

Kajian Tahap Kecekapan Mesin *Flip Thermoforming* Terhadap Faktor Suhu Dan Penyedutan Bagi Proses Pembentukan Vakum

Nor Mahani Md Rasidi, Nur Afiqah Azmi, Nor Adibah Mim Idil Fahlifi dan Mohamad Iqmal Syauqi Mohamad Suhaimi

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

Abstrak : Pembentukan Termal Vakum (*vacuum thermoforming*) merupakan proses pembentukan di mana lembaran termoplastik dipanaskan ke suhu herotan (HDT) diikuti proses pemvakuman pada rongga cetakan sehingga membentuk acuan. Hasil ujikaji menggunakan mesin terdahulu mendapati produk yang dihasilkan mengalami kecacatan seperti koyak, bentuk tidak sekata, berkedut, renyuk dan acuan melekat pada plastik disebabkan faktor terlebih vakum, tidak mencapai suhu herotan, kurang apitan serta suhu pemanasan tidak stabil. Oleh itu, sebuah Mesin *Flip Thermoforming* telah direka bentuk yang menggunakan mekanisme flip dari bahagian pemanas ke bahagian vakum. Spesifikasi reka bentuk mesin ini adalah berdimensi 610mm (panjang) x 457mm (lebar) x 229mm (tinggi), kuasa pemanas 808 watt dan kuasa vakum 1200 watt. Kecekapan mesin ini telah diuji semasa proses pembentukan vakum iaitu pada faktor suhu dan penyedutan manakala parameter yang diukur adalah suhu herotan (HDT), tempoh pemanasan (t_H) dan tempoh vakum (t_V). Sampel pengujian yang digunakan berdimensi 210mm x 297mm iaitu termoplastik jenis *polyethylene terephthalate* (PET) tebal 0.7mm, *polypropylene* (PP) bukan lutsinar tebal 0.4mm, *black polystyrene* (PS) tebal 0.5mm dan *white polystyrene* (PS) tebal 0.4mm dan 1.0mm. Hasil ujikaji sampel menggunakan Mesin *Flip Thermoforming* mendapati proses pembentukan vakum telah berjaya menghasilkan pembentukan acuan yang baik. Dapatan menunjukkan nilai parameter terbaik bagi proses pembentukan vakum menggunakan Mesin *Flip Thermoforming* adalah; PET (HDT = 254°C, t_H = 38 saat, t_V = 25 saat), PP (HDT = 311°C, t_H = 36 saat, t_V = 15 saat), PS hitam (HDT = 124°C, t_H = 36 saat, t_V = 15 saat), PS putih 0.4mm (HDT = 183°C, t_H = 26 saat, t_V = 16 saat), dan PS putih 1.0mm (HDT = 205°C, t_H = 45 saat, t_V = 18 saat).

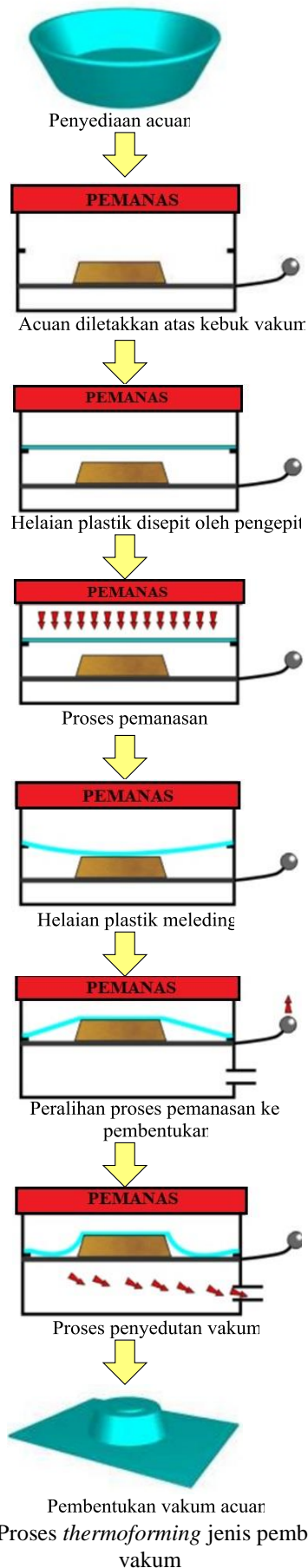
Kata Kunci : *Vacuum Thermoforming, Kecekapan, Suhu, Penyedutan, Mesin Flip Thermoforming.*

