

TUGAS AKHIR
SIMULASI OPTIMALISASI *SINK MARK INDEX* PRODUK
COMPARTMENT BOX* MENGGUNAKAN *AUTODESK MOLDFLOW



Disusun Oleh :

KOMARUDIN SAHLAN

NIM. 1703047

KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN RI
BADAN PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA
INDUSTRI
POLITEKNIK ATK YOGYAKARTA
2021

PENGESAHAN
SIMULASI OPTIMALISASI SINK MARK INDEX PRODUK
COMPARTMENT BOX MENGGUNAKAN AUTODESK MOLDFLOW

Disusun oleh :

KOMARUDIN SAHLAN

1703047

Program Studi Teknologi Pengolahan Karet dan Plastik

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji Tugas Akhir dan dinyatakan
memenuhi salah satu syarat yang diperlukan untuk mendapatkan Derajat Ahli
Madya Diploma III (D3) Politeknik ATK Yogyakarta
tanggal : 3 Februari 2021

Pembimbing



Suharyanto, S.T., M.T.
NIP. 19650109 198602 1 001

TIM PENGUJI

Ketua



Dr. Eng. RB. Seno Wulung, S.T., M.T.
NIP 19800113 200312 1 001

Anggota



Suharyanto, S.T., M.T.
NIP. 19650109 198602 1 001

Ir. Isananto Winursito, M.Eng.Ph.D.
NIP. 19580823 198503 1 003

Yogyakarta, April 2021

Direktur Politeknik ATK

Yogyakarta



Dr. Sutirno, S.Sn., M.Sn.
NIP. 19660101 199403 1 008

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat, hidayah dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan tugas akhir ini.

Tugas akhir tentang Simulasi Optimalisasi *Sink Mark Index* produk *Compartment Box* menggunakan *Autodesk Moldflow* ini diharapkan dapat bermanfaat bagi para akademisi khususnya para mahasiswa yang ingin mempelajari tentang optimalisasi pengurangan cacat *Sink mark*. Tugas akhir ini mengangkat tema pengurangan *Sink Mark Index* produk *Compartment Box* dengan *Rib*.

Dalam proses penyusunan tugas akhir ini, banyak pihak yang telah membantu atas saran dan bimbingan yang telah diberikan. Penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Drs. Sugiyanto, S.Sn., M.Sn. selaku direktur Politeknik ATK Yogyakarta.
2. Bapak Yuli Suwarno, S.T., M.Sc. selaku ketua program studi Teknologi Pengolahan Karet dan Plastik.
3. Bapak Suharyanto, S. T., M. T. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir.
4. Pimpinan, Staff Produksi & QC dan seluruh karyawan di PT. Yogya Presisi Tehnikatama Industri yang telah memberikan tempat dan izin magang.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis memohon maaf atas segala kekurangan pada tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Yogyakarta, 14 September 2020



Penulis

Komarudin Sahlan

PERSEMBAHAN

Puji syukur kepada Allah Subhanahu wa Ta'ala yang telah melimpahkan nikmat dan karunia-Nya serta banyak sekali pelajaran dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Tugas akhir ini saya persembahkan kepada:

1. Keluarga saya yang tercinta, Bapak dan Ibu, Terima kasih atas doa, kasih sayang, motivasi dan perhatian yang tak henti dicurahkan dan Doa tulus menyertaimu.
2. Kedua kakak dan adik saya yang selalu mencintai saya dari kecil dalam keadaan susah maupun senang. Semoga harapan terbaik kita terwujud.
3. Teman-teman TPKP B 2017 yang sudah menemani dan berbagi cerita selama tiga tahun. Sampai jumpa kembali di lain cerita.
4. Teman-teman UKKI Al-Fatih yang sudah memberi kisah saat susah maupun mudah. Terima kasih atas ceritanya. Tetap bersemi di lain hari.
5. Teman terdekat saya. Terima kasih sudah mau mendengar keluh kesah saya dan selalu memberi semangat.
6. Seluruh pihak yang telah memberi andil atas perjuangan ini. Terima kasih atas dukungan dan doanya. Semoga sukses bersama.

MOTTO

“Satu-satunya cara untuk melakukan pekerjaan yang hebat adalah dengan
mencintai apa yang kamu lakukan”

-Steve Jobs



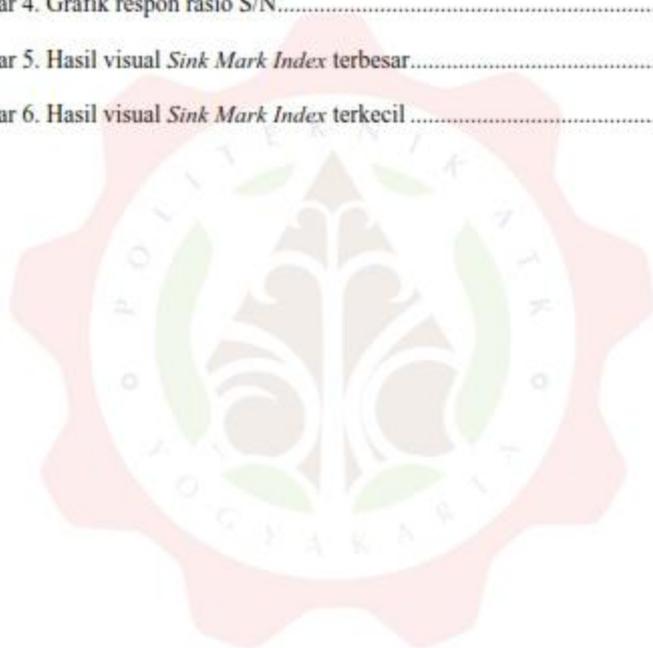
DAFTAR ISI

PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
PERSEMBAHAN	v
MOTTO	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
INTISARI	xii
ABSTRACT.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Permasalahan	4
C. Tujuan Tugas Akhir	5
D. Manfaat Tugas Akhir	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
A. Plastik.....	7

