

RANCANG BANGUN SISTEM OTOMATISASI PADA MESIN VACUUM FORMING

Heneng Sukmo Manembah¹, Sonki Prasetya²

¹Program Studi Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jalan Prof. Dr. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok 16425. No Tlp (021) 7270036, Fax (021) 7270036,
henengs@gmail.com

²Program Studi Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta

Abstrak

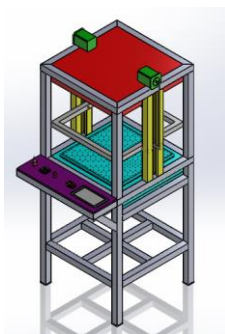
Pengemasan merupakan bagian penting, tanpa pengemasan yang tepat, ketahanan, higienitas, dan estetika dari produk makanan dapat mempengaruhi kepercayaan konsumen terhadap industri tersebut. Adapun industri kecil akan kesulitan jika ingin membuat kemasan dengan bentuk yang disesuaikan dengan keanekaragaman produknya. Pembuatan kemasan manual juga berdampak pada hasil dan efektivitas dari pekerja sementara pemesanan kemasan pada perusahaan plastik memerlukan jumlah dan biaya besar. Penelitian bertujuan untuk desain mesin cetak kemasan dengan teknologi Vacuum Forming semi otomatis untuk skala UKM agar dapat membuat kemasan sendiri. Fokus ditujukan untuk desain sistem kontrol pada mesin Vacuum Forming yang diterapkan untuk pengendalian pemanas, sistem pemvakuman, dan sistem penggerakannya. Sistem kontrol yang digunakan berbasis mikrokontroler Arduino Mega 2560 dengan input sensor temperatur dan output berupa sistem penggerak untuk memindahkan posisi lembaran plastik. Sistem penggerak memindahkan plastik yang dipanaskan menuju pemanas, setelah temperatur yang dicapai sesuai dengan temperatur yang sudah diatur, penggerak memindahkan lembaran plastik ke vacuum chamber. Mesin vacuum menyala secara otomatis untuk membentuk plastik sesuai dengan mold yang sudah diletakkan pada vacuum chamber. Dengan analisis dan pengujian yang dilakukan, didapatkan pengendalian sistem yang efektif dan memaksimalkan kinerja dari mesin tersebut. Hasil desain yang diperoleh diantaranya: (1) hasil pengujian sistem kontrol set-point pada mesin Vacuum Forming dan sistem yang digunakan adalah sistem on-off dengan power switching apabila heater yang digunakan lebih dari 1, (2) aktuator penggerak yang digunakan yaitu motor stepper karena memiliki lebih banyak kelebihan berdasarkan 5 indikator penentuan aktuator, dan (3) waktu yang dibutuhkan motor stepper untuk mengangkat adalah 6,61 s.

Kata Kunci: Sistem Kontrol, UKM, Vacuum Forming, Arduino Mega 2560

Abstract

Packaging is the most important things according the food industries. Without a good packaging consumers will not trust with its higienity and esthetic side from the products. Manufacturing the packaging by themselves also have good effect to mid-small industry especially in working effectivity. The point in this research is to build vacuum forming machine using otomation system. Main focus in this research are control system can controlled the heating system, vacuum system, and motion system. Software that used in this research is Arduino Mega 2560 with temperature sensor to control the temperature and limit switch for motion control. Motion system will move the plastic to heating system, after a few minutes motion system will get down the plastic to mold in vacuum chamber. Vacuum chamber will turned on to decrease the pressure in vacuum chamber, so the plastic will press the mold and we have the plastic result is like the modl that used to form the plastic. The result form this design are: (1) the result formse-point testing used ini Vacuum Forming machine with on-off control using power switching methods if using more than 1 heater. (2) motion system using motor stepper. (3) Motor stepper motion time are 6,61 s.

Keywords: Control System, Vacuum Forming, Arduino Mega 2560.