PENGENALAN

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 [1]. *Thermoforming* banyak digunakan dalam industri pembungkusan makanan, pembuatan produk farmasi dan elektronik, mainan dan pelbagai lagi produk dengan bahan plastik [2]. Termoplastik ialah plastik yang menjadi lembut apabila dipanaskan dan menjadi keras apabila sejuk. Beberapa sifat termoplastik adalah ringan, mudah diregang, boleh lentur, lembut serta boleh dibentuk berulang kali.

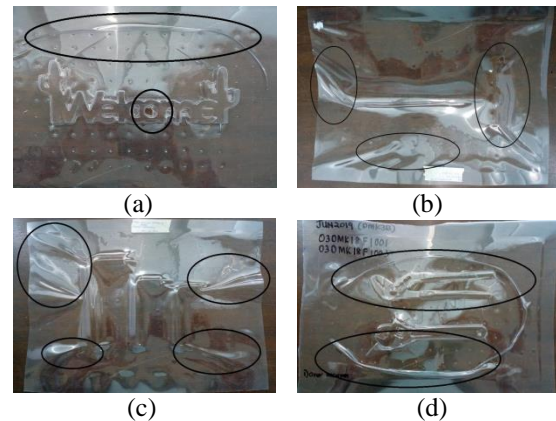
Terdapat tiga jenis proses *thermoforming* iaitu pembentukan vakum, pembentukan tekanan dan pembentukan acuan sepadan [2] [3]. Proses *thermoforming* jenis pembentukan vakum merupakan proses pembentukan di mana lembaran termoplastik dipanaskan ke suhu herotan haba (*Heat Distortion Temperature, HDT*) diikuti proses pemvakuman pada rongga cetakan sehingga membentuk acuan. Terdapat lapan langkah dalam proses *thermoforming* jenis pembentukan vakum iaitu seperti Rajah 1.

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.



Rajah 1 Proses *thermoforming* jenis pembentukan vakum

Dalam proses *thermoforming*, terdapat beberapa masalah yang sering berlaku sehingga menjejaskan kualiti hasil produk. Di antaranya adalah plastik terkoyak disebabkan acuan melekat kerana tidak mencapai suhu pemanasan optimum, ketidaksesuaian jenis bahan acuan dan termoplastik, serta tempoh pemanasan dan penyedutan vakum yang tidak tepat [3]. Ini terbukti hasil dari pemerhatian laporan amali pelajar yang mengikuti amali bengkel *thermoforming* bagi kursus DJC 3032 *Plastic Workshop Practice* di Politeknik Sultan Abdul Halim Mu'adzam Shah (POLIMAS). Rajah 2 menunjukkan beberapa jenis kecacatan yang terhasil dari amali bengkel *thermoforming*.



Rajah 2 (a) Koyak – *overvacuum*, (b) Kurang bentuk – tidak mencapai suhu pemanasan optimum, (c) Kurang apit, (d) Berkedut

Bagi mengatasi masalah ini, antara faktor yang perlu dikaji adalah reka bentuk komponen mesin, kecekapan proses, faktor bahan, tempoh dan suhu optimum bagi peralihan proses pemanasan ke penyedutan, haba panas bahan termoplastik, kadar tekanan dan tempoh penyedutan vakum serta kuasa alat pemanas [3]. Oleh itu, objektif kajian ini adalah mengkaji tahap kecekapan mesin *flip thermoforming* dalam proses pembentukan vakum dengan mengujilari mesin serta mendapatkan parameter suhu haba herotan serta tempoh optimum bagi proses pemanasan dan penyedutan vakum.

