

# Perancangan Mesin *Thermoforming* Untuk Produk Tutup Plastik *Cup*

Affif Alvany<sup>1</sup>, Hasan Hariri<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila

Jl. Raya Lenteng Agung No.56-80, RT.1/RW.3, Srengseng Sawah, Jakarta, Kota Jakarta Selatan, Daerah Khusus  
Ibukota Jakarta 12640

Apip.alvany@gmail.com

---

---

## Abstrak

Mesin thermoforming adalah mesin yang digunakan untuk membuat produk yang menggunakan material plastik. Proses pada mesin Thermoforming terdiri dari dua langkah utama, yaitu: pemanasan dan pembentukan. Proses pemanasan, biasanya menggunakan alat pemanas listrik (heater) yang ditempatkan pada satu sisi atau dua sisi dari permukaan lembaran plastik. Jangka waktu pemanasan untuk melelehkan lembaran plastik tergantung pada jenis plastik & ketebalannya. Proses pembentukan, menggunakan mesin press tool yang akan menekan plastik panas sehingga berubah bentuk sesuai dengan kebutuhan. Perancangan mesin thermoforming menggunakan metode perancangan Pahl & Beitz untuk mendapatkan konsep rancangan yang sesuai dengan kebutuhan. Tujuan perancangan mesin thermoforming adalah untuk memenuhi kebutuhan produksi dari PT. X yaitu dapat membuat mesin thermoforming yang dapat memproduksi tutup cup. Material plastik yang digunakan untuk produk tutup cup adalah plastik Polypropylene (PP) dengan tebal lembaran 0,5 [mm]. Mesin thermoforming dapat memproduksi produk tutup cup secara kontinyu untuk PT. X berkapasitas 316160 [produk/bulan].

**Kata kunci:** Mesin thermoforming, Metode Pahl & Beitz, Plastik Polypropylene.

---

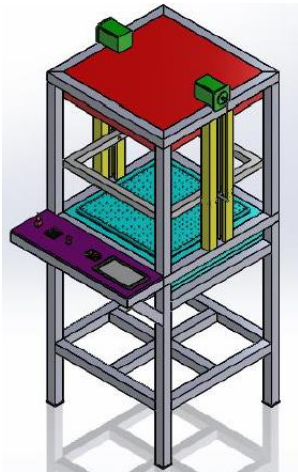
---

## I. PENDAHULUAN

PT. X membutuhkan sebuah mesin yang dapat memproduksi tutup *cup* plastik. Dengan kebutuhan tersebut, penulis berinisiatif untuk merancang sebuah mesin yang dibutuhkan oleh PT. X. Produk tutup cup yang dibutuhkan memiliki spesifikasi material plastik PP, berdiameter 8 cm, tebal lembaran plastik 0,5 mm, dan tinggi tutup cup 2 cm. Dengan spesifikasi dan jenis material tersebut maka proses *Thermoforming* cocok dipakai untuk membentuk produk tersebut. Proses *Thermoforming* adalah proses pembentukan material dengan cara memanaskan material kemudian material tersebut dibentuk sesuai dengan kebutuhan. Proses pemanasan menggunakan alat pemanas listrik. Proses pembentukan menggunakan mesin *press tool* pneumatik dilengkapi dengan *dies* cetak guna membentuk kontur produk sesuai kebutuhan. Mesin *Thermoforming* dirancang dapat memproduksi produk secara kontinyu agar mendapatkan *cycle-time* produksi yang lebih efektif dalam jumlah langkah kerja dan efisien dalam waktu produksi per produk dibandingkan dengan mesin *thermoforming*

konvensional. *Cycle-time* produk tutup cup yang diharapkan PT. X dapat memenuhi kebutuhan 250.000 cup per bulan.

