

TUGAS AKHIR - TM184835

**RANCANG BANGUN DAN ANALISA SIMULASI SISTEM
GATING DAN *FEEDING* PADA *INVESTMENT CASTING*
CABLE PROTECTOR UNTUK PENINGKATAN KAPASITAS
PRODUKSI
(STUDI KASUS: PERUSAHAAN X)**

MUCHAMMAD AKMALUDDIN
NRP 02111640000141

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Witantyo, M.Eng.Sc.
NIP 196303141988031002

PROGRAM STUDI SARJANA
Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022



TUGAS AKHIR - TM184835

**RANCANG BANGUN DAN ANALISA SIMULASI SISTEM
GATING DAN *FEEDING* PADA *INVESTMENT CASTING*
CABLE PROTECTOR UNTUK PENINGKATAN
KAPASITAS PRODUKSI
(STUDI KASUS: PERUSAHAAN X)**

MUCHAMMAD AKMALUDDIN
NRP. 02111640000141

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Witantyo, M.Eng.Sc.
NIP 196303141988031002

PROGRAM STUDI SARJANA
Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022



FINAL PROJECT - TM 184835

**DESIGN AND ANALYSIS OF GATING AND FEEDING
SYSTEM SIMULATION AT INVESTMENT CASTING
CABLE PROTECTOR FOR INCREASING PRODUCTION
CAPACITY
(CASE STUDY: COMPANY X)**

MUCHAMMAD AKMALUDDIN
NRP. 02111640000141

Advisor
Dr. Ir. Witantyo, M.Eng.Sc.
NIP 196303141988031002

UNDERGRADUATE STUDY PROGRAM
Department of Mechanical Engineering
Faculty of Industrial Technology and System Engineering
Sepuluh Nopember Institute of Technology Surabaya

2022

LEMBAR PENGESAHAN

RANCANG BANGUN DAN ANALISA SIMULASI SISTEM GATING DAN FEEDING PADA INVESTMENT CASTING CABLE PROTECTOR UNTUK PENINGKATAN KAPASITAS PRODUKSI (STUDI KASUS: PERUSAHAAN X)

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Teknik Mesin
Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh: MUCHAMMAD AKMALUDDIN
NRP. 02111640000141

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Ir. Witantyo, M.Eng.Sc
2. Ari Kurniawan Saputra, S.T., M.T
3. Latifah Nurahmi, S.T., M.T., Ph.D.



SURABAYA

JULI, 2022

APPROVAL SHEET

DESIGN AND ANALYSIS OF GATING AND FEEDING SYSTEM SIMULATION AT INVESTMENT CASTING CABLE PROTECTOR FOR INCREASING PRODUCTION CAPACITY (CASE STUDY: COMPANY X)

FINAL PROJECT

Submitted to fulfill one of the requirements
for obtaining a degree bachelor at
Undergraduate Study Program of Mechanical Engineering
Department of Mechanical Engineering
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

By : MUCHAMMAD AKMALUDDIN
NRP : 02111640000141

Approved by Final Project Examiner Team:

1. Dr. Ir. Witantyo, M.Eng.Sc
2. Ari Kurniawan Saputra, S.T., M.T
3. Latifah Nurahmi, S.T., M.T., Ph.D.



SURABAYA

JULY, 2022

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa/NRP : Muchammad Akmaluddin/02111640000141
Departemen : Teknik Mesin
Dosen Pembimbing/NIP : Dr. Ir. ~~Witanyo~~ M.Eng.Sc. / 197505111999031001

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "RANCANG BANGUN DAN ANALISA SIMULASI SISTEM GATING DAN FEEDING PADA INVESTMENT CASTING CABLE PROTECTOR UNTUK PENINGKATAN KAPASITAS PRODUKSI (STUDI KASUS: PERUSAHAAN X)" adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 30 Juli 2022

Mengetahui
Dosen Pembimbing

(Dr. Ir. Witanyo M.Eng.Sc.)
NIP. 197505111999031001



Mahasiswa,

(Muchammad Akmaluddin)
NRP. 02111640000141

STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of Student / NRP : Muchammad Akmaluddin/02111640000141
Department : Mechanical Engineering
Advisor / NIP : Dr. Ir. Witantyo, M.Eng.Sc. / 197505111999031001

Hereby declare that the Final Project with the title of "DESIGN AND ANALYSIS OF GATING AND FEEDING SYSTEM SIMULATION AT INVESTMENT CASTING CABLE PROTECTOR FOR INCREASING PRODUCTION CAPACITY (CASE STUDY: COMPANY X)" is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 30 July 2022

Acknowledged
Advisor

(Dr. Ir. Witantyo M.Eng.Sc.)
NIP. 197505111999031001



Student,

(Muchammad Akmaluddin)
NRP. 02111640000141

ABSTRAK

RANCANG BANGUN DAN ANALISA SIMULASI SISTEM *GATING* DAN *FEEDING* PADA *INVESTMENT CASTING CABLE PROTECTOR* UNTUK PENINGKATAN KAPASITAS PRODUKSI (STUDI KASUS: PERUSAHAAN X)

Nama Mahasiswa / NRP : Muchammad Akmaluddin / 02111640000141

Departemen : Teknik Mesin FT-IRS ITS

Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Witantyo M.Eng.Sc.

ABSTRAK

Untuk memenuhi pesanan 12.650 unit *cable protector* yang diproduksi menggunakan metode *investment casting*, PT. X harus memproduksi minimal 1.000 unit *cable protector* yang terdiri dari *body* dan *clamp* setiap minggunya hingga akhir bulan Februari 2022. Pada bulan Oktober 2021, PT. X hanya mampu memproduksi 798 unit *Body* dan *Clamp* setiap minggunya (319 unit *clamp* atau *body* per hari). hal ini disebabkan oleh rendahnya kapasitas produksi pada proses *dipping* yang hanya mampu menghasilkan 340 unit *body* atau 340 unit *clamp* per hari dan pada proses *pouring* yang hanya mampu menghasilkan 349 unit *body* atau 384 unit *clamp* perhari. Setelah dilakukan pengamatan, didapatkan akar permasalahan berada pada nilai *casting yield* yang rendah pada pohon *casting*, yaitu sebesar 30% pada *Body* dan 19% pada *clamp*. Sehingga diperlukan sebuah penelitian optimasi desain sistem *gating* dan *feeding cable protector* untuk meningkatkan kapasitas produksi proses *pouring* dan *dipping*.

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan memodelkan secara 3 Dimensi pohon cor *cable protector* yang digunakan pabrik dan pohon cor yang telah ditingkatkan parameter *casting yield*. Kemudian desain tersebut disimulasikan proses pengisian dan pemadatan *molten cor* dengan menggunakan *software Click2Cast*.

Hasil penelitian ini mendapatkan bahwa pohon *body* 6 tangkai dan 8 tangkai menghasilkan cacat lebih sedikit daripada pohon 4 tangkai yang digunakan oleh pabrik. dan pada pohon *clamp* 6 tangkai dan 8 tangkai tidak mengalami peningkatan cacat yang signifikan. juga baik pohon *body* dan pohon *clamp* menghasilkan *casting yield* yang lebih besar. Yaitu yang berturut-turut bernilai 31,9% dan 33,0% untuk pohon *clamp* 6 dan 8 tangkai dan bernilai 46,8% dan 48,2% untuk pohon *body* 6 dan 8 tangkai. Dengan menggunakan perbandingan linier terhadap kapasitas produksi pohon 4 tangkai. Maka produksi proses *pouring* meningkat menjadi 786-812 unit *clamp* per hari atau 607-625 unit *body* per hari. Sedangkan proses *dipping* meningkat hingga mampu menghasilkan 480 unit *body* atau *clamp* per hari untuk pohon 6 tangkai dan 640 unit *body* atau *clamp* per hari untuk pohon 8 tangkai.

Kata Kunci: *Investment Casting, Casting Simulation, Casting Yield, optimasi Gating dan Feeding Sistem, kapasitas produksi.*

**DESIGN AND ANALYSIS OF GATING AND FEEDING SYSTEM SIMULATION AT
INVESTMENT CASTING CABLE PROTECTOR FOR INCREASING
PRODUCTION CAPACITY
(CASE STUDY: COMPANY X)**

Student Name / NRP : Muchammad Akmaluddin / 02111640000141
Department Advisor : Mechanical Engineering FT-IRS ITS
: Dr. Ir. Witantyo, M.Eng.Sc.

ABSTRACT

To fulfill the order for 12,650 units of cable protector produced using the investment casting method, PT. X must produce a minimum of 1,000 units of cable protector consisting of body and clamp every week until the end of February 2022. In October 2021, PT. X is only able to produce 798 units of Body and Clamp every week (319 unit of clamp or body per day). this is due to the low production capacity in the dipping process which is only able to produce 340 units of body or 340 units of clamp per day and in the pouring process which is only able to produce 349 units of body or 384 units of clamp per day. After observing, it was found that the root of the problem was in the low casting yield value on the casting tree, which was 30% on the Body and 19% on the clamp. Therefore, a research on the optimization design of the gating and feeding system cable protector is needed to increase the production capacity of the pouring and dipping process.

The method used in this research is a 3-dimensional model of the cable protector cast tree used by the factory and the cast tree which has increased casting yield parameters. Then the design is simulated the process of filling and solidification molten casting using Click2Cast software.