KAJIAN LITERATUR

Kecekapan sesebuah mesin boleh dinilai berdasarkan kefungsiannya dan keberhasilan produk. Kefungsiannya merujuk kepada keupayaan mesin dalam melaksanakan tugas mengikut tujuannya dicipta. Bagi kefungsiannya reka bentuk mesin *flip thermoforming* jenis pembentukan vakum, terdapat lima bahagian utama mesin iaitu [4]:

- i. Kebuk Vakum - berfungsi untuk meletakkan cetakan atau acuan yang akan dibentuk

- ii. Kebek Pemanas - berfungsi untuk memanaskan plastik yang akan dibentuk sebelum dilakukan proses pencetakan
- iii. Vakum - berfungsi menghasilkan tekanan vakum sehingga plastik membentuk cetakan atau acuan
- iv. Pemanas - berfungsi sebagai elemen pemanas yang ada pada kebuk pemanas
- v. Pengepit Plastik - berfungsi untuk memegang kepingan plastik yang akan dibentuk ke cetakan atau acuan

Manakala kefungsiian operasi mesin *flip thermoforming* pula merujuk kepada keupayaan mesin melakukan proses pembentukan vakum dengan mengujilari serta mendapatkan beberapa parameter seperti masa pemanasan, kuasa pemanasan elektrik, kuasa penggerak acuan, masa vakum dan tekanan vakum [1]. Paramater kawalan dan kualiti yang boleh digunakan adalah bergantung kepada jenis alatan, acuan dan geometri produk [1]. Parameter yang mempengaruhi kualiti penghasilan produk adalah bahan termoplastik, ketebalan helaian plastik, suhu pemanasan [4], tempoh pemanasan, tempoh penyedutan [3], tekanan vakum, bentuk acuan, tekanan udara dan bilangan pemanas [5]. Bagi pembentukan vakum menggunakan mesin *thermoforming*, ketebalan helaian termoplastik yang disarankan adalah antara 0.35mm hingga 18mm [6]. Manakala suhu pembentukan minimum adalah 150°C [7]. Jadual 1 menunjukkan perbandingan parameter termoplastik yang sesuai bagi proses pembentukan vakum.

Jadual 1 Parameter termoplastik bagi proses pembentukan vakum [5],[8][9][10]

Jenis Termoplastik	Suhu bagi Herotan Haba, HDT (°C)	Pembentukan Vakum Terbaik		
		Tebal (mm)	Tempoh Pemanasan (saat)	Suhu (°C)
Polyethylene Terephthalate (PET)	100 - 300	0.25 & 0.35	200	80-120 [8] 160-180[9]
		1.0	30	
		1.5	45	
		2.0	60	
		3.0	90	
Polypropylene (PP)	110 - 240	4.0	120	170-200[9]
		1.0	50	
		1.5	75	
		2.0	100	
		3.0	150	
Polystyrene (PS)	150 - 210	4.0	200	165-192[10]
		1.0	30	
		2.0	45	
		3.0	60	
		4.0	90	

Keberhasilan pula merujuk kepada kualiti keluaran produk yang terhasil dari mesin yang digunakan. Keberhasilan proses *thermoforming* jenis pembentukan vakum boleh dinilai secara kualitatif

iaitu berdasarkan pemerhatian terhadap kualiti permukaan hasil cetakan [5]. Jenis skala penilaian yang boleh digunakan ditunjukkan pada Jadual 2 dan Jadual 3.

Jadual 2 Skala Jenis I [3]

