

ANALISIS PARAMETER *MOLD TEMPERATURE* PADA TUTUP BOTOL 200 ML TERHADAP CACAT *SINK MARK* MATERIAL *POLYPROPYLENE* (PP) MENGGUNAKAN *SOLIDWORK 2022*

Ghaniy Amirul Dana

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: ghaniy.20077@mhs.unesa.ac.id

Mochammad Arif Irfa'i

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: arifirfai@unesa.ac.id

Abstrak

Simulasi dengan parameter-parameter perancangan dikaji untuk membantu memprediksi kemungkinan terjadi kegagalan produk. Upaya penggunaan *solidwork 2022* dilakukan untuk mendapatkan hasil yang mendekati nilai sebenarnya. Namun, kendala yang dihadapi adalah pengguna *solidwork 2022* relatif masih sangat minim dikarenakan perlunya pengetahuan yang cukup dalam pengoperasiannya serta masih dilakukannya proses *trial and error* di lapangan. Oleh karena itu, *paper* ini dibuat bertujuan memprediksi kegagalan produk dan mendapatkan parameter optimal pada mesin injeksi menggunakan analisis simulasi *solidwork 2022*. Penelitian ini menggunakan metode analisis eksperimental untuk mempelajari pengaruh parameter suhu cetakan (*mold temperature*) terhadap cacat *sink mark* pada tutup botol 200 ml yang terbuat dari material *polypropylene* (PP). Dengan menggunakan perangkat lunak *solidwork 2022*, simulasi dilakukan untuk memodelkan dan mengoptimalkan suhu cetakan dalam proses injeksi plastik. Variabel suhu cetakan divariasikan dalam beberapa tingkat untuk mengamati perubahan pada kualitas produk akhir, khususnya mengenai munculnya cacat *sink mark*. Data hasil simulasi dianalisis untuk menentukan suhu cetakan optimal yang meminimalkan cacat, serta menghasilkan produk dengan kualitas terbaik. Berdasarkan hasil simulasi menggunakan *software solidwork* dengan variasi *mold temperature* 20°C, 30°C, 40°C, 50°C, 60°C, 70°C, 80°C didapatkan bahwa pada *mold temperature* 30°C dapat digunakan dikarenakan memenuhi tuntutan yaitu minim terdapat cacat *sink mark* dengan rata-rata di angka 0,042 mm sehingga dapat disimpulkan, produk tutup botol yang akan dihasilkan dengan menggunakan parameter dari hasil analisis simulasi dapat digunakan sebagai prediksi awal sebelum diproduksi oleh mesin injeksi sebenarnya.

Kata Kunci: *Injection Molding; Kegagalan Produk Injeksi Plastik; Simulasi; Solidwork 2022*

Abstract

Simulations with design parameters are studied to help predict the likelihood of product failure. Efforts to use solidwork 2022 were made to get results that are close to the actual value. However, the obstacle faced is that solidwork 2022 users are still relatively minimal due to the need for sufficient knowledge in its operation and the trial and error process in the field. Therefore, this paper was made with the aim of predicting product failure and obtaining optimal parameters on injection machines using solidwork 2022 simulation analysis. This study uses an experimental analysis method to study the influence of mold temperature parameters on sink mark defects on 200 ml bottle caps made of polypropylene (PP) material. Using Solidwork 2022 software, simulations were carried out to model and optimize mold temperatures in the plastic injection process. The mold temperature variable is varied in several degrees to observe changes in the quality of the final product, especially regarding the appearance of sink mark defects. The simulation data is analyzed to determine the optimal mold temperature that minimizes defects, as well as produces the highest quality products. Based on the results of the simulation using solidworks software with variations in mold temperature of 20°C, 30°C, 40°C, 50°C, 60°C, 70°C, 80°C, it was found that at a mold temperature of 30°C it can be used because it meets the requirements, namely there is a minimum of sink mark defects with an average of 0.042 mm so it can be concluded, the bottle cap product that will be produced using the parameters from the simulation analysis results can be used as an initial prediction before being produced by the actual injection machine.