The results of this study found that the 6 stalks and 8 stalks body trees produced fewer defects than the 4 stalks trees used by the factory. and the 6 stalks and 8 stalks of the clamp trees does not have a significant increase in defects. also both the body trees and the clamp trees resulted an increase in casting yield that is worth 31.9% and 33.0% for the clamp 6 and 8 stalks trees. And worth 46.8% and 48.2% for the body 6 and 8 stalks trees, respectively. By using a linear comparison to the production capacity of 4 stalks tree. Then the production of the pouring process increases become 786-812 units of clamp per day or 607-625 units of body per day. Meanwhile, the dipping process increases to produce 480 units of body or clamp per day for 6 stalks tree and 640 units of body or clamp per day for 8 stalks tree.

Keywords: Investment Casting, Casting Simulation, Casting Yield, Gating and Feeding System Optimization, production capacity.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“RANCANG BANGUN DAN ANALISA SIMULASI SISTEM GATING DAN FEEDING PADA INVESTMENT CASTING CABLE PROTECTOR UNTUK PENINGKATAN KAPASITAS PRODUKSI (STUDI KASUS: PERUSAHAAN X)”**. Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan kelulusan pendidikan S-1 di Departemen Teknik Mesin, FT-IRS ITS. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada seluruh pihak yang telah membimbing, membantu, dan mendukung penulis dalam proses penyelesaian tugas akhir ini sebagai berikut.

1. Ayah penulis, Bapak **Rubai** (Alm) yang telah membimbing dan mendidik penulis sedari kecil.
2. Ibu penulis, Ibu **Suwarsih** yang senantiasa mendukung dan mendoakan setiap keputusan penulis dalam memilih jalan hidup.
3. Kakak penulis, Mas **Iim** dan Mas **Nafis** yang selalu membantu dan memberi arahan kepada penulis selama berkuliah.
4. Bapak **Dr. Ir. Witantyo, M.Eng.Sc.** selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang selalu sabar dalam memberikan ilmu, arahan, masukan, motivasi, dan bimbingan bagi penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.
5. Bapak **Ari Kurniawan Saputra, S.T., M.T.**, dan Ibu **Latifah Nurahmi, S.T., M.T., Ph.D.** selaku dosen penguji Tugas Akhir yang telah berkenan memberikan masukan, saran, dan kritik yang sangat membangun demi penyempurnaan Tugas Akhir ini.
6. Pak **Teguh** yang telah memberikan kesempatan dan fasilitas kepada penulis untuk melakukan tugas akhir di perusahaan X
7. Pak **Tiyo** yang telah membimbing dan mengarahkan selama pengambilan data di perusahaan X
8. Pak **Aang**, Pak **Angga**, dan keluarga besar perusahaan X yang telah memberikan saran dan masukan selama proses pengambilan data
9. Sahabat dan teman penulis, **Kafi** yang senantiasa menemani, mendukung, membantu, memberikan semangat, dan menghibur penulis selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
10. Laboratorium Sistem Manufaktur (Simanu) dan warganya, yang telah memberikan fasilitas, menemani, memberikan semangat, dan menghibur penulis selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
11. Semua pihak yang belum disebutkan di atas dikarenakan keterbatasan penulis.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna serta masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan segala jenis masukan dan saran dari semua pihak. Penulis juga berharap Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca maupun khalayak umum.

Surabaya, Juli 2022

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	iv
APPROVAL SHEET.....	v
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	vi
STATEMENT OF ORIGINALITY.....	vii
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT.....	ix
KATA PENGANTAR.....	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
BAB I PENDAHULUAN	17
1.1. Latar Belakang	17
1.2. Rumusan Masalah.....	22
1.3. Ruang Lingkup Penelitian	22
1.3.1. Batasan	22
1.3.2. Asumsi	22
1.4. Tujuan Penelitian	23
1.5. Manfaat Penelitian	23
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	24
2.1. Pengertian <i>Cable Protector</i>	24
2.2. AISI 4130.....	24
2.3. <i>Investment casting</i>	25
2.4. Metode <i>Investment Casting</i> Perusahaan X	26
2.4.1 Persiapan <i>Mold</i>	26
2.4.2 <i>Wax Injection</i>	26
2.4.3 <i>Wax Assembly</i>	26
2.4.4 <i>Dipping</i>	27
2.4.5 <i>Pouring</i>	28
2.4.6 <i>Finishing</i>	29
2.5. Perhitungan Sistem Saluran	30
2.6. Perhitungan <i>Casting Yield</i>	30
2.7. Penelitian Terdahulu	31
BAB III	33
METODOLOGI PENELITIAN.....	33
3.1. <i>Flowchart</i> Penelitian.....	33
3.2. Prosedur Penelitian	35

3.2.1	Identifikasi Masalah	35
3.2.3	Penentuan Tujuan	35
3.2.4	Studi Lapangan	35
3.2.5	Studi Literatur	35
3.2.6	Identifikasi Aktivitas Produksi Perusahaan X	35
3.2.7	Pengumpulan Data Produksi	35
3.2.8	Pembuatan Desain Geometri Pohon Cor	36
3.2.9	Menggabungkan komponen Pohon Cor	36
3.2.10	Pembuatan <i>Mesh</i> dengan Software Click2Cast	36
3.2.11	Menjalankan Simulasi Perhitungan Proses Pengisian dan Pemadatan	36
3.2.12	Mengamati hasil Simulasi Perhitungan Proses Pengisian dan Pemadatan ..	36
3.2.13	Analisa Efek Peningkatan <i>Casting Yield</i> Terhadap Kapasitas Produksi	36
3.2.13	Kesimpulan	36
3.2.14	Memberikan Rekomendasi ke perusahaan	37
3.3	Komponen <i>Wax</i> Penyusun Pohon Cor	37
3.3.1	Komponen Pohon <i>Wax Body</i> 4 Tangkai	37
3.3.2	Komponen Pohon <i>Wax Body</i> 6 Tangkai	38
3.3.3	Komponen Pohon <i>Wax Body</i> 8 Tangkai	40
3.3.4	Komponen Pohon <i>Wax Clamp</i> 4 Tangkai	41
3.3.5	Komponen Pohon <i>Wax Clamp</i> 6 Tangkai	42
3.3.6	Komponen Pohon <i>Wax Clamp</i> 8 Tangkai	44
BAB IV		46
ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN		46
4.1.	Geometri Pohon <i>Casting</i>	46
4.2.	Hasil <i>Meshing</i> Pohon <i>Casting</i>	47
4.3.	Hasil Simulasi Proses <i>Filling</i>	48
4.3.1	Flow Front	48
4.3.2	Temperatur Akhir <i>Filling</i>	50
4.3.3	<i>Cold Shut</i>	51
4.3.4	Air Entrap	52
4.4.	Hasil Simulasi Proses <i>Solidification</i>	53
4.4.1	Solid Fration	53
4.4.2	<i>Macro Porosity</i>	54
4.4.3	Shrinkage	56
BAB V		58
USULAN PERBAIKAN		58

5.1. Perubahan geometri Pohon <i>Casting</i>	58
5.2. Peningkatan kapasitas Produksi Proses <i>Pouring</i>	59
5.3. Peningkatan kapasitas Produksi Proses <i>Dipping</i>	60
BAB VI	61
KESIMPULAN DAN SARAN.....	61
6.1. Kesimpulan	61
6.2. Saran	61
DAFTAR PUSTAKA	63
JADWAL KEGIATAN.....	47
BIODATA PENULIS.....	48

