

## Pengaruh Serapan Sistem Pendingin pada Shrinkage untuk *Blister* dari PVC

Dicky Antonius<sup>1)\*</sup>, Budiarto<sup>1)</sup>, Benedigtus Tito<sup>2)</sup>

<sup>1,2,3)</sup>Program Studi Teknik Mesin Universitas Kristen Indonesia  
Jalan Maydjen Sutoyo No.2, Jakarta Timur 13650

Email: [dicky.antonius@uki.ac.id](mailto:dicky.antonius@uki.ac.id); [budiarto@uki.ac.id](mailto:budiarto@uki.ac.id); [benedictusprarismatito@gmail.com](mailto:benedictusprarismatito@gmail.com)

doi: <https://doi.org/10.24843/METTEK.2020.v06.i01.p04>

### Abstrak

Proses *thermoforming* dilakukan dengan memanaskan material lembaran plastik kemudian diberi tekanan atau vakum ke rongga cetakan untuk mendapatkan bentuk yang diinginkan. Pada penelitian ini, proses *thermoforming* diaplikasikan untuk membuat *Blister*. Dimana *Blister* adalah tempat memasukan obat berbentuk pila tau kapsul. Temperatur air pendingin (*forming temperature*) diatur dari mulai 19°C, 21°C dan 25°C, sementara temperatur pemanasan (*heating temperature*) disusun dari mulai 110°C, 120°C dan 130°C untuk masing-masing temperatur air pendinginan. Kualitas *Blister* diukur dengan metode *visual*, serta menggunakan jangka sorong digital untuk melihat *shrinkage* (cacat penyusutan) yang mungkin terjadi. Kebocoran *blister* juga dicek dengan menggunakan pompa vakum. Hasil akhir menunjukkan bahwa seiring temperatur air pendingin dinaikkan, maka energi yang dilepas oleh mesin sebagai panas semakin turun diakibatkan perbedaan antara temperatur pemanasan dan pendinginan yang semakin sedikit. Pengujian toleransi ukuran menggunakan jangka sorong memperlihatkan bahwa penyusutan terjauh dialami oleh sampel dengan temperatur pemanasan 110°C, pengujian *visual* juga menyatakan hasil dari sampel pada temperatur pemanasan 110°C tidak terbentuk semuanya. Sampel dengan temperatur pemanasan 120°C dan 130°C mempunyai kualitas yang jauh lebih baik dalam hal toleransi dibandingkan temperatur pemanasan 110°C. Toleransi terbaik ditunjukkan oleh sampel dengan temperatur pemanasan 130°C dan pendinginan 25°C, namun sayangnya, dari pengujian vakum, parameter ini menunjukkan indikasi kebocoran.

**Kata kunci:** *Thermoforming, Blister forming*

### Abstract

*Thermoforming is one of the forming process which heating the material – usually plastic – then pressurized to form the shape. In this research thermoforming processes applied to make a Blister. Blister is one of the medicine container – usually capsule. The forming temperature is set in 19°C, 21°C, and 25°C, meanwhile heating temperature is set in 110°C, 120°C and 130°C. The quality check by visual and using digital caliper to check the shrinkage. Meanwhile, the vacuum pump is used to check the leak of Blister. The result shows that the energy released by the machine is smaller when the forming temperature is increased, caused by the differentiation of the heating temperature and the forming temperature. The highest shrinkage shown in the sample heated at 110°C and formed at temperature 19°C. However, by visual check, the sample heated at 110°C is broken regardless the forming temperature made. Better quality shown in the sample heated at 120°C and 130°C. The lowest shrinkage shown by the sample heated at 130°C and formed at 25°C, however the vacuum test indicated there are leak in the Blister.*

**Keywords:** *Thermoforming, Blister forming*

## 1. PENDAHULUAN

Proses *thermoforming* adalah proses pembentukan material yang dilakukan dengan memanaskan material tersebut, dan kemudian memberikan tekanan vakum pada bagian cetakan, sehingga material yang sudah panas tersebut akan tertarik mengikuti bentuk dari cetakan. Biasanya proses ini dilakukan pada plastik atau karet. Produk umum dari proses ini biasanya berupa printer, pipa, atau *blister* yang merupakan pembungkus dari kapsul [1], [2].