B. Injection Molding.....	8
C. Rib	9
D. Sink mark	11
E. Autodesk Moldflow.....	12
F. Matriks Ortogonal (Orthogonal Array).....	13
G. Rasio S/N	14
BAB III METODE TUGAS AKHIR.....	16
A. Metode Tugas Akhir	16
B. Materi Pelaksanaan Tugas Akhir	17
C. Diagram Alir Percobaan.....	21
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	26
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	38
DAFTAR PUSTAKA	40
LAMPIRAN.....	41

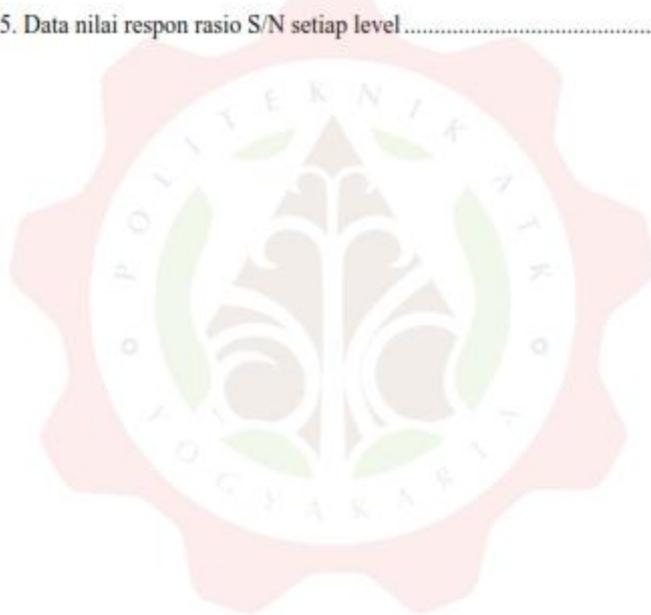
DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Dimensi Rib	11
Gambar 2. <i>Compartment Box</i>	20
Gambar 3. Diagram Alir Percobaan.....	21
Gambar 4. Grafik respon rasio S/N.....	32
Gambar 5. Hasil visual <i>Sink Mark Index</i> terbesar.....	36
Gambar 6. Hasil visual <i>Sink Mark Index</i> terkecil	36



DAFTAR TABEL

Tabel 1. Data faktor dan level percobaan simulasi	22
Tabel 2. Matriks percobaan simulasi	23
Tabel 3. Data hasil percobaan simulasi.....	26
Tabel 4. Data nilai respon rasio S/N setiap percobaan	29
Tabel 5. Data nilai respon rasio S/N setiap level	31



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Output Hasil Simulasi Autodesk Moldflow	42
Lampiran 2. Surat Keterangan Magang	47
Lampiran 3. Surat Penilaian Magang.....	48



INTISARI

Compartment Box mempunyai *Rib* sehingga terdapat ketebalan produk yang tidak seragam pada *Compartment Box*. Hal ini berpotensi menimbulkan cacat *Sink mark* yang mengurangi penampilan produk. Cacat *Sink mark* merupakan lekukan pada permukaan plastik yang terjadi karena ketebalan produk yang tidak seragam seperti adanya *Rib*. Tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk menentukan kombinasi dari ketinggian *Rib* dan ketebalan *Rib* yang menghasilkan *Sink Mark Index* yang optimal menggunakan Percobaan simulasi *Autodesk Moldflow*. Desain eksperimen menggunakan orthogonal array dilakukan untuk merancang percobaan yang sesuai dengan kedua faktor dan level. Hasil Percobaan simulasi dianalisis menggunakan rasio S/N untuk menentukan kombinasi faktor yang menghasilkan *Sink Mark Index* yang optimal. Hasil analisis menghasilkan ketinggian *Rib* yang optimal pada level 3 dan ketebalan *Rib* pada level 1.

Kata kunci: Cacat produk, simulasi, *Compartment box*, *Autodesk Moldflow*.

ABSTRACT

The Compartment Box has Rib so that there is a non-uniform thickness of the product in the storage box. Therefore, this has the potential to cause sink mark defects that reduce the appearance of the product. Storage boxes equipped with Rib can cause sink mark defects that reduce the appearance of the product. The sink mark defect is an indentation on the part surface that occurs because of non-uniform wall thickness, such as the presence of Rib. The purpose of this final project is to determine the combination of rib height and rib thickness that produces an optimal sink mark index using Autodesk Moldflow simulation experiments. Experimental design using orthogonal arrays is carried out to design experiments that suit both factors and levels. The results of the simulation experiment were analyzed using the S / N ratio to determine the combination of factors that produced the optimal sink mark index. The analysis results produce the optimal sink mark indexes are rib height at level 3 and rib thickness at level 1.

Keywords: product defect, Simulation, Compartement box, Autodesk Moldflow.

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Menurut Direktur Industri Kimia Hilir dan Farmasi Kementerian Perindustrian RI, Taufik Bawazier (2019) mengatakan bahwa potensi Industri produk plastik di Indonesia masih sangat besar. Hal ini karena penggunaan plastik di Indonesia terus meningkat setiap tahun diikuti dengan perkembangan sektor industri lainnya terutama sektor manufaktur, seperti sektor makanan dan minuman, sektor elektronika, sektor otomotif, hingga farmasi yang membutuhkan plastik. Pada sektor manufaktur, produk plastik memudahkan dalam menyimpan barang atau produk. Produk plastik yang digunakan adalah *Compartment Box*.

