

Pembangunan Mesin *Flip Thermoforming* Bagi Proses Pembentukan Vakum

Nor Mahani Md Rasidi*, Mahdir Abdullah, Afiqah Huwaina Ahmad Norhisham, Fatim Nur Amirah Zakaria, dan Khairunnisa Afiqah Tan

Jabatan Kejuruteraan Mekanikal, Politeknik Sultan Abdul Halim Mu'adzam Shah (POLIMAS), Bandar Darulaman, 06000 Jitra, Kedah, Malaysia,

Abstrak : *Thermoforming* adalah proses pembuatan di mana kepingan plastik dipanaskan ke suhu herotan yang kemudiannya divakum sehingga membentuk mengikut acuan pada rongga cetakan. Hasil pemerhatian mesin terdahulu mendapati terdapat kelemahan pada aspek reka bentuk dan fungsi iaitu saiz mesin besar dan berat, saiz bingkai besar dan pengunci bingkai tidak selari. Ini menyebabkan kesukaran untuk memindahkan mesin, pembaziran bahan termoplastik, pengendalian bingkai menggunakan dua tangan atau dua individu dan kesukaran untuk mengepit bahan pada bingkai. Oleh itu, sebuah Mesin *Flip Thermoforming* telah direka bentuk yang menggunakan mekanisme flip yang boleh berpusing 180⁰ dari bahagian pemanas ke bahagian vakum. Spesifikasi reka bentuk mesin ini adalah saiz kerangka 610mm (panjang) x 457mm (lebar) x 229mm (tinggi), saiz bingkai 210mm x 297mm, saiz kotak pemanas 170mm x 271mm, saiz kebuk vakum 161mm x 251mm, kuasa pemanas 808 watt dan kuasa vakum 1200 watt. Prestasi mesin telah diuji dari aspek kebolegunaan mesin bagi proses pemanasan, proses flip bingkai dan proses pembentukan vakum. Sampel ujikaji terdiri dari termoplastik jenis *polyethylene terephthalate* (PET), *polypropylene* (PP), *black polystyrene* (PS) dan *white polystyrene* (PS) yang bersaiz 210mm x 297mm pada ketebalan antara 0.4mm hingga 1.0mm. Hasil ujikaji mendapati proses pembentukan vakum telah berjaya menghasilkan pembentukan acuan yang baik. Dengan itu, Mesin *Flip Thermoforming* berpotensi digunakan sebagai alat bantu proses pengajaran dan pembelajaran bagi topik proses *vacuum thermoforming* dan alat pembungkus bagi komponen kecil seperti *allen key* dan mata gerudi.

Kata Kunci: *Mesin Flip Thermoforming, Reka Bentuk, Vacuum Thermoforming, Termoplastik.*

PENGENALAN

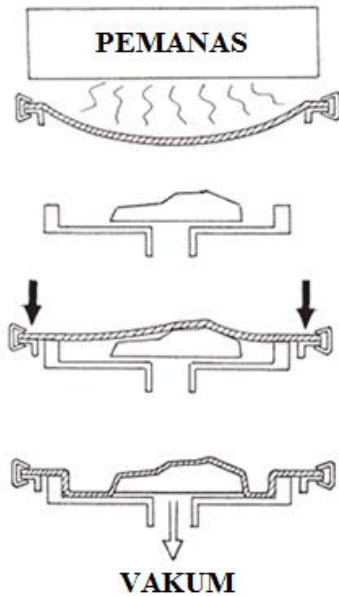
Plastik merupakan bahan sintetik atau semi sintetik yang berasal dari zat organik atau tambahan zat polimer dan sebagainya. Plastik kini menjadi alternatif pembuatan barang keperluan rumah, automotif, barangan elektronik dan sistem pembungkusan. Ini kerana kos bahan plastik lebih murah berbanding dari tembaga atau aluminium serta memiliki sifat unggul iaitu mampu menahan panas, mudah dibentuk, ringan, kuat, tahan karat, lutsinar dan ciri fizikal yang sangat mudah dibezakan [1]. Plastik boleh dibentuk dengan beberapa jenis pengacuan iaitu secara mampatan, suntikan, pindah, penyemperitan, tiup dan pembentukan vakum. Namun pembentukan plastik

yang banyak digunakan dalam industri ialah *thermoforming*. Ini kerana kos peralatan yang murah, menghasilkan kadar pengeluaran tinggi serta tidak memerlukan kemasan permukaan.