Keywords: *Injection Molding; Plastic Injection Product Failure; Simulation; Solidworks 2022.*

PENDAHULUAN

Injection molding merupakan salah satu teknik

manufaktur yang terdiri dari serangkaian proses yang bersiklus dan digunakan untuk mencetak *material thermoplastic*. Proses *injection molding* sering digunakan

dalam proses pembuatan produk dengan bentuk dasar yang rumit dan banyak digunakan untuk produksi massal. Proses *injection molding* dimulai dengan memasukan biji plastik kedalam *hopper*, kemudian plastik akan meleleh ketika di panaskan pada barrel dan didorong oleh *screw* menuju *nozzle*, material yang telah meleleh akan terdorong melewati *sprue* dan memasuki *cavity* dan diberikan tekanan (*holding pressure*) untuk menghindari *sink mark* pada saat proses pendinginan hingga material plastik tercetak sesuai dengan bentuk yang diinginkan (Abdurokhan, 2012). *Polypropylene* (PP) adalah jenis termoplastik yang dikenal cukup handal, kuat dan dapat diproses berulang kali. *Polypropylene* memiliki sifat yang lunak dan tahan terhadap retakan yang diakibatkan bending. *Polypropylene* PP banyak digunakan pada produk kehidupan sehari-hari seperti: tali, karpet, tabung ukur, dan lainnya. Namun *polypropylene* (PP) akan mudah rapuh dan retak jika penggunaannya dibawah suhu *glass transition temperature* (Tg) (Budiyantoro, 2019). Ketika datang ke fabrikasi plastik, di dapatkan berbagai teknik. Metode *injection molding* adalah metode yang populer. Selain mesin injeksi, proses ini juga membutuhkan bahan untuk produksi produk. Ini adalah yang paling langkah penting dalam proses injeksi plastik.

Lekukan yang muncul pada permukaan luar komponen disebut dengan *sink mark*. *Sprue* dan *runner* dari plastik yang didinginkan, dalam hal ini diisi dengan plastik yang sangat kental setelah didinginkan lebih lanjut oleh rongga. Akibatnya, garis tegak lurus terhadap arah aliran material terbentuk pada permukaan produk cetakan dan plastik yang bersentuhan dengan permukaan cetakan bertekanan menjadi semi padat (Widiastuti et al., 2019). Rakhmad Arief, Siregar, dkk (2015). Dengan topik penelitian "Membuat Cetakan Kotak Sabun Pada Mesin Cetak *Injection molding* Plastik". Salah satu komponen terpenting untuk mencetak plastik adalah mold karena hasil bentuk plastik tergantung dari mold. Akibatnya, cacat produk sangat dipengaruhi oleh bentuk *core* dan *cavity* yang tepat.

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi cacat *sink mark* proses injeksi, antara lain; parameter mesin injeksi, bahan yang digunakan dalam proses injeksi, dan konstruksi dasar matriks untuk menghasilkan produk berdasarkan sifat fungsionalnya, bahan injeksi dipilih berdasarkan karakteristiknya. Hal ini memastikan bahwa prosedur penyuntikan tidak mengakibatkan terjadinya cacat produk. Oleh karena itu, penting untuk menganalisis parameter proses penyuntikan serta dua desain mold base yang digunakan untuk mengurangi kemungkinan cacat produk pada hasil. Menurut Cahyadi (2014), bahwa cacat produk dapat terjadi bila tidak tepat dalam menentukan setting parameter proses tekanan injeksi serta waktu pendinginan.

Yanto, Heri, dkk (2018) dalam penelitian yang berjudul "Analisa Pengaruh Temperatur dan Tekanan Injeksi *Moulding* terhadap Cacat Produk." Bahwa cacat produk yang dipengaruhi pengaturan parameter temperature dan tekanan injeksi. Dengan temperature injeksi 170° C dan tekanan injeksi 60 Mpa, pembuatan produk tersebut didapatkan hasil cacat terkesil. Saat ini, sangat sedikit produsen plastik di Indonesia yang

menggunakan teknologi *computer aided engineering* (CAE) pada peralatan injektor untuk mengevaluasi hasil proses manufaktur dan konstruksi bahan dasar. Hal ini mungkin disebabkan oleh berbagai ketidaksempurnaan produk yang telah diidentifikasi di berbagai industri. Dalam situasi ini, seorang desain *engineer* berperan besar dalam hasil evaluasi kualitas injeksi. Pada produk yang desainnya lebih rumit akan sulit untuk menghasilkan produk yang sempurna. Saat proses produksi suatu produk, masih banyak muncul beberapa kecacatan pada produk seperti *sink mark*. Dalam simulasi, potensi cacat produk dapat ditunjukkan. Dengan menggunakan perangkat lunak ini, desain tutup botol 200 ml yang sesuai dapat diperoleh dengan membuat prediksi lokasi gate yang akurat, mengantisipasi *sink mark*, menawarkan saran desain jika terjadi masalah, dan memberikan umpan balik apakah desain dapat disuntikkan dengan benar. Temuan analisis diperiksa dan dari uji injeksi yang dilakukan, dapat memberikan hasil injeksi produk yang optimal.