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 (a) <i>Body cable protector</i> , (b) <i>Clamp cable protector</i>	17
Gambar 1. 2 (a) Proses slurry , (b) Proses sand showering , (c) Proses pengeringan	20
Gambar 1. 3 (a) Proses <i>Shintering</i> , (b) Proses <i>Fillinga</i> , (c) Proses <i>Solidification</i>	20
Gambar 1. 4 Denah Susunan Tungku di PT. X.....	21
Gambar 1. 5 (a) <i>Pohon wax body</i> , (b) <i>Pohon wax clamp</i>	21
Gambar 2. 1 <i>Cable protector</i> yang telah terpasang pada pipa ESP	24
Gambar 2. 2 Desain <i>Drawing Assembly</i>	24
Gambar 2. 3 Langkah-langkah dasar proses <i>investment casting</i> (Philip D Rufe 2013).....	25
Gambar 2. 4 Mold	26
Gambar 2. 5 Proses <i>Wax Injection</i>	26
Gambar 2. 6 Proses <i>Fixing Wax</i>	27
Gambar 2. 7 Proses <i>Wax Assembly</i>	27
Gambar 2. 8 Proses <i>Dipping</i>	28
Gambar 2. 9 Proses pengeringan <i>Dipping</i>	28
Gambar 2. 10 Proses <i>Lost Wax</i>	28
Gambar 2. 11 Proses <i>Pouring</i>	29
Gambar 2. 12 Proses <i>Cutting</i>	29
Gambar 2. 13 Proses <i>Blasting</i>	30
Gambar 2. 14 Proses <i>Straightening</i>	30
 Gambar 3. 1 <i>Flowchart</i> penelitian	 34
Gambar 3. 2 (a) <i>Pohon wax body</i> 4 tangkai; (b) Sistem <i>feeding</i> <i>pohon body</i> 4 tangkai	37
Gambar 3. 3 (a) <i>Pohon wax body</i> 6 tangkai; (b) Sistem <i>feeding</i> <i>pohon body</i> 6 tangkai	38
Gambar 3. 4 (a) <i>Pohon Wax body</i> 8 tangkai; (b) Sistem <i>feeding</i> <i>pohon body</i> 8 tangkai	40
Gambar 3. 5 (a) <i>Pohon wax clamp</i> 4 tangkai (b) Sistem <i>feeding</i> <i>pohon clamp</i> 4 tangkai	41
Gambar 3. 6 (a) <i>Pohon wax clamp</i> 6 tangkai tanpa <i>riser</i> ; (b) Sistem <i>feeding</i> <i>pohon clamp</i> 6 tangkai; (c) <i>Pohon wax clamp</i> 6 tangkai dengan <i>riser</i>	42
Gambar 3. 7 (a) <i>Pohon wax clamp</i> 8 tangkai tanpa <i>riser</i> ; (b) Sistem <i>feeding</i> <i>pohon clamp</i> 8 tangkai; (c) <i>Pohon wax clamp</i> 8 tangkai Dengan <i>riser</i>	44
 Gambar 4. 1 Gambar <i>pohon body</i> : (a) <i>Pohon Body</i> 4 Tangkai; (b) <i>Pohon Body</i> 6 Tangkai; (c) <i>Pohon Body</i> 8 Tangkai	 46
Gambar 4. 2 Gambar <i>pohon clamp</i> : (a) <i>Pohon Clamp</i> 4 Tangkai; (b) <i>Pohon Clamp</i> 6 Tangkai Tanpa <i>Riser</i> ; (c) <i>Pohon Clamp</i> 6 Tangkai Dengan <i>Riser</i> ; (d) <i>Pohon Clamp</i> 8 Tangkai Tanpa <i>Riser</i> ; (e) <i>Pohon Clamp</i> 8 Tangkai Dengan <i>Riser</i>	47
Gambar 4. 3 <i>Flow Front</i> Pada <i>Pohon Body</i> 4 Tangkai	48
Gambar 4. 4 <i>Flow Front</i> Pada <i>Pohon Body</i> 6 Tangkai	48
Gambar 4. 5 <i>Flow Front</i> Pada <i>Pohon Body</i> 8 Tangkai	49
Gambar 4. 6 <i>Flow Front</i> Pada <i>Pohon Clamp</i> 4 Tangkai.....	49
Gambar 4. 7 <i>Flow Front</i> Pada <i>Pohon Clamp</i> 6 Tangkai Tanpa <i>Riser</i>	49
Gambar 4. 8 <i>Flow Front</i> Pada <i>Pohon Clamp</i> 6 Tangkai Dengan <i>Riser</i>	49
Gambar 4. 9 <i>Flow Front</i> Pada <i>Pohon Clamp</i> 8 Tangkai Tanpa <i>Riser</i>	50
Gambar 4. 10 <i>Flow Front</i> Pada <i>Pohon Clamp</i> 8 Tangkai Dengan <i>Riser</i>	50
Gambar 4. 11 Temperatur <i>Filling</i> <i>Pohon Body</i>	50
Gambar 4. 12 Temperatur <i>Filling</i> <i>Pohon Clamp</i> Tanpa <i>Riser</i>	50
Gambar 4. 13 Temperatur <i>Filling</i> <i>Pohon Clamp</i> Dengan <i>Riser</i>	51
Gambar 4. 14 <i>Cold Shut</i> pada <i>Pohon Body</i>	51

Gambar 4. 15	<i>Cold Shut</i> pada Pohon <i>Clamp</i> Tanpa <i>Riser</i>	51
Gambar 4. 16	<i>Cold Shut</i> pada Pohon <i>Clamp</i> Dengan <i>Riser</i>	52
Gambar 4. 17	Air Entrap pada Pohon <i>Body</i>	52
Gambar 4. 18	Air Entrap pada Pohon <i>Clamp</i> Tanpa <i>Riser</i>	53
Gambar 4. 19	Air Entrap pada Pohon <i>Clamp</i> Dengan <i>Riser</i>	53
Gambar 4. 20	Solid <i>Fraction</i> pada Pohon <i>Body</i>	54
Gambar 4. 21	Solid <i>Fraction</i> pada Pohon <i>Clamp</i> Tanpa <i>Riser</i>	54
Gambar 4. 22	Solid <i>Fraction</i> pada Pohon <i>Clamp</i> Dengan <i>Riser</i>	54
Gambar 4. 23	Macro Porosity Pada Pohon <i>Body</i>	55
Gambar 4. 24	Macro Poristy Pada Pohon <i>Clamp</i> Tanpa <i>Riser</i>	55
Gambar 4. 25	Macro Poristy Pada Pohon <i>Clamp</i> Dengan <i>Riser</i>	55
Gambar 4. 26	Grafik rata-rata <i>porosity</i> setiap unit vs jumlah <i>body</i>	56
Gambar 4. 27	Grafik rata-rata <i>porosity</i> setiap unit vs jumlah Jumlah <i>Clamp</i>	56
Gambar 4. 28	<i>Shrinkage</i> 50% Pada Pohon <i>Body</i>	57
Gambar 4. 29	<i>Shrinkage</i> 85% Pada Pohon <i>Clamp</i> Tanpa <i>Riser</i>	57
Gambar 4. 30	<i>Shrinkage</i> 85% Pada Pohon <i>Clamp</i> Dengan <i>Riser</i>	57
Gambar 5. 1	Pohon <i>Body</i> 6 Tangkai	58
Gambar 5. 2	Pohon <i>Body</i> 8 Tangkai	58
Gambar 5. 3	Pohon <i>Clamp</i> 6 Tangkai Dengan <i>Riser</i>	59
Gambar 5. 4	Pohon <i>Clamp</i> 8 Tangkai Dengan <i>Riser</i>	59

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Jumlah Pengiriman <i>Cable Protector</i> Selama Bulan Oktober 2021	17
Tabel 1. 2 Kapasitas Produksi <i>Cable Protector</i> Pada Proses Pembuatan <i>Mold</i>	18
Tabel 1. 3 Kapasitas Produksi <i>Cable Protector</i> Pada Proses <i>Pouring</i>	18
Tabel 1. 4 Kapasitas Produksi <i>Body</i> Pada Proses <i>Finishing</i>	19
Tabel 1. 5 Kapasitas Produksi <i>Clamp</i> Pada Proses <i>Finishing</i>	19
Tabel 1. 6 <i>Casting yield</i> produk hasil proses <i>pouring</i>	21
Tabel 2. 1 Komposisi Kimia Baja AISI 4130	25
Tabel 2. 3 <i>Mechanical</i> dan <i>Thermo-physical Properties</i> AISI 4130	25
Tabel 3. 1 Komponen <i>wax</i> penyusun pohon <i>body</i> 4 tangkai	38
Tabel 3. 2 Komponen <i>wax</i> penyusun pohon <i>body</i> 6 tangkai	38
Tabel 3. 3 Komponen <i>wax</i> penyusun pohon <i>body</i> 8 tangkai	40
Tabel 3. 4 Komponen <i>wax</i> penyusun pohon <i>clamp</i> 4 tangkai	41
Tabel 3. 5 Komponen <i>wax</i> penyusun pohon <i>clamp</i> 6 tangkai	43
Tabel 3. 6 Komponen <i>wax</i> penyusun pohon <i>clamp</i> 8 tangkai	44
Tabel 4. 1 <i>Number of Elemen</i> hasil <i>Meshing</i>	47
Tabel 4. 2 Rata-rata <i>macro porosity</i> yang terjadi pada setiap unit Produk.....	55
Tabel 5. 1 Peningkatan Kapasitas Produksi <i>Body Cable Protector</i> Proses <i>Pouring</i>	59
Tabel 5. 2 Peningkatan Kapasitas Produksi <i>Clamp Cable Protector</i> Proses <i>Pouring</i>	60

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

PT. X merupakan perusahaan yang didirikan untuk memenuhi kebutuhan peralatan kesehatan di Indonesia yang selama ini hampir 98% lebih alat kesehatan di Indonesia merupakan barang impor dari negara lain. Selain memproduksi peralatan kesehatan, PT. X juga memproduksi peralatan *custom order* dibidang industri sebagai produk sampingan. Beberapa produk yang dihasilkan oleh PT. X adalah Produk *metal bone plate*, *swivel roofing*, *elbow connector*, *propeller* dan *cable protector*.

