

Pengaruh Laju Pendinginan Terhadap Penyusutan dan Dimensi Produk Isolasi Gasket Bahan Plastik Pom Pada Proses Cetakan Injeksi

Tri Surawan¹, Rudy Yulianto¹, Nani Kurniawati¹, Aji Digdoyo¹, Eddy Djatmiko²,
Angkit Sabekti², Syahbuddin^{2*}

¹Teknik Mesin, Fakultas Teknik Industri, Universitas Jayabaya, Jl. Raya Bogor Km. 28,8, Jakarta Timur

²Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jl Srengseng Sawah, Jakarta Selatan 14620

*) Corresponding author: syahbuddin5mh@gmail.com

(Received: 7 Oct • Revised: 11 Nov • Accepted: 15 Nov)

Abstract

Insulation Bushing is an insulating product that allows the electrical conductor to pass safely through a grounding barrier such as a transformer case or a circuit breaker. This product is useful to withstand frictional force on a particular axle associated with their matching partner. The problem that often arises is the product defect due to depreciation. This study aims to determine the effect of cooling rate on depreciation and dimension of the product on the injection molding process of insulation bushing with POM plastic material and stainless steel mold material through experimental investigation. Testing begins with mold making and injection machines, then double-injected POM plastic into the first mold by cooling (Chiller and Cooling Tower) and the second one without cooling. Both products compared their depreciation by volume measurement. Measurement of shrinkage results in the outer dimensions of the product taken from three directions: the outer diameter of the lower product (point 1), and the outer diameter of the top product (point 3), and the product height (point 3). The test results showed that the shrinkage and size at each measuring point's dimensions in the Chiller and Cooling Tower testing were smaller than in the non-cooling injection molding test. The results of the mean depreciation measurements on Chiller, Cooling Tower and non-refrigerated are 0,55%; 0,86%; and, 1,41%, while the average dimensions of each Chiller, Cooling Tower and non-refrigerated measuring point are 0,90%; 1,04%; and 1,26%.

Abstrak

Isolasi gasket adalah produk isolasi yang memungkinkan konduktor listrik untuk melewati penghalang pengatur tanah (*ground*) dengan aman seperti transformator atau pemutus sirkuit. Produk ini berguna untuk menahan gaya gesek pada as tertentu yang terkait dengan pasangan yang cocok. Masalah yang sering muncul adalah cacat produk akibat Penyusutan (depresiasi). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh laju pendinginan terhadap penyusutan dan dimensi produk pada proses pencetakan injeksi isolasi gasket dengan bahan plastik POM dan bahan cetakan baja stainless melalui penelitian eksperimental. Pengujian dimulai dengan membuat cetakan dan mesin injeksi, kemudian menyuntikkan plastik POM ke cetakan pertama dengan pendinginan (*Chiller* dan Menara Pendingin) dan yang kedua tanpa pendinginan. Kedua produk membandingkan penyusutannya dengan pengukuran volume. Pengukuran penyusutan menghasilkan dimensi luar produk yang diambil dari tiga arah: diameter luar produk bawah (titik 1), dan diameter luar produk atas (titik 3), dan tinggi produk (titik 3). Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa susut dan ukuran pada dimensi masing-masing titik pengukuran dalam pengujian *Chiller* dan Menara Pendingin lebih kecil daripada pada tes cetakan injeksi non-pendingin. Hasil pengukuran penyusutan rata-rata pada *Chiller*, Menara Pendingin dan tidak didinginkan adalah 0,55%; 0,86%; dan 1,41%, sedangkan dimensi rata-rata masing-masing *Chiller*, Menara Pendingin dan titik pengukuran tanpa pendingin adalah 0,90%, 1,04%, dan, 1,26%.