Gambar.1 Desain Mesin Vacuum Forming

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Plastik adalah bahan yang banyak digunakan dalam industri kemasan. Plastik digunakan sebagai kemasan untuk makanan dan minuman karena struktur dari plastik yang lembut, transparan, memiliki harga yang murah dan sifat mekanis yang bagus [1]. Peningkatan industri makanan dan minuman juga berpengaruh pada penggunaan plastik yang semakin banyak. Data peningkatan tersebut diperoleh dari Kementerian Perindustrian, bahwa pertumbuhan industri plastik sejak 2016 meningkat hingga 9% dibandingkan tahun sebelumnya [2]. Satu diantara proses pengolahannya adalah dengan metode *Vacuum Forming*. Prinsip kerja dari mesin tersebut yaitu lembaran plastik yang sudah dibentangkan diletakkan dibawah elemen pemanas diatas vacuum chamber, lembaran plastik yang sudah dipanaskan diletakkan diatas molding dan tekanannya dikurangi untuk membantu pembentukan material yang lebih baik [3].

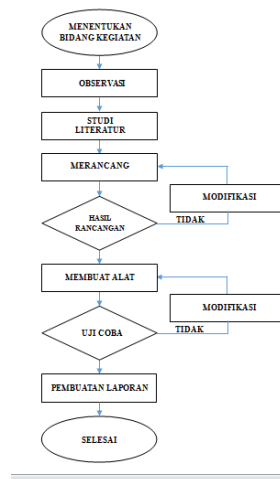
Mesin *Vacuum Forming* sudah banyak digunakan pada industri skala besar yang difungsikan untuk membuat kemasan makanan, mainan, dan minuman. Harga mesin *vacuum forming* ini yaitu Rp. 10.000.000,- hingga Rp. 25.000.000,-. Harga mesin yang cukup tinggi tersebut tentunya kurang ekonomis bagi industri UKM yang hanya berskala kecil, Mesin tersebut juga dapat digunakan sebagai penunjang praktek mata kuliah Mold and Dies di Politeknik Negeri Jakarta (PNJ).

Desain mesin *Vacuum Forming* yang akan dibangun akan lebih sederhana dibandingkan alat sebelumnya dan sudah dilengkapi dengan sistem kontrol semi otomatis agar dihasilkan mesin yang ekonomis dan lebih efisien untuk industri UKM dan kegiatan praktek mata kuliah Mold and Dies di Politeknik Negeri Jakarta

1.2 Tujuan

Tujuan desain adalah untuk penentuan komponen pemanas, penggerak, serta pengendalian yang optimal agar dapat digunakan untuk membangun mesin pencetak plastik dengan metode *vacuum forming* semi otomatis pada aplikasi industri UKM dalam mencetak plastik sesuai dengan ukuran dan bentuk yang diinginkan.

2. METODE PENELITIAN



Gambar.2 Diagram Alir Metode Penelitian

Gambar 2 menunjukkan alur proses desain. Hal pertama yang dilakukan yaitu mencari ide tentang desain yang dilakukan. Tahapan berikutnya yaitu mencari data mengenai kebutuhan konsumen terhadap mesin tersebut sehingga dapat disesuaikan spesifikasi yang kemudian diterapkan pada mesin tersebut. Studi literatur adalah tahapan mencari teori pendukung sebagai dasar utama untuk membangun mesin tersebut, kemudian dilakukan dengan tahapan desain mesin sesuai dengan studi literatur dan hasil observasi mengenai mesin tersebut. Hasil desain dimodifikasi jika dirasa hasilnya tidak sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan, jika hasil desain sesuai, maka dilakukan proses pembuatan alat dan diuji coba, jika hasil uji coba tidak sesuai, dilakukan modifikasi.

2.1 Menentukan Tema

Hal pertama yang harus dilakukan adalah menentukan tema dari desain yang dibuat, karena tema mewakili pemikiran utama bentuk desain yang dibuat, dalam desain ini tema yang akan diangkat adalah desain sistem otomatisasi pada mesin *Vacuum Forming*.