PT. XYZ menggunakan *metode investment casting* dalam proses produksinya. *Investment casting* merupakan metode pengecoran dengan presisi tinggi sehingga mampu untuk menghasilkan produk yang memiliki detail rumit dan akurasi yang tinggi. Proses *investment casting* dimulai dengan proses *inject wax* untuk menghasilkan *wax* produk sesuai bentuk *mold* yang disediakan, kemudian *wax* di *assembly* untuk menjadi pohon *casting*, kemudian pohon *casting* menjalani proses *dipping* beberapa kali untuk membentuk beberapa lapisan keramik. Setelah beberapa lapisan keramik terbentuk, maka lilin dikeluarkan dari *mold* dengan cara *lostwax* sehingga terbentuk *shell investment casting*. Selanjutnya *shell* dipanaskan pada mesin *shintering* dan dilanjutkan proses *pouring* ke dalam *shell*, setelah temperatur *casting* turun maka dilakukan proses *finishing* untuk memisahkan *shell* dari *casting* dan memperbaiki bentuk *casting* agar sesuai pesanan. Kemudian dilakukan proses *machining* (jika diperlukan). Produk *casting* telah selesai dan siap untuk di kirim. Berikut adalah gambar dari produk *cable protector* dengan menggunakan metode *investment casting*



(a)



(b)

Gambar 1. 1 (a) *Body cable protector*; (b) *Clamp cable protector*

Pada bulan November 2021 PT. X telah mendapatkan pesanan untuk memproduksi *cable protector* sebanyak 12.650 unit yang setiap unitnya terdiri dari *body* dan *clamp*. Pesanan tersebut harus diselesaikan produksinya pada akhir bulan Februari 2022. Dengan menghitung kurun waktu yang tersisa, perusahaan menargetkan untuk memproduksi 1.000 unit kabel *protector* setiap minggunya. Perusahaan beroperasi selama 5 hari setiap minggunya dengan 8 jam kerja per hari nya. Target tersebut akan sulit tercapai jika dilihat dari data produksi *cable protector* periode sebelumnya yang mana PT. X hanya mampu memproduksi 798 unit *cable protector* per minggunya. Hal ini dapat terlihat pada tabel 1.1.

Tabel 1. 1 Jumlah Pengiriman *Cable Protector* Selama Bulan Oktober 2021

Tanggal Pengiriman	2	6	8	13	15	21	23	27	30	Total Pengiriman	Rata-rata per Minggu
Body (Unit)	490	350	350	300	400	350	350	300	300	3190	798
Clamp (Unit)	490	350	350	400	300	350	350	400	200	3190	798

Pada bulan diambilnya data Tabel 1.1 diatas PT. X sedang memfokuskan produksi pada pesanan pembuatan *cable protector* sedangkan pesanan pembuatan produk non *cable protector* seperti elbow, swivel dan net sedang dihentikan produksinya. Dari hal ini dapat diketahui bahwa produksi 798 unit *body* dan 798 unit *clamp* pada bulan Oktober merupakan kapasitas maksimum yang dapat dihasilkan PT. X tanpa mengerjakan produk lain. Menanggapi kurangnya produksi *cable protector*, PT. X justru mengeluarkan kebijakan untuk mengurangi hari kerja produksi *cable protector* menjadi 4 hari dalam seminggunya. Hal ini dilakukan dengan tujuan memberikan pabrik kesempatan untuk memproduksi produk lain sehingga produk lain tidak mengalami keterlambatan pengiriman. Menanggapi permasalahan yang ada, PT. X harus meningkatkan kapasitas per hari produksi *cable protector* sehingga mampu menyelesaikan produksi sesuai target awal.

Meningkatkan kapasitas produksi dapat dilakukan dengan mengurangi *cycle time* dari proses pembuatan *cable protector* atau menambah jam operasional pabrik atau dengan menambah mesin maupun resource lainnya. untuk menentukan kebijakan yang tepat agar terjadi peningkatan kapasitas produksi pabrik maka perlu dilakukan pencarian akar permasalahan yang terjadi dengan menghitung kapasitas maksimum dari masing-masing proses pembuatan produk. Berikut adalah tabel kapasitas maksimum produksi *cable protector* per 1 shift pada masing-masing proses:

Tabel 1. 2 Kapasitas Produksi Cable Protector Pada Proses Pembuatan Mold

Nama Bagian	Nama Proses	Wax Injection	Assembly & Fixing	Dipping	Lost Wax
Body	Cycle time proses (menit)	113	220	2790	35
	Pohon per batch (4 unit per pohon)	20	40	160	16
	Kapasitas maksimum per hari (unit)	340	349	330	878
Clamp	Cycle time proses (menit)	113	200	2790	35
	Pohon per batch (4 unit per pohon)	20	40	160	20
	Kapasitas maksimum per hari (unit)	340	384	330	1097

Data yang tercantum dari tabel 1.2 merupakan kapasitas produksi untuk 1 shift kerja kecuali proses *dipping* yang nilainya berupa hasil 1 hari kerja. Dapat diketahui bahwa proses yang memiliki kapasitas rendah pada pembuatan *mold* adalah proses *wax injection* yang hanya menghasilkan 340 unit *clamp* atau *body* serta proses *assembly & fixing* yang hanya menghasilkan 349 unit *clamp* atau 384 unit *body* setiap 8 jam kerjanya. Rendahnya kapasitas maksimum tersebut dapat teratasi dengan telah diterapkannya tiga shift kerja yang mana mampu meningkatkan kapasitas maksimum menjadi tiga kali lipat. sehingga proses *wax injection* mampu menghasilkan 1.020 unit *clamp* atau *body* per hari serta proses *assembly & Fixing* mampu menghasilkan 1.047 unit *clamp* atau 1.152 unit *body* per hari.

Sedangkan pada proses *Dipping* meskipun telah beroperasi 24 jam namun tetap tidak mampu meningkatkan kapasitas produksinya. Hal ini disebabkan oleh waktu pengeringan *dipping* yang lama serta keterbatasan ruang yang hanya mampu memiliki 160 gantungan pohon sebagai tempat proses pengeringan terjadi. Sehingga proses tersebut hanya mampu menghasilkan 320 unit *body* atau 320 unit *clamp* per hari.

Tabel 1. 3 Kapasitas Produksi Cable Protector Pada Proses Pouring

Nama Bagian	Nama Proses	6 cycle pouring per hari			8 cycle pouring per hari		
		Shintering	Pouring	Proses Solidifikasi	Shintering	Pouring	Proses Solidifikasi
Body	Cycle time proses (menit)	60	60	30	45	45	30
	Pohon per batch (4 unit per pohon)	12	12	12	12	12	12
	Kapasitas maksimum per hari (unit)	288	288	576	384	384	576
Clamp	Cycle time proses (menit)	60	60	30	45	45	30
	Pohon per batch (4 unit per pohon)	15	15	15	15	15	15
	Kapasitas maksimum per hari (unit)	360	360	720	480	480	720

Pada bagian pengecoran hanya terdapat 1 shift jam kerja yang beroperasi pada pukul 07.30 WIB hingga pukul 16.30 WIB (9 jam). Namun aktualnya mesin tungku hanya beroperasi selama 6 jam dimana untuk sekali tuang dibutuhkan waktu 45-60 menit untuk memanaskan *molding* pada mesin *Shintering* dan melelehkan logam pada tungku. Selama 6 jam tersebut tungku mampu menghasilkan 6 hingga 8 kali tuang tergantung material *molten* yang digunakan berupa material baru atau material daur ulang *casting* sebelumnya. Dalam 1 kali siklus tuang, tungku mampu mengisi 12 pohon *casting body* atau 15 pohon *casting Clamp*.

Dari tabel 1.3 dapat diketahui bahwa proses *pouring* memiliki dua *cycle time* yang berbeda yang mana disebabkan oleh bahan baku yang digunakan untuk membuat *molten*, yaitu *steel bar* baru yang memiliki luas permukaan lebih banyak dan berbentuk lebih tipis memiliki *cycle time* 45 menit sedang material daur ulang atau *scrab* yang memiliki luas permukaan lebih sedikit dan berbentuk lebih tebal memiliki *cycle time* 60 menit.

Jumlah produk yang dihasilkan mesin *shintering* sengaja dibuat sedikit dengan tujuan menyesuaikan kemampuan dari mesin furnace untuk menghasilkan *molten*. Pada proses *pouring* tidak dapat dilakukan penambahan shift kerja, dikarenakan beberapa keterbatasan yaitu:

- Keterbatasan Resource mesin *shintering* yang digunakan untuk proses heatreatment ketika malam hari. Keterbatasan ini dapat diselesaikan dengan menambah mesin *shintering* menjadi 2 unit.
- Keterbatasan Resource daya listrik untuk menjalankan dua mesin furnace secara bersamaan. Keterbatasan ini dapat diselesaikan dengan meningkatkan daya listrik pabrik dengan konsekuensi mengganti ulang seluruh jaringan listrik di pabrik.
- Keterbatasan tenaga ahli untuk menambah jam kerja proses *poring*. Keterbatasan ini dapat diselesaikan dengan menambah tenaga ahli yang telah berpengalaman di bidang *poring*.
- Rendah nya nilai *casting yield* pada produk *body* dan *clamp* yang nilainya sebesar 30% dan 19%. Keterbatasan ini dapat diselesaikan dengan mendesain ulang pohon *casting body* dan *clamp* untuk meningkatkan *casting yield* dan mengurangi scrab yang dihasilkan.