Keywords: injection molding, gasket insulation, shrinkage, Chiller

PENDAHULUAN

Cetakan injeksi (*injection molding*) adalah proses pembentukan plastik ke dalam bentuk yang diinginkan dengan cara menekan plastik cair ke dalam sebuah ruang (*cavity*). Tahapan proses injeksi adalah bahan baku (*raw material*) dipanaskan dan dilembutkan di dalam silinder panas hingga memiliki sifat plastisitas dan berubah bentuk menjadi cairan plastik. Dari silinder panas, cairan plastik diinjeksi ke dalam mold dengan tekanan tinggi, kemudian mold didinginkan dengan pendingin tertentu sehingga cairan plastik mengeras, lalu produk dikeluarkan dengan alat *ejector* [1]. Pada *chiller* sistem tertutup digunakan untuk sistem *chiller* terpusat satu tempat, dimana bak pendinginnya dibuat terpisah dari unitnya dan dapat menambahkan kapasitas pendinginan apabila mengalami kekurangan bisa ditambahkan unitnya sesuai dengan berapa unit dan kapasitas yang direncanakan [2].

Pada proses manufaktur tersebut seringkali terjadi cacat produk seperti dimensi tidak sesuai, keretakan, pengerutan, dan lain sebagainya yang diakibatkan oleh beberapa faktor, sehingga banyak material yang terbuang [3]. Penyebab terjadinya cacat produk adalah penempatan titik injeksi yang tidak sesuai, adanya variasi ketebalan produk, dan terjadinya penyusutan yang tidak teratur pada saat pendinginan [4]. Penyusutan pasti terjadi terhadap produk yang bermaterial plastik pada proses injeksi *molding*. Penyusutan sering diselamatkan dengan toleransi terhadap dimensi produk tersebut, meskipun demikian belum ditemukan angka yang pasti, sehingga toleransi menjadi penting untuk ditentukan. Cacat penyusutan (*shrinkage*) adalah perbedaan dimensi antara benda yang cetak dengan cetakan. Cacat penyusutan ini tergantung dari beberapa faktor, yaitu: suhu dari material, jenis material, aliran material di dalam, faktor-faktor (parameter) cetakan, zat tambahan pada material. Cacat ini dapat dieliminir atau dikurangi dengan mendesain parameter proses secara tepat dan benar [5]. Untuk mencari hubungan antara dua variabel atau lebih dilakukan dengan menghitung korelasi antar variabel. Korelasi merupakan angka yang menunjukkan arah dan kuatnya hubungan antar dua variabel atau lebih, arah dinyatakan dalam bentuk hubungan positif atau negatif, sedangkan kuatnya hubungan dinyatakan dalam besarnya koefisien korelasi. Analisis korelasi meliputi dua aspek, pertama mengukur kesesuaian garis regresi terhadap data sampel disebut koefisien determinasi dan kedua mengukur keeratan hubungan antar variabel atau disebut koefisien korelasi (*the correlation coefficient*) [6].

Pada penelitian ini yang digunakan adalah material plastik POM pada *mold* isolasi gasket. Isolasi *gasket* adalah produk isolasi yang memungkinkan konduktor listrik melewati dengan aman melalui penghalang pengatur ground seperti kasus transformator atau pemutus arus. Produk ini berguna untuk menahan gaya gesek pada suatu as tertentu yang berhubungan dengan pasangannya yang memiliki kesesuaian pas atau toleransi yang rendah sehingga susut (*shrinkage*) harus diperhatikan supaya tetap sesuai dengan pasangan atau standarnya, sehingga tidak terjadi sesak atau longgar yang menyebabkan oleng bahkan tidak masuk karena ukuran yang tidak sesuai. Banyaknya produk yang cacat karena penyusutan maka, penelitian tentang pengaruh pendinginan pada *injection molding* dilakukan bertujuan untuk mengetahui rancangan pendinginan yang tepat guna sesuai dengan bentuk *mold* yang akan digunakan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada April sampai Mei 2017 di PT. Qmould Teknologi Indonesia dan PT. Qmould Plastik Indonesia. Bahan plastik yang digunakan adalah Polyacetal (POM) duracon. Mesin yang digunakan meliputi mesin-mesin untuk membuat mold (CNC milling 3 axis, milling, bubut, gerinda datar, EDM, cranes) dan mesin kawaguchi

80T untuk injeksi. Peralatan yang digunakan adalah *caliper digital*, *dial indicator*, *depth caliper*, *flexible infrared thermometer*.