Dalam perancangan mesin *thermoforming* perlu dilakukan peninjauan dengan mesin *thermoforming* yang telah dibuat sebelumnya. Kemudian dikaji dan dicari apa yang dapat diperbaharui dari mesin *thermoforming* sebelumnya. Pada rancangan mesin *thermoforming* terdahulu dengan contoh pada artikel jurnal [6] digunakan untuk memproduksi mangkuk plastik berbahan PVC *Rigid Sheet* berdiameter 20 [mm]. Sistem kerja dari alat tersebut dilakukan secara manual dimulai dari memasukan *raw material*, memanaskan lembaran plastik, membentuk produk, dan mengeluarkan produk. Sistem kontrol yang digunakan pada mesin ini adalah Arduino UNO. Dapat dilakukan optimasi dengan merubah sistem konvensional menjadi kontinyu dengan merubah struktur keseluruhan alat. Rancangan mesin thermoforming terdahulu dapat dilihat pada Gambar 1.

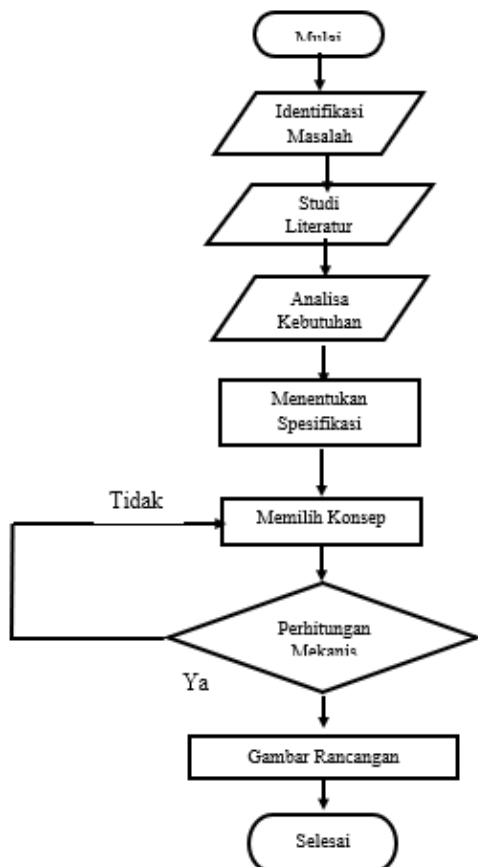


Gambar 1. Mesin Thermoforming Terdahulu

Tujuan perancangan mesin thermoforming adalah untuk memenuhi kebutuhan produksi dari PT. X yaitu dapat membuat mesin thermoforming yang dapat memproduksi tutup cup sesuai kebutuhan. Diharapkan mesin thermoforming dapat memproduksi tutup cup secara kontinyu dan terintegrasi dengan optimal antar alatnya.

## II. METODE PENELITIAN

### A. Diagram Alir Perancangan

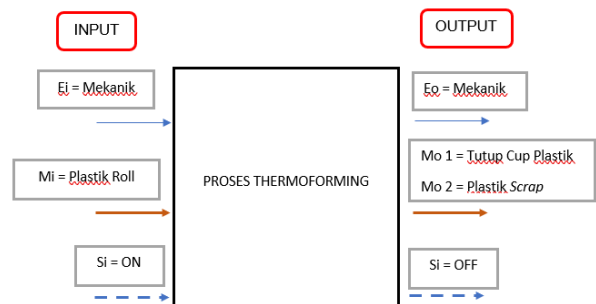


### Gambar 2. Diagram Alir Perancangan

Pada Gambar 2 merupakan Diagram Alir Perancangan dari mesin thermoforming. Pembuatan diagram alir perancangan mesin thermoforming ini berdasarkan metode perancangan Pahl & Beitz dengan mempertahankan fase perancangan secara umum yaitu Penjabaran tugas (Classification of tasks) ada pada point identifikasi masalah dan studi literatur, Penentuan konsep rancangan (Conceptual design) ada pada point menentukan spesifikasi dan pemilihan konsep, Perancangan wujud (Embodiment Design) ada pada point perhitungan mekanis, Perancangan rinci (Detail Design) ada pada point gambar rancangan.