2.2 Identifikasi Masalah Dan Solusi

Berdasarkan masalah yang ada, alat yang akan didesain sebaiknya memenuhi beberapa kriteria:

- Menggunakan daya yang lebih rendah dibandingkan mesin yang sudah ada
- Membuat mesin yang lebih murah, dan
- Sistem otomatisasi yang digunakan dapat mempermudah pengguna mesin

2.3 Studi Literatur

Studi literatur digunakan untuk memahami konsep dan teori mengenai sistem otomatisasi. Proses kendali menggunakan software Arduino sehingga temperatur dapat dijaga pada *set-point* tertentu. Studi juga meliputi penggunaan motor servo sebagai penggerak pada mesin *vacuum forming* dan pengontrolan sistem vakum.

2.4 Membuat Konsep Desain

Pembuatan konsep desain dilakukan dengan mempertimbangkan tema, identifikasi masalah dan solusi, serta studi literatur yang telah dilakukan agar konsep sesuai dalam pembentukan desain. Desain alat yang akan dibuat disesuaikan dengan tema, serta mampu mencapai kualifikasi yang dibutuhkan oleh industri UKM, dengan mempertimbangkan dan membandingkan alat-alat yang sudah ada, kemudian ditentukan desain alat yang paling sesuai.

2.5 Analisis Desain Dan Proses Fabrikasi

Setelah pematangan konsep desain selanjutnya dilakukan analisis, dimulai dengan meninjau kebutuhan serta keinginan pelanggan mengenai desain alat, analisis yang dilakukan diutamakan pada analisis mengenai penggunaan sistem kontrol dan analisis mengenai kapasitas motor servo yang akan digunakan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis Data Kebutuhan dan Hasil Observasi Lapangan

Data kebutuhan diperoleh dari konsep desain yang telah disesuaikan dengan keinginan pelanggan agar dapat menyelesaikan permasalahan yang terjadi dilapangan. Data rinci dari kebutuhan tersebut dapat dilihat pada Tabel.1:

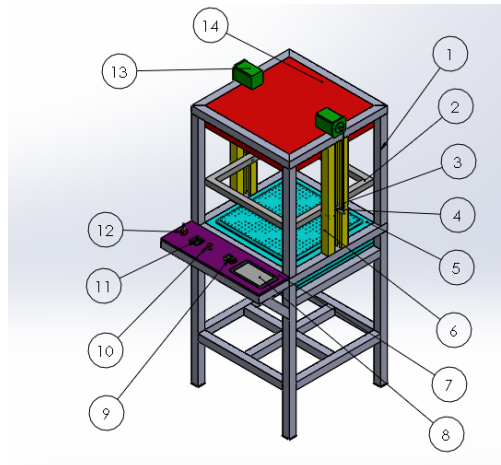
Tabel.1 Data Kebutuhan Desain Konveyor

No	Jenis Data	Keterangan
1.	Jenis Mesin	<i>Mesin Vacuum Forming</i>
2.	Posisi Kerja Mesin	Vertikal
3.	Kegunaan	Mencetak plastik
4.	Dimensi Mesin (PxLxT)	584 x 760 x 1495 [mm]
5.	Sistem Kontrol	Arduino
6.	Sistem Penggerak	Motor Stepper
7.	Struktur Rangka	Besi Hollow 35x35x1.5 [mm]

3.1 Prinsip Kerja Alat

Mesin *vacuum forming* yang didesain merupakan alat untuk mencetak plastik. Sistem otomatisasi yang didesain dalam mesin tersebut harus mampu mempermudah sistem pengoprasian alat. Mesin tersebut didesain agar mampu memanaskan, menggerakkan plastik mendekat dan menjauhi heater serta mampu mencetak plastik dengan gaya vakum yang diberikan sehingga terwujud produk yang sesuai dengan cetakan yang ada.