Pengujian diawali dengan pembuatan mold dan mesin injeksi, kemudian dilakukan dua kali penyuntikan plastik cair POM kedalam mold yang pertama dengan pendinginan (*Chiller* dan *Cooling Tower*) dan yang kedua tanpa pendinginan. Kedua produk dibandingkan penyusutannya dengan pengukuran volume. Pengukuran penyusutan berakibat pada dimensi bagian luar produk diambil dari tiga arah yaitu diameter luar produk bagian bawah (titik 1), dan diameter luar produk bagian atas (titik 2), dan tinggi produk (titik 3). Alat ukur yang digunakan jangka sorong digital merek Mitotoyo 6 inch 150/ 0, 01MM 500-196-20 yang sudah dikalibrasi di pabrikan asalnya. Langkah analisis yang dilakukan sebagaimana pada gambar 1. Dan untuk parameter pada tabel 1.

Tabel 1. Parameter Mesin Injeksi

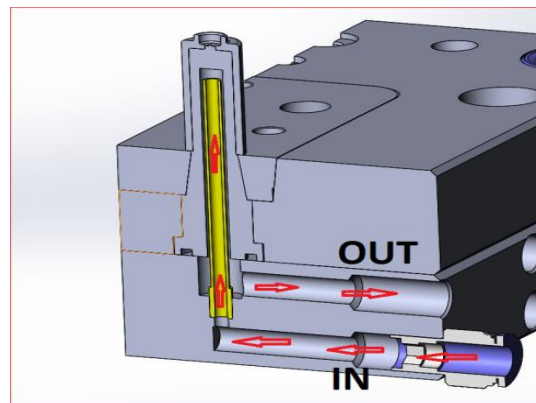
Pendingin	Cavity	Cycle Time (s)	Cooling Time (s)	Barrel Temperatur (°C)	Temperatur Hopper Dryer (°C)	Clamping force (kgf/cm ²)	Temperatur In (°C)
Chiller	4	30	15	190	85	60	18
Cooling Tower	4	30	15	190	85	60	±25
Tanpa Pendingin	4	30	15	190	85	60	±30,5

Kanal pendingin

Desain sistem pendingin yang direncanakan ada 2, yaitu:

Bagian Core

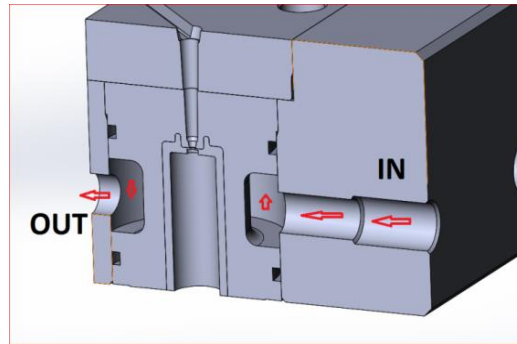
Untuk bagian *Core* pendinginan menggunakan sistem naik turun yang dibantu oleh pipa yang berada dalam insertnya.



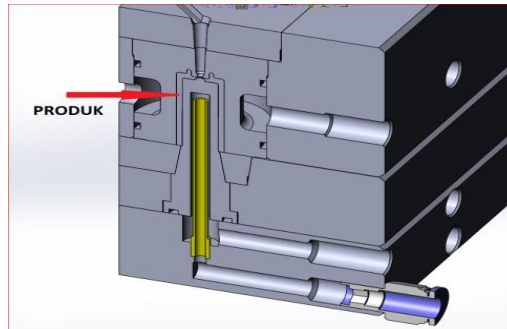
Gambar 1. Sistem pendingin pada bagian *core*

Bagian Cavity

Untuk pendingin bagian *Cavity* menggunakan sistem memutar insert untuk membuang panas lebih maksimal dari dinding insert bagian luar.