Memilih tutup botol untuk diteliti bisa memiliki beberapa alasan. Pertama, industri pembuatan botol dan kemasan merupakan industri yang penting karena produk-produk ini digunakan secara luas dalam berbagai sektor, seperti makanan, minuman, kosmetik, dan lainnya. Karena itu, memahami proses percetakan tutup botol dapat membantu meningkatkan efisiensi produksi, kualitas produk, dan keamanan konsumen. Penelitian terhadap proses ini dapat membantu dalam mengidentifikasi potensi peningkatan, peningkatan keamanan, atau pengurangan biaya produksi

CAE akan digunakan sebagai evaluasi desain mold base dan sebagai parameter injeksi. Untuk mencapai tujuan ini, kita akan menggunakan CAE sebagai evaluasi desain *mold base* dan sebagai parameter injeksi. Dengan begitu kita dapat menganalisis desain dari *mold base* dan kemungkinan terjadinya kegagalan atau kesalahan pada produk tutup botol.

METODE

Jenis Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan mencari data-data pabrik yang mencetak produk tutup botol untuk mendapatkan parameter-parameter yang digunakan dalam memproduksi produk tutup botol. Data yang sudah didapat akan diolah untuk menghasilkan setting parameter yang lebih baik untuk mereduksi cacat pada produk tutup botol dan disimulasikan untuk mengetahui hasil akhir.

Lokasi dan Waktu Penelitian

- Lokasi Penelitian
Penelitian ini bisa dilakukan dimana saja karena hanya menggunakan laptop.
- Waktu Penelitian
Penelitian ini dilaksanakan pada Januari 2024.

Variabel Penelitian

- Variabel Bebas
 - Mesin *injection molding* dengan variasi *mold*

temperature 20°C

- Mesin *injection molding* dengan variasi *mold temperature* 30°C
- Mesin *injection molding* dengan variasi *mold temperature* 40°C
- Mesin *injection molding* dengan variasi *mold temperature* 50°C
- Mesin *injection molding* dengan variasi *mold temperature* 60°C
- Mesin *injection molding* dengan variasi *mold temperature* 70°C
- Mesin *injection molding* dengan variasi *mold temperature* 80°C

• **Variabel Terikat**

Variabel Terikat adalah variabel yang diamati dalam penelitian. Nilai variabel ini dipengaruhi oleh nilai variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini yaitu: Cacat *sink mark*

• **Variabel Kontrol**

- Tekanan injeksi
- Kecepatan injeksi
- Jumlah material
- Desain cetakan
- Suhu material .

Rencana Penelitian

• **Prosedur Penelitian**

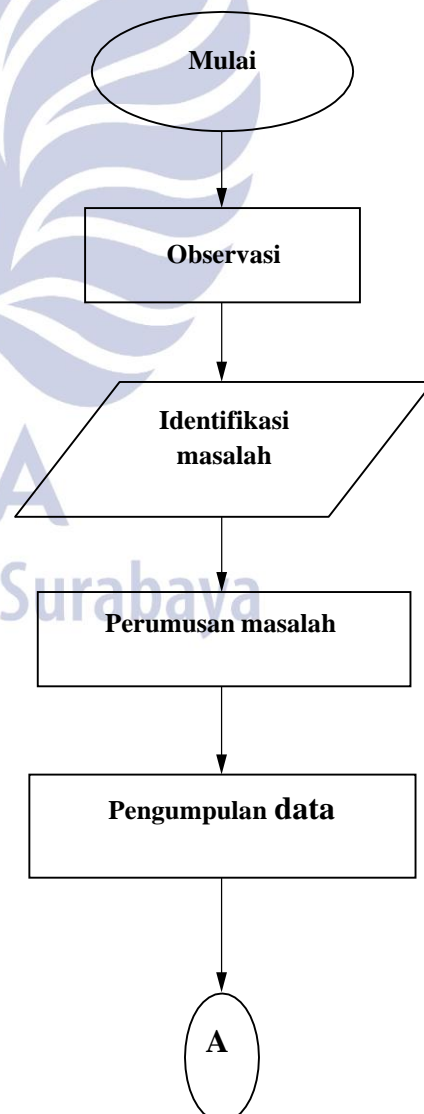
- Mencari dan mengumpulkan data serta menentukan spesifikasi produk yang akan dicetak, termasuk profil dan karakteristik dari bahan yang akan digunakan.
- Mencari dan mempelajari referensi yang berhubungan dengan perancangan desain dan simulasi.
- Menganalisa data dengan referensi yang ada.
- Visualisasi desain rancangan mengenai desain tersebut.
- Menggunakan *software solidwork 2022* untuk melakukan simulasi dari data, parameter yang disarankan oleh *software*, dan parameter yang digunakan oleh pabrik pada saat memproduksi tutup botol.
- Memeriksa dan membandingkan hasil simulasi.
- Menentukan kesimpulan yang didapat dari hasil penelitian.