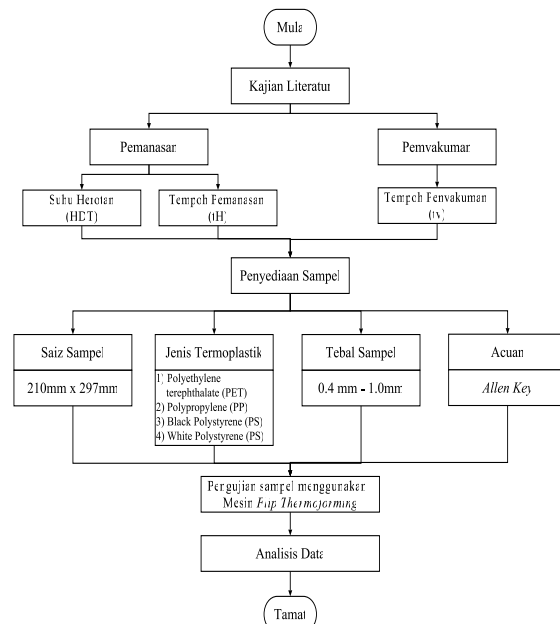
Tahap	Huraian
Baik	Jika hasil bentuk dari kebuk vakum tiada kecacatan bentuk.
Cacat	Jika bahan termoplastik melekat pada cetakan permukaan plat.
Plastik putus	Jika plastik melekat pada bahagian pembentukan semasa mekanisme berputar plastik putus.
Pembentukan kondensasi	Berlaku kondensasi sehingga merosakkan lapisan permukaan bahagian pembentuk.

Jadual 3 Skala Jenis II [5]

Skala	Huraian	Bentuk
4	Permukaan tepat	
3	Undulasi terhad	
2	Undulasi ketara	
1	Tiada interpolasi	

METODOLOGI

Kajian eksperimen digunakan bagi menguji kecekapan mesin *flip thermoforming* terhadap faktor suhu dan penyedutan bagi proses pembentukan vakum. Rajah 3 menunjukkan aliran proses keseluruhan kajian.



Rajah 3 Aliran metodologi kajian

Dalam pengujian ini, alat yang digunakan untuk proses pembentukan vakum adalah mesin *flip thermoforming* seperti Rajah 4. Manakala alat termometer inframerah digunakan bagi mengukur

suhu pada 50°C hingga 550°C (Rajah 5). Acuan cetakan yang digunakan adalah allen key (Rajah 6).



Rajah 4 Mesin flip thermoforming



Rajah 7 Perletakan helaian termoplastik



Rajah 5.0 Termometer inframerah

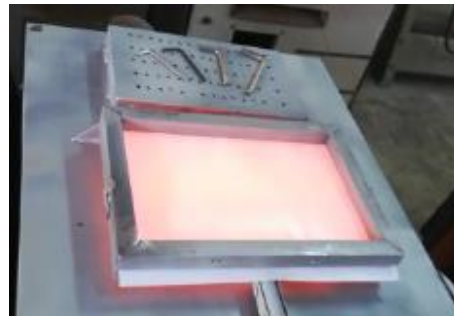


Rajah 6 Acuan ujikaji

Tiga parameter yang diukur adalah suhu herotan (HDT, °C), tempoh pemanasan (t_H , saat) dan tempoh vakum (t_V , saat). Berikut adalah prosedur pengujian:

- i. Sediakan sampel termoplastik saiz 210mm x 297mm
- ii. Letakkan acuan di atas kebuk vakum
- iii. Kepitkan helaian termoplastik di bingkai flip dan pastikan diikat kemas (Rajah 7)

- iv. Ambil bacaan suhu sebelum suis pemanas dihidupkan
- v. Hidupkan suis pemanas, vakum dan jangka masa
- vi. Biarkan sampel plastik dipanaskan (Rajah 8) di kebuk pemanas sehingga berlaku ledingan (Rajah 9)

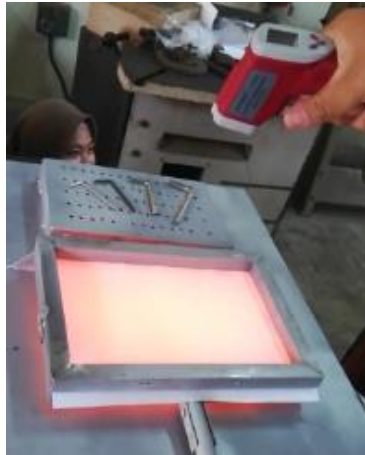


Rajah 8 Pemanasan helaian termoplastik



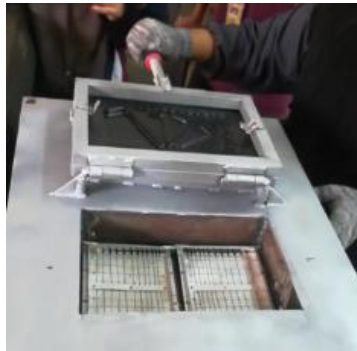
Rajah 9 Proses ledingan helaian termoplastik