Tabel 1. 4 Kapasitas Produksi *Body* Pada Proses *Finishing*

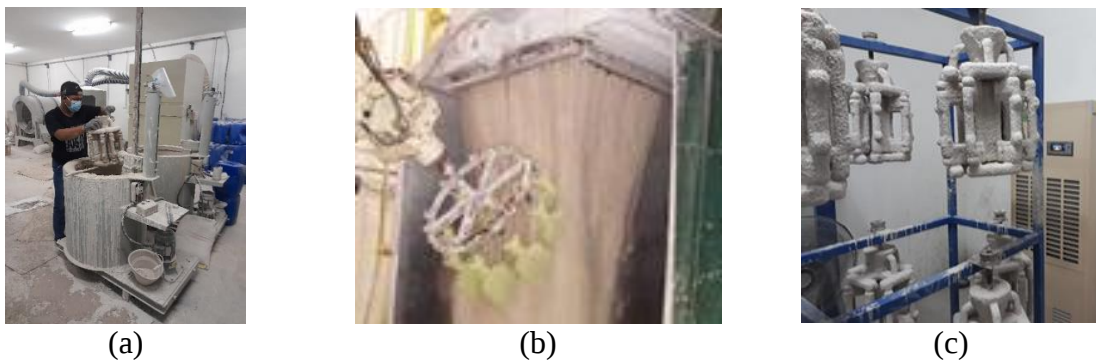
Nama Bagian	Nama Proses	Knock out	Cutting	Polesh Gating	Sand Blasting	Polesh Keramik	Heat Treatment
Body	Lama Proses (menit)	5,8	12,4	13,25	21,6	40,2	930
	Unit per <i>batch</i> (unit)	40	40	40	36	40	400
	Kapasitas maksimum per hari (unit)	3310	1548	1449	267	478	400
Nama Bagian	Nama Proses	Sand Blasting	Repair			Press	
			Las	Polesh	Sand blasting		
Body	<i>Cycle time</i> proses (menit)	21,6	35,6	39,9	21,6	55,75	
	Unit per <i>batch</i> (unit)	36	40	40	36	40	
	Kapasitas maksimum per hari (unit)	267	539	481	267	344	

Tabel 1. 5 Kapasitas Produksi *Clamp* Pada Proses *Finishing*

Nama Bagian	Nama Proses	Knock out	Cutting	Polesh Gating	Sand Blasting	Polesh Keramik	Heat Treatment
Clamp	<i>Cycle time</i> proses (menit)	2,87	6,2	9,4	21,1	29,8	930
	Unit per <i>batch</i> (unit)	40	40	40	48	40	400
	Kapasitas maksimum per hari (unit)	6690	3097	2043	364	644	400
Nama Bagian	Nama Proses	Sand Blasting	Repair			Press	
			Las	Polesh	Sand blasting		
Clamp	<i>Cycle time</i> proses (menit)	21,1	25	12,4	21,1	41,1	
	Unit per <i>batch</i> (unit)	48	40	40	48	40	
	Kapasitas maksimum per hari (unit)	364	768	1548	364	467	

Dari tabel 1.4 dan tabel 1.5 dapat diketahui bahwa proses sandblasting memiliki kapasitas maksimum paling sedikit pada proses finishing. Sedikitnya proses sandblasting telah terselesaikan dengan telah diterapkannya tiga shift untuk proses yang mengalami *bottleneck* pada proses finishing.

Setelah dilakukan pengamatan di lapangan, ditemukanlah proses yang menjadi *bottleneck* dari pembuatan *cable protector* adalah proses *Dipping* dan *Pouring*. Pada proses *dipping* pabrik hanya memiliki 80 tempat pohon untuk mengeringkan *dipping* sehari yang sama sehingga pohon banyak mengantre di proses *Dipping*. Sedangkan pada proses *pouring*, pabrik hanya mampu untuk melakukan penuangan pada 72 pohon *body* atau 90 pohon *clamp* perhari dikarenakan beberapa keterbatasan. Berikut adalah kondisi lapangan proses *Dipping* dan *pouring* di PT. X

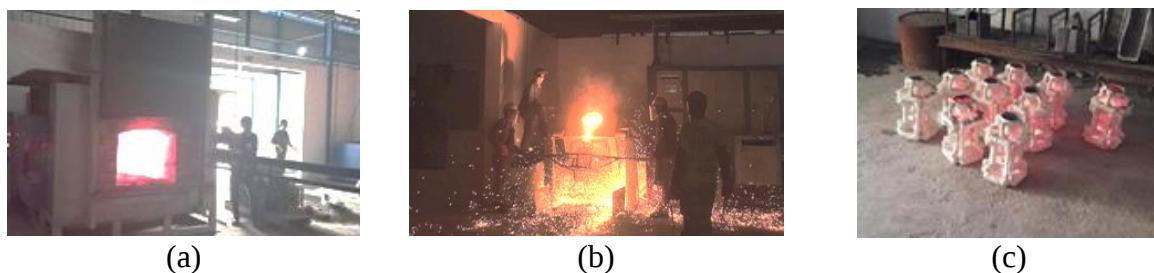


Gambar 1. 2 (a) Proses *slurry*; (b) Proses *sand showering*; (c) Proses pengeringan

Pada gambar 1.3-1.5 dapat terlihat bahwa Proses *dipping* terdiri dari 3 sub proses yang terdiri dari proses *slurry*, proses *sand showering*, proses pengeringan. Ketiga proses tersebut diulang hingga membentuk 6 lapisan *dipping* pada masing-masing pohon produk. Berikut adalah penjelasan masing-masing sub proses yaitu:

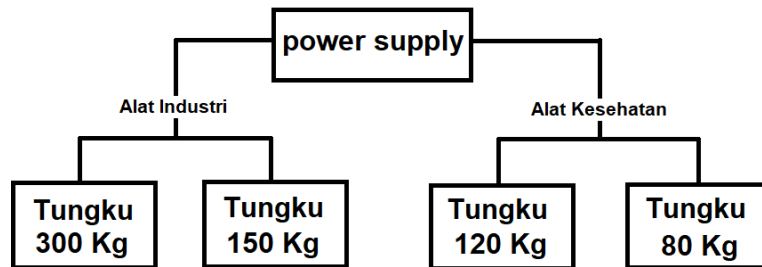
- proses *slurry*, pelapisan permukaan pohon *casting* dengan larutan *slurry* membutuhkan waktu 100 menit dan menghasilkan 20 pohon
- proses *sand showering*, penambahan pasir permukaan *slurry* yang masih basah membutuhkan waktu 100 menit dan menghasilkan 20 pohon
- proses pengeringan, meninggalkan rak pohon pada ruangan yang telah di atur nilai kelembapan dan tempertturnya. Proses ini membutuhkan 4,42 jam untuk membuat *dipping* kering

Pada gambar 1.5 terlihat bahwa jarak antar satu pohon dengan pohon lainnya memiliki celah yang sangat besar yang mana celah tersebut masih dapat dimanfaatkan dengan menambah jumlah tangkai pada masing-masing pohon cor yang berakibat memperbesar geometri dari pohon *casting*.



Gambar 1. 3 (a) Proses *Shintering*; (b) Proses *Filling*; (c) Proses *Solidification*

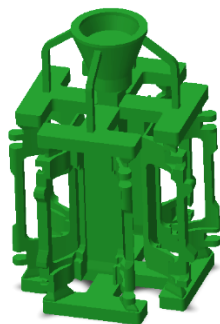
Pada proses diatas dapat terlihat bahwa Proses *poring* terdiri dari 3 sub proses yaitu proses *shintering*, proses *filling* dan proses *solidification*. Ketiga proses diatas diulang pada masing masing pohon coran hingga tersisa cukup *molten* untuk proses melting logam siklus berikutnya.



Gambar 1. 4 Denah Susunan Tungku di PT. X

Pada gambar 1.6 terlihat bahwa PT. X memiliki dua tungku produksi alat industri yang mampu melelehkan material hingga 300kg dan 150kg. Namun pelaksanaannya hanya satu tungku saja yang bisa aktif disaat bersamaan dikarenakan daya listrik pabrik tidak mampu memenuhi kebutuhan listrik dari kedua tungku tersebut disaat bersamaan.

Sedikitnya jumlah produk yang dihasilkan pada proses *casting* (pengecoran) disebabkan oleh kecilnya parameter *casting yield*, yaitu parameter yang menyatakan jumlah *molten* yang menjadi produk berbanding dengan *molten* yang dituangkan pada pohon coran. Berikut adalah gambar pohon coran *body* dan *clamp* yang digunakan PT. X beserta tabel berat material hasil proses *pouring*.



(a)



(b)

Gambar 1. 5 (a) Pohon wax *body*; (b) Pohon wax *clamp*

Tabel 1. 6 *Casting yield* produk hasil proses *pouring*

	Massa (Kg)				<i>Casting yield</i>
	1 unit produk	Total produk per pohon	1 pohon produk	<i>Scrab</i> per pohon	
Body	2,04	8,16	27,55	19,39	30%
Clamp	1,125	4,5	23,09	18,59	19%

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa rasio material *casting* yang terpakai berbanding dengan *molten* yang digunakan masih sangat kecil, yaitu 0,30 untuk rasio pembuatan *body* dan 0,19 untuk rasio pembuatan *clamp*. Kecilnya rasio tersebut disebabkan oleh salah desain sistem *gating* yang menyebabkan satu pohon produk hanya mampu memiliki 4 tangkai. Sehingga pada penelitian ini akan dilakukan perubahan sistem *gating*

untuk meningkatkan jumlah tangkai pada tiap pohon yang mana diharapkan mampu meningkatkan rasio *casting* dan mengurangi scrab yang dihasilkan serta mampu meningkatkan keluaran produk *dipping* meskipun tidak mengalami penambahan tempat *dipping*. produk berbanding scrab pada proses *pouring*. Sehingga diharapkan mampu mencapai target kapasitas produksi yang telah ditetapkan pabrik.