### B. Blok Fungsi

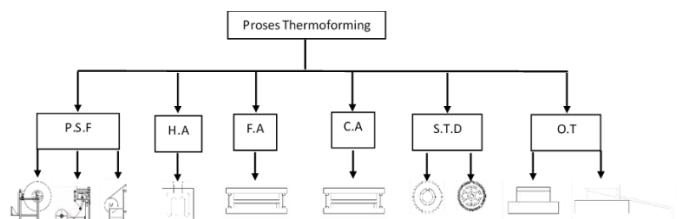
Setelah melakukan pencarian pada literature thermoforming dapat ditentukan bentuk dan isi blok fungsi. Blok fungsi mesin thermoforming dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Blok Fungsi

### C. Pohon Fungsi

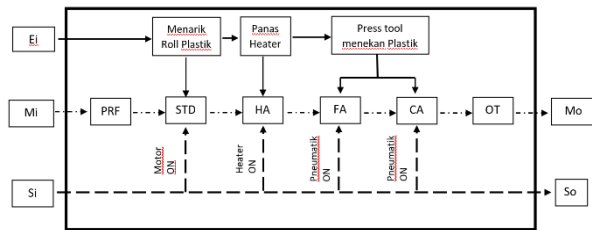
Hasil membandingkan antara produk lain dan membaca literatur thermoforming didapatkan sub-fungsi dan komponen sebagai berikut. Pohon fungsi mesin thermoforming dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Pohon Fungsi

### D. Diagram Fungsi

Setelah blok fungsi dan komponen secara kasar sudah ditentukan, selanjutnya dapat membuat diagram fungsi yang menentukan sistem kerja alat. Diagram fungsi mesin thermoforming dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram Fungsi

### E. Morphological Chart

Hasil dari blok fungsi, pohon fungsi, diagram fungsi, dan spesifikasi teknis dapat ditentukan varian konsep alat menggunakan metode morphological chart. morphological chart mesin thermoforming dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Morphological Chart

No	Sub Fungsi	Komponen	Gambar	Komponen	Gambar	Komponen	Gambar
1	Pengulur	Pengulur dengan motor penarik		Pengulur dengan lengan penarik		Pengulur tanpa penarik	
2	Penarik Roll	Ban Karet		Gear			
3	Area Pemanas	Besi Filamen					
4	Area Pembentukan	Press Tool					
5	Area Pemotongan	Press Tool					
6	Keluaran Produk	Manual		Otomatis			

Keterangan :

- Varian 1 =
- Varian 2 =
- Varian 3 =

### F. Skoring Tabel

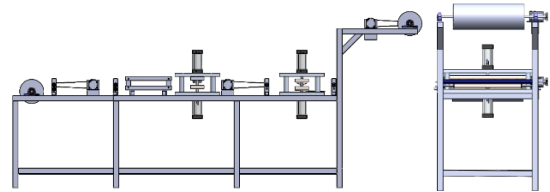
Setelah varian konsep telah terbuat, kemudian dilakukan seleksi pemilihan konsep rancangan menggunakan metode skoring table dibawah ini.

Tabel 2. Skoring Tabel Mesin Thermoforming

No	Kriteria Pemilihan	Bobot	Varian 1		Varian 2		Varian 3	
			V	B x V	V	B x V	V	B x V
1	Langkah Pengoperasian	0,2	3	0,6	4	0,8	3	0,6
2	Jumlah Komponen	0,1	2	0,2	3	0,3	3	0,3
3	Aman untuk operator	0,3	2	0,6	4	1,2	2	0,6
4	Aman untuk lingkungan	0,2	3	0,6	3	0,6	3	0,6
5	Biaya produksi	0,2	2	0,4	3	0,6	3	0,6
	Jumlah	1		2,4		3,5		2,7

