

# KINEMATIC ANALYSIS OF HORIZONTAL SEALER, VERTICAL SEALER, AND DRAWING ROLLER IN A TEMPEH PACKAGING MACHINE PROTOTYPE

Harsa Dhani<sup>1</sup>, Nereus Tugur Redatono<sup>2</sup>, Abel Natanael<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknik Mesin, Universitas Katolik Widya Karya Malang

Email: [dhani\\_mesin@widyakarya.ac.id](mailto:dhani_mesin@widyakarya.ac.id), [tugur@widyakarya.ac.id](mailto:tugur@widyakarya.ac.id), [202031002@widyakarya.ac.id](mailto:202031002@widyakarya.ac.id)

## INFORMASI ARTIKEL

Naskah Diterima:

21 Juni 2024

Naskah Disetujui:

27 Juni 2024

Naskah Diterbitkan:

30 Juni 2024

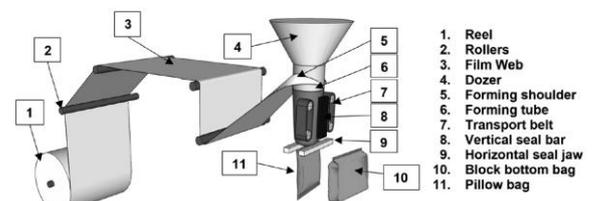
## ABSTRACT

The automatic packaging machine for tempeh improves both hygiene and efficiency in production. This Vertical Form Fill Seal model, equipped with a hole-punching mechanism, is examined in this study with a focus on the kinematics of its three key components: the horizontal sealer, vertical sealer, and drawing roller. The horizontal and vertical sealers are actuated by a single DC gear motor operating at 40 rpm, which manages their intermittent opening and closing. Additionally, a stepper motor running at 30 rpm controls the timing and drawing length of the plastic packaging, ensuring precise start and stop functions. The study's results revealed the following performance metrics for the machine's components: The horizontal sealer achieved a stroke distance of 62.4 mm, with the sealer operating at a maximum speed of 75.71 mm/s, and a total travel time of 1.65 seconds from closed to open position. For the vertical sealer, the stroke distance was 63 mm, with the sealer moving at maximum speed of 89.67 mm/s, and a travel time of 1.4 seconds from fully open to fully closed. The friction roller, driven by a stepper motor at 30 rpm, achieved a plastic withdrawal speed of 59.66 mm/s, allowing it to pull the plastic a maximum length of 167 mm within each 2.8-second cycle of the sealer components. It can be observed that continuous motor movement can be converted into intermittent back-and-forth motion using bar mechanisms, with the velocity at each position varying based on the length of the bars.