Compartment Box umumnya terbuat dari plastik jenis *polypropylene* menggunakan teknologi *Injection molding*. *Compartment Box* terus mengalami perkembangan dari sisi fungsi maupun desain. *Compartment Box* yang hanya digunakan sebagai tempat barang, saat ini dilengkapi dengan fitur kompartemen yang berfungsi untuk memisahkan dan merapikan barang yang akan disimpan. Kompartemen ini juga memudahkan untuk menata dan pengambilan barang dari *Compartment Box*, seperti penyimpanan sekrup dengan berbagai ukuran dalam suatu kotak. Kompartemen merupakan sekat atau *Rib* yang memisahkan dan membagi bagian dari *Compartment Box* menjadi beberapa bagian. *Rib* yang biasa

ditambahkan pada produk berdinding tipis sebagai penguat, pada *Compartment Box* digunakan sebagai sekat sehingga mempunyai ketinggian *Rib* yang melebihi ketentuan. Namun dalam proses produksi menggunakan *Injection molding*, sekat-sekat pada *Compartment Box* ini dapat menyebabkan cacat produk yang mempengaruhi kualitas produk. *Rib* yang mempunyai ketebalan ataupun ketinggian yang berlebih dibanding ketebalan produk berpotensi menyebabkan cacat produk *sink mark*.

Sink mark terjadi pada *Compartment Box* dengan *Rib* yang terlalu tebal dan tinggi karena adanya perbedaan ketebalan pada persimpangan antara *Rib* dan ketebalan produk sehingga permukaan dibalik *Rib* pada persimpangan membutuhkan waktu pendinginan lebih lama dibandingkan area lainnya. Setelah pendinginan, permukaan yang memiliki waktu pendinginan lebih lama dibanding permukaan lain belum siap mengalami pengerasan (*solidified*) sehingga menyebabkan permukaan tersebut menyusut tidak seragam (Bryce, 1996).

Cacat *sink mark* perlu dikurangi dengan menentukan variabel yang menghasilkan cacat paling minimal sehingga diperoleh nilai *Sink Mark Index* yang paling rendah. Nilai *Sink Mark Index* merupakan persentase antara volume produk dengan volume *sink mark*. Nilai *Sink Mark Index* dapat diperoleh menggunakan bantuan simulasi pada *Autodesk Moldflow*. *Autodesk moldflow* dapat mensimulasikan proses *injection molding*. Simulasi menggunakan *autodesk moldflow* membutuhkan berkas (*file*) tiga dimensi dari produk yang akan dianalisa.

File tiga dimensi yang disiapkan untuk simulasi dibuat dengan variasi ketinggian dan ketebalan *Rib* sebagai variabel yang akan dianalisa terhadap nilai *Sink Mark Index*. Variasi ketinggian dan ketebalan *rib* pada percobaan simulasi dibuat mengikuti matriks ortogonal yang dibuat sesuai jumlah faktor dan level. Nilai *Sink Mark Index* yang dihasilkan dari percobaan simulasi selanjutnya diolah menggunakan *Signal to Noise Ratio* atau rasio S/N sehingga menghasilkan kombinasi ketinggian dan ketebalan *rib* yang optimal. Hubungan ketebalan dan ketinggian *rib* pada *Compartment Box* dengan cacat *sink mark* dapat dilihat dari salah satu faktor penyebab cacat *sink mark* yang disebabkan oleh perbedaan ketebalan produk yang terdapat pada *rib*. Perbedaan ketebalan produk pada *rib* terdapat pada persimpangan antara *rib* dengan ketebalan produk (membentuk huruf T). Pada persimpangan antara *rib* dengan ketebalan produk, cacat *sink mark* timbul di permukaan luar produk plastik dibalik *rib* sehingga semakin besar persimpangan antara *rib* dengan ketebalan produk berpotensi memperbesar cacat *sink mark*. Ketinggian *rib* pada produk *Compartment Box* juga menambah persimpangan antara *rib* dengan ketebalan produk secara vertikal sehingga ketinggian produk juga berpotensi menambah perbedaan ketebalan produk. Cacat *sink mark* dapat dikurangi dengan menentukan kombinasi ketinggian dan ketebalan produk yang optimal. Kombinasi ketinggian dan ketebalan *Rib* yang optimal ditentukan dari nilai *Signal to Noise Ratio* paling besar. Kombinasi ketinggian dan ketebalan *rib* tersebut dapat digunakan sebagai patokan untuk pembuatan *Rib* pada produk *Compartment*

Box yang mempunyai ketinggian dan ketebalan berlebih sesuai spesifikasi produk sehingga cacat *sink mark* yang terjadi pada *Compartment Box* dengan ketebalan dan ketinggian *Rib* yang berlebih dapat diminimalisir.

Dengan demikian, untuk memecahkan masalah tersebut diperlukan percobaan simulasi menggunakan bantuan *Autodesk Moldflow* untuk menganalisis hasil data dari *Autodesk Moldflow*. Maka, penulis akan menjabarkan permasalahan dan solusinya dalam judul: **“Simulasi Optimalisasi *Sink Mark Index* Produk *Compartment Box* Menggunakan *Autodesk Moldflow*”**.

Tugas akhir ini merupakan pengembangan dari penelitian Cahyo Budiyanoro (2016) yang melakukan optimalisasi *Sink Mark Index* menggunakan *Autodesk Moldflow*. Penelitian sebelumnya yang mengoptimalkan *Sink Mark Index* pada variasi ketebalan produk yang ekstrim dengan parameter *injection molding*, pada tugas akhir ini dilakukan optimalisasi dengan variabel yang berbeda. Variabel yang diteliti pada tugas akhir ini yaitu ketebalan dan ketinggian *Rib* yang mempengaruhi *Sink Mark Index*.

B. Permasalahan

Berdasarkan uraian latar belakang sebelumnya, maka permasalahan yang diperoleh, yaitu:

1. Bagaimana cara mengurangi cacat *sink mark* yang terjadi pada *Compartment Box* yang mempunyai *Rib* dengan ketebalan dan ketinggian berlebih?