Gambar 2. Sistem pendingin pada bagian *cavity*



Gambar 3. Sistem pendingin pada *mold insulation bush*

Analisis data yaitu dengan menghitung besarnya penyusutan baik percobaan *injection molding* dengan pendingin maupun tanpa pendingin dirata-rata, kemudian ketiganya ditampilkan dengan perbandingan diagram agar mudah dilihat perbedaannya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Insulation Bushing



Gambar 4. Insulation bushing dengan pendingin *chiller*



Gambar 5. Insulation bushing dengan pendingin *Cooling Tower*



Gambar 6. Insulation bushing tanpa Pendingin.

Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6 masing-masing menampilkan produk hasil pendinginan melalui *chiller*, *cooling tower* dan tanpa pendingin. Secara kasat mata, ukuran ketiga produk terlihat sama sehingga sulit dilihat penyusutannya. Karena itu, dilakukan pengukuran pada titik 1, 2 dan 3 pada produk *insulation bushing* dengan menggunakan jangka sorong. Titik ukur 1 adalah diameter kepala *bushing*, titik ukur 2 adalah diameter bawah *bushing*, dan titik ukur 3 adalah tinggi *bushing*.

Cacat pada Produk *Injection Molding*

Cacat yang terjadi pada produk *injection molding* meliputi cacat permukaan dan cacat volume produk. Pada cacat permukaan produk terdapat kerutan dan ketidakrataan produk, hal ini dikarenakan tekanan yang kurang pada waktu plastik cair disuntik ke dalam *cavity*. Pada cacat volume produk terdapat rongga dan pada bentuk volume produk yang tidak penuh, hal ini dikarenakan kurangnya plastik cair yang disuntik ke dalam *cavity*. Kurangnya plastik cair yang disuntik ke dalam *cavity* dikarenakan pengaturan yang kurang sesuai pada mesin injeksi.

Laju Pendinginan

Laju pendinginan dihitung dari temperatur barrel dikurangi rata-rata temperatur produk dibagi lama waktu injeksi (*cycle time*). Temperatur barrel pada pengujian ini adalah 190°C sedangkan waktu injeksinya adalah 30 detik.

Tabel 2. Laju Pendinginan

	Pendingin Temperatur (⁰ K)	Waktu Injeksi (s)	Laju Pendinginan (⁰ K/s)	Barrel Produk
<i>Chiller</i>	463	30	5,06	311,3
<i>Cooling tower</i>	463	30	4,87	316,9
Tanpa pendingin	463	30	4,66	323,1

Shrinkage Volume

Shrinkage atau susut adalah ukuran volume yang berkurang tanpa dikenai pengerjaan pada produk tersebut, untuk itu analisa *shrinkage* produk bisa diambil dari massa dibagi density. Untuk density POM menggunakan TDS duracon adalah 1,59 g/cm³. Sedangkan untuk

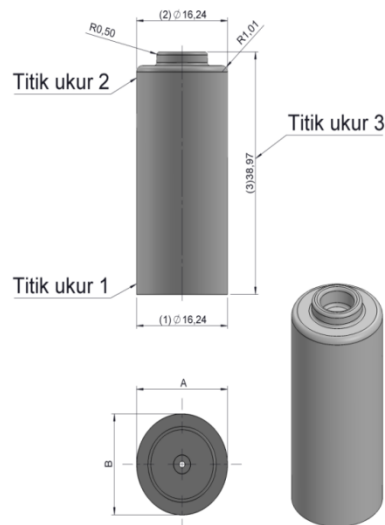
menghitung volume mold (V_0) dengan menggunakan software SolidWork 2015, yaitu sebesar $3,47 \text{ cm}^3$.

Tabel 3. Temperatur dan *Shrinkage* Pada Volume.

Pengujian	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)		<i>Shrinkage</i> %
	Produk	Mold	
<i>Chiller</i>	38,28	35,4	0,55
<i>Cooling Tower</i>	43,92	39,19	0,86
Tanpa Pendingin	50,08	45,21	1,41

Pada isolasi gasket ini ada titik tertentu yang menjadi pokok dalam perhitungan dimensi sehingga toleransi diperlukan untuk titik-titik tersebut. Gambar 6. dijelaskan titik-titik pada isolasi *gasket*.