Riset ini dilakukan dengan metode memodelkan produk *investment casting* (pohon *cable protector*) secara 3D, kemudian mensimulasikan proses *filling* dan *solidification* pada *investment casting* dengan menggunakan aplikasi Click2Cast sesuai dengan *software* pengecoran yang digunakan PT.X. Simulasi ini dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan geometri yang mampu meningkatkan rasio *casting* pada setiap pohonnya dan juga tetap memperhatikan efek yang ditimbulkan pada produk hasil dari *casting* tersebut. Hal ini dilakukan dengan mengamati proses *filling* dan *solidification molten* pada *molding cable protector*. Kemudian hasil pengamatan tersebut digunakan sebagai masukan untuk mendesain sistem *gating* yang lebih baik dan untuk memprediksi kemungkinan timbulnya cacat yang akan terjadi pada produk *casting* seperti penyusutan, *porosity*, dan air traps.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, rumusan masalah dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara meningkatkan kapasitas produksi proses *pouring cable protector* di perusahaan X?
2. Bagaimana cara mendesain *gating* sistem pada pohon *cable protector investment casting*?
3. Bagaimana pengaruh perubahan *gating* sistem terhadap produk *casting* yang dihasilkan?
4. Bagaimana pengaruh hasil desain sistem *gating* terhadap produksi *cable protector* di perusahaan X?

1.3. Ruang Lingkup Penelitian

Batasan dan asumsi yang digunakan selama penelitian berlangsung adalah sebagai berikut.

1.3.1. Batasan

1. Penelitian dilakukan di perusahaan X, khususnya pada bagian produksi *cable protector*
2. Pengambilan data penelitian berlangsung selama bulan Oktober 2021 hingga Desember 2021
3. Material *mold* (cetakan) yang digunakan adalah *ceramic*
4. Software yang digunakan adalah *SolidWorks* 2019 X64, *SPACECLAIM ANSYS* 2021 R1, *Click2Cast V 4.1*
5. *Molten* yang digunakan pada simulasi *click2cast* adalah *X40CrOV5*

1.3.2. Asumsi

1. Selama penelitian berlangsung, tidak terjadi perubahan kebijakan yang signifikan. Terutama kebijakan yang mempengaruhi proses produksi *cable protector*.
2. Selama penelitian berlangsung, proses produksi berjalan normal tanpa mengalami perubahan secara signifikan selama penelitian berlangsung.
3. Laju Pengeringan *Dipping* konstan pada masing-masing geometri
4. Selama proses *filling casting* berlangsung, debit *molten* dianggap konstan.

5. Proses pemindahan *mold* dari mesin *shinteringg* ke *furnace* tidak mempengaruhi temperatur *mold*.
6. Waktu tuang pohon *clamp* dan pohon *body* desain pabrik adalah 4s

1.4. Tujuan Penelitian

Berdasarkan perumusan masalah sebelumnya, maka tujuan dari dilakukannya penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui cara untuk meningkatkan kapasitas produksi proses *pouring cable protector* di perusahaan X.
2. Mengetahui cara mendesain *gating* dan *Feeding* sistem pohon *cableprotector investment casting*.
3. Mengetahui pengaruh perubahan sistem *gating* terhadap produk *casting* yang dihasilkan.
4. Mengetahui pengaruh hasil desain *gating* terhadap produksi *cable protector* di perusahaan X.

1.5. Manfaat Penelitian

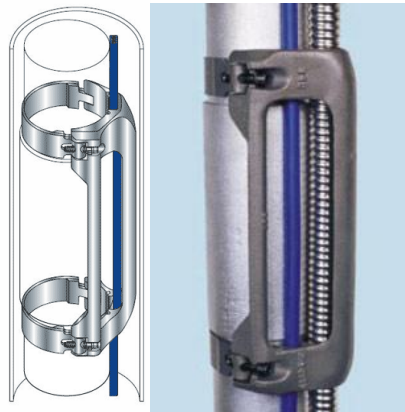
Adapun manfaat yang diperoleh dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sebagai pembelajaran bagi mahasiswa untuk mengetahui dan memahami bagaimana proses dalam mendesain sistem *gating* dan *feeding* pada produk *investment casting*.
2. Sebagai pembelajaran bagi mahasiswa untuk mengetahui dan memahami pengaruh perubahan sistem *gating* dan *feeding* terhadap prediksi cacat produk *investment casting*.
3. Sebagai pembelajaran bagi mahasiswa untuk mengetahui dan memahami pengaruh perubahan sistem *gating* dan *feeding* terhadap kapasitas produksi produk *investment casting*.
4. Sebagai rekomendasi bagi perusahaan dalam merancang sistem *gating cable protector*.
5. Sebagai rekomendasi bagi perusahaan untuk meningkatkan kapasitas produksi *cable protector*.

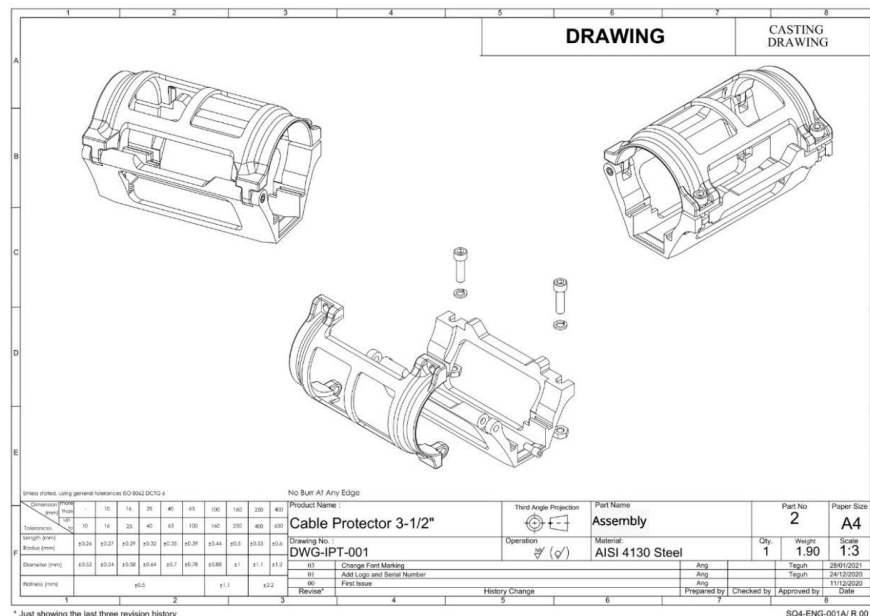
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Cable Protector

Cable protector adalah alat yang digunakan untuk mengikat dan melindungi *cable power* di sepanjang rangkaian pipa *ESP* dengan jarak dan jumlah tertentu. *Cable protector* umumnya terdiri dari *Clamp* dan *Body* yang keduanya bekerja bersama dengan mengikat dengan kuat pada sebuah pipa dan melindungi komponen *cable power* pada bagian tersebut terhadap gesekan dengan casing sewaktu dimasukan maupun dicabut. Berikut contoh pemasangan *cable protector* pada pipa *ESP*.



Gambar 2. 1 *Cable protector* yang telah terpasang pada pipa *ESP*



Gambar 2. 2 *Desain Drawing Assembly*

2.2. AISI 4130

Baja menggabungkan besi dan karbon untuk menghasilkan sifat yang lebih baik daripada bagian-bagiannya yang membuatnya mendominasi pasar logam berkat sifatnya yang serbaguna. Salah satu organisasi yang menguraikan berbagai tingkatan baja untuk penggunaan khusus adalah *American Iron & Steel Institute* (AISI) dan *Society of Automotive Engineers* (SAE). Tingkatan baja tersebut dilambangkan dengan 3 hingga 5 digit

pengidentifikasi. Baja 4130 adalah baja paduan yang sangat tangguh yang vital untuk manufaktur, pengelasan, pemotongan dan aplikasi tegangan tinggi lainnya di industri. Karakteristik perlakuan panasnya yang luar biasa dapat memberikan ketangguhan yang tinggi. Berikut adalah *properties* dari AISI 4130

Tabel 2. 1 Komposisi Kimia Baja AISI 4130

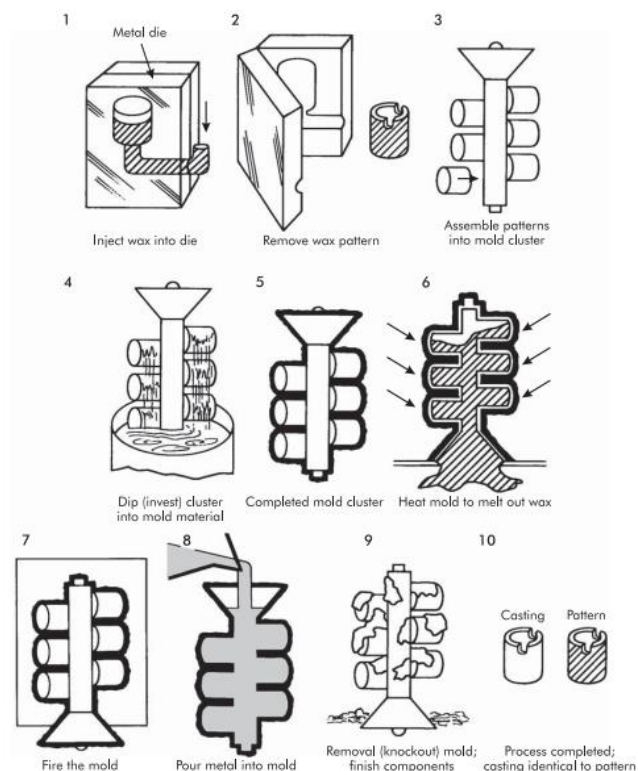
Element Name	Cr	Fe	S	Al	Cu	Ni	Mn	V	S	C	Mo	Si
Weight Percent	0.03	0.024	0.06	0.05	0.87	0.012	0.03	0.25	0.25	0.3	1.01	Balance