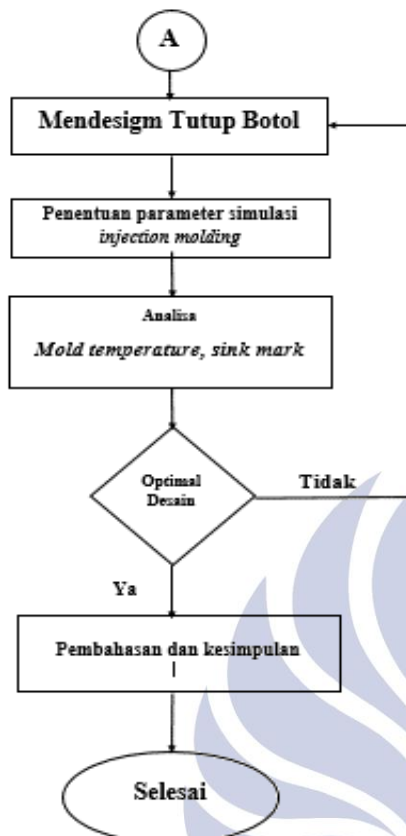
• **Teknik Pengumpulan Data**

1. Menentukan rentang suhu cetakan yang akan diteliti.

2. Membuat rencana eksperimen yang mencakup variabel yang diteliti (*mold temperature*) dan menentukan jumlah percobaan yang dilakukan untuk setiap suhu.
3. Melakukan proses cetakan pada berbagai suhu yang telah ditentukan dalam rencana eksperimen. Mencatat semua data yang relevan, seperti suhu cetakan yang digunakan, waktu proses cetakan, dan ukuran serta bentuk cacat penyusutan yang terjadi pada setiap sampel.
4. Menganalisis data yang telah dikumpulkan. Perhatikan perbedaan dalam tingkat cacat penyusutan pada berbagai suhu cetakan.
5. Membuat kesimpulan dari hasil analisis. Menentukan apakah terdapat hubungan antara suhu cetakan dan tingkat cacat penyusutan pada tutup botol *polypropylene* (PP). Menjelaskan implikasi temuan terhadap proses manufaktur dan kemungkinan perbaikan atau penyesuaian yang diperlukan.

• **Flowchart Penelitian**





Gambar 1 Flowchart Penelitian

- Mencatat data yang dihasilkan selama simulasi, termasuk sink mark material *polypropylene* (PP) pada tutup botol
 - Analisis Statistik
 - Menggunakan metode statistik untuk menganalisis data hasil eksperimen.
 - Visualisasi data
 - Membuat grafik atau diagram untuk memvisualisasikan hasil analisis data.
 - Menggunakan diagram batang untuk membandingkan sink mark pada berbagai suhu cetakan
 - Interpretasi hasil
 - Mendiskusikan hasil analisis data dan interpretasikan bagaimana perubahan suhu cetakan mempengaruhi sink mark material *polypropylene* (PP)
 - Mengidentifikasi apakah terdapat suhu optimal untuk mengurangi cacat sink mark.
 - Validasi hasil
 - Membandingkan hasil simulasi dengan literatur atau penelitian sebelumnya untuk memastikan kecocokan dan konsistensi.
 - Rekomendasi dan kesimpulan
 - Memberikan rekomendasi berdasarkan hasil analisis data untuk meningkatkan kualitas tutup botol dengan mengelola suhu cetakan
- Menyampaikan kesimpulan dan implikasi potensial untuk pengembangan masa depan.

Instrumen, Alat dan Bahan

- Instrumen
 - *Solidwork* 2022
- Alat
 - Perangkat Laptop
- Bahan
 - *Polypropylene*

Teknik Analisa Data

- Pemodelan CAE
 - menggunakan perangkat lunak *solidwork* 2022 untuk membuat model simulasi terkait *mold temperature* pada tutup botol.
 - Menentukan parameter *mold temperature* yang akan diuji dalam simulasi.
- Desain Eksperimen
 - Merancang eksperimen dengan variasi suhu cetakan (*mold temperature*) sebagai faktor yang diubah
 - Menentukan level-level berbeda dari suhu cetakan untuk setiap percobaan
- Pengumpulan Data
 - Melakukan simulasi CAE untuk setiap kondisi eksperimental.