- vii. Ambil bacaan suhu dan masa ketika helaian plastik telah meleding (Rajah 10)



Rajah 10 Pengukuran suhu

- viii. Alihkan bingkai dari kebek pemanas ke kebek vakum (Rajah 11)



Rajah 11 Proses pembentukan vakum

- ix. Ambil dan catat bacaan masa bagi tempoh proses vakum (Rajah 12)

NO SAMPEL	JENIS PLASTIK	TERBAL SAMPEL (mm)	HEROTAN HABA (°C)		SUHU BAGI HEROTAN HABA, HDT (°C)	TEMPOH PEMANASAN t_H (saat)	TEMPOH VAKUM t_V (saat)	HASIL PRODUK
			SUHU SEBELUM	SUHU SELEPAS				
1								
2								
3								

Rajah 12 Borang ujikaji

DAPATAN DAN ANALISA DATA

Rajah 13 menunjukkan analisis hasil ujikaji kecekapan mesin *flip thermoforming* terhadap faktor suhu dan vakum bagi proses pembentukan vakum. Manakala Rajah 14 (a) hingga (e) menunjukkan kualiti hasil produk dari mesin *flip thermoforming*.



(a)

(b)



(c)

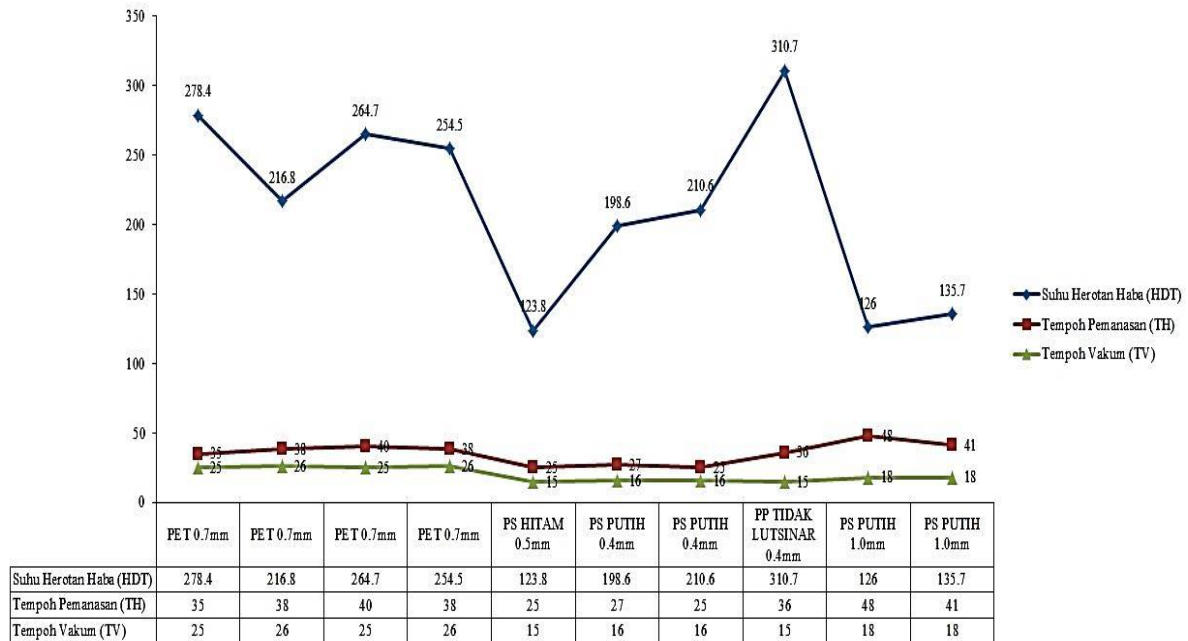
(d)