Tabel 2. 2 *Mechanical dan Thermo-physical Properties* AISI 4130

Property	AISI 4130
Young modulus (GPa)	190
Density (g/cm ³)	7.85
Thermal conductivity (W/mK)	42.7
Liquidus temperature (K)	1733
Solidus temperature (K)	1693

2.3. *Investment casting*

Investment casting dikenal sebagai presisi *casting*, pola lilin (*pattern*) di celupkan ke dalam keramik *slurry* yang kemudian lapisan tersebut mengeras dan menjadi *shell mold* menyelimuti *pattern*, hal itu diulang untuk beberapa kali hingga untuk menambah kekuatan *shell*. Ketika *shell* cukup keras maka dapat dilakukan *lost wax* dari *pattern*. *Shell* kemudian dipanaskan sebelum *pouring* untuk menghindari terjadinya keretakan pada *shell*. Setelah proses *pouring* besi tuang mengeras maka *shell* dapat dihancurkan (Philip D Rufe 2013). Proses *investment casting* dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2. 3 Langkah-langkah dasar proses *investment casting* (Philip D Rufe 2013)

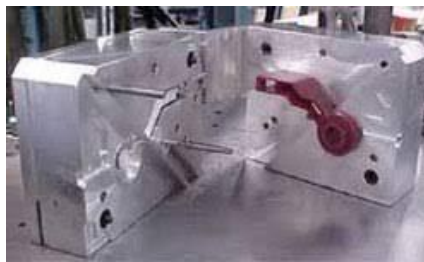
Investment casting menghasilkan *porosity* yang lebih sedikit dibanding model *casting* lainnya dan mampu menghasilkan dimensi akurasi yang sangat tinggi. Proses ini akan menjadi mahal ketika produktivitasnya sedikit, hal ini disebabkan dilakukannya investasi *wax*, *mold* dan lamanya waktu yang digunakan dalam pembuatan *Shell*.

2.4. Metode *Investment Casting* Perusahaan X

Perusahaan X menggunakan metode *investment casting* dalam proses pembuatan produknya. *Investment casting* atau biasa disebut dengan *lost wax casting* digunakan karena kemampuannya untuk memproduksi suatu komponen dengan hasil permukaan yang sangat memuaskan dan memiliki keakuratan dimensi bahkan untuk bentuk yang rumit. *Investment casting* khususnya sangat berguna untuk membuat produk yang rumit sehingga proses *machining* tidak mungkin dilakukan atau menghasilkan *waste* yang besar (Pattnaik, Karunakar, & Jha, 2012). Berikut merupakan tahapan proses produksi dari yang dilakukan oleh perusahaan X berdasarkan metode *investment casting*:

2.4.1 Persiapan *Mold*

Cetakan atau *mold* yang digunakan dalam proses *investment casting* memiliki bentuk geometri yang sama dengan produk final yang diinginkan namun dengan batas toleransi dimensi untuk mengimbangi proses penyusutan *volume* yang terjadi ketika terjadi proses *solidifikasi* (Pattnaik, Karunakar, & Jha, 2012). Setiap *part* yang ingin di produksi memiliki oleh perusahaan X memiliki bentuk *mold* masing – masing. Berikut merupakan contoh *mold* yang digunakan di perusahaan X.



Gambar 2. 4 Mold

2.4.2 *Wax Injection*

Pada tahapan ini *wax* dibentuk sesuai desain dengan menggunakan mesin *inject*. Proses diawali dengan memposisikan *mold* pada mesin ujung keluaran *wax* dari mesin injeksi. *Wax* kemudian diinjeksikan hingga memenuhi keseluruhan dari ruang yang ada di dalam *mold*. Setelah melalui *setting time* yang ditentukan, selanjutnya melepas *wax* yang telah berbentuk produk dari *mold* dan memasukan produk ke dalam rak.



Gambar 2. 5 Proses *Wax Injection*

2.4.3 *Wax Assembly*

Tahapan selanjutnya adalah proses *wax assembly*. Pada proses ini, aktivitas produksi dibagi menjadi dua tahapan, yaitu proses *fixing* dan proses *assembly*. Pada proses *fixing*,

produk wax yang dihasilkan dari proses *wax injection* dibersihkan dari *flash* dan juga bagian – bagian tidak perlu yang memberikan nilai tambah menggunakan *cutter*.



Gambar 2. 6 Proses *Fixing Wax*

Kemudian pada proses *assembly*, produk yang dihasilkan dari proses *wax injection* dan telah dibersihkan kemudian dirangkai menjadi satu pohon (rangkai dari beberapa part). Semua *part* tersebut disatukan dengan menggunakan *welding torch* dengan cara memanaskan bagian atau sisi yang ingin direkatkan kemudian menempelkan kedua *part* dengan memanfaatkan lelehan yang dihasilkan. Pada proses *assembly* juga dilakukan perbaikan terhadap produk yang mengalami kerusakan minor, seperti apabila terdapat part produk yang terputus dan kemudian disambungkan kembali.



Gambar 2. 7 Proses *Wax Assembly*

2.4.4 *Dipping*

Pada proses *dipping*, pohon diberi lapisan *slurry* dan juga pasir *zircon* sebagai bahan untuk pembentukan cetakan keramik. Menurut (Kalpakjian & Schmid, 2008), terdapat beberapa ketentuan yang digunakan untuk menentukan karakteristik cetakan keramik, diantaranya:

1. Cetakan keramik harus memiliki *green strenght* yang cukup agar produk *cast* tidak rusak ketika mengalami tahap penghilangan wax.
2. Cetakan keramik harus memiliki *fired strength* yang cukup agar dapat menahan berat metal saat dilakukan proses *pouring*.
3. Cetakan keramik harus memiliki nilai resistensi *thermal shock* yang tinggi untuk menghindari *cracking* atau pecahnya *mold* ketika proses *pouring*.
4. Cetakan keramik harus memiliki *permeability* yang cukup agar air yang terjebak dapat meresap pada dinding *mold* pada saat proses *pouring*.
5. Cetakan keramik harus memiliki nilai konduktivitas yang cukup agar dapat menghantarkan panas melalui dinding *mold* dan mendinginkan *metal*.



Gambar 2. 8 Proses *Dipping*



Gambar 2. 9 Proses pengeringan *Dipping*

Setelahnya pohon yang telah dilapisi oleh cairan *slurry* dan pasir *zircon* dikeringkan pada ruang pengeringan. Proses diulang selama beberapa kali hingga didapatkan ketebalan dan juga tingkat kekerasan yang diinginkan.

2.4.5 *Pouring*

Pada proses *pouring* dibagi menjadi tiga tahapan proses, yaitu *lost wax*, *sintering* dan *pouring*. Setelah cetakan keramik (*mold*) dibuat, *wax* harus dipisahkan dari keramik yang kemudian nantinya *wax* digunakan kembali untuk membentuk *part* baru. Cara yang digunakan untuk mengeluarkan *wax* adalah dengan cara memanaskan cetakan keramik sehingga *wax* cair keluar dari dalam keramik. Pemanasan haruslah dilakukan dengan cepat atau dengan panas yang tinggi agar *wax* tidak melakukan ekspansi yang dapat menyebabkan kerusakan pada keramik (Kalpakjian & Schmid, 2008).



Gambar 2. 10 Proses *Lost Wax*

Kemudian pada proses *sintering*, *mold* dipanaskan di dalam *chamber* hingga mencapai temperatur 1100°C dan kemudian melalui proses *pouring* yaitu proses penuangan lelehan besi ke dalam *mold* lalu kemudian didinginkan.



Gambar 2. 11 Proses *Pouring*

2.4.6 *Finishing*

Pada proses *finishing* terdapat perbedaan tahapan proses untuk *clamp* dan *body*, dimana tahapan ini terdiri dari proses *knockout*, *cutting*, *poleshing*, *blasting*, *polesh gating*, *heat treatment* dan *straightening*. Proses *knockout* merupakan proses penghilangan lapisan *mold* atau keramik sehingga tersisa produk dengan menggunakan *knockout machine*. Setelahnya produk melalui proses *cutting* untuk memotong bagian yang tidak perlu dan hanya tersisa produk *clamp* maupun *body*. Kemudian *body* atau *clamp* melalui proses *poleshing* untuk membersihkan sisa pemotongan dari proses *cutting*.



Gambar 2. 12 Proses *Cutting*

Produk kemudian melalui proses *blasting* untuk membersihkan sisa *mold* yang terdapat di permukaan produk dengan menggunakan proses *blasting hanger*. Produk yang telah dibersihkan pada proses *blasting*, selanjutnya produk melalui proses *polesh gating* untuk membersihkan sisa *mold* pada bagian *gating* dan juga *repair* untuk menghilangkan cacat permukaan seperti adanya lubang kecil dengan menggunakan mesin *las*. Kemudian produk melalui proses *heat treatment* untuk meningkatkan kekuatan dan kekerasan dari produk dengan memanaskan produk di dalam tungku pemanas selama beberapa jam.