Analisa penyimpangan akibat penyusutan produk diambil dari tiga arah yaitu titik 1 (diameter luar produk bagian bawah), 2 (diameter luar produk bagian atas), dan 3 (tinggi produk), pengambilan sumbu 1 dan 2 secara acak. Sumbu 3 diambil dari garis sejajar arah injeksi, sumbu 1 dan 2 diambil dari garis tegak lurus terhadap arah injeksi. Pengukuran pada sumbu 1 dan 2 diambil dua titik acuan diameter luar yaitu titik atas (A), dan titik samping (B). Untuk sumbu 3 yang diukur adalah ketinggian dari produk. Dari semua pengukuran tiap titik yang diambil hanya jumlah rata-ratanya saja. Untuk bagian dalam produk tidak dihitung karena tidak masuk poin cek.



Gambar 7. Titik pengukuran penyimpangan akibat *shrinkage*

Seperti yang terlihat pada Gambar 8, pendinginan tinggi dengan menggunakan *chiller* memberikan hasil susut volume dan rata-rata titik ukur rendah dibandingkan dengan pendinginan dengan laju rendah dengan menggunakan *cooling tower* atau tidak menggunakan alat pendingin sama sekali. Sebaliknya, susut volume dan rata-rata ukur tertinggi terdapat pada produk yang didinginkan dengan laju rendah, yaitu tanpa pendinginan. Karena itu, untuk menghindari penyusutan yang besar pada produk *insulation bushing*, dibutuhkan laju pendinginan yang tinggi dengan menggunakan *chiller* sebagai alat pendingin.

Tabel 4. Penyimpangan Dimensi Pendingin *Chiller*

Cooling	Shot	1	2	3	4	5	General Spesifikation <i>Mold</i>	Rata-rata
	Check	Aktual Dimension Produk						
Chiller	1A	16,13	16,11	16,08	16,08	16,06	Ø16,24	16,09
	1B	16,11	16,08	16,07	16,06	16,05	Ø16,24	16,07
	1	Rata-rata 1A dan 1B					Ø16,24	16,08±0,03
	2A	16,02	16,06	16,01	16,01	16	Ø16,24	16,02
	2B	16,05	16,02	16	16	15,98	Ø16,24	16,01
	2	Rata-rata 2A dan 1B					Ø16,24	16,02±0,01
	3	38,86	38,84	38,83	38,84	38,85	38,97	38,84±0,01

Tabel 5. Penyimpangan Dimensi Pendingin *Cooling Tower*

Cooling	Shot	1	2	3	4	5	General Spesifikation <i>Mold</i>	Rata-rata
	Check	Aktual Dimension Produk						
C. Tower	1A	16,06	16,07	16,06	16,04	16,03	Ø16,24	16,05
	1B	16,08	16,05	16,04	16,03	16	Ø16,24	16,04
	1	Rata-rata 1A dan 1B					Ø16,24	16,05±0,01
	2A	15,99	15,99	15,98	15,99	16	Ø16,24	15,99
	2B	15,98	15,98	15,97	15,98	16	Ø16,24	15,98
	2	Rata-rata 2A dan 1B					Ø16,24	15,99±0,01
	3	38,82	38,83	38,83	38,81	38,81	38,97	38,82±0,01

Tabel 6. Penyimpangan Dimensi Tanpa Pendingin.