Sama halnya dengan *injection molding*, proses pembentukan ini membutuhkan pendinginan, sehingga material kembali pada temperatur normal dengan bentuk yang sudah diubah sesuai dari cetakannya. Oleh karena itu, jenis cacat dari proses pembentukan ini juga hampir sama dengan jenis cacat pada proses pembentukan dengan metode *molding* lainnya. *Shrinkage* atau biasa dikenal dengan penyusutan ukuran merupakan hal yang sering ditemukan dalam proses *thermoforming*, diikuti dengan kebocoran, dan cacat lainnya.

Beberapa publikasi tentang sistem pembentukan menggunakan cetakan seperti *injection molding*, *blow molding*, dan lainnya, telah menjelaskan bahwa proses pendinginan, baik itu media maupun temperatur pendinginannya akan sangat mempengaruhi cacat dari produk yang mungkin terjadi, baik itu untuk produk dengan logam maupun produk plastik. [3]. Hal yang sama dimungkinkan terjadi pada proses *thermoforming* ini. Oleh karena itu menarik untuk melihat penyelidikan dan penelitian tentang sistem pendingin cetakan dan pengaruhnya pada hasil cetakan

Ramadhan meneliti tentang perbandingan cacat produk plastik yang terjadi pada proses *injection molding* dengan *Cooling Tower* dan dengan menggunakan udara [4]. Penelitian menunjukkan bahwa cacat produk berkurang ketika menggunakan *Cooling Tower* dibandingkan dengan udara. Dengan kata lain penelitian ini sedang mengatakan bahwa jumlah kalor yang terserap pada proses pendinginan akan menunjukkan cacat yang jauh lebih sedikit. Sayangnya penelitian ini tidak memperlihatkan dengan jelas kualitas dari hasil cetakan.

Lebih jauh lagi Estu meneliti tentang pengaruh sistem pendinginan pada produknya berupa *Ts Slug* berbahan PVC dengan proses *injection molding* [5]. Penelitian jelas menunjukkan bahwa kecepatan pendinginan yang berbeda akan menghasilkan penyusutan yang berbeda pula. Dalam penelitian ini dibandingkan 3 jenis media pendingin juga, yaitu MTC, *Cooling Tower* dan *chiller*. *Colling tower* mempunyai kecepatan pendinginan yang lebih cepat dari MTC, namun lebih lambat sedikit dari *chiller*, walau demikian penyusutan terkecil dialami produk dengan pendinginan *cooling tower*. Walau demikian, hal ini akan sulit dikarenakan sistem pendinginan yang diperuntukkan bagi proses *thermoforming* mempunyai ruang yang sedikit terbatas ketimbang dengan proses *injection molding*.

Lebih detil lagi, beberapa peneliti menjelaskan pengaruh tipe saluran pendingin lurus dan *conformal* terhadap cacat yang terjadi. [6], begitu juga pengaruh diameter saluran pendingin terhadap penyusutan produk [7]–[9]. Namun dari beberapa penjelasan yang disediakan penelitian-penelitian ini tidak dijelaskan secara detail berapa kalor yang terserap pada cetakan dan berapa kalor yang terserap pada air pendingin

Beberapa penelitian menunjukkan cara pandang lain untuk mengatasi cacat produk dengan cara melihat pengaruh temperatur pemanasan terhadap hasil penyusutan [10], [11]. Pemanasan dengan temperatur yang tinggi, jelas akan mengakibatkan material berubah pada struktur tertentu, khususnya plastik. Ditambah lagi, perpindahan panas yang terjadi pun akan semakin besar karena proses pendinginan yang diperlukan akan semakin besar. Namun sayangnya ini tidak bisa dijadikan panduan tentang pendinginan yang lebih baik, dikarenakan temperatur pemanasan akan mempengaruhi struktur material ketimbang penyusutannya.

Penelitian terbaru menjelaskan tentang proses *thermoforming* pada produk yang sama dengan penelitian ini – *Blister* [12]. Proses ini menunjukkan jelas pengaruh temperatur *forming* hingga waktu yang dibutuhkan untuk menyusut. Walau demikian, penelitian ini tidak

difokuskan kepada sistem pendinginannya, dikarenakan penelitian ini hanya membandingkan sistem lama dan baru.