HASIL DAN PEMBAHASAN Spesifikasi

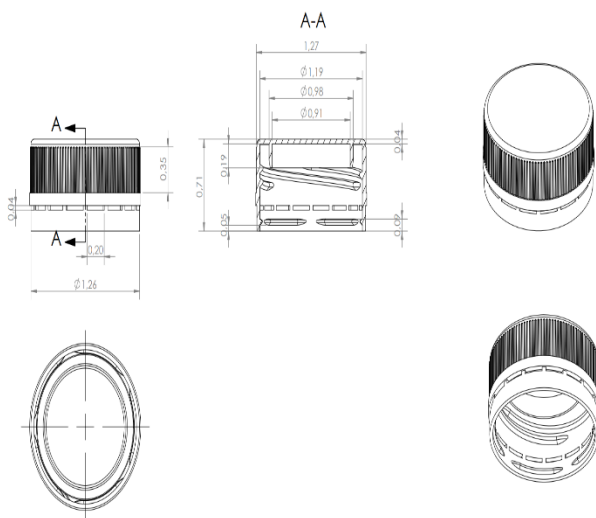
Tabel 1 Data Spesifikasi Produk

Produk		Tutup botol
Dimensi	mm	32,70 x 18,00 x 32,70
Volume		cm ³ 2,77
Massa	G	2,53
Bahan Baku		<i>Polypropylene</i>

Tabel 2 Karakteristik *Polypropylene*

Berat Jenis	gr/cm ²	0,9-0,91
<i>Mold Temperature</i>	°C	20-80
<i>Melt Temperature</i>	°C	230
<i>Injection Pressure</i>	kg/cm ²	600-1410
<i>Ejection Temperature</i>	°C	95
<i>Transition Temperature</i>	°C	135

Desain



Gambar 2 Gambar 2d Tutup Botol

Parameter proses

Tabel 3 Parameter proses

Main Material Melt Temperature	230 °C
Mold Wall Temperature	20 °C - 80 °C
Injection Pressure Limit	100 MPa
Flow Rate Limit	400 cc/s
Fill/Pack Switch Point (% Filled Volume)	100 %
Pressure Holding Time	1.892 sec
Total Time in Pack Stage	5.09 sec
Auto Filling Time (1: Yes, 0: No)	1
Auto Packing Time (1: Yes, 0: No)	1
Venting Analysis (1: Yes, 0: No)	0
Cavity Initial Air Pressure	0.101 MPa
Cavity Initial Air Temperature	30 °C
Temperature Criteria for Short Shots (1: Yes, 0: No)	1
Temperature Criteria for Short Shots	135 °C
Clamp Force Limit	100 Tonne
2nd Material Injection Pressure Limit	100 MPa
2nd Material Injection Flow Rate Limit	194 cc/s
2nd Material Fill/Pack Switch Point (% Filled Volume)	100 %
2nd Material Pressure Holding Time	10 sec
2nd Material Total Time in Pack Stage	20 sec

Hasil Simulasi

Waktu pengisian produk selama 0,509 detik, tekanan pengisian sebesar 100 MPa dan *mold Temperature* 30 °C seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.20 sehingga dapat disimpulkan, produk tutup botol yang akan dihasilkan dengan menggunakan parameter dari hasil analisis simulasi dapat digunakan sebagai prediksi awal sebelum diproduksi oleh mesin injeksi sebenarnya.

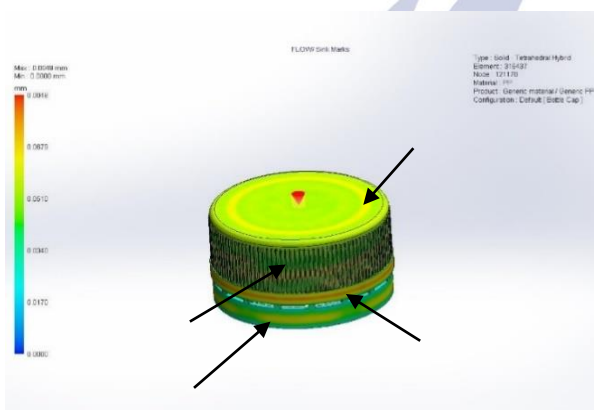
Tabel 4 Hasil simulasi *solidwork* dengan variasi *mold temperature*