2. Bagaimana cara menentukan kombinasi level yang menghasilkan *Sink Mark Index* paling optimal dengan simulasi variasi tinggi dan ketebalan *Rib* menggunakan *software Autodesk Moldflow*?
3. Apa pengaruh ketinggian dan ketebalan *Rib* terhadap nilai *Sink Mark Index* pada *Compartment Box*?

C. Tujuan Tugas Akhir

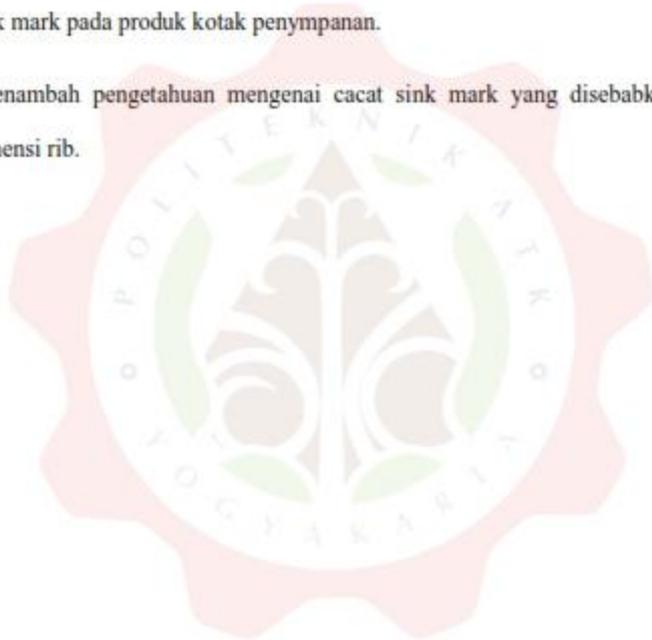
Tujuan dari penulisan tugas akhir ini yaitu dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Mengurangi cacat *sink mark* pada produk *Compartment Box* yang mempunyai *Rib* dengan ketebalan dan ketinggian berlebih menggunakan *software Autodesk Moldflow*.
2. Menentukan kombinasi level yang menghasilkan *Sink Mark Index* paling optimal sesudah dilakukan simulasi variasi tinggi dan ketebalan *Rib* dari *software Autodesk Moldflow*.
3. Mengetahui pengaruh ketinggian dan ketebalan *Rib* terhadap nilai *Sink Mark Index* pada produk *Compartment Box*.

D. Manfaat Tugas Akhir

Manfaat dari penulisan tugas akhir ini yaitu dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Memberikan saran ketebalan dan ketinggian rib yang dapat mengurangi cacat sink mark pada produk kotak penyimpanan.
2. Menambah pengetahuan mengenai cacat sink mark yang disebabkan oleh dimensi rib.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Plastik

Plastik dibuat dengan memurnikan produk minyak bumi umum, minyak mentah dan gas alam menjadi blok polimer. Polimer terdiri dari monomer atau satu unit plastik yang membentuk banyak unit menjadi gabungan plastik dalam proses polimerisasi dengan katalis, tekanan dan panas. Polimer yang sering digunakan dalam injection molding adalah polimer *Thermoplastic*.

Thermoplastic merupakan material plastik yang melunak saat dipanaskan dan mengeras saat didinginkan. *Thermoplastic* tersedia dalam berbagai macam jenis dan mutu dengan sifat kaku sampai elastis. Contoh jenis *Thermoplastic* yang umum digunakan untuk membuat *Compartment Box* adalah Polipropilena atau polietilena. Dua kategori utama dari material termoplastik adalah amorf dan kristalin walaupun beberapa termoplastik merupakan gabungan dari kedua kategori tersebut.

Thermoplastic Amorf adalah bahan yang mempunyai struktur rantai molekul acak dan menjadi bergerak pada rentang suhu yang luas. Hal ini menunjukkan bahwa bahan-bahan ini tidak benar-benar meleleh, tetapi agak melunak, dan mulai melunak segera setelah panas diberikan. Amorf dapat menjadi lembut dan lebih lembut saat menyerap panas sampai kelembutan menurun karena menyerap panas yang berlebihan.

Thermoplastic Crystalline adalah bahan yang mempunyai struktur rantai molekul tertata dengan baik dan menjadi bergerak setelah material dipanaskan hingga titik lelehnya artinya material tersebut tidak masuk melalui tahap pelunakan seperti amorf tetapi tetap kaku sampai dipanaskan pada suhu spesifik dimana material akan mencair (Bryce, 1996).

B. Injection Molding

Injection Molding adalah suatu metode untuk memproduksi produk plastik dengan material lelehan plastik panas yang mengisi suatu rongga cetakan/*mold* yang membentuk produk plastik menggunakan bantuan mesin *Injection Molding*. Mesin *injection molding* terdiri dari dua unit yaitu unit injeksi dan unit *clamping*. Unit injeksi berfungsi untuk melelehkan biji plastik dan memindah lelehan ke dalam *mold*. Unit *clamping* berfungsi untuk menahan *mold* pada posisi tertutup saat proses injeksi sehingga dapat menahan tekanan pada unit injeksi dan membentuk material sesuai bentuk *mold*. *Mold* terbuka sesudah pendinginan untuk mengeluarkan produk dari *mold*.

Siklus *Injection Molding* dimulai dari penutupan kedua bagian *mold* sampai produk terlepas dari *mold* sehingga *mold* tertutup kembali. Siklus *Injection Molding* dimulai dari proses pengisian (*Filling*), Proses pengemasan (*Packing*), dan Proses Pendinginan (*Cooling*) (fischer, 2013).

