain, sehingga tidak akan terjadi waktu menunggu material karena stasiun kerja yang kosong.

4. Kesimpulan

Penelitian ini melakukan analisis gerak box di bidang roller yang miring dengan menggunakan metode Hukum Newton II dan usaha-energi yang menghasilkan nilai kecepatan, percepatan, dan waktu tempuh yang bervariasi tergantung pada sudut kemiringan. Analisis motion menggunakan SolidWorks mengungkapkan bahwa kecepatan benda pada kemiringan sudut 3° awalnya konstan, namun kemudian berkurang karena gaya gesekan yang semakin besar. Namun, ketika sudut kemiringan lebih besar dari 3 derajat, kecepatan benda tetap konstan karena gaya gravitasi seimbang dengan gaya gesekan. Perbandingan antara hasil motion analysis dan perhitungan matematis menunjukkan perbedaan nilai, yang disebabkan oleh percepatan yang tidak konstan pada motion analysis. Secara efektivitas, penggunaan konveyor karakuri menghasilkan peningkatan signifikan dalam waktu tempuh pengiriman box, mencapai 88.2% pengurangan waktu pada sudut kemiringan 5° . Ini menunjukkan bahwa desain konveyor karakuri efektif dalam meningkatkan produktivitas dan mengurangi waktu menunggu material di stasiun kerja.

Daftar Pustaka

- [1] S. and S. R. S. Kalpakjian, "Manufacturing Engineering Illinois Institute of Technology," p. Chapter 31-900-921, 2009.
- [2] S. Hesler, "Lean Maintenance and Kaizen Continuous Improvement: Application to Fossil Power Generation, Report by Epri, California," *Accessed online*, 2016.
- [3] P. Gorecki and P. Pautsch, *Lean Management*. 2013.
- [4] A. S. Kumar and N. Suresh, *Production and Operations Management*, Second Edi. New Delhi: New Age International Publishers, 2007.
- [5] M. P. Stephens and F. E. Meyers, *Manufacturing Facilities Design & Material Handling*, Fifth. Indiana: Pearson Education, Inc, 2016.
- [6] M. V. Bhanu and P. B. S. Kumar, "Global study and implementation of Karakuri Master's thesis in Production Engineering," p. 79, 2018.
- [7] V. L. Nguyen, "A design approach for gravity compensators using planar four-bar mechanisms and a linear spring," *Mech. Mach. Theory*, vol. 172, no. January, 2022, doi: 10.1016/j.mechmachtheory.2022.104770.
- [8] J. L. Meriam and L. G. Kraige, *Engineering mechanics Dynamics*, 8Th ed. Wiley, 2015.
- [9] J. L. Meriam and L. G. Kraige, *Engineering Mechanics*, 7th ed. 2015.
- [10] K. Vardaan and P. Kumar, "Materials Today : Proceedings Design , analysis , and optimization of thresher machine flywheel using Solidworks simulation," vol. 56, pp. 3651–3655, 2022.