Pengubahan struktur pendingin, media pendingin, tipe pendingin, dan lainnya pada dasarnya mempunyai fokus yang sama, yaitu kecepatan pendingin dan juga besar kalor yang diserap oleh sistem pendingin. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memperlihatkan secara detail tentang pengaruh besarnya serapan (persentase) kalor yang diserap oleh sistem pendingin dari *thermoforming* dan pengaruhnya terhadap kualitas cetakan, sehingga ke depan peneliti-peneliti lain dapat memperkirakan sistem pendinginan yang cocok dengan melihat besarnya persentase serapan kalor dari sistem pendingin.

## 2. METODE

### 2.1. Bahan dan Material

Dalam penelitian ini bahan yang digunakan adalah material jenis PVC (*polyvinyl Chloride*) dengan lebar 149mm dan ketebalan 0,35mm. Gambar 1 menunjukkan jenis material tersebut, dan Tabel 1 menjelaskan tentang spesifikasinya



Gambar 1. Spesifikasi material PVC

Tabel 1. Spesifikasi dari Material PVC yang digunakan

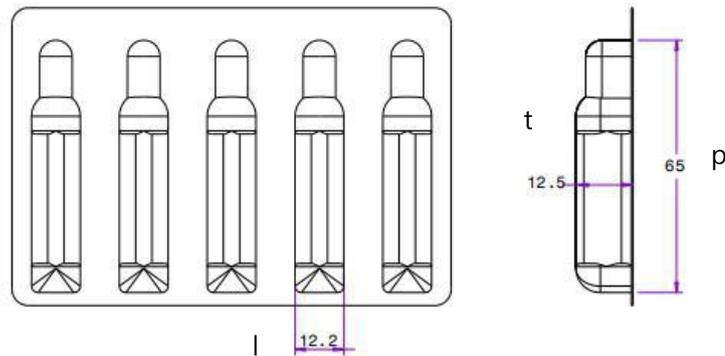
Karakterisasi	Besaran
Tebal Bahan	0.35mm
Massa jenis	1630kg/m <sup>3</sup>
Konduktivitas termal (K)	0,13W/mK
Panas jenis (Cp)	1,259J/KgK[13]

Sementara Mesin yang digunakan adalah mesin Uhlmann UPS B1240, seperti yang tampak pada gambar 2



Gambar 2. Mesin Uhlmann PS B1240

Sebelum masuk ke mesin maka material PVC yang bentuknya masih gulungan besar tersebut, dipotong menjadi dimensi 170 x 100 x 0,35 mm. Sementara setelah masuk mesin maka bentuk spesimen diharapkan membentuk sampel seperti pada gambar 3.



Gambar 3. Dimensi sampel setelah melewati mesin

Dengan p sebagai panjang, l sebagai lebar dan t sebagai tinggi. Pada mesin, temperatur pemanasan diatur mulai 110°C, 120°C dan 130°C, sementara temperatur air pendingin – yang diharapkan jadi temperatur pembentukan (*forming temperature*) – diatur pada 19°C, 21°C dan 25°C dengan *Deionize water* sebagai air pendingin. Penggunaan deionize water dimaksudkan agar tidak terjadi kontaminasi jika terjadi kebocoran pada bagian pendinginan. Masing-masing temperatur pendingin dipasangkan untuk tiap 3 temperatur pemanasan. Jadi parameternya akan terlihat seperti tabel dibawah, berikut dengan penamaannya

Tabel 2. Penamaan dan parameter sampel

Spesimen Uji	Temperatur <i>forming</i> (°C)	Temperatur <i>heating</i> (°C)
A.1	19	110
A.2		120
A.3		130
B.1	21	110
B.2		120
B.3		130
C.1	25	110
C.2		120
C.3		130

Sedangkan sistem pendingin yang digunakan mempunyai volume sebesar 15 liter dengan spesifikasi tertentu. Berikut adalah tabel spesifikasi dari sistem pendinginnya:

Tabel 3. Spesifikasi Sistem pendingin mesin

Spek	Besaran
Debit Air pendingin (Qh)	0,00016 m <sup>3</sup> /s
<i>Dynamic Viscosity</i> ( $\eta$ )	0,00000152 Kgm.s
Media pendingin	Deionize water
Massa Jenis	1000 kg/m <sup>3</sup>
Panjang Saluran pendingin	3m
Diameter saluran pendingin	0,008m
Tebal <i>Forming</i> unit	0,05m