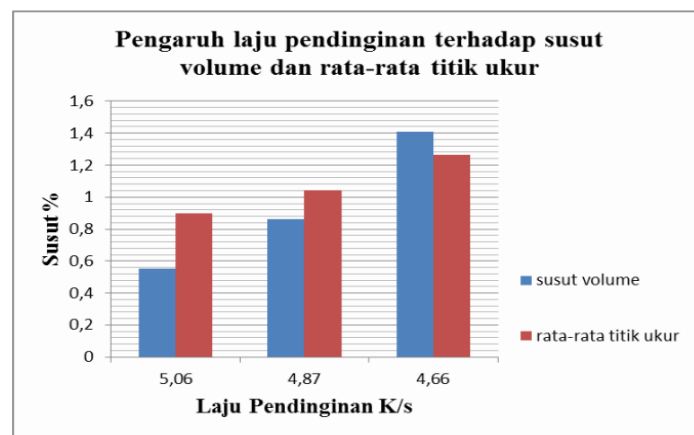
Cooling	Shot	1	2	3	4	5	General Spesifikation <i>Mold</i>	Rata-rata
	Check	Aktual Dimension Produk						
No Cooling	1A	16	16,03	16,02	16,03	16	Ø16,24	16,02
	1B	16,01	16,02	16,02	16,02	16,02	Ø16,24	16,02
	1	Rata-rata 1A dan 1B					Ø16,24	16,02±0,01
	2A	15,93	15,96	15,94	15,93	15,93	Ø16,24	15,94
	2B	15,92	15,96	15,95	15,92	15,95	Ø16,24	15,94
	2	Rata-rata 2A dan 1B					Ø16,24	15,94±0,01
	3	38,74	38,78	38,75	38,73	38,74	38,97	38,75±0,02

Hubungan Laju Pendinginan terhadap *Shrinkage Volume* dan Titik-titik Pengukuran.

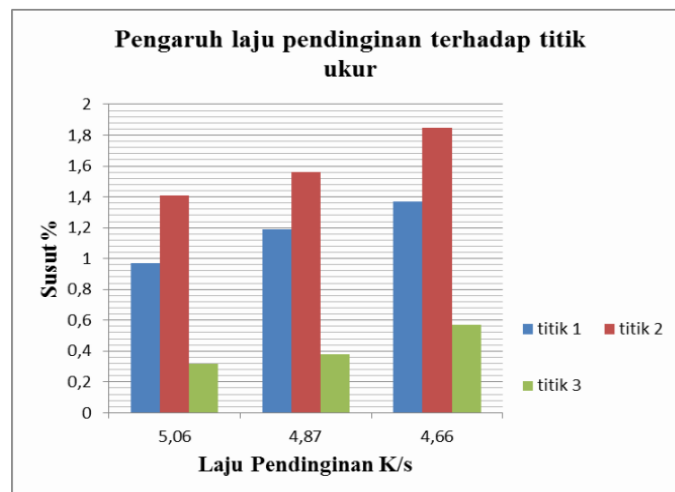
Sebagaimana dilihat pada Gambar 9, tampak bagian (titik 1, 2 dan 3) dari isolasi *gasket* yang menyusut tidak sama selama proses pendinginan. Hampir pada semua laju pendinginan (*chiller, cooling tower* dan tanpa pendingin), susut terbesar terjadi pada titik 2, diikuti dengan titik 1. Susut terkecil pada semua laju pendinginan terdapat pada titik 3. Perbedaan susut pada produk hasil semua laju pendinginan yang besar terdapat pada titik 2 dengan titik 3. Karena itu, kontribusi terbesar untuk penyusutan volume dan rata-rata titik ukur pada produk insulation bushing berada titik 2, yaitu diameter kepala insulation bushing dan titik 1, yaitu diameter bawah *insulation bushing*.

Tabel 7. Hubungan Laju Pendinginan Terhadap *Shrinkage* Volume dan Titik-Titik Pengukuran

No	Pendingin	Laju Pendinginan K/s	<i>Shrinkage</i> Volume %	<i>Shrinkage</i> pada titik pengukuran %	
				Titik ukur	Susut
1	<i>Chiller</i>	278,06	0,55	1	0,97
				2	1,41
				3	0,32
				rata-rata	0,90±0,45
2	<i>Cooling Tower</i>	277,87	0,86	1	1,19
				2	1,56
				3	0,38
				rata-rata	1,04±0,49
3	Tanpa pendingin	277,66	1,41	1	1,37
				2	1,85
				3	0,57
				rata-rata	1,26±0,53



Gambar 8. Perubahan laju pendinginan (*chiller, cooling tower* dan tanpa pendinginan) terhadap susut volume dan rata-rata titik titik ukur.