Tabel 2 merupakan table skoring table untuk memilih konsep mesin thermoforming. Konsep yang terpilih ada pada varian ke 2 karena memiliki skor tertinggi yaitu 3,5 dibanding dari varian lain. Karena memenuhi semua kriteria yang diinginkan

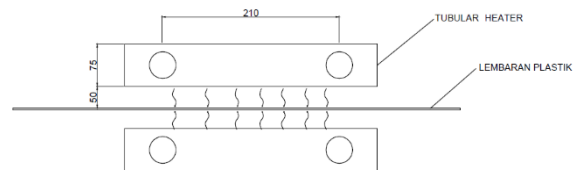
oleh pengguna. Gambar 6 merupakan gambar konsep rancangan mesin thermoforming yang terpilih.



Gambar 6. Konsep Rancangan Terpilih

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Pemanas Lembaran Plastik



Gambar 7. FBD Heater

Pada FBD heater yang ditunjukkan pada Gambar 7. Waktu pemanasan material PP Film menggunakan Heater yang berada di dalam kotak heater. PP Film berukuran 600x420x0,5 [mm] dan dipanaskan hingga suhu 175 [°C] untuk mencapai fasa Temperature Glass Transition. Dengan 2 buah pemanas bertipe Finned Tubular Heater membutuhkan daya sebesar 5000 [Watt] maka,

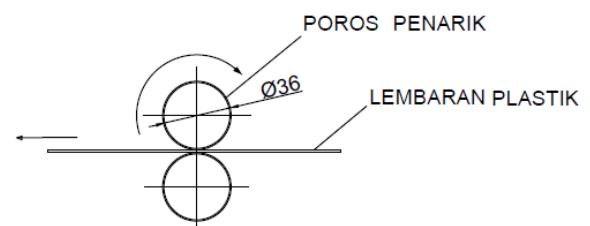
$$t_{PP} = \frac{Q_{total}}{P_{Heater}}$$

$$t_{PP} = \frac{31138,482 [Joule]}{5000 [Watt]}$$

$$t_{PP} = 6,22 [s] \sim 7 [s]$$

Waktu pemanasan PP Film menggunakan heater dilakukan selama 7 detik untuk mencapai temperature 175 °C.

### B. Perhitungan Kebutuhan Daya Motor Servo



Gambar 8. Poros Penarik Lembaran Plastik

Pada ilustrasi poros penarik yang ditunjukkan pada Gambar 8. Diketahui torsi pada poros adalah 21 [kgmm]. dapat dihitung kebutuhan Daya motor untuk *Sheet Traction Device* adalah sebagai berikut.

$$T = 9,74 \times 10^5 \cdot \frac{P}{n}$$

$$P = \frac{T \times n}{9,74 \times 10^5}$$

$$= \frac{21 [kg \cdot mm] \cdot 30 [rpm]}{9,74 \times 10^5}$$

$$= 0,0006468 [kW]$$

$$P = 0,6 [Watt]$$

Daya yang dibutuhkan untuk menarik roll plastik adalah sebesar  $6 \times 10^{-4}$  [kW], kemudian jika dilihat pada katalog motor servo untuk kebutuhan daya tersebut cukup menggunakan motor servo tipe HF-KP dengan kemampuan daya 0,05 [kW].

### C. Perhitungan Spesifikasi Timing Belt

Untuk timing belt yang dipakai berdasarkan katalog BANDO dengan tipe timing belt STS2M lebar 10 [mm]. Bentuk timing belt mempengaruhi bentuk pulley dan sebaliknya. Pada perhitungan spesifikasi pulley dan timing belt yang perlu dicari adalah panjang timing belt yang akan digunakan.