## 2.2. Persamaan

Persamaan yang digunakan dalam hal ini hanyalah kalkulasi untuk memperhitungkan hal-hal yang akan dimasukkan dalam tabel

Untuk memperhitungkan volume, penulis menggunakan rumus:

$$V_{plastik} = p.l.t \quad (1)$$

Dan untuk mencari masa, maka digunakan rumus:

$$m_{plastik} = V_{plastik} \rho_{pvc} \quad (2)$$

Dari pencarian massa diatas, maka akan dicari kalor yang dilepas dari mesin kepada cetakan dengan menggunakan rumus:

$$W = m_{plastik} C_{p\ plastik} (T_2 - T_1) \quad (3)$$

Dimana  $T_1$  adalah temperatur air pendingin (*forming temperature*), dan  $T_2$  adalah temperatur pemanasan (*heating temperature*).

Kemudian untuk mencari kalor yang diserap pada air pendingin, sehingga dapat memprediksi kecepatan pendinginan dan persentase kalor yang terhisap, maka persamaan (2) dapat digunakan untuk menghitung massa air pada sistem pendingin, dan kemudian rumus (3) dapat digunakan kembali untuk mencari kalor yang diserap dan kecepatan pendinginan yang terjadi.

## 2.3. Pengukuran

Pengukuran dilakukan secara *visual* dan dengan jangka sorong digital untuk memperlihatkan penyusutan yang terjadi. Sedang pompa vakum diperuntukkan bagi tes kebocoran pada *blister*.



Gambar 4. Pompa untuk mengetes kebocoran

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

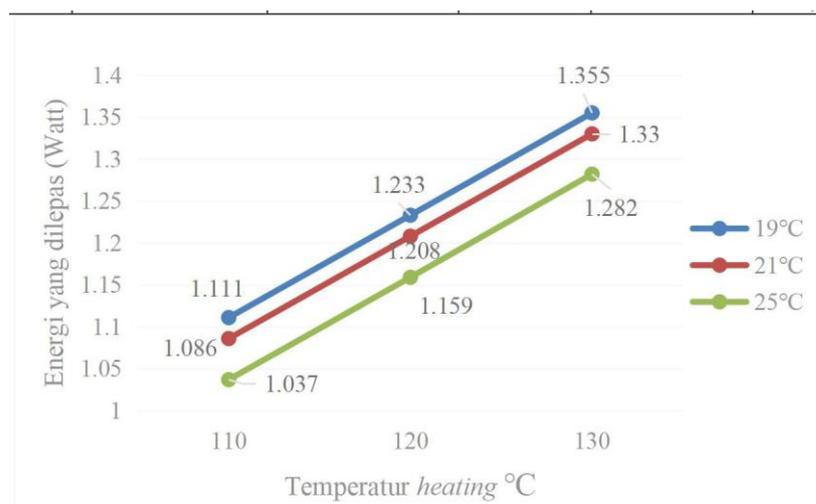
### 3.1. Penyerapan Kalor

Penggunaan rumus (1) menghasilkan volume sebesar  $5,95.10^{-6} \text{ m}^3$ . Volume ini kemudian digunakan untuk menentukan massa dengan menggunakan rumus (2). Hasil ditunjukkan bahwa massa dari tiap lembar spesimen PVC adalah  $9,698.10^{-3} \text{ kg}$ .

Kemudian dengan menggunakan rumus (3), maka kalor yang diserap dan diberikan mesin kepada cetakan dapat diperlihatkan pada Tabel 4 dan Gambar 5 sesuai dengan parameternya masing-masing.