NO	Mold Temperature	Fill Time	Pressure	Bulk Temperature	Flow Front Temperature	Shear Stress	Colling Time	Sink Mark
1	20 °C	0,4792 sec	8,54 MPa	51,64 °C	184,3026°C	0,15 MPa	0,9793 sec - 2,9793 sec	0,0445 mm
2	30 °C	0,4798 sec	8,2 MPa	60,07 °C	185,5162°C	0,14 MPa	0,9798 sec - 3,4798 sec	0,042 mm
3	40 °C	0,4799 sec	7,98 MPa	69,17 °C	190,0014°C	0,13 MPa	0,9799 sec - 3,4799 sec	0,048 mm
4	50 °C	0,4801 sec	7,66 MPa	77,99 °C	190,0014°C	0,12 MPa	0,9802 sec - 3,9802 sec	0,0485 mm
5	60 °C	0,4805 sec	7,39 MPa	86,37 °C	192,9984°C	0,12 MPa	0,9806 sec - 4,4806 sec	0,05 mm
6	70 °C	0,4805 sec	7,14 MPa	94,71 °C	194,0346°C	0,12 MPa	0,9805 sec - 4,9805 sec	0,053 mm
7	80 °C	0,4806 sec	6,87 MPa	103,02 °C	197,0076°C	0,11 MPa	0,9806 sec - 5,9806 sec	0,055 mm

Hasil analisis simulasi didapatkan nominal pada gambar dibawah dengan variasi *mold temperature* 30°C hingga 80°C.

Tabel 5 Nilai *sinkmark*

<i>Mold Temperature</i>	<i>Sink mark</i>	
	<i>Min</i>	<i>Max</i>
20 °C	0 mm	0,089 mm
30 °C	0 mm	0,084 mm
40 °C	0 mm	0,096 mm
50 °C	0 mm	0,097 mm
60 °C	0 mm	0,101 mm
70 °C	0 mm	0,107 mm
80 °C	0 mm	0,111 mm

Gambar 3 *Sink Mark* dengan *mold temperature* 30°C

Sink Mark adalah depresi pada permukaan bagian plastik cetakan injeksi. Penyebab mendasar dari sink mark adalah bahwa tidak cukup molekul polimer telah dikemas menjadi bagian untuk mengkompensasi penyusutan yang terjadi. Bagian yang lebih tebal dari bagian yang dingin pada tingkat yang lebih lambat daripada bagian yang lebih tipis, menghasilkan penyusutan yang signifikan pada bagian yang lebih tebal.

Setelah lapisan luar bahan plastik mendingin dan mengeras, bahan inti cair harus mentransfer panas melalui permukaan plastik yang dipadatkan ke dinding rongga. Bahan plastik adalah isolator dan tidak mentransfer panas secara efisien, yang memperlambat laju pendinginan volume inti yang lebih tebal. Semakin lama bahan plastik harus dingin, semakin banyak bahan yang akan menyusut. Tingkat penyusutan yang tinggi pada volume inti menarik permukaan bagian ke dalam, menyebabkan depresi pada permukaan bagian.

Berikut adalah pengaruh suhu *mold* terhadap *Sink Mark*:

Suhu *Mold* Rendah: Pada suhu *mold* yang lebih rendah, material cenderung mendingin lebih cepat. Ini dapat menyebabkan pendinginan yang tidak merata dan pembentukan sink mark yang lebih besar karena material tidak sempat mengisi cetakan dengan sempurna.

Suhu *Mold* Sedang: Pada suhu ini, material memiliki waktu yang cukup untuk mengalir dan mengisi cetakan

sebelum mendingin, sehingga menghasilkan produk dengan sink mark yang lebih sedikit.

Suhu *Mold* Tinggi: Meskipun material memiliki waktu lebih lama untuk mengalir, pendinginan yang lambat juga dapat menyebabkan pembentukan sink mark, meskipun dalam skala yang lebih kecil dibandingkan dengan suhu *mold* yang lebih rendah.

Distribusi dan lokasi *sink mark*: Hasil simulasi menunjukkan bahwa sink mark cenderung terjadi pada area dengan ketebalan dinding yang lebih besar atau di sekitar fitur geometris yang kompleks, seperti *rib* atau *boss*.