3.2. Rancangan Alat



Gambar.3 Gambar Detail Desain Mesin *Vacuum Forming*

Gambar. 3 menunjukkan mesin *vacuum forming* yang dibangun. Mesin ini terdiri dari sistem pemanas yang ditunjukkan pada nomor 14, sistem pemvakuman ditunjukkan dengan nomor 5, dan sistem penggerak ditunjukkan pada nomor 13. Clamp yaitu part nomor 2 akan diangkat menggunakan aktuator gerak motor stepper nomor 13 yang mengangkat plastik hingga menuju sistem pemanas, setelah beberapa menit sistem gerak akan membawa plastik turun ke arah *vacuum chamber* nomor 5, dan sistem vakum akan aktif untuk membentuk plastik sesuai dengan cetakan. Desain Mesin *vacuum forming* ini terdiri dari 4 bagian utama, yaitu sistem otomatisasi, sistem pemanas, sistem pemvakuman, dan sistem penggerak.

Deskripsi 4 bagian utama dalam desain Mesin *Vacuum Forming*

3.3.1. Sistem Otomatisasi

Sistem otomatisasi ini berfungsi sebagai pengambil keputusan pada sistem yang bekerja pada mesin *Vacuum Forming*. Desain tersebut menerapkan sistem otomatisasi yang memanfaatkan perangkat lunak *Arduino* sebagai pengambil keputusan pada mesin *vacuum forming*. Perangkat lunak tersebut juga dilengkapi dengan bantuan beberapa sensor yaitu sensor temperatur LM-35 dan sensor jarak yang berfungsi untuk mengatur motor listrik akan menyala atau mati.

3.3.2. Sistem Pemanas

Sistem pemanas menggunakan elemen kawat pemanas dengan spesifikasi 150 watt/220v yang berbentuk kawat spiral yang disambungkan dalam kotak *heater* dan berfungsi untuk menaikkan temperatur plastik hingga plastik sampai pada temperatur plastis dan dapat dibentuk.

3.3.3. Sistem Vakum

Sistem vakum berfungsi untuk menurunkan tekanan yang terdapat pada *vacuum chamber* sehingga plastik dapat dibentuk saat diletakkan cetakan dibawah dari permukaan plastik yang sudah dipanaskan menggunakan heater.

3.3.4. Sistem Penggerak

Sistem penggerak memanfaatkan motor listrik yaitu motor stepper dengan kapasitas 7.2 Volt, 1 Ampere untuk mengangkat beban clamp yang memiliki massa 3 kg dengan ketinggian 50 cm.

3.3. Analisis Rancangan Alat

3.3.1. Analisis Pengujian Sistem Kontrol Set-Point

Sistem pemanas membutuhkan pengendalian agar temperatur yang dihasilkan heater tidak menyimpang terlalu jauh dari range temperatur yang diijinkan. Temperatur pada sistem pemanas dikontrol menggunakan sensor temperatur LM-35 yang mengindikasikan kerataan temperatur pada *clamp* dan pada sistem pemanas.

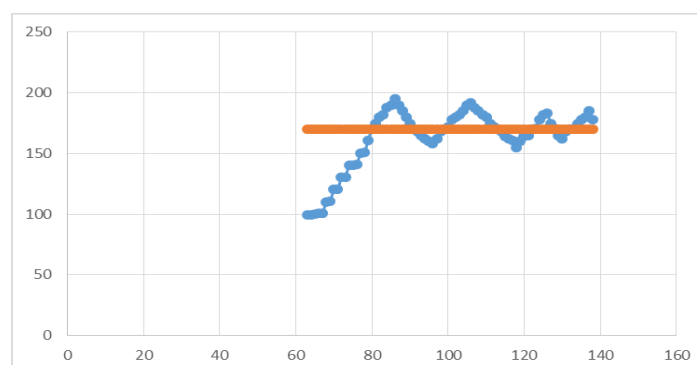
Tabel. 3 Data Temperatur Plastik [4]

<i>Material</i>	<i>Glass Transition Temperature</i> [°C (°F)]	<i>Melting Temperature</i> [°C (°F)]
Polyethylene (low density)	-110 (-165)	115 (240)
Polytetrafluoroethylene	-97 (-140)	327 (620)
Polyethylene (high density)	-90 (-130)	137 (279)
Polypropylene	-18 (0)	175 (347)
Nylon 6,6	57 (135)	265 (510)
Poly(ethylene terephthalate) (PET)	69 (155)	265 (510)
Poly(vinyl chloride)	87 (190)	212 (415)
Polystyrene	100 (212)	240 (465)
Polycarbonate	150 (300)	265 (510)

Berdasarkan data pada tabel 3 maka dapat dilihat bahwa plastik *polysterene* memiliki rentang temperatur dari 100°C hingga 240°C. Berdasarkan data pada tabel maka dapat disimpulkan bahwa rentang temperaturnya mencapai 140°C.