Gambar 9. Perubahan laju pendinginan (*chiller, cooling tower* dan tanpa pendinginan) terhadap titik-titik ukur pada *insulation bushing*.

Dengan demikian, laju pendinginan pada proses cetakan injeksi (*injection molding*) sangat berpengaruh terhadap *shrinkage* produk terutama pada volume dan rata-rata titik ukur. *Shrinkage* volume yang berpendingin *chiller, cooling tower*, dan tidak berpendingin adalah

sebesar 0,55%; 0,86%; dan 1,41%. Sedangkan, *shrinkage* dititik ukur 1, 2, dan, 3 yang berpendingin *chiller* adalah sebesar 0,97%, 1,41%, dan 0,32% dengan dirata-rata dari ketiga titik ukur tersebut adalah sebesar 0,90%. *Shrinkage* dititik ukur 1, 2, dan, 3 yang berpendingin *cooling tower* adalah sebesar 1,19%, 1,56%, dan 0,38% dengan dirata-rata dari ketiga titik ukur tersebut adalah sebesar 1,04% dan *shrinkage* dititik ukur 1, 2, dan 3 yang tidak berpendingin adalah sebesar 1,37%, 1,85%, dan 0,52% dengan dirata-rata dari ketiga titik ukur tersebut adalah sebesar 1,26%.

KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dan analisa, serta data pembahasan yang diperoleh disimpulkan, dimana laju pendinginan pada proses cetakan injeksi (*injection molding*) sangat berpengaruh terhadap *shrinkage* produk. Produk isolasi *gasket* hasil pendinginan dengan *chiller* mengalami *shrinkage* paling sedikit dibanding dengan *cooling tower*, dan yang tidak berpendingin. Susut paling besar terdapat pada titik ukur 2, yaitu diameter kepala *insulation bushing*, diikuti dengan titik ukur 1, diameter bawah *insulation bushing* dan susut terendah terjadi pada tinggi *insulation bushing*. Agar *shrinkage* menjadi sama pada ketiganya caranya adalah mengatur *cycle time*. Maka dari itu untuk mengejar produksi cepat dengan waktu yang singkat menggunakan pendinginan *chiller* adalah pilihan tepat.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada keluarga, dan teman-teman yang telah membantu dalam terselesainya penelitian ini. Serta kepada PT. Qmould Teknologi Indonesia dan PT. Qmould Plastik Indonesia yang telah mengizinkan dan menyediakan tempat untuk berlangsungnya proses penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Nakayawa, *Mold Basic Design Textbook*, Jakarta: Indonesia Mold & Dis Industry Association (IMDIA), 2015.
- [2] J. Sutanto, "Perbandingan Angka Penyusutan Produk Penutup Spion dari Bahan Ebonit dan Plastik," Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta, 2014.
- [3] J. Moerbani, *Plastic Molding*, Surakarta: Jurnal Akademi Teknik Mesin Industri (ATMI), 1999.
- [4] H. U. Akay, *Prediction of Shrinkage in Plastic Injected Parts Due to Cooling*, Computer-Aided Engineering Analysis, 2003.
- [5] D. Zulianto, "Analisa Pengaruh Variasi Suhu Plastik Terhadap Cacat Warpaga dari Produk Injection Molding Berbahan PolyProphylene (PP)," Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta, 2015.
- [6] M. N. Fitri, *Pengetahuan Dasar Injection Process*, Tangerang: PT. Galih Sekar Sakti, 2001.
- [7] C. Wiyanata, "Sistem Pendingin Mesin Plastik," [Online]. Available: <http://auxilliary-equipments.blogspot.co.id/2013/08/system-pendingin-mesin-plastik.html>. [Accessed 14 June 2017].
- [8] Nawari, *Analisis Regresi dengan MS Excel 2007 dan SPSS17*, Jakarta: Elex Media Komputindo, 2010.