Proses Pengisian (*Filling*) dimulai saat barrel bergerak maju. Siklus injeksi dimulai dengan penutupan dua bagian *mold* yang dikontrol dengan panel

dengan mode manual, semi otomatis, atau otomatis. Pemanas pada silinder melelehkan material plastik di dalam screw. Screw bergerak maju dan menimbulkan tekanan sehingga lelehan plastik bergerak menuju *nozzle* dan mengisi rongga mold melalui gate dan runner. Proses berlanjut sampai rongga mold terisi sepenuhnya.

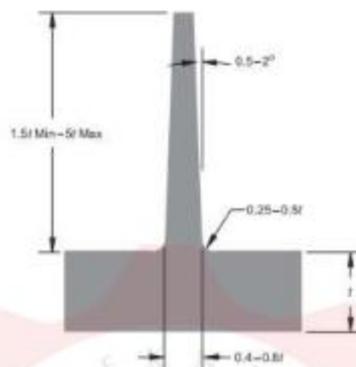
Proses pengemasan (*Packing*) terjadi saat proses pengisian berakhir dan rongga mold terisi penuh. Pada proses ini, tekanan diberikan ke dalam cetakan sampai gate dingin. Beberapa lelehan plastik diberikan ke dalam cetakan untuk menangani penyusutan karena pendinginan.

Proses pendinginan (*Cooling*) dimulai setelah proses pengemasan berakhir dan lelehan plastik dapat didinginkan sampai lelehan plastik menjadi solid dan dapat dilepaskan dari cetakan. Proses pendinginan adalah proses terlama dari semua siklus injection molding. Pada saat pendinginan, panas dilepaskan dari mold menggunakan sistem pendingin dengan waktu pendinginan yang telah diatur.

C. Rib

Rib adalah tonjolan pada bagian permukaan plastik yang mempunyai banyak kegunaan. *Rib* dapat digunakan untuk menambah kekuatan pada bagian plastik, menambah estetika produk plastik, dan mengurangi berat produk plastik yang mempunyai ketebalan berlebih. Penambahan *Rib* juga menambah biaya peralatan cetakannya (Charles, 2006).

Dimensi *Rib* dapat dilihat pada gambar 1. Dimensi *rib* ini merupakan petunjuk dalam penambahan *Rib* pada produk plastik. Dimensi *rib* beracuan dengan ketebalan produk (t). Ketebalan *rib* yang disarankan antara 0,4 sampai 0,8 kali dari ketebalan produk. Ketebalan *rib* juga tergantung pada jenis plastik yang digunakan seperti amorf dan kristalin. Material kristalin dapat menyusut lebih dari material amorf. Ketebalan *rib* yang digunakan pada tugas akhir ini yaitu 0,4; 0,6; dan 0,8 kali dari ketebalan *Compartment Box* sehingga sesuai dengan ketebalan *Rib* yang disarankan antara 0,4 sampai 0,8 kali dari ketebalan produk. Ketinggian *Rib* yang disarankan antara 1,5 kali sampai 5 kali dari ketebalan produk. Ketinggian *Rib* yang melebihi 5 kali dari ketebalan produk dapat mempersulit proses pelepasan produk dari mold karena menghasilkan vakum pada mold. Jari-jari ditambahkan pada sisi penghubung antara produk dan *Rib* sebesar 0,25 sampai 0,5 kali dari ketebalan produk. Sisi penghubung antara produk dan *Rib* tidak boleh lancip atau tidak ada jari-jari. Pada gambar dapat dilihat nilai 0,5 sampai 2 derajat merupakan *draft angles* yang ditambahkan untuk mengurangi vakum pada mold sehingga produk mudah terlepas dari mold (Paul, 2014).



Gambar 1. Dimensi Rib

Sumber: Paul, 2014

D. Sink mark

Sink mark adalah lekukan pada permukaan produk plastik yang biasa terjadi pada ketebalan produk yang tidak seragam seperti pada *Rib*. *Sink mark* adalah cacat yang mempengaruhi estetika sehingga mempengaruhi penampilan produk dan tidak mempengaruhi sifat fisis produk. *Sink mark* juga menyebabkan produk tidak diterima atau reject (Rosato, 2000).

Saat lelehan plastik diinjeksikan ke dalam cetakan, lelehan plastik mulai bersentuhan dengan dinding cetakan yang mulai mendingin. Lelehan plastik yang bersentuhan dengan dinding cetakan mulai membeku. Lelehan plastik mendingin mengalami penyusutan. Oleh karena itu, lelehan plastik pada bagian tersebut mengalami penyusutan membutuhkan tambahan lelehan plastik untuk

mengimbangi penyusutan. Jika pada bagian tersebut lelehan plastik tidak tersedia untuk menyeimbangi penyusutan, maka pada permukaan bagian tersebut seperti tertarik ke dalam sehingga membentuk tanda lekukan ke dalam.

Pada *Rib* terdapat bagian yang lebih tebal daripada ketebalan produk di bagian lain sehingga selama proses pendinginan, bagian yang lebih tebal tersebut membutuhkan waktu yang lebih lama dibanding bagian lainnya untuk proses pendinginan yang cukup sehingga hal tersebut dapat menyebabkan *Sink mark* disekitar *Rib* terutama di permukaan produk dibawah *Rib*.

E. Autodesk Moldflow

Autodesk Moldflow merupakan software komputer yang digunakan untuk mensimulasikan desain produk plastik, desain cetakan plastik, dan proses injection molding menjadi lebih cepat (Cahyo, 2016). Software ini menggunakan metode *finite element analysis* (FEA) yang didalamnya terdapat modul dengan berbagai aspek proses yang disimulasikan. Seperti contoh, ada modul yang bertugas untuk membagi model menjadi beberapa bagian sesuai model 3D dan jenis mesh yang digunakan untuk analisis. Modul untuk menganalisis proses *filling* dan *packing* pada proses *injection molding*. Modul lainnya seperti memprediksi penyusutan dan bentuk akhir dari simulasi. Autodeks Moldflow menggunakan *True 3D solid* FEA sebagai *meshing* model 3D untuk analisis *filling*.