Uji coba *set-point* yang dilakukan diatur pada temperatur diatas 140°C maka sistem pemanas akan mati secara otomatis dan dibawah temperatur 140°C sistem pemanas akan menyala. Berikut coding pemrograman untuk uji coba *set-point*

Dari hasil pengujian *set-point* maka didapatkan grafik sebagaimana 4 berikut:



Gambar 4 Pengujian Set-Point

Berdasarkan hasil pengujian yang terdapat pada Grafik. 2, *set-point* diatur pada temperatur 170 °C, dapat dilihat bahwa simpangan terjauh dari *set-point* berada pada 30 °C, dan simpangan terendah dari *set-point* berada pada 20 °C maka dapat disimpulkan bahwa sistem *set-point* yang digunakan dapat memenuhi syarat untuk diterapkan pada desain.

Adapun kebutuhan pemanas disesuaikan dengan kerangka mesin yang didesain agar distribusi panasnya dapat merata sesuai dengan kebutuhan dalam memanaskan sheet polysterene. Jika jumlahnya lebih dari 1, maka tentunya kebutuhan dayanya lebih besar. Untuk penghematan penggunaan daya maka dilakukan metode *power switching* atau mengkondisikan pengaktifan elemen pemanas secara bergantian.

3.4.2. Analisis Motor Listrik

Pemilihan penggunaan sistem penggerak memiliki beberapa pertimbangan sebagaimana Tabel 4:

Tabel. 4 Perbandingan Penggerak

No	Segi Perbandingan	Motor Servo	Pneumatik	Motor Stepper
1	Harga	4	1	5
2	Komponen	5	2	4
3	Perawatan	5	2	5
4	Kontrol	5	4	5
5	Torsi	3	4	5
	Jumlah	22	13	24

Keterangan:

1 = Sangat Tidak Direkomendasikan

2 = Tidak Direkomendasikan

3 = Direkomendasikan

4 = Sangat Direkomendasikan

5 = Sangat Lebih Direkomendasikan

Aktuator penggerak memiliki beberapa jenis yaitu aktuator pneumatik, stepper, dan servo. Pemilihan motor stepper memiliki beberapa pertimbangan berdasarkan dari segi perbandingan terhadap aktuator penggerak lainnya. Pada Tabel. 4, untuk indikator harga 1 adalah harga kisaran Rp. 2.500.000,00 hingga Rp. 4.500.000,00. Untuk indikator komponen, harga 1 adalah komponen dengan jumlah 8-10 komponen sedangkan untuk harga 5 adalah komponen dengan jumlah 1-3 komponen. Kemudian indikator perawatan harga 1 adalah perawatan untuk 8-10 komponen, sedangkan untuk harga 5 adalah biaya perawatan untuk 1-3 komponen. Selanjutnya indikator sistem kontrol harga 1 menandakan bahwa kontrol untuk pemrograman komponen lebih dari 10, sedangkan harga 5 untuk menandakan bahwa kontrol untuk pemrograman komponen hanya berkisar antara 1 dan 5 buah komponen. Kemudian indikator torsi dengan daya yang digunakan sama yaitu sebesar 100 watt, harga 1 menandakan bahwa sistem membutuhkan daya sekitar 372 Watt atau lebih sedangkan untuk harga 5 berkisar antara 30 dan 50 watt. Berdasarkan tersebut, maka motor *stepper* dipilih untuk digunakan sebagai aktuator gerak. Agar motor *stepper* dapat diterapkan dalam rancang bangun ini maka dipilih spesifikasi sebagaimana Tabel. 5

Tabel. 5 Data spesifikasi Motor Listrik [5]