Thermoforming adalah proses pembuatan dimana kepingan termoplastik dipanaskan ke suhu pelenturan yang kemudiannya dibentuk pada bentuk tertentu dalam acuan dan dipotong untuk menghasilkan produk yang boleh digunakan [2]. Bahan termoplastik yang biasa digunakan dalam proses *thermoforming* ialah *acetal*, *acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS)*, *acrylic*, *cellulose acetate*, *polycarbonate (PC)*, *polyethylene (PE)*, *polypropylene (PP)*, *polystyrene (PS)*, *polysulfone*, *polivinil klorida (PVC)* dan *polyvinyl acetate* [3]. Terdapat beberapa jenis proses *thermoforming* iaitu *in-line thermoforming* atau *roll-fed thermoforming*, pembentukan vakum, pembentukan tekanan dan

Corresponding Author: Nor Mahani Md Rasidi, Politeknik Sultan Abdul Halim Mu'adzam Shah, Jabatan Kejuruteraan Mekanikal, Politeknik Sultan Abdul Halim Mu'adzam Shah, Bandar Darulaman, 06000 Jitra, Kedah, Malaysia, +60126116406.

pembentukan acuan sepadan [3][4]. Proses *thermoforming* jenis pembentukan vakum merupakan proses pembentukan di mana lembaran termoplastik dipanaskan ke suhu herotan haba (*Heat Distortion Temperature, HDT*) diikuti proses pemvakuman pada rongga cetakan sehingga membentuk acuan. Rajah 1 menunjukkan prinsip kerja proses *thermoforming* jenis pembentukan vakum.



Rajah 1 Prinsip kerja proses *thermoforming* jenis pembentukan vakum

KAJIAN LITERATUR

Mesin *vacuum thermoforming* merupakan mesin yang menggunakan kaedah *thermoforming* dalam proses pembentukan lembaran plastik menjadi suatu produk [2]. Dalam mereka bentuk sebuah mesin *thermoforming*, terdapat empat komponen utama yang perlu di analisis iaitu [5][6]:

i. *Kebuk Vakum*

Digunakan untuk meletakkan cetakan atau acuan yang akan dibentuk. Mempunyai lubang-lubang yang berfungsi sebagai jalan udara yang akan divakum.

ii. *Kotak Pemanas*

Digunakan untuk memanaskan plastik yang akan dibentuk sebelum proses pencetakan dilakukan.

iii. *Pemanas*

Terdiri dari elemen besi pemanas sebagai sumber panas yang berdaya 300 watt, 220 volt.

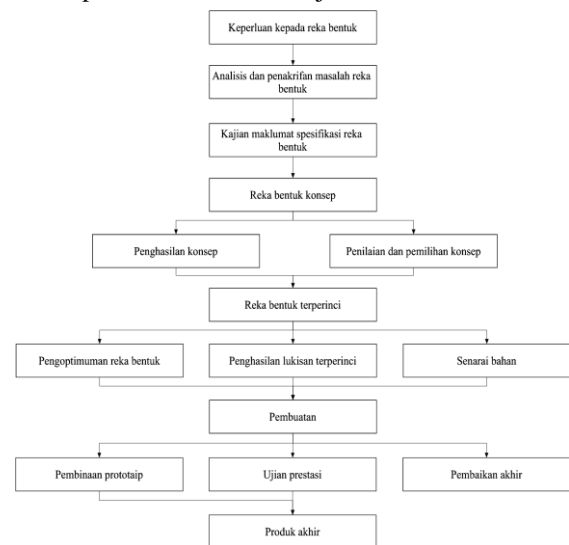
iv. *Penjepit Plastik*

Digunakan sebagai penjepit plastik yang akan dibentuk ke acuan atau cetakan.

Jadual 1 menunjukkan perbandingan spesifikasi mesin *vacuum thermoforming* yang berada di pasaran.