**Keywords:** Kinematic analysis, tempeh packaging machine, sealing mechanism.

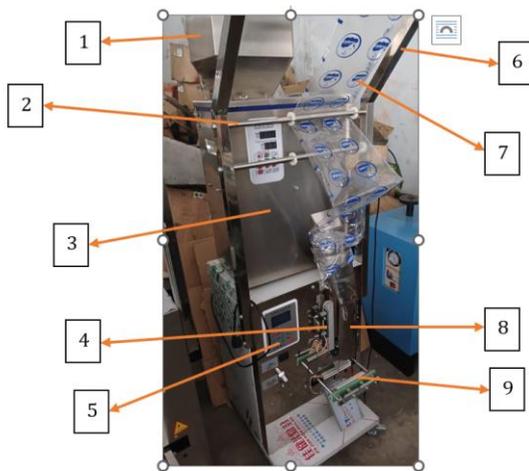
## PENDAHULUAN

Mesin packaging vertical atau *vertical form fill seal* (VFFS) machine banyak digunakan di industri karena efisien dan cepat [1]. Pada mesin ini, *sealing* pada plastik didapat dari bertemu dan tertutupnya bagian dalam plastik dengan menggunakan tekanan dan temperatur yang cukup [2,3,4]. Gambar 1 menunjukkan skema mesin VFFS, sementara Gambar 2 menunjukkan foto mesin VFFS. Pada umumnya setelah plastik ter-*seal* dengan baik, maka udara tidak dapat keluar masuk lagi sehingga kemasan dapat di-*handling* dengan higienis dan tidak mempengaruhi isi di dalamnya. Namun untuk packaging tempe, plastik perlu diberi lubang-lubang untuk memperlancar keluar masuk udara untuk keperluan fermentasi [5,6]. Sehingga pada mesin *packaging* tempe perlu ditambahkan mekanisme tambahan untuk pelubang plastik.



Gambar 1. Skema mesin VFFS [2]

Bagian utama pada mesin ini adalah *horizontal sealer*, *vertical sealer*, dan *roll penarik*. Ketiga bagian ini harus bekerja dengan sinkron supaya tidak bertabrakan timingnya satu sama lain. Ketika *sealer* vertikal dan horizontal membuka, roll penarik bekerja menarik plastik sesuai panjang yang diinginkan. Saat *sealer* vertikal dan horizontal menutup, *roller* harus diam dan tidak boleh menarik plastik. Selain itu, *sealer* vertikal dan horizontal harus membuka dan menutup secara bersamaan.



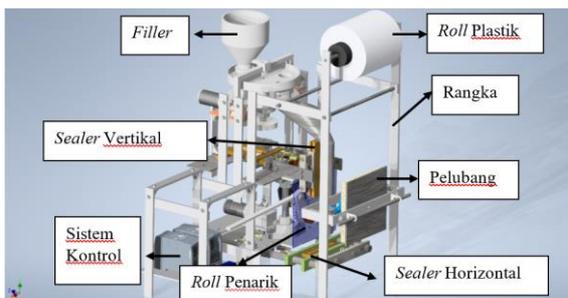
Gambar 2. Mesin VFFS dengan komponen penyusun secara umum yaitu sebagai berikut:

- |                            |                            |
|----------------------------|----------------------------|
| 1. Hopper                  | 6. Penyanggah roll plastik |
| 2. Poros transporter       | 7. Roll plastik            |
| 3. Vibrator gramasi filler | 8. Corong                  |
| 4. Vertikal sealer         | 9. Horizontal sealer       |
| 5. Sistem kontrol          |                            |

Karena mekanisme gerakan yang kompleks dimana dari gerakan motor yang kontinu harus diubah menjadi gerakan *intermittent* bolak balik, dan harus terkoordinasi dengan baik agar tidak bertabrakan *timing*-nya, maka pada studi ini dilakukan analisis kinematika gerakan ketiga mekanisme utama dari mesin VFFS ini. Gerakan-gerakan ini sangat menentukan kualitas sealing dari kemasan, dan kualitas sealing menentukan kualitas pengemasan [7,8].

**METODE PENELITIAN**

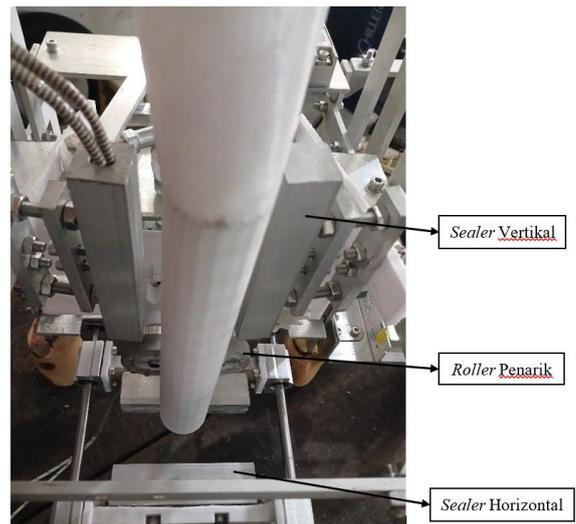
Pada penelitian ini, sebuah *prototype* mesin VFFS didesain dengan spesifikasi dimensi panjang 450mm x lebar 415mm x tinggi 600mm dengan maksimum lebar *roll* plastik selebar 13 cm. Desain mesin *prototype* secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Desain mesin packaging tempe