$$l = \frac{t \times (z_2 + z_1)}{2} + 2 \times e + \frac{1}{4 \times e} \left[ \frac{t \times (z_2 - z_1)}{\pi} \right]^2$$

$$l = \frac{2 \times (40 + 20)}{2} + 2 \times 300 \dots$$

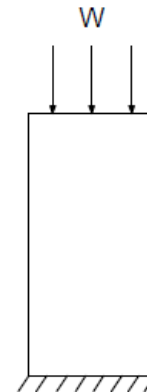
$$\dots + \frac{1}{4 \times 300} \left[ \frac{2 \times (40 - 20)}{\pi} \right]^2$$

$$l = 922,11 [mm]$$

Dari perhitungan Panjang timing belt didapatkan Panjang 922,11 [mm]. disesuaikan dengan standar pulley Febro. panjang belt yang dapat dipakai adalah 944 [mm] dengan lebar 10 [mm].

### D. Perhitungan Tegangan Pada Rangka Penopang Utama

komponen yang menahan beban dari komponen lainnya adalah rangka. Pada mesin thermoforming ini menggunakan rangka berbentuk rectangular hollow dengan ukuran  $50 \times 50 \times 3$  [mm] material mild steel ST-37. Sambungan komponen rangka menggunakan teknik las SMAW (*Shield Metal Arc Welding*) dengan elektroda las E6013.



Gambar 9. FBD Rangka

Pada FBD rangka yang ditunjukkan pada Gambar 9. Maka Analisa tegangan yang terjadi pada tiap batang rangka adalah sebagai berikut.

Beban total yang ditopang oleh rangka sebesar 300 [kg] ~ 2943 [N]. Maka tegangan yang terjadi pada rangka dapat diketahui sebagai berikut.

$$\sigma_{rangka} = \frac{F}{A}$$

$$\sigma_{rangka} = \frac{2943 [N]}{48 [mm^2]}$$

$$\sigma_{rangka} = 61,3 \{MPa\}$$

Tegangan yang terjadi pada rangka adalah 61,3 [MPa]. Disbandingkan dengan tegangan izin rangka yaitu 71,6 [MPa]. Maka  $\sigma_{(izin)} \geq \sigma_{rangka}$ , konstruksi rangka aman untuk digunakan.

### E. Kapasitas Produksi Mesin Thermoforming

Diketahui waktu pemanasan total 7 [detik]. Dimensi panjang area pemanas adalah 210 [mm] dan panjang punch 120 [mm]. maka di dalam area pemanas lembaran plastik akan ditarik sebanyak  $210/120=1,75$  [kali]. Maka cycle time untuk memproduksi 1 produk tutup cup adalah  $7/1,75=4$  [detik].

Diasumsikan waktu pasang material mentah dan bongkar material sisa masing-masing 30 menit, waktu kerja 1 hari adalah 8 jam, waktu kerja 1

minggu adalah 5 hari. Dalam 1 bulan maka terdapat sekitar 20 hari kerja.

- Jumlah Produk Untuk 1 Roll Plastik

$$n_{1 \text{ gulung}} = \frac{\text{panjang lembaran plastik}}{\text{diameter produk} + \text{Allowance}} \times 4$$

$$n_{1 \text{ gulung}} = \frac{101787}{86 + (34 \div 2)} \times 4$$

$$n_{1 \text{ gulung}} = 3952 [\text{produk}]$$

- Waktu Produksi Untuk 1 Roll Plastik

$$t_{1 \text{ gulung}} = \frac{\text{panjang lembaran plastik}}{\text{diameter produk} + \text{Allowance}} \dots$$

$$\dots \times 4 + t_{\text{bongkar}} + t_{\text{pasang}}$$

$$t_{1 \text{ gulung}} = \frac{101787}{86 + (34 \div 2)} \times 4 + 30 + 30$$

$$t_{1 \text{ gulung}} = 116,54 [\text{menit}] = 1,94 \sim 2 [\text{jam}]$$

Pada 1 roll plastik membutuhkan waktu 2 jam dan memproduksi 3952 [produk], maka untuk 1 bulan mesin thermoforming jumlah produk tutup cup yang dapat diproduksi adalah sebagai berikut.