METODOLOGI

Kajian reka bentuk digunakan bagi membangunkan Mesin *Flip Thermoforming*. Rajah 2 menunjukkan aliran proses keseluruhan kajian.
































Rajah 2 Aliran metodologi kajian rekabentuk

i. *Kenalpasti Keperluan*

Dalam fasa ini kajian perbandingan spesifikasi mesin telah dibuat bagi memastikan mesin dibangunkan dengan lebih terancang dan sistematik. Terdapat tiga faktor keperluan spesifikasi yang dikenalpasti adalah reka bentuk, fungsi dan kaedah pengendalian.

Jadual 1 Perbandingan spesifikasi mesin *vacuum thermoforming*

Nama Mesin	<i>Formech 508FS Vacuum Forming</i>	<i>Small Desktop Table Vacuum Forming Machine Mini</i>	<i>CR Clarke Vacuum Former 725 FLB</i>
Rajah			
Tekanan Vakum	-5 bar	Tiada keterangan	-0.86 bar
Dimensi	757x1474x1140 (mm)	400x600 (mm)	615x880x590 (mm)
Voltage	208-240 V	Tiada Keterangan	220-240 V
Berat	125kg	50kg	56kg
Tebal plastik maksimum	6mm	Tiada Keterangan	6mm
Harga	RM51220.29	RM 24,058.73	RM11003.22

MORPHOLOGICAL MIND MAPPING (MoMiMa)					
BAB	ITEM PEMETAAN MINDA BERSTRUKTUR	DIAGRAM KENALPASTI			
		IDEA 1	IDEA 2	IDEA 3	IDEA 4
1 PENGENALAN	PERNYATAAN MASALAH	 Saiz mesin besar, tinggi, berat, vakum besar & pemanasan tidak sekata	 Saiz bingkai yang besar serta membazir bahan  Bingkai tidak bercantum dengan kerangka	 Bingkai pembentuk yang perlu dipegang dengan dua tangan	 Alat pengepit dan bingkai tidak selari dan sukar dikunci
	OBJEKTIF	Mereka bentuk mesin <i>rotary thermoforming</i> bagi proses pembentukan vakum		Mereka bentuk mesin <i>flip thermoforming</i> bagi proses pembentukan vakum	
	SKOP	Saiz kecil, ringan, mudah dibawa & diselenggara	Saiz bingkai A4,	Diselenggara seorang sahaja, mekanisme flip dari bahagian pemanas ke vakum, operasi mendatar, proses cepat, boleh dioperasikan hanya sebelah tangan sahaja	Alat pengepit dari pengunci yang sesuai dengan bingkai mesin
2 KAJIAN LITERATUR	REKA BENTUK MESIN	 Contact heater mechanisms for thermoforming machines (US4079232A)	 Triple sheet thermoforming US6294114B1	 Nanjing BNY Science Technology	 CR Clarke Vacuum Former 725 FLB
	REKA BENTUK SISTEM PEMANAS				
	REKA BENTUK BINGKAI				
3 METODOLOGI	LAKARAN REKA BENTUK 1 (LERAIAN KOMPONEN)				
	LAKARAN REKA BENTUK 2 (PERCANTUMAN KOMPONEN)				
4 KEPUTUSAN	PEMILIHAN LAKARAN REKA BENTUK PROJEK				
	PEMILIHAN BAHAN TAJUK PROJEK	Kayu	Stainless steel	Keluli	Bahan termoplastik – PP, PS, PET

Rajah 3 Teknik MoMiMa

Spesifikasi reka bentuk adalah merangkumi saiz keseluruhan mesin, bingkai, kebuk pemanas, kebuk vakum, kuasa pemanas dan kuasa vakum. Spesifikasi fungsi adalah mekanisme pergerakan komponen mesin dalam peralihan fasa pemanasan ke fasa penyedutan vakum. Manakala spesifikasi pengendalian adalah kaedah mengoperasikan mesin.

ii. Penakrifan Masalah

Fasa ini merangkumi proses penyelidikan untuk memahami dengan lebih terperinci tentang kelemahan mesin sedia ada. Dua faktor kelemahan

yang dikaji adalah reka bentuk mesin dan kualiti hasil produk. Kajian pemerhatian telah dibuat terhadap pelaksanaan amali dan laporan amali bagi kursus DJC3032 *Plastic Workshop Practice*.

iii. Reka bentuk konsep – Pemilihan dan penghasilan

Fasa ini melibatkan proses penghasilan konsep atau idea bagi menyelesaikan masalah yang dihadapi.