*Sealer* horizontal menggunakan 2 balok aluminium yang terpasang pada *shaft* horizontal yang menempel pada kerangka mesin dengan

bantuan linier bearing. Penempatan horizontal sealer berada di bawah komponen vertikal *sealer* dan roller penarik. *Sealer* horizontal ini berfungsi untuk mengesal dan memotong kemasan supaya produk yang masuk tidak jatuh kebawah. Komponen utama untuk mengesal dan memotong plastik diantaranya adalah balok aluminium depan dan belakang yang diberikan pisau yang ditempatkan di tengah-tengah balok yang difungsikan sebagai penyegel dan pemotong plastik diberikan per atau pegas, supaya terdapat tekanan yang cukup untuk menyegel dan memotong plastik. Gambar 4 memperlihatkan komponen-komponen utama *prototype* yang dianalisa kinematikanya.



Gambar 4. Mekanisme-mekanisme utama *prototype* mesin packaging tempe yang dianalisa kinematika gerakannya

Diagram kinematika dibuat untuk masing-masing mekanisme dan analisa dilakukan dengan metode grafis untuk mengetahui panjang *stroke*, kecepatan di tiap *joint* dan di ujung *sealer*, dan dihitung panjang maksimal plastik yang dapat ditarik oleh *roller* penarik dalam tiap siklus.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**  
**Horizontal Sealer**

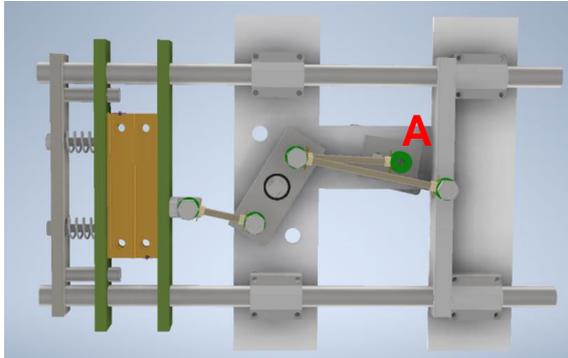
Horizontal sealer terdiri atas 8 link dan 10 joint. Motor ditempatkan pada titik A (lihat Gambar 5 dan 6) sebagai sumber daya, menggerakkan semua link, dengan kecepatan angular  $\omega = 40$  rpm. Berikut perhitungan mobilitas atau degree of freedom dari mekanisme dengan 8 link dan 10 joint primer[9,10]:

$$M = 3(n - 1) - 2jp - jh \quad (1)$$

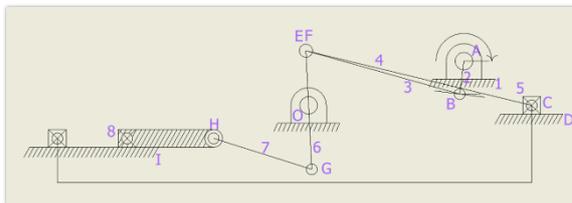
$$M = 3(8 - 1) - 2(10) - (0)$$

$$M = 3(7) - 20 = 1$$

Berdasarkan perhitungan mobilitas, maka ditemukan derajat kebebasan untuk diagram kinematika horizontal *sealer*,  $M = 1$  maka dibutuhkan sebuah penggerak yaitu motor DC untuk mengontrol seluruh mekanisme. Gambar 5 memperlihatkan mekanisme horizontal *sealer* dan Gambar 6 menunjukkan diagram kinematikanya.