Tabel 4. Hasil penyerapan Kalor yang diserap oleh cetakan

Spesimen Uji	Temperatur <i>forming</i> (°C)	Temperatur <i>heating</i> (°C)	Massa PVC (Kg)	$C_{p\text{plastik}}$ (J/kg°C)	$\dot{W}_{\text{plastik}}$ (Joule)
A.1	19	110	9,698 · 10 <sup>-3</sup>	1259	1111
A.2		120			1233
A.3		130			1355
B.1	21	110			1086
B.2		120			1208
B.3		130			1330
C.1	25	110			1037
C.2		120			1159
C.3		130			1282



Gambar 5. Kalor yang diserap oleh cetakan

Dari grafik, terlihat jelas bahwa, kalor yang diserap oleh cetakan akan semakin besar seiring dengan penambahan temperatur pemanasannya dan dengan pengurangan temperatur pendinginannya (*forming temperature*) dimana hal ini sinkron dengan penelitian-penelitian terdahulu[11]. Hal ini dapat dijelaskan dengan rumus (3) dimana  $T_2$  dinyatakan dengan temperatur pemanasan dan  $T_1$  adalah temperatur pendinginannya. Jika temperatur pemanasan dinaikkan, atau temperatur pendinginan diturunkan, maka perbedaan temperatur yang menjadi pengali akan semakin besar dan berkonsekuensi membesarkan kalor yang diserap.

Untuk mencari kalor yang diserap oleh sistem pendingin, maka dicari dahulu temperatur air pendingin aktual setelah cetakan dibuat selamat 30 menit. Dengan melihat Tabel 3, maka kita akan segera mendapatkan volume dari air yang dipasang  $1,507 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$ . Dengan memakai rumus (2), maka kita akan mendapatkan massa sebesar 0,1507kg. Dengan menggunakan spesifikasi pada Tabel 3 dan rumus (3) akan terlihat seberapa besar kalor yang terserap pada air pendingin. Persentasenya dicari dengan membandingkan kalor yang diserap air pendingin dengan kalor yang diberikan mesin kepada cetakan. Tabel 5 memperlihatkan perbandingan kalor yang diserap air pendingin, dan persentase kalor yang diserap sesuai dengan parameternya masing-masing

Dari Tabel 5 diperlihatkan dengan jelas bahwa temperatur pemanasan 110°C membuat persentase kalor yang terserap pada air pendingin menjadi sangat kecil dibandingkan dengan sampel dengan pemanasan 120°C atau 130°C. Hal ini disebabkan karena pada temperatur 110°C, PVC cenderung menyerap panas ketimbang melepasnya kepada *molding* aluminium

yang didinginkan oleh air pendingin, itulah sebabnya panas yang terserap oleh air pendingin menjadi hanya kisara 17 – 30%. Walau demikian tabel 5 juga memperlihatkan persentase kalor yang diserap oleh air pendingin bertambah seiring temperatur pendinginan dinaikkan. Hal ini disebabkan karena kalor yang diserap oleh cetakan menjadi lebih kecil, sehingga jumlah kalor yang terserap pada air pendingin dengan temperatur pemanasan 110°C nampak seperti membesar, padahal jumlahnya sama.

Tabel 5. Jumlah kalor yang diserap air pendingin berdasarkan parameter sampel

Spesimen uji	Setting Temperatur <i>Forming</i> (°C)	Temperatur air setelah cetakan (°C)	Kalor yang diserap pendingin	Persentase Kalor terserap (%)
A.1	19	19,3	189	17.01
A.2		19,8	504	40.87
A.3		20,1	693.01	51.1
B.1	21	21,6	378	34.8
B.2		22,1	693.01	57.36
B.3		22,7	1071.01	80.34
C.1	25	25,9	567	54.67
C.2		26,4	882.01	76.1
C.3		27,1	1323	100

### 3.2. Visual dan Toleransi

Tabel 6. Cek *visual* untuk setiap parameter

Spesimen uji	Hasil <i>visual</i>
A.1	<i>Pocket</i> tidak terbentuk
A.2	<i>Pocket</i> bagus
A.3	<i>Pocket</i> bagus
B.1	<i>Pocket</i> tidak terbentuk
B.2	<i>Pocket</i> bagus
B.3	<i>Pocket</i> bagus
C.1	<i>Pocket</i> tidak terbentuk
C.2	<i>Pocket</i> tipis
C.3	<i>Pocket</i> bolong

Pengecekan *visual* dilakukan untuk memvalidasi perbandingan kualitas cetakan dengan penyerapan pendinginan yang sudah disebutkan sebelumnya. Dapat diperlihatkan bahwa semua *pocket/blister* yang dipanaskan pada temperatur 110°C dengan *forming* temperature berapapun menghasilkan *pocket* yang tidak terbentuk (*failure*).