Pada peringkat ini daya pemikiran kreatif dan inovatif diperlukan untuk menghasilkan konsep yang baik. Penilaian perlu dilakukan untuk menentukan konsep yang memenuhi kriteria reka bentuk. Teknik *Morphological Mind Mapping* (MoMiMa) (Rajah 3) telah digunakan bagi menjana dan memilih idea yang terbaik bagi reka bentuk mesin. Manakala lukisan teknikal dilakukan menggunakan perisian *Autodesk Inventor*.

iv. *Sintesis/ Reka Bentuk Terperinci*

Fasa ini melibatkan proses penentuan dan kajian tentang proses pembuatan, permodelan, penentuan saiz dan kos.

v. *Pembinaan Prototaip*

Prototaip merupakan produk yang serupa atau hampir menyerupai produk yang sebenar yang direka bentuk. Peranan prototaip adalah untuk menguji dan menilai keberkesanan dan kelemahan reka bentuk sebelum proses pembuatan produk dilakukan. Fasa pembinaan prototaip melibatkan aktiviti fabrikasi bagi membina membina dan menghasilkan mesin prototaip mengikut spesifikasi dan perancangan yang telah ditetapkan pada fasa sebelum ini.

vi. *Pengujian Prototaip*

Dalam fasa ini prototaip yang telah siap akan diujilari prestasinya dalam aspek penghasilan kualiti produk bagi proses pembentukan vakum. Prestasi yang diuji adalah tahap kecekapan prototaip terhadap faktor suhu dan penyedutan. Parameter yang dianalisis adalah suhu haba herotan, tempoh pemanasan dan tempoh pemvakuman optimum bagi bahan termoplastik bersaiz 210mm x 297m jenis PET, PP dan PS pada ketebalan di antara 0.4mm hingga 1.0mm.

DAPATAN DAN ANALISA DATA

Beberapa dapatan yang diperolehi hasil penyelidikan reka bentuk adalah seperti berikut:

i. *Kenalpasti Keperluan*

Jadual 2 menunjukkan spesifikasi mesin yang telah ditentukan bagi membangunkan mesin *flip thermoforming*.

Jadual 2 Spesifikasi mesin *flip thermoforming*

Spesifikasi	Dimensi
Saiz keseluruhan mesin	610mm (panjang) x 457mm (lebar) x 229mm (tinggi)
Saiz bingkai	210mm x 297mm
Saiz kotak pemanas	170mm x 271mm
Saiz kebuk vakum	161mm x 251mm

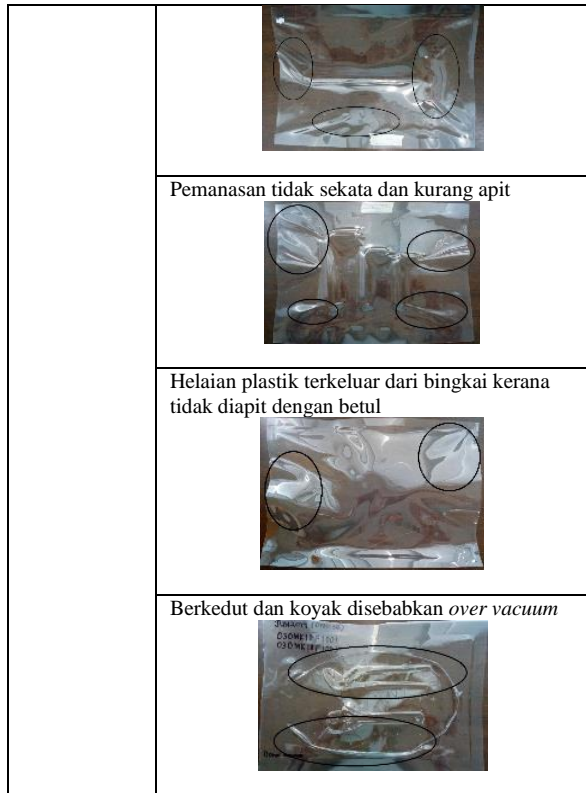
Kuasa pemanas	808 watt
Kuasa vakum	1200 watt

ii. *Penakrifan Masalah*

Beberapa kelemahan mesin sedia ada yang telah dikenalpasti adalah seperti ditunjukkan dalam Jadual 3.