Analisis Kuantitatif: Tingkat sink mark diukur dan dibandingkan antar suhu *mold*. Ditemukan bahwa suhu *mold* yang optimal untuk meminimalkan sink mark pada tutup botol 200 ml dari material PP adalah sekitar 30°C

Berdasarkan hasil simulasi menggunakan *software solidwork 2022* dengan variasi *mold temperature* 20°C, 30°C, 40°C, 50°C, 60°C, 70°C, 80°C didapatkan bahwa pada *mold temperature* 30°C dapat digunakan dikarenakan memenuhi tuntutan yaitu minim terdapat cacat *sink mark* dengan rata-rata di angka 0,042 mm.

Dari hasil simulasi ini dengan variasi *mold temperature* dengan tingkat *sink mark* yang paling kecil yaitu pada *mold temperature* 30°C didapatkan nilai sink mark 0 mm hingga 0,084 mm. Ini berarti di daerah biru terdapat *sink mark* sebesar 0,1 mm, lalu pada daerah warna hijau terdapat *sink mark* sebesar 0,034, kuning terdapat *sink mark* sebesar 0,051, oranye terdapat *sink mark* sebesar 0,0679 sedangkan bagian merah terdapat *sink mark* sebesar 0,084 mm

Berikut adalah alasan mengapa suhu cetakan (*mold temperature*) mempengaruhi rasio *sink mark*:

1. Pendinginan dan Penyusutan Material:

- **Suhu Cetakan Tinggi:** Ketika suhu cetakan tinggi, material plastik yang disuntikkan ke dalam cetakan memerlukan waktu lebih lama untuk mendingin dan mengeras. Ini memungkinkan lebih banyak waktu bagi material plastik untuk mengkerut dan menyebabkan material di bagian dalam mengkerut lebih banyak daripada bagian luar. Penyusutan yang tidak merata ini meningkatkan kemungkinan terbentuknya *sink mark*.

- **Suhu Cetakan Rendah:** Sebaliknya, pada suhu cetakan yang rendah, material plastik lebih cepat mendingin dan mengeras. Ini mengurangi waktu untuk penyusutan, sehingga bagian dalam dan luar dari produk akan lebih merata dalam pendinginannya. Dengan pendinginan yang lebih cepat dan merata, risiko terbentuknya *sink mark* akan berkurang.

2. Distribusi Tekanan dan Aliran Material

- **Suhu Cetakan Tinggi:** Pada suhu yang lebih tinggi, material plastik memiliki viskositas yang lebih rendah, sehingga lebih mudah

mengalir dan mengisi cetakan. Namun, karena pendinginan yang lebih lambat, material cenderung mengkerut lebih banyak saat mengeras, menciptakan daerah tekanan rendah di bagian dalam yang dapat menyebabkan *sink mark*.

- Suhu Cetakan Rendah: Suhu rendah meningkatkan viskositas material plastik, sehingga lebih sulit mengalir dan mengisi cetakan. Namun, pendinginan yang cepat membantu menjaga tekanan internal material saat mengeras, mengurangi peluang terbentuknya *sink mark*

3. Pengaruh Pendinginan pada Ketebalan Dinding

- Suhu Cetakan Tinggi: Pendinginan yang lambat pada suhu cetakan tinggi menyebabkan perbedaan suhu yang lebih besar antara permukaan luar dan dalam dari produk. Ini mengakibatkan penyusutan yang tidak merata dan meningkatkan kemungkinan terbentuknya *sink mark*, terutama pada bagian dengan ketebalan dinding yang bervariasi.
- Suhu Cetakan Rendah: Pendinginan yang cepat membantu menjaga suhu yang lebih seragam di seluruh bagian produk, sehingga penyusutan yang terjadi lebih merata dan risiko *sink mark* berkurang.