Hal ini disebabkan temperatur pemanasan PVC yang dipilih terlalu rendah, sehingga mengakibatkan PVC tidak pada kondisi dapat ditekan (elastis). PVC mempunyai temperatur kerja maksimum pada 110°C, ditambah lagi proses pendinginan yang diberikan pada cetakan mengakibatkan PVC sudah terlebih dahulu dingin sebelum dibentuk sesuai dengan cetakannya. Gambar 6 a menunjukkan kualitas *blister* yang tidak berbentuk pada temperatur pemanasan 110°C.

Gambar 6 b dan c menampilkan hasil dari cetakan *blister* yang dibuat pada temperatur pemanasan 120°C dan 130°C. kedua temperatur pemanasan ini menghasilkan kualitas yang baik secara *visual*.



Gambar 6. Pemeriksaan *visual* untuk temperatur pemanasan a) 110°C b)120°C dan c) 130°C

Tabel pengukuran dengan menggunakan jangka sorong digital diperlihatkan pada Tabel 7. Masing-masing panjang, tinggi dan lebar diperlihatkan pada Gambar 3.

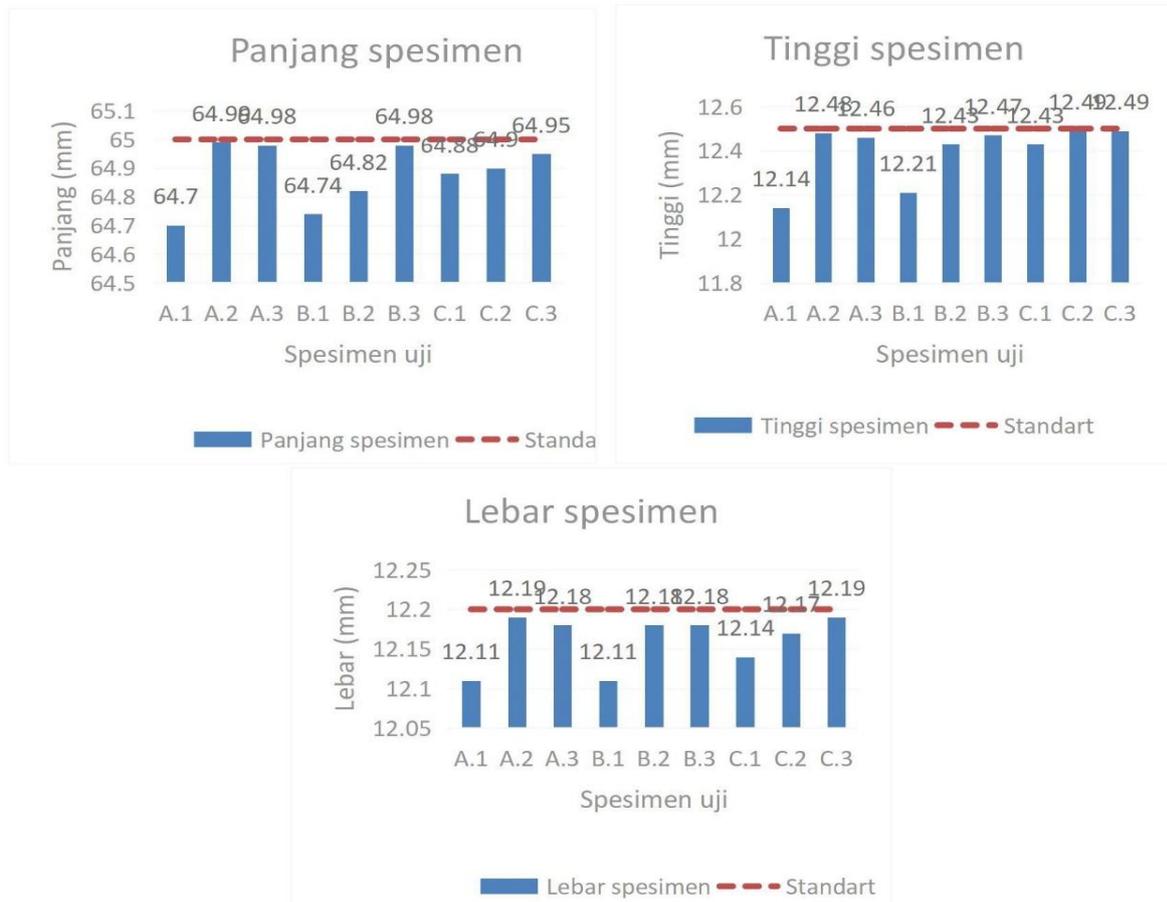
Tabel 7. Pengukuran sampel *blister* dengan jangka sorong dan perbandingannya dengan standar pengukuran