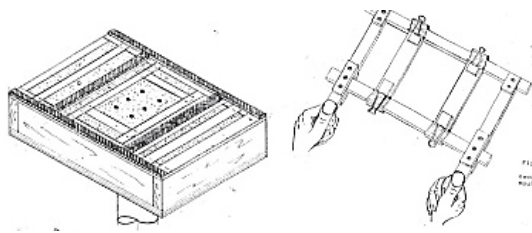
Jadual 3 Kelemahan mesin sedia ada

Faktor	Kelemahan
Reka bentuk mesin	Saiz mesin besar, tinggi, berat dan vakum besar 
	Saiz bingkai yang besar serta membazir bahan 
	Bingkai tidak bercantum dengan kerangka 
	Bingkai pembentuk yang perlu dipegang dengan dua tangan 
	Alat pengepit dan bingkai tidak selari dan sukar dikunci 
Kualiti hasil produk	Terlebih vakum – koyak disebabkan acuan melekat 
	Kurang bentuk – tidak mencapai suhu pemanasan



iii. Reka bentuk konsep – Pemilihan dan penghasilan

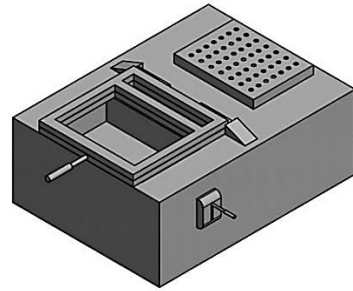
Rajah 4 menunjukkan lakaran idea konsep yang telah dihasilkan dari penggunaan teknik MoMiMa. Kelebihan teknik MoMiMa adalah pengkaji tidak perlu menghasilkan banyak idea lakaran kerana analisis keperluan spesifikasi telah dibuat terlebih dahulu.



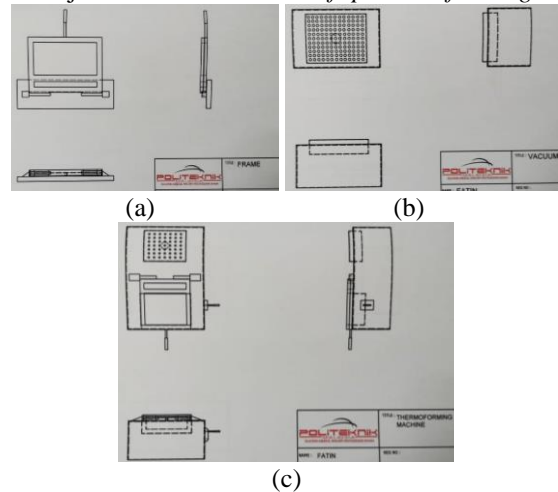
Rajah 4 Lakaran idea mesin

iv. Sintesis/ Reka Bentuk Terperinci

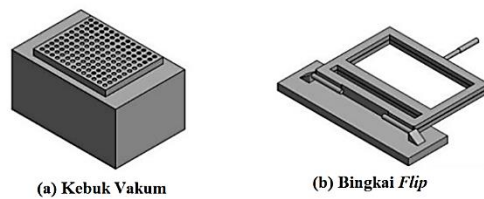
Model mesin *flip thermoforming* bagi proses pembentukan vakum ditunjukkan dalam Rajah 5. Manakala Rajah 6 pula menunjukkan lukisan 2D dan Rajah 7 menunjukkan lukisan 3D bagi komponen mesin *flip thermoforming* yang direka bentuk. Kos pembangunan mesin ditunjukkan dalam Jadual 4.