True 3D solid FEA merupakan sebuah program yang membagi Model 3D menjadi kubus atau tetrahedral. Program ini cocok untuk produk dengan ketebalan berlebih, komponen kecil, dan produk dengan penguat fiber. Salah satu kelemahan program ini adalah membutuhkan waktu kalkulasi yang panjang sehingga memerlukan waktu simulasi yang lama (Fischer, 2013).

Autodesk Moldflow yang digunakan pada simulasi ini adalah *Autodesk Moldflow Adviser*. *Moldflow adviser* merupakan versi kecil dari *Autodesk Moldflow* dan dapat digunakan secara gratis selama setahun dalam versi pelajar.

F. Matriks Ortogonal (Orthogonal Array)

Matriks Ortogonal (Orthogonal Array) adalah matriks fraksional faktorial yang memiliki perbandingan level dari faktor yang seimbang. Elemen-elemen matriks ortogonal disusun menurut baris dan kolom. Kolom merupakan faktor dalam percobaan. Baris merupakan kombinasi dari taraf faktor dalam percobaan. Matriks disebut ortogonal karena semua kolom dapat dievaluasi secara independen satu sama lain. Dalam metode Taguchi matriks ortogonal yang digunakan adalah matriks ortogonal yang bisa disimbolkan sebagai (Soejanto, 2009):

$$L_p(q^r) \quad (1)$$

Dengan:

p = jumlah percobaan yang dilakukan.

q = jumlah level tiap faktor

r = jumlah faktor

Misalkan L_9 (3^4) merupakan matriks yang menggambarkan suatu percobaan yang dijalankan sebanyak sembilan kali dengan taraf masing- masing faktor sebanyak tiga dan jumlah kolom matrik ortogonal sebanyak empat.

G. Rasio S/N

Rasio S/N merupakan transformasi pengulangan data kedalam suatu nilai yang mengukur variasi yang timbul. Rasio S/N terdiri dari beberapa tipe karakteristik kualitas, yaitu:

1. Semakin kecil, semakin baik

Adalah karakteristik kualitas dengan batas nilai 0 dan non negative.

Nilai semakin kecil (mendekati nol adalah yang diinginkan).

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^r y_i^2 \right) \quad (2)$$

2. Tertuju pada nilai tertentu

Karakteristik kualitas dengan nilai atau target tidak nol dan terbatas atau dengan kata lain nilai yang mendekati suatu nilai ditentukan adalah yang terbaik.

$$S / N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^r \frac{V_m V_e}{n V_e} \right) \quad (3)$$

3. Semakin besar, semakin baik

Karakteristik kualitas dengan rentang nilai tak terbatas dan tidak negatif.

Nilai semakin besar adalah semakin di inginkan

$$S / N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^r \frac{1}{y_i} \right) \quad (4)$$

Dimana:

n : Jumlah pengulangan dari suatu percobaan

y : data yang diperoleh dari percobaan

Menurut Omar et al. (2016) mengatakan bahwa Rasio S/N dapat digunakan untuk menentukan parameter setting yang terbaik. Rasio S/N adalah suatu persamaan untuk menentukan parameter proses yang optimal.. Kondisi yang optimal pada *Sink mark* dapat dilihat dari nilai *Sink mark* yang terkecil sehingga kategori semakin kecil lebih baik yang dipilih.

BAB III

METODE TUGAS AKHIR

A. Metode Tugas Akhir

Metode yang digunakan dalam pelaksanaan tugas akhir terdiri dari 2 metode yaitu:

1. Metode Studi Literatur

Metode studi literatur merupakan pencarian informasi dan referensi yang diperoleh secara tidak langsung dari narasumber sebagai acuan dalam penyusunan tugas akhir. Metode studi literatur yang diambil tentunya memiliki keterkaitan dengan materi penyusunan tugas akhir dalam pengumpulan data sekunder:

a. Studi Pustaka

Studi pustaka merupakan teknik pengumpulan data primer maupun sekunder dengan melakukan pengamatan dengan mencari informasi melalui buku dan literatur pendukung lainnya dalam pembahasan tugas akhir.

2. Metode Percobaan Simulasi

Metode percobaan Simulasi merupakan percobaan simulasi menggunakan aplikasi *Autodesk Moldflow*. Percobaan simulasi ini dilakukan untuk pengambilan data hasil simulasi berupa data kualitatif dan kuantitatif dengan disertai gambar sebagai pendukung dalam percobaan.

B. Materi Pelaksanaan Tugas Akhir

Materi pelaksanaan tugas akhir yang dikaji dalam lingkup simulasi mencakup peralatan dan bahan Simulasi Optimalisasi *Sink Mark Index*. Adapun peralatan dan bahan yang berhubungan dengan tugas akhir adalah sebagai berikut:

1. Alat

Peralatan yang digunakan berupa Hardware laptop yang berguna untuk menjalankan *software*. Laptop yang digunakan terlebih dahulu dipasang *software Autodesk Moldflow Adviser* dan *Solidworks*.