Spesimen uji	Standart pengukuran (mm)			Hasil Pengukuran (mm)		
	Panjang	Tinggi	Lebar	Panjang	Tinggi	Lebar
A.1				64,70	12,14	12,11
A.2				64,99	12,48	12,19
A.3				64,98	12,46	12,18
B.1				64,74	12,21	12,11
B.2	65	12,5	12,2	64,82	12,43	12,18
B.3				64,98	12,47	12,18
C.1				64,88	12,43	12,14
C.2				64,90	12,49	12,17
C.3				64,95	12,49	12,19

Pengukuran menunjukkan bahwa dimensi terjauh dialami oleh sampel *blister* yang dipanaskan dengan temperatur 110°C. Namun, jika dilihat dari penjelasan-penjelasan sebelumnya, baik tentang kalor yang diserap sistem pendingin, serta pemilihan temperatur pemanasan yang terlalu rendah, maka dapat disimpulkan bahwa cacat yang ditemui di sini bukan merupakan jenis *shrinkage* atau penyusutan dimensi, namun lebih kepada pembentukan yang tidak sempurna.

Gambar 8 menunjukkan dengan lebih jelas sejauh mana dimensi aktual hasil pengukuran menyimpang dari standar yang diharapkan untuk dimensi *blister* tersebut. Dimensi yang diharapkan untuk panjang, lebar dan tinggi dari *blister* ditandai dengan garis putus-puts warna merah.

Jika gambar 8 ini dibandingkan dengan Tabel 5, maka dapat disimpulkan bahwa penyerapan kalor diatas 40% menghasilkan dimensi yang tidak terlalu jauh dari standar yang diharapkan, khusus bagi sampel *blister* yang dipanaskan pada temperatur 120°C dan 130°C.



Gambar 8. Perbandingan hasil pengukuran sampel dengan jangka sorong dalam bentuk histogram

### 3.3. Kebocoran

Tabel 8. Pengecekan kebocoran dengan menggunakan pompa vakum pada tiap sampel

Spesimen uji	Vakum	Holding time	Hasil Kebocoran
A.1			Tidak bocor
A.2			Tidak bocor
A.3			Tidak bocor
B.1			Tidak bocor
B.2	20 cmHg	1 menit	Tidak bocor
B.3			Tidak bocor
C.1			Tidak bocor
C.2			Tidak bocor
C.3			Bocor

Tabel diatas memperlihatkan kondisi kebocoran yang dicek untuk setiap parameter *blister*. Pada tabel ini diperlihatkan bahwa sampel C3 (dipanaskan pada temperatur 130°C dan dibentuk pada temperatur 25°C) mengalami kebocoran yang lebih berbentuk bolong-bolong walau pada sisi *visual* dan toleransi sampel ini menunjukkan kondisi yang baik.

Pada Tabel 5 diperlihatkan bahwa penyerapan kalor pada cetakan ini hingga mencapai 100% yang menyatakan bahwa sebenarnya PVC sedang pada tahap terlalu panas sehingga mengakibatkan pori-pori pada lapisan tipis dari *blister*. Kondisi pori ini yang mengakibatkan kebocoran saat pengecekan.

#### 4. SIMPULAN

Penambahan temperatur *forming* temperature akan mengakibatkan pelepasan kalor yang semakin kurang, sementara penambahan temperatur pemanasan akan mengakibatkan kalor yang dilepas oleh mesin semakin tinggi.

Percobaan diatas menunjukkan kesimpulan sebagai berikut bahwa pemilihan temperatur pemanasan yang terlalu rendah akan mengakibatkan pembentukan material yang tidak sempurna pada cetakan.