Mengacu pada nilai *sink mark* yang berbeda pada tiap setting parameter *mold temperature*, maka dapat disimpulkan bahwa setting *mold temperature* berpengaruh terhadap cacat *sink mark* yang dihasilkan pada produk. *mold temperature* yang tinggi akan menghasilkan rasio *sink mark* yang besar, karena pendinginan yang lebih lambat, penyusutan yang lebih signifikan di bagian dalam, dan viskositas material yang lebih rendah. karena pendinginan yang lebih lambat, penyusutan yang lebih signifikan di bagian dalam, dan viskositas material yang lebih rendah. sebaliknya, *mold temperature* yang rendah akan menghasilkan *sink mark* yang kecil karena pendinginan yang lebih cepat dan lebih seragam serta tekanan yang lebih efektif untuk menahan material di tempat. Hal ini dikarenakan dengan *mold temperature* yang tinggi, maka viskositas aliran melt akan menurun. Sehingga pada saat holding, proses pembekuan pada produk akan menjadi lebih lama dan lebih terpusat pada center dari produk. Dengan produk paku kotak yang memiliki sisi dengan ketebalan yang berbeda, maka resiko cacat *sink mark* menjadi lebih besar, terutama pada bagian yang memiliki perbedaan ketebalan cukup tinggi tersebut.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Berdasarkan hasil simulasi menggunakan software solidwork dengan variasi *mold temperature* 20°C, 30°C 40 °C, 50 °C, 60°C, 70°C, 80°C didapatkan bahwa pada *mold temperature* 30 °C dapat digunakan dikarenakan memenuhi tuntutan yaitu minim terdapat cacat *sink mark* dengan rata rata di angka 0,042 mm.
- Dalam analisis parameter suhu cetakan pada tutup botol 200 ml terhadap cacat *sink mark* pada material *polypropylene* (PP) menggunakan Solidwork 2022, desain optimum dicapai dengan mengatur suhu cetakan pada rentang yang tepat untuk meminimalkan cacat tersebut. Penelitian ini melibatkan simulasi termal dan analisis aliran material di dalam perangkat lunak, di mana variasi suhu cetakan diuji untuk menentukan pengaruhnya terhadap kualitas permukaan dan integritas struktural produk akhir. Hasil simulasi menunjukkan bahwa suhu cetakan yang lebih tinggi cenderung mengurangi cacat *sink mark* dengan memperbaiki aliran dan pendinginan material, namun perlu diperhatikan bahwa suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan masalah lain seperti degradasi material. Oleh karena itu, suhu cetakan optimum ditemukan melalui keseimbangan antara peningkatan kualitas permukaan dan menjaga sifat mekanis material, dengan hasil akhir yang menghasilkan produk tutup botol 200 ml yang memenuhi standar kualitas dan estetika yang diinginkan.

Saran

Berikut adalah beberapa saran untuk peneliti selanjutnya agar memperhatikan beberapa parameter seperti:

- Memiilih temperatur cetakan yang sesuai dengan jenis material yang digunakan. Setiap jenis plastik memiliki kisaran temperatur cetakan yang optimal untuk menghindari *sink mark* dan cacat lainnya
- Sesuaikan tekanan injeksi dan waktu pendinginan dengan temperatur cetakan untuk mencapai keseimbangan yang tepat antara pengisian cetakan yang baik dan pendinginan yang cukup cepat
- Memastikan desain cetakan mendukung aliran material yang baik dan mencegah area yang rentan terhadap *sink mark*, seperti dengan

- menggunakan saluran pendingin yang efektif dan menjaga ketebalan dinding yang seragam
- Lakukan uji coba dengan berbagai temperatur cetakan untuk menentukan pengaturan optimal yang menghasilkan kualitas produk terbaik dengan minim *sink mark*.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurokhman, M. 2012. "Analisis Konsumsi Energi Pada Proses Injection Moulding Untuk Efisiensi Energ." *Analisis Konsumsi Energi pada Proses Injection Moulding untuk Efisiensi Energi*: 94.
- Cahyadi, Dadi. 2014. "Analisis Parameter Operasi Pada Proses Plastik Injection Molding Untuk Pengendalian Cacat Produk." *Jurnal Mesin Teknologi* 8(2): 8–16.
<https://jurnal.umj.ac.id/index.php/sintek/article/view/161/143>.
- Choirul Anwar, M, Cahyo Budiyanoro, and Thoharudin Thoharudin. 2018. "Optimalisasi Parameter Proses Injeksi Menggunakan Simulasi Moldflow Untuk Meminimalkan Cycle Time Dan Eliminasi Short Shot Pada Produk Tempaat." *JMPM (Jurnal Material dan Proses Manufaktur)* 2(1): 56–67.
- Rakhmad Arief Siregar, and Ahmad Ridwan Rangkuti. 2018. "Pembuatan Cetakan Kotak Sabun Pada Mesin Injection Molding Plastik." *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi* 1(1): 57–63.
- Widiastuti, Hanifah et al. 2019. "Identifikasi Cacat Produk Dan Kerusakan Mold Pada Proses Plastic Injection Molding." *Jurnal Teknologi dan Riset Terapan (JATRA)* 1(2): 2685–4910.
<http://jurnal.polibatam.ac.id/index.php/JATRA>,
<http://jurnal.polibatam.ac.id/index.php/JATRA>.
- Yanto, Heri, Ihsan Saputra, and Sapto Wiratno Satoto. 2018. "Analisa Pengaruh Temperatur Dan Tekanan Injeksi Moulding Terhadap Cacat Produk." *Jurnal Integrasi* 10(1): 1–6.