2. Bahan

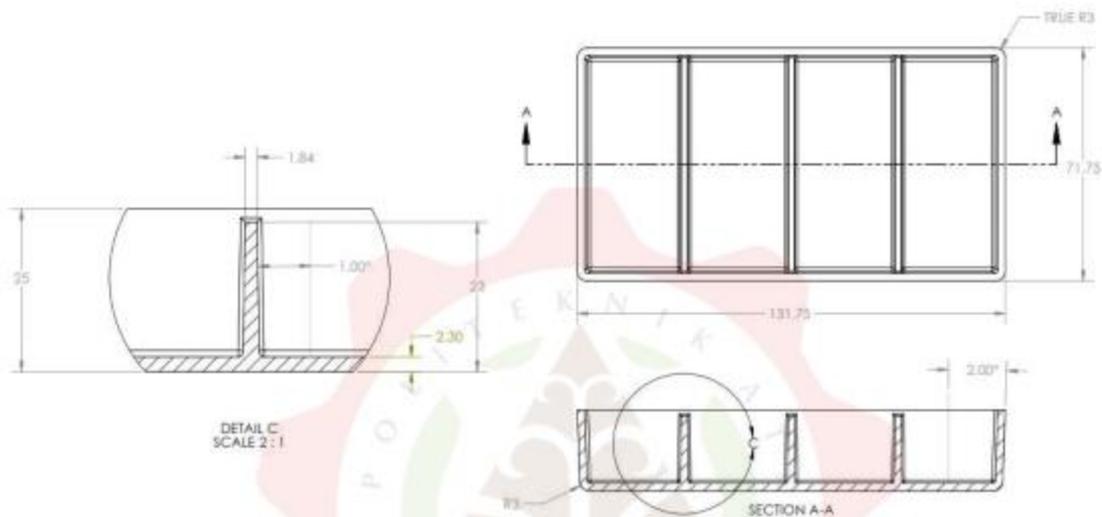
Bahan yang digunakan dalam Simulasi Optimalisasi Index *Sink mark* yaitu:

a. Solidworks

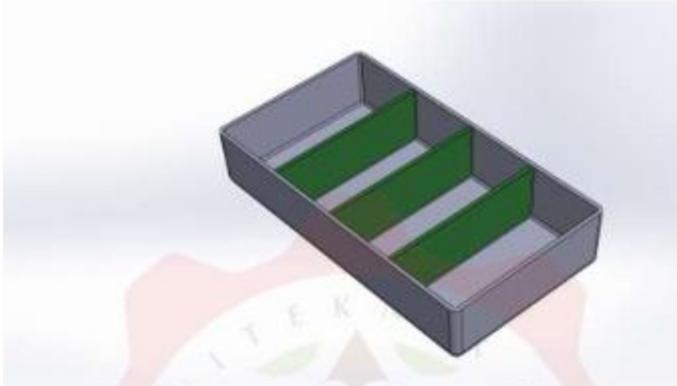
Solidworks Merupakan *software* desain yang digunakan untuk membantu pembuatan Model 3D dari *Compartment Box* dengan *Rib*. Model 3D yang dibuat digunakan sebagai bahan yang dibutuhkan untuk proses simulasi.

b. Model 3D

Model 3D yang diperlukan untuk simulasi dibuat menggunakan solidworks 2014. Model 3D dibuat seperti pada gambar 2. Model 3D berbentuk *Compartment Box* yang mempunyai *Rib* dengan dimensi tinggi dan ketinggian *Rib* yang berbeda. Gambar 2 merupakan gambar dua dimensi dari salah satu model 3D yang akan dilakukan simulasi. Dimensi dari produk *Compartment Box* dibuat sama dari semua percobaan simulasi dengan panjang 131,75 mm, tinggi 25 mm dan lebar 71,75 mm. Pada gambar 2 dapat dilihat 1,84 mm merupakan ketebalan rib dan 23 mm merupakan ketinggian rib dari salah satu model 3D pada percobaan simulasi. Gambar 3 merupakan gambar 3D dari compartment box. Warna hijau pada gambar 3D merupakan rib.



Gambar 2. Dimensi Compartment Box



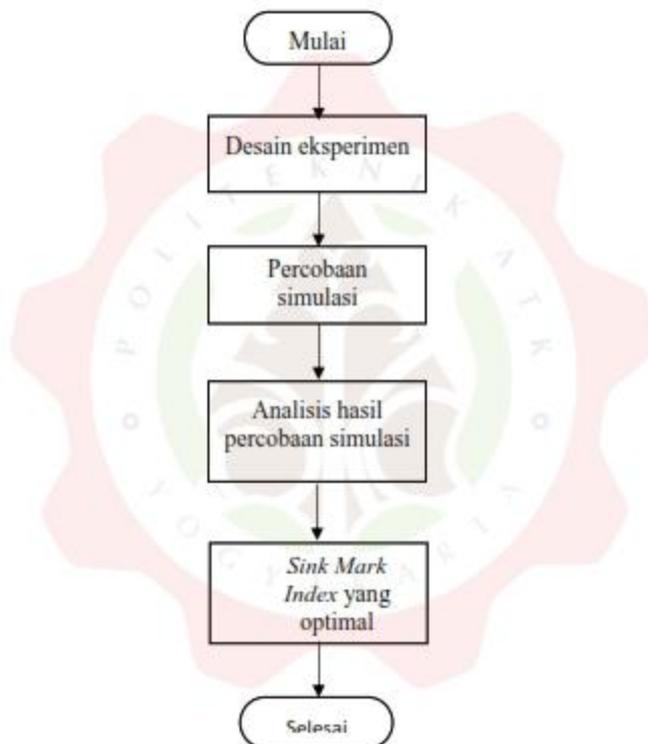
Gambar 3. *Compartment Box*

c. *Autodesk Moldflow Adviser*

Software *Autodesk Moldflow Adviser* digunakan untuk membantu proses simulasi injection molding. Proses simulasi menghasilkan data berupa *Sink Mark Index*, kedalaman *Sink mark*, dan kedalaman maksimal *Sink Mark Index*.

C. Diagram Alir Percobaan

Diagram alir simulasi optimalisasi *Sink Mark Index*, terlihat pada gambar 4. Berikut.