Gambar 5. Mekanisme horizontal *sealer* dan bagian-bagiannya



Gambar 6. Mekanisme horizontal *sealer* dan bagian-bagiannya

Dengan menggunakan metode grafis yang dibantu dengan Autodesk Inventor 2024, dari diagram kinematika diatas dapat diperoleh stroke-nya adalah 62,4 mm dan kecepatan pada link 8 berubah-ubah dari 0 pada posisi minimum dan maksimum sampai 75,71 mm/s saat kecepatan maksimum.

**Vertikal *Sealer***

Mekanisme vertical *sealer* tidak mempunyai motor yang terpisah, tetapi terhubung dengan shaft dari titik O pada Gambar 6. Hubungan ini ditunjukkan oleh Gambar 7, sedangkan Gambar 8 menunjukkan diagram kinematikanya. Pada komponen vertical *sealer* dihitung mobilitasnya dengan diketahui  $n = 4$  dan  $jp = 4$ , maka:

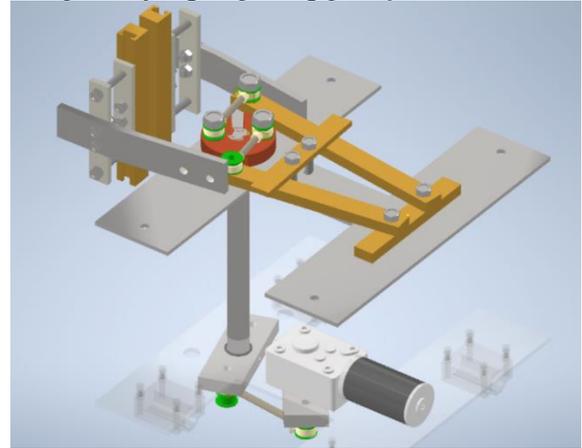
$$M = 3(n - 1) - 2jp - jh \quad (1)$$

$$M = 3(4 - 1) - 2(4) - (0)$$

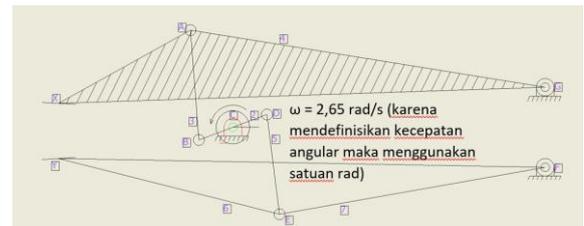
$$M = 3(4) - 8 = 1$$

Diketahui hasil rumusan untuk mobilitas atau  $M = 1$ , yang mengartikan bahwa komponen vertical *sealer* hanya membutuhkan 1 penggerak atau

*actuator* saja untuk menggerakkan seluruh komponen yang terpasang pada *frame*.



Gambar 7. Mekanisme vertikal *sealer* dan bagian-bagiannya yang terhubung dengan horizontal *sealer* dengan sebuah shaft vertikal.

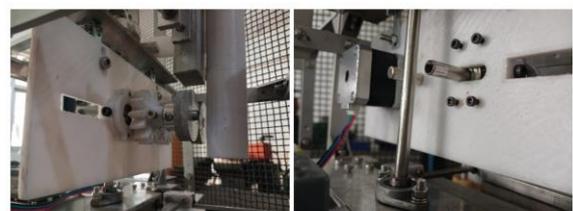


Gambar 8. Diagram kinematika vertikal *sealer*

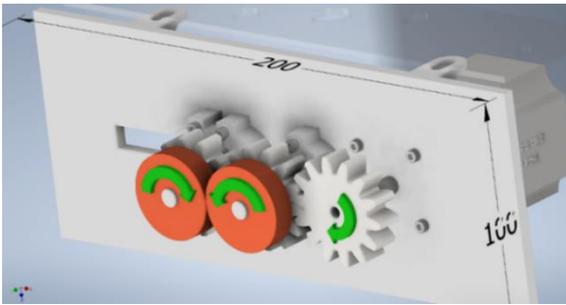
Pada posisi maximum, *sealer* vertikal ini membuka penuh, sedangkan pada posisi minimum *sealer* vertikal menutup untuk mengepress plastik. Jarak stroke ini didapatkan sebesar 63 mm. Sedangkan kecepatan pada blok aluminium adalah berubah-ubah dari 0 pada kondisi minimum dan maksimum sampai 89,67 mm/s saat kecepatan maksimum.