Percobaan pengukuran toleransi juga menunjukkan bahwa pendinginan yang baik (tidak terlalu cepat dan tidak terlalu lambat) akan menyebabkan penyusutan dimensi (*shrinkage*) yang tidak terlalu jauh. Namun pendinginan yang terlalu tinggi akan menyebabkan pori yang terjadi pada PVC dan mengakibatkan kebocoran.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada

- Universitas Kristen Indonesia yang memfasilitasi penulisan dan penyediaan paper-paper yang disediakan.
- Universitas Udayana yang sudah menyediakan tempat untuk mempublikasikan penelitian saya
- Kepada Benedictus sebagai pribadi yang telah mengambil data yang cukup
- Kepada pihak-pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. L. Throne, *Thermoforming*, Encyclopedia of Polymer Science and Technology, American Cancer Society, 2003.
- [2] J. K. Lee, C. E. Scott, and T. L. Virkler, *Effects of rheological properties and processing parameters on ABS thermoforming*, Polym. Eng. Sci., vol. 41, no. 2, pp. 240–261, 2001.
- [3] A. D. Anggono, *Prediksi Shrinkage Untuk Menghindari Cacat Produk Pada Plastic Injection*, 2005.
- [4] A. I. Ramadhan, E. Diniardi, and M. Daroji, *Analisa Penyusutan Produk Plastik di Proses Injection Molding Menggunakan Media Pendingin Cooling Tower dan Udara dengan Material Polypropylene*, JRST J. Ris. Sains Dan Teknol., vol. 1, no. 2, pp. 65–74, 2017.
- [5] E. Sunarto and I. E. P. M. KKK, “*Pengaruh Proses Pendinginan Terhadap shrinkage dan Dimensi Produk Ts Plug I*” Berbahan PVC pada Injecion Molding, Pros. SENIATI, pp. 235–241, 2018.
- [6] D. HERMANSYAH, *Pengaruh Sistem Pendinginan Lurus, Conformal Laminasi dan Conformal soft Tooling Terhadap Penyusutan Dimensi Produk Pada Mesin Injeksi Plastik*, PhD Thesis, Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2011.
- [7] A. Afendi, *Pengaruh Diameter Saluran Pendingin Ukuran  $\$1/2\$$ ” Dan  $\$1/4\$$ ” Pada Cetakan Soft Tooling Serbuk Alumunium Terhadap Penyusutan Pada Mesin Injeksi Plastik*, PhD Thesis, Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2011.
- [8] F. APRIYANTO, *Pengaruh Diameter Saluran Sistem Pendingian Ukuran 6, 35 mm dan 11, 5 mm Pada Cetakan Conformal Soft Tooling Bahan Kuningan Terhadap Penyusutan Dimensi Produk Pada Mesin Injeksi Plastik*, PhD Thesis, Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2011.
- [9] W. A. W. Ula, *Analisis Perpindahan Panas Pada Pipa Kalor Bertingkat*, J. Mettek J. Ilm. Nas. Dalam Bid. Ilmu Tek. Mesin, vol. 5, no. 2, pp. 74–78, 2019.
- [10] J. Darmawan and B. W. Febriantoko, *Pengaruh Variasi Suhu Terhadap Cacat Short Shot Pada Produk Injection Molding Berbahan Polypropylene (PP)*, PhD Thesis, Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2018.

- [11] D. KURNIAWAN, *Pengaruh Suhu dan Waktu terhadap Hasil Cetak Plastik dengan Mold dari Aluminium Pada Proses Mechanical Thermoforming*, PhD Thesis, Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2011.
- [12] A. Nuari, *Analisis Laju Aliran Panas pada Proses Thermoforming Blister Packing Mesin Pam-pac Bp-102 dengan 2 Desain*, J. Tek. Mesin Mercu Buana, vol. 6, no. 3, pp. 207–214, 2017.
- [13] “Fig.5. Specific heat capacity curve of PVC with rising temperature [11].,” *ResearchGate*. [https://www.researchgate.net/figure/Specific-heat-capacity-curve-of-PVC-with-rising-temperature-11\\_fig5\\_242724319](https://www.researchgate.net/figure/Specific-heat-capacity-curve-of-PVC-with-rising-temperature-11_fig5_242724319) (accessed Mar. 12, 2020).