(e)

Rajah 14 Hasil produk (a) PET, (b) PS Hitam, (c) PS Putih 0.4mm, (d) PP Tidak Lutsinar, (e) PS Putih 1.0mm

Dapatan menunjukkan kualiti produk yang dihasilkan adalah baik serta tiada kecacatan seperti koyak, renyuk atau acuan melekat bagi bahan termoplastik jenis PET dan PS. Ini membuktikan tempoh pemanasan dan tempoh vakum adalah sesuai dengan ketebalan dan suhu bahan termoplastik. Manakala suhu bagi herotan haba yang diukur juga menunjukkan suhu yang sama dengan kajian literatur bagi setiap bahan termoplastik. Nilai parameter terbaik bagi proses pembentukan vakum menggunakan Mesin *Flip Thermoforming* adalah; PET 0.7 mm (HDT = 254°C, t_H = 38 saat, t_V = 25 saat), PP Tidak Lutsinar 0.4mm (HDT = 311°C, t_H = 36 saat, t_V = 15 saat), PS Hitam 0.5mm (HDT = 124°C, t_H = 36 saat, t_V = 15 saat), PS Putih 0.4mm (HDT = 183°C, t_H = 26 saat, t_V = 16 saat), dan PS Putih 1.0mm (HDT = 205°C, t_H = 45 saat, t_V = 18 saat). Namun kualiti bagi bahan PP tidak lutsinar adalah cacat serta undulasi terhad. Ini disebabkan peratus komposisi bahan termoplastik adalah kurang dan menyebabkan pembentukan vakum tidak berlaku sepenuhnya.



Rajah 13 Analisis ujikaji kecekapan mesin terhadap faktor suhu dan vakum

KESIMPULAN

Dari ujikaji yang telah dijalankan mendapati nilai suhu haba herotan dan tempoh optimum bagi proses pemanasan dan penyedutan vakum telah berjaya diperolehi hasil dari mengujilari mesin *flip thermoforming*. Hasil dapatan menunjukkan nilai parameter yang diperolehi adalah sepadan dengan kajian literatur. Selain itu reka bentuk mesin dapat berfungsi mengikut konsep aliran proses pembentukan vakum. Ini menunjukkan tahap kecekapan mesin adalah baik dan boleh digunakan sebagai alat bagi menentukan beberapa parameter bagi pelbagai jenis, saiz dan ketebalan bahan termoplastik. Dalam proses pengajaran dan pembelajaran pula, mesin ini dapat membantu para pensyarah dan pelajar dalam memahami konsep dan aplikasi *thermoforming* jenis pembentukan vakum.

RUJUKAN

[1] W. de O. Leite, J. C. C. Rubio, F. M. Cabrera, A. Carrasco, and I. Hanafi, "Vacuum thermoforming process: An approach to modeling and optimization using artificial neural networks," *Polymers (Basel)*, vol. 10, no. 2, 2018.

[2] 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.

[3] A. Nuari, "Analisis Laju Aliran Panas Pada

Proses Thermoforming Blister Packing Mesin Pam-Pac Bp-102 Dengan 2 Desain," *J. Tek. Mesin*, vol. 6, no. 3, p. 207, 2017.

[4] 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 200°C," *J. Tek. Mesin*, vol. 2, no. 2, pp. 120–128, 2014.

[5] 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.

[6] 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.

[7] O. Eksi and S. Karabeyoğlu, "The Effect of Process Parameters on Thickness Distribution in Thermoforming," *Adv. Sci. Technol. Res. J.*, vol. 11, no. 2, pp. 198–204, 2017.

[8] Formech International Ltd., "A Vacuum Forming Guide," p. 64, 2010.

[9] Simona, "Product Information : Thermoforming, Vacuum Forming, Deep-drawing, Hot-forming, Bending," no. 1, 2005, pp. 1–22.

[10] I. P. Schwerzmann, *Thermoforming A Practical Guide*, 2nd ed. Carl Hanser Verlag GmbH & Company KG, 2018