▣ General Specification for High Torque Hybrid Stepping Motor

Item	Specifications
Step Angle	1.8°
Step Angle Accuracy	±5% (full step, no load)
Resistance Accuracy	±10%
Inductance Accuracy	±20%
Temperature Rise	80°C Max.(rated current,2 phase on)
Ambient Temperature	-20°C~+50°C
Insulation Resistance	100M Ω Min. ,500VDC
Dielectric Strength	500VAC for one minute
Shaft Radial Play	0.02Max. (450 g-load)
Shaft Axial Play	0.08Max. (450 g-load)
Max. radial force	75 N (20mm from the Flange)
Max. axial force	15N
Rotation	CW(See from Front Flange)

Model No.	Rated Voltage	Current /Phase	Resistance /Phase	Inductance /Phase	Holding Torque	# of Leads	Rotor Inertia	Weight	Detent Torque	Length
SY57STH56-1006A SY57STH56-1006B	7.4	1	7.4	10	9.0	6	300	0.7	0.4	56

Tabel. 5 menjelaskan bahwa tegangan yang dibutuhkan motor stepper adalah 7.4 [Volt], dengan arus listrik sebesar 1 [A] dengan torsi 9 [kg/cm]

Maka analisis daya kebutuhan motor listrik ini adalah

$$\begin{aligned}
 P &= \text{Daya [Watt]} \\
 I &= \text{Arus [Ampere]} \\
 V &= \text{Tegangan [V]} \qquad \qquad \qquad (\text{Persamaan 1})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P &= V \times I \\
 P &= 7.4 \text{ [Volt]} \times 1 \text{ [A]} \\
 P &= 7.4 \text{ [Watt]}
 \end{aligned}$$

Maka waktu yang dibutuhkan untuk menggerakkan *clamp* menuju sistem pemanas yaitu:

$$\begin{aligned}
 E_p &= \text{Energi Potensial [Joule]} \\
 m &= \text{Massa [kg]} \\
 g &= \text{Percepatan Gravitasi} = 9.81 \left[\frac{m}{s} \right] \\
 h &= \text{Ketinggian [m]}
 \end{aligned}$$

$$P = E_p \qquad \qquad \qquad (\text{Persamaan 2})$$

$$\eta \cdot V \cdot I \cdot t = m \cdot g \cdot h$$

$$30\% \cdot 7.4 \text{ [Volt]} \times 1 \text{ [A]} \times t = 3 \text{ [kg]} \times 9.8 \text{ [kg]} \times 0.5 \text{ [m]}$$

$$t = \frac{3 \text{ [kg]} \times 9.8 \text{ [kg]} \times 0.5 \text{ [m]}}{30\% \cdot 7.4 \text{ [Volt]} \times 1 \text{ [A]}}$$

$$t = 6.6216 \text{ [s]}$$

4. KESIMPULAN

Simpulan yang dapat diambil dari desain Sistem Otomatisasi Mesin *Vacuum Forming* adalah:

1. Berdasarkan data hasil pengujian sistem kontrol untuk *set-point* maka sistem yang diterapkan dapat digunakan untuk mesin *Vacuum Forming* dan sistem digunakan adalah sistem on-off dengan *power switching* jika pemanas yang digunakan lebih dari 1.
2. Aktuator penggerak yang digunakan yaitu motor stepper karena lebih banyak kelebihanannya berdasarkan 5 indikator penentuan aktuator, dan
3. Waktu yang dibutuhkan motor stepper untuk mengangkat adalah 6,61 [s].

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] V. Siracusa, P. Rocculi, S. Romani, and M. D. Rosa, "Biodegradable polymers for food packaging: a review," *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 19, no. 12, pp. 634–643, 2008.
- [2] D. Pen, W. Ekspor, and E. Mei, "Kemasan Sebagai Daya Saing Produk," pp. 1–20, 2016.
- [3] I. L. P. Harasta, C. Landis, G. Gerald, and N. Y, "United States Patent 19," no. 54, 1992.
- [4] Calisster, William, D., A. Introduction, "Materials science.", pp. 889, 2002.
- [5] "Soyo Technical Data Sheet", 2013