Rajah 5 Lukisan 3D mesin *flip thermoforming*

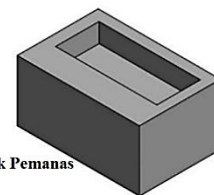


Rajah 6 Lukisan 2D (a) Kerangka mesin (b) Kebuk vakum (c) Mesin *flip thermoforming*



(a) Kebuk Vakum

(b) Bingkai Flip



(c) Kebuk Pemanas

Rajah 7 Lukisan 3D

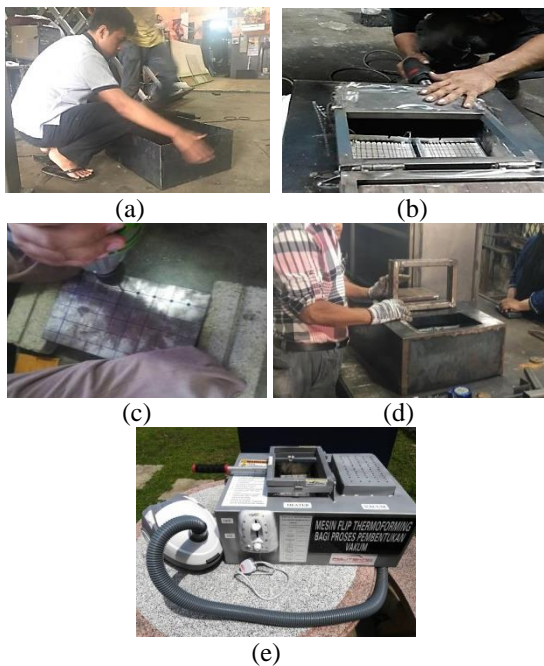
Jadual 4 Kos bahan

Bil .	Bahan-Bahan	Kos / unit (RM)	Unit	Jumlah
1.	Mild steel pipe 1" x 1" (1.2)	28.00	1	28.00
2.	Mild steel plat 3 x 7 (1.2)	98.00	1	98.00
3.	Cushion kitchen sheet 60 cm x 2m	5.00	1	5.00
4.	Spray paint silver	5.57	2	11.14
5.	Door hinge 3"	3.68	1	3.68
6.	Door handle	2.36	1	2.36
7.	MAG vacuum	115.00	1	115.00
8.	Pensonic toaster	42.90	1	42.90
9.	MAG toaster	48.90	1	48.90

10.	BOSCH grander	105.00	1	105.00
11.	Mata potong	25.00	1	25.00
12.	Drill besi (5mm)	4.00	2	8.00
13.	Clip bont	10.00	4	40.00
14.	Kertas pasir	2.10	1	2.10
Jumlah Keseluruhan Kos Bahan				535.08

v. *Pembinaan Prototaip*

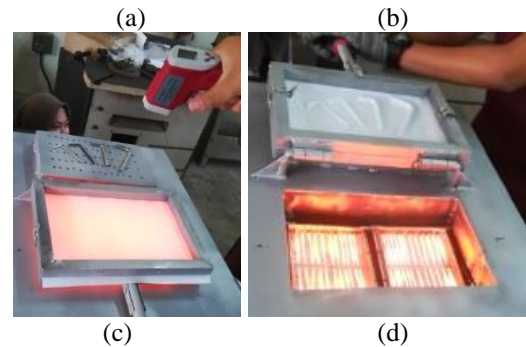
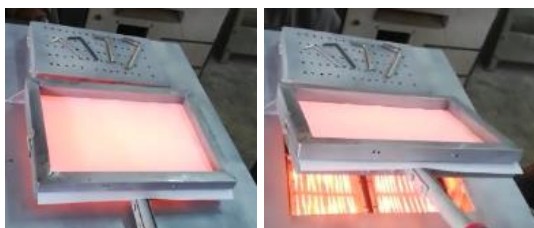
Proses pembinaan prototaip terbahagi kepada lima fasa fabrikasi iaitu fabrikasi kerangka mesin, sistem pemanas, sistem vakum, mekanisme flip dan pemasangan komponen. Fasa fabrikasi melibatkan penggunaan beberapa proses seperti memotong, mencanai, menggerudi, mengimpal, menanda dan mengecat. Rajah 7 menunjukkan di antara fasa fabrikasi dalam pembangunan prototaip mesin *flip thermoforming*.