- Waktu Kerja Dalam 1 Bulan

$$t_{1 \text{ bulan}} = 8 \times 20$$

$$t_{1 \text{ bulan}} = 160 [\text{jam}]$$

- Jumlah Produk Dalam 1 Bulan

$$n_{1 \text{ bulan}} = \frac{t_{1 \text{ bulan}}}{t_{1 \text{ gulung}}} \times n_{1 \text{ jam}}$$

$$n_{1 \text{ bulan}} = \frac{160}{2} \times 3952 = 316.160 [\text{produk}]$$

#### IV. KESIMPULAN

Rancangan mesin untuk memproduksi tutup plastik cup menggunakan teknologi *thermoforming* dimana material plastik dibentuk melalui proses pemanasan menggunakan elemen panas listrik dan proses pembentukan menggunakan *press tool*. Dari hasil perhitungan kapasitas produksi mesin

*thermoforming* adalah 316.160 produk. Dibandingkan dengan mesin *thermoforming* terdahulu mesin *thermoforming* ini memiliki nilai efektifitas produksi sebesar 97,46%. Saran untuk rancangan mesin *thermoforming* ke depannya perlu ditambahkan perencanaan pembuatan mesin thermoforming untuk memberikan penjelasan mengenai fabrikasi dan kisaran harga mesin *thermoforming*.

#### REFERENSI

- [1] G. Pahl, W. Beitz., “*Engineering Design A Systematic Approach Third Edition*”, London: Springer-Verlag London Limited, 2007
- [2] P. W. Klein, “*Fundamentals Of Plastics Thermoforming. Synthesis Lectures On Materials Engineering*, Ohio: Morgan & Claypool Publishers”, 2009.
- [3] Kholiludin, F., “Analisa Termodinamika Berbagai Jenis Refrigeran Untuk Mesin Pengereng Pakaian Yang Memanfaatkan Panas Buang *Double Kondensor*” *Doctoral Dissertation*, Universitas Mercu Buana, Jakarta. 2019.
- [4] Sampurno, R. B., “Aplikasi Polimer Dalam Industri Kemasan.” *Jurnal Sains Materi Indonesia*, Vol. 8. No. 15, pp. 141-148, 2014
- [5] R. S. Khurmi And J. K. Gupta, “*A Textbook Of Machine Design.*” New Delhi: Eurasia Publishing House, 2005.
- [6] Munandar, D. A., Haidi, F., & Muslimin. “Rancang Bangun Mesin *Vacuum Forming.*” *Seminar Nasional Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta* Vol. 4, No. 17, pp. 484-493. 2018
- [7] Nurabdiansyah, & Farid, M. ”Studi Perancangan Alat Cetak Pembuat Kemasan *Thermoplastic* Bagi IKM dengan Metode *Vacuum Forming.*” *Jurnal Tanra*, Vol. 4, No. 2. pp. 45-61. 2019.
- [8] Cahyadi, D. and Lanta, L., “Potensi Industri Produk Plastik Berbasis Industri Rumah Tangga dengan Alat *Vacuum Forming* Sederhana.” *Seminar Nasional LP2M UNM*. Vol 3, No 15. pp. 112-120, 2019.
- [9] Fares, M.C., de Souza, G. and Carvalho, A.J., “*Thermoformed Polypropylene Composite Reinforced with Cotton Fabric.*” *In Macromolecular Symposia*, Vol. 383, No. 1, pp. 180-186. 2019,
- [10] Ridlwan, H.M., Prasetya, S., Adhi, P.M., Muslimin, M. and Mulyono, S., “Implementasi Perancangan Perangkat Lunak Untuk Kendali Dan Monitoring Mesin *Vacuum Forming* Otomatis.” *JTIK (Jurnal Teknik Informatika Kaputama)*, Vol. 4, No.1, pp.21-28. 2020.