Gambar 4. Diagram Alir Percobaan

Penjelasan dari diagram alir

Sebelum memulai percobaan simulasi dilakukan desain eksperimen terlebih dahulu untuk menentukan komposisi percobaan dari faktor dan level yang dipilih. Faktor yang dipilih adalah ketinggian *Rib* dan ketebalan *Rib* dengan 3 level setiap faktor yang dapat dilihat pada tabel 1. Level dari faktor tinggi rib dan tebal rib pada percobaan simulasi dibuat berdasarkan ketebalan produk yaitu 2.3 mm, dapat dilihat pada tabel 2. Faktor dan level yang sudah ditentukan selanjutnya dibuat desain eksperimen menggunakan matriks ortogonal. Matriks ortogonal yang sudah dibuat menghasilkan matriks percobaan simulasi dari kedua faktor dan level yang dapat dilihat pada tabel 3. Matriks percobaan simulasi yang dihasilkan dengan jumlah baris Sembilan dan dua kolom. Jumlah baris menunjukkan jumlah percobaan yang akan dilakukan dan jumlah kolom menunjukkan komposisi percobaan simulasi dari kedua faktor. Setelah desain eksperimen dibuat dapat dilanjutkan dengan mempersiapkan percobaan simulasi.

Tabel 1. Data faktor dan level percobaan simulasi

Kode.	Parameter	Level		
		1	2	3
A	Ketinggian <i>Rib</i> (mm)	13,8	18,4	23,0
B	Ketebalan <i>Rib</i> (mm)	0,92	1,38	1,84

Tabel 2. Faktor dan level percobaan simulasi berdasarkan tebal produk.

Tebal produk, t_{wall} (mm)	Tinggi rib, h_{rib} (mm)			Tebal rib, t_{rib} (mm)		
	$6t_{wall}$	$8t_{wall}$	$10t_{wall}$	$0.4t_{wall}$	$0.6t_{wall}$	$0.8t_{wall}$
2.3	13.80	18.40	23.00	0.92	1.38	1.84

Tabel 3. Matriks percobaan simulasi

No. Percobaan	Level	
	A	B
1	1	1
2	1	2
3	1	3
4	2	1
5	2	2
6	2	3
7	3	1
8	3	2
9	3	3

Persiapan simulasi dilakukan untuk mengatur percobaan simulasi sebelum dilakukan proses eksekusi oleh program. Persiapan yang dilakukan membuat model yang akan digunakan untuk simulasi dan mengatur parameter proses pada simulasi. Persiapan simulasi dimulai dengan pembuatan model 3D menggunakan software desain 3D *Solidworks* versi tahun 2014. Model 3D dibuat sesuai matriks percobaan yang sudah dibuat. Berdasarkan matriks percobaan dibuat

9 model 3D dengan ketinggian dan ketebalan yang berbeda. Model 3D yang sudah dibuat selanjutnya diimpor ke Software simulasi *Autodesk Moldflow Adviser* versi tahun 2014. Software *Autodesk Moldflow* selanjutnya melakukan perbaikan dan *meshing* model 3D agar model dapat digunakan untuk proses simulasi. *Meshing* model 3D yang digunakan adalah true 3D solid FEA sesuai jenis model yang termasuk produk kecil sehingga diperlukan analisis yang lebih detail. Setelah dilakukan perbaikan dan *meshing* model 3D selanjutnya mengatur parameter proses simulasi. Parameter proses simulasi diatur sama dari setiap percobaan sehingga parameter proses digunakan sebagai variabel bebas yang tidak akan diubah pada setiap percobaan. Parameter proses yang diatur terlebih dahulu adalah material. Material yang digunakan adalah *polypropylene* sehingga tidak perlu mengatur aturan material lagi dan pada tugas akhir ini parameter material tidak akan dibahas. Parameter selanjutnya yang harus diatur adalah lokasi gate atau titik awal injeksi. Lokasi gate dari semua percobaan diatur sama menggunakan analisis lokasi gate dari *Autodesk Moldflow* dan dari analisis menghasilkan titik gate yang baik pada permukaan bawah bagian tengah *Compartment Box*. Parameter yang seharusnya berpengaruh pada cacat *Sink mark* adalah suhu leleh dan suhu cetakan namun pada percobaan ini parameter ini juga diatur sama pada semua percobaan karena hanya dua faktor yang akan penulis kaji. Suhu leleh dan suhu cetakan ditentukan dengan bantuan analisis *molding window* dari *Autodesk Moldflow* yang dapat menentukan suhu leleh dan suhu cetakan yang baik berdasarkan spesifikasi

material. Suhu leleh dan suhu cetakan yang digunakan pada percobaan simulasi adalah 240°C dan 40°C. Setelah parameter suhu leleh dan suhu cetakan diatur selanjutnya memasuki proses percobaan simulasi menggunakan software *Autodesk Moldflow*.

Pada proses percobaan simulasi dilakukan analisa *Sink mark* untuk mengambil data *Sink Mark Index* dari Sembilan percobaan menggunakan software *Autodesk Moldflow* yang sudah diinstall di komputer. Data *Sink Mark Index* diambil dari hasil simulasi estimasi *Sink mark* pada *Autodesk Moldflow*. Simulasi estimasi *Sink mark* diproses secara otomatis oleh program *Autodesk Moldflow* sehingga pada proses simulasi perlu menunggu beberapa saat sampai proses simulasi selesai. Simulasi estimasi *Sink mark* menghasilkan nilai *Sink Mark Index* dan gambaran kedalaman dan letak dari *Sink mark*. Data *Sink Mark Index* diambil dari setiap percobaan untuk diproses analisis hasil percobaan simulasi. Analisis hasil percobaan dilakukan menggunakan perhitungan rasio S/N dari data hasil *Sink Mark Index*. Nilai hasil dari perhitungan rasio S/N digunakan untuk menentukan kombinasi dari faktor yang optimal.