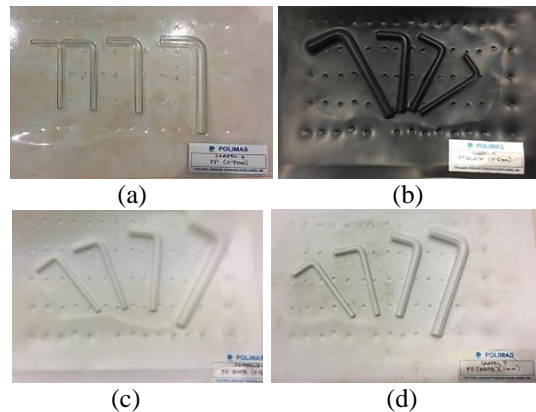
Rajah 7 Fasa fabrikasi (a) Kerangka mesin, (b) Sistem pemanas, (c) Sistem pemvakuman, (d) Mekanisme flip (e) Pemasangan komponen

vi. *Pengujian Prototaip*

Pengujian prestasi prototaip mesin *flip thermoforming* telah dilaksanakan di Bengkel Kepingan Logam, POLIMAS. Beberapa proses pengujian ditunjukkan dalam Rajah 8. Manakala Rajah 9 menunjukkan kualiti hasil produk dari penggunaan Mesin *Flip Thermoforming*.



Rajah 8 Proses pengujian (a) Fasa pemanasan (b) Fasa peralihan (c) Pengukuran suhu (d) Fasa pembentukan vakum.



Rajah 9 Hasil produk (a) PET, (b) PS Hitam, (c) PS Putih 0.4mm dan (d) PS Putih 1.0mm

KESIMPULAN

Dari reka bentuk yang telah dibangunkan mendapati Mesin *Flip Thermoforming* dapat berfungsi sebagai alat bagi proses *thermoforming* pembentukan vakum. Hasil ujilari prototaip mendapati empat komponen utama mesin iaitu kebuk vakum, kotak pemanas, pemanas, dan penjepit plastik dapat beroperasi dengan baik. Tahap keberkesanan mesin adalah baik kerana dapat digunakan bagi mengukur tiga parameter iaitu suhu herotan haba, tempoh pemanasan dan tempoh vakum bagi beberapa bahan termoplastik seperti PET, PP dan PS pada ketebalan yang berbeza. Dalam proses pengajaran dan pembelajaran, mesin ini sesuai dijadikan alat bantu mengajar bagi kursus yang melibatkan proses *thermoforming* jenis pembentukan vakum.

RUJUKAN

[1] K. Abdul Ghani, Y. Eflita, and W. Dwi Basuki, "Mampu Bentuk Plastik Pada Proses Vacuum Forming Dengan Variasi Tekanan 0.979 bar, 0.959 bar, 0.929 bar, 0.909 bar Pada Temperatur 200oC," *J. Tek. Mesin*, vol. 2, no. 2, pp. 120–128,

- 2014.
- [2] D. A. Munandar and F. Haidi, "Rancang Bangun Mesin Vacuum Forming," in *Seminar Nasional Teknik Mesin*, 2018, pp. 484–493.
- [3] D. Cahyadi, N. Nurabdiansyah, and M. Farid, "Studi Perancangan Alat Cetak Pembuat Kemasan Thermoplastic Bagi IKM Dengan Metode Vacuum Forming," *J. Tanra*, vol. 4, no. 2, pp. 45–61, 2017.
- [4] D. G. Kakadiya, S. B. Sorathiya, N. K. Dobariya, B. E, and M. Engineering, "Design and Fabrication of Automatic Plastic Cup Thermoforming Machine," *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 5, no. 2, pp. 425–429, 2018.
- [5] A. M. Prakash, P. S. Mahadeo, N. G. Vitthal, D. Ramchandra, and G. P. Ashok, "Design & Development of Vaccum Forming Machine," no. 1, pp. 20–24, 2016.
- [6] V. S. M. Sreedhara and G. Mocko, "Control of thermoforming process parameters to increase quality of surfaces using pin-based tooling," *Proc. ASME Des. Eng. Tech. Conf.*, vol. 4, no. September, 2015.