**Roller Penarik**

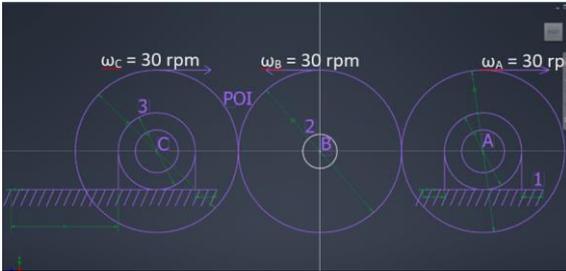
Roller penarik digerakkan oleh NEMA 17 *stepper* motor yang dihubungkan dengan roda gigi seperti ditunjukkan pada Gambar 9, 10, dan 11, masing-masing untuk gambar aktual, arah perputaran komponen, dan diagram kinematikanya.



Gambar 9. Roller penarik (A) Tampak depan, (B) Tampak belakang



Gambar 10. Arah perputaran komponen



Gambar 11. Diagram kinematika roller penarik

Mengacu pada horizontal *sealer*, dengan kecepatan blok *heater* bervariasi antara 0 mm/s dan 75,71 mm/s, maka rata-ratanya diperkirakan sebesar  $75,71/2 = 37,8$  mm/s. Dengan stroke 62,4 mm, maka waktu yang diperlukan dari kondisi membuka penuh sampai menutup adalah:

$$t = \frac{s}{v} = \frac{62,4 \text{ mm}}{37,8 \frac{\text{mm}}{\text{s}}} = 1,65 \text{ s}$$

Jika mengacu pada vertical *sealer*, kecepatan heater berubah-ubah dari 0 mm/s sampai maksimum 89,67 mm/s, dengan rata-ratanya diperkirakan sebesar  $89,67/2 = 44,8$  mm/s. Dengan panjang stroke 63 mm, waktu yang diperlukan dari kondisi membuka penuh sampai menutup adalah:

$$t = \frac{s}{v} = \frac{63 \text{ mm}}{44,8 \frac{\text{mm}}{\text{s}}} = 1,4 \text{ s}$$

Karena waktu vertikal *sealer* lebih pendek, maka ini yang dipakai sebagai acuan. Waktu yang diperlukan dari kondisi menutup, membuka, sampai menutup kembali adalah  $2 \times 1,4 \text{ s} = 2,8 \text{ s}$ . Maka dalam 2,8 s ini dapat ditarik oleh *roller* penarik maksimum plastik sepanjang:

Diketahui:

$$\begin{aligned} \omega_{rf} &= 30 \text{ rpm atau } 3,14 \text{ rad/s} \\ t_{hst} &= 1,84 \text{ s} \\ D_{rf} &= 38 \text{ mm} \quad r = 19 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka:

$$\begin{aligned} V_{rf} &= \omega_{rf} \cdot r_{rf} = 3,14 \cdot 19 = 59,66 \frac{\text{mm}}{\text{s}} \\ S_{rf} &= V_{rf} \cdot t_{hst} = 59,66 \cdot 2,8 = 167 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jika kecepatan tarik sebesar 59,66 mm/s maka panjang plastik yang dapat ditarik dalam waktu 2,8 s adalah 167 mm.

Keterangan:

- $\omega_{rf}$  = Kecepatan Angular Roller Friction
- $V_{rf}$  = Kecepatan Linier Pada Permukaan Roller Friction
- $t_{hst}$  = Waktu per siklus dari menutup sampai menutup lagi
- $S_{rf}$  = Panjang plastik

Maka maksimal panjang plastik yang dapat ditarik oleh mesin *packaging* adalah 167 mm per siklus. Ini cukup panjang, dengan lebar  $13 \text{ cm} / 2 = 6,5 \text{ cm}$  dan panjang 167 mm. Maka dapat diatur timing start-penarikan-stop nya sehingga panjang plastik dapat ditarik dari panjang 2 cm (selebar blok *heater*) sampai 167 mm. Panjang ini dapat diatur dengan mengubah variabel-variabel pada program Arduino.

### SIMPULAN DAN SARAN

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan *prototype* mesin *packaging* tempe dan analisa kinematika untuk ketiga komponen utama mesin, yaitu horizontal *sealer*, vertikal *sealer*, dan *roller* penarik. Horizontal *sealer* dan vertikal *sealer* digerakkan oleh sebuah DC *gearbox* motor, sementara *roller* penarik digerakkan oleh sebuah stepper motor supaya dapat diatur timing start-penarikan-stop nya, sehingga panjang plastik dapat disetting sesuai kebutuhan. Dari analisa kinematika, mengacu pada blok vertikal *sealer*, panjang strokenya adalah 63 mm dengan rata-rata kecepatan blok silinder sebesar 44,8 mm/s dan waktu yang diperlukan dari posisi menutup-membuka-menutup adalah 2,8 s. Dengan kecepatan angular roller penarik sebesar 30 rpm, dalam waktu 2,8 s dapat ditarik maksimum panjang plastik sepanjang 167 mm, dan dapat dikontrol panjangnya dengan mengubah variabel pada program Arduino.

## REFERENSI

- [1] Liu, Y., Xu, S., Song, G., Liu, M., & Qi, H. (2009, October). Improving horizontal and vertical sealing systems in continuous automatic Form/Fill/Seal machines by electronic control. In *2009 IEEE Symposium on Industrial Electronics & Applications* (Vol. 1, pp. 289-294). IEEE.
- [2] Merabtene, M., Tanninen, P., Wolf, J., Kayatz, F., Hauptmann, M., Saukkonen, E., ... & Leminen, V. (2023). Heat-sealing and microscopic evaluation of paper-based coated materials using various seal bar geometries in vertical form fill seal machine. *Packaging Technology and Science*, 36(8), 667-679.
- [3] Ilhan, I., Turan, D., Gibson, I., & ten Klooster, R. (2021). Understanding the factors affecting the seal integrity in heat sealed flexible food packages: A review.
- [4] Ilhan, I., ten Klooster, R., & Gibson, I. (2023). Observing the effect of pressure and temperature on the seal integrity of critical seal regions of various flexible bag designs. *Food Packaging and Shelf Life*, 37, 101088.
- [5] Yudiono, K., Ayu, W. C., & Susilowati, S. (2021). Antioxidant activity, total phenolic, and aflatoxin contamination in tempeh made from assorted soybeans (*Glycine max* L Merrill). *Food Research*, 5(3), 393-398.
- [6] Yudiono, K. (2023). Aktivitas antioksidan, total polifenol, total flavonoid, dan sifat sensoris inovasi tempe kedelai dengan substitusi tepung daun kelor. *Agrointek: Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 17(4), 746-754.
- [7] Gellerich, P. A., & Majschak, J. P. (2023). Pareto-based design of experiments for identifying and comparing optimum sealing parameters of heat-sealing applications in packaging machines. *TAPPI Journal*, 22(6), 383-397.
- [8] Merabtene, M., Tanninen, P., Varis, J., & Leminen, V. (2022). Heat sealing evaluation and runnability issues of flexible paper materials in a vertical form fill seal packaging machine. *BioResources*, 17(1), 223.
- [9] Myszka, D. H. (2012). *Machines and mechanisms*. Prentice Hall.
- [10] Phocas, M. C., Christoforou, E. G., & Dimitriou, P. (2020). Kinematics and control approach for deployable and reconfigurable rigid bar linkage structures. *Engineering Structures*, 208, 110310.