Gambar 2. 13 Proses *Blasting*

Setelah melalui proses *heat treatment*, produk melalui proses *blasting* kembali untuk membersihkan produk dari kerak hasil proses *heat treatment*. Terakhir, produk melalui proses *straightening* untuk memperbaiki apabila terdapat deformasi dengan menggunakan mesin *press*. Tahapan *finishing* yang terdiri dari proses *blasting* dan juga proses *straightening*. Proses ini menjadi tahapan terakhir dari proses produksi produk *clamp*, sementara produk *body* akan melalui proses selanjutnya yaitu *drilling* dan *tapping*.



Gambar 2. 14 Proses *Straightening*

2.5. Perhitungan Sistem Saluran

Menurut aturan Chvorinov bagian-bagian dari coran dengan nilai modulus yang lebih besar akan membeku kemudian setelah bagian-bagian dari coran dengan nilai modulus yang lebih rendah membeku lebih awal. Nilai *casting* modulus merupakan rasio *volume* coran terhadap luas permukaan coran.

$$\text{Modulus (M)} = \frac{\text{Volume}}{\text{Luas Penampang}} = \frac{V}{A} (\text{cm}^3) \quad (2.1)$$

Sesuai dengan urutan pembekuan, maka modulus biasanya diatur dengan perbandingan berikut:

$$M_c : M_{lp} : M_p = 1 : 1,1 : 1,2$$

Dimana M_c , M_{lp} , dan M_p adalah modulus coran, modulus leher penambah dan mudlus feeder/riser/penambah.

2.6. Perhitungan Casting Yield

Casting yield adalah efisiensi penggunaan cairan logam, sehingga cairan logam yang menjadi *gating* system menjadi lebih sedikit dibandingkan dengan produk atau coran. Nilai

yield ini dapat dihubungkan dengan biaya yang telah dikeluarkan dalam tiap produksi. Perhitungan nilai *yield* merupakan perbandingan berat benda coran dengan keseluruhan tuangan, dengan rumus:

$$Yield = \frac{\text{Massa Coran}}{\text{Berat Tuangan}(\text{Massa Coran} + \text{Massa Sistem Saluran dan Riser})} \times 100\% \quad (2.2)$$

2.7. Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terkait dengan perancangan sistem *gating* pada *investment casting* dengan telah banyak diterbitkan dan di publikasikan. Pada bagian ini akan ditampilkan beberapa penelitian dari penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan penggunaan konsep merubah sistem *gating* dan mengamati pengaruhnya untuk membuat sistem *gating* yang lebih baik.

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Umakant Suryakant Landage, 2020) dengan judul *Porosity Analysis and Optimization of Casting Process Parameters using Simulation Software for Sand Casting*. Banyak peneliti melaporkan bahwa 90% dari cacat pada pengecoran diperoleh hanya karena desain saluran dan sistem pengumpanan yang tidak tepat. Tujuan utama dalam penelitian ini adalah untuk mempelajari desain sistem saluran dan pengumpanan yang ada, untuk mengoptimalkan sistem saluran dan pengumpanan menggunakan simulasi pengecoran sangat membantu untuk memvisualisasikan pengisian cetakan, pendinginan, pemadatan dan untuk memprediksi lokasi cacat internal dalam pengecoran seperti inklusi pasir, porositas penyusutan dan penutup dingin, dapat digunakan untuk mengatasi masalah pengecoran yang ada dan untuk mengembangkan pengecoran baru tanpa uji coba lantai toko. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode simulasi *casting* Click2cast dengan metode elemen hingga atau finite elemen method. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu perangkat lunak simulasi *casting* Click2cast didasarkan pada metode elemen hingga membantu dengan mudah memvisualisasikan kecepatan, tekanan, perubahan suhu selama pengisian cetakan yang tidak mungkin dalam *casting* kehidupan nyata dan juga membantu dalam memprediksi cacat, seperti erosi cetakan, penutupan dingin, porositas, jebakan udara dll. Dengan menggunakan perangkat lunak MINITAB untuk meminimalkan porositas sampel pengecoran, untuk kombinasi parameter proses yang diberikan berikut hasil optimal diperoleh: Tingkat Pengisian Optimum=281,22 gram/detik ; Waktu Penuangan Optimal = 5,50 detik; dan Suhu Penuangan Optimal=710°C. *Filling rate* memainkan peran penting dan memberikan kontribusi 56,62% terhadap kontribusi keseluruhan diikuti oleh waktu tuang dan suhu tuang. Hasilnya konsisten dengan area pengumpanan yang diprediksi dari *riser* setelah desain optimasi dan penyesuaian parameter proses. Kinerja *casting* crossing sangat ditingkatkan dengan menyesuaikan parameter dan mengoptimalkan desain *riser*. Radiografi sinar-X dari produk yang diambil menunjukkan bahwa tidak ada cacat internal pada coran. Dari studi di atas disimpulkan bahwa penggunaan metode simulasi dan taguchi dalam industri adalah ekonomis, handal, pengurangan cacat, bagian akurasi tinggi dengan kerugian minimum karena penolakan.

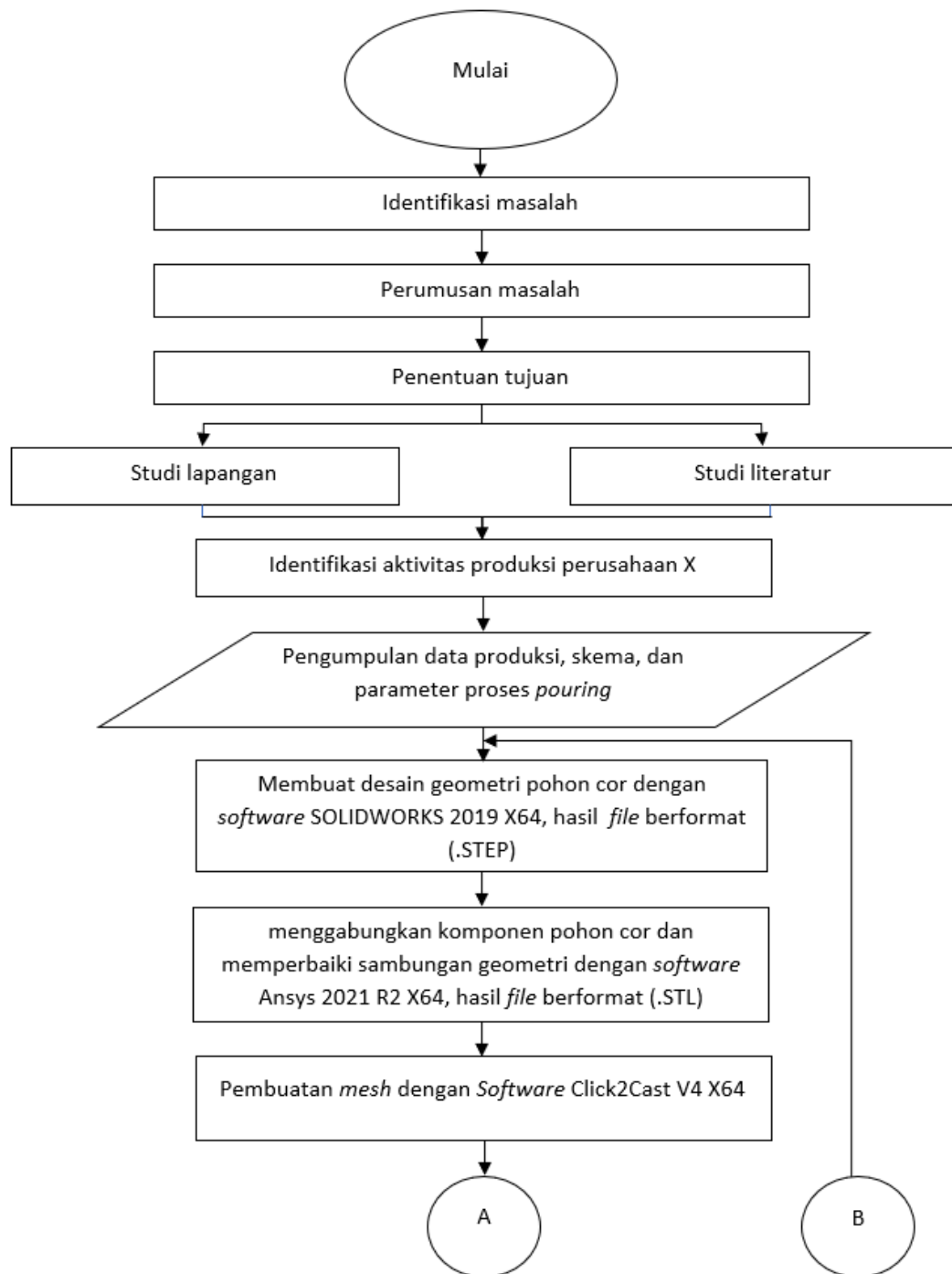
Penelitian berikutnya dilakukan oleh Sesmaro max Yuda. Cacat yang dapat terjadi pada coran karena factor *gating* sistem dalam cetakan umumnya adalah penyusutan/*shrinkage* dan porositas, yang timbul karena bentuk, dimensi dan peletakan dari *gating* system yang tidak tepat. Dilain pihak, cairan logam yang membeku di dalam *gating* system ini adalah scrap yang akan menurunkan efisiensi atau *yield* dari proses pengecoran tersebut' Pada penelitian ini dengan menggunakan cetakan *gravity die casting* dengan sistem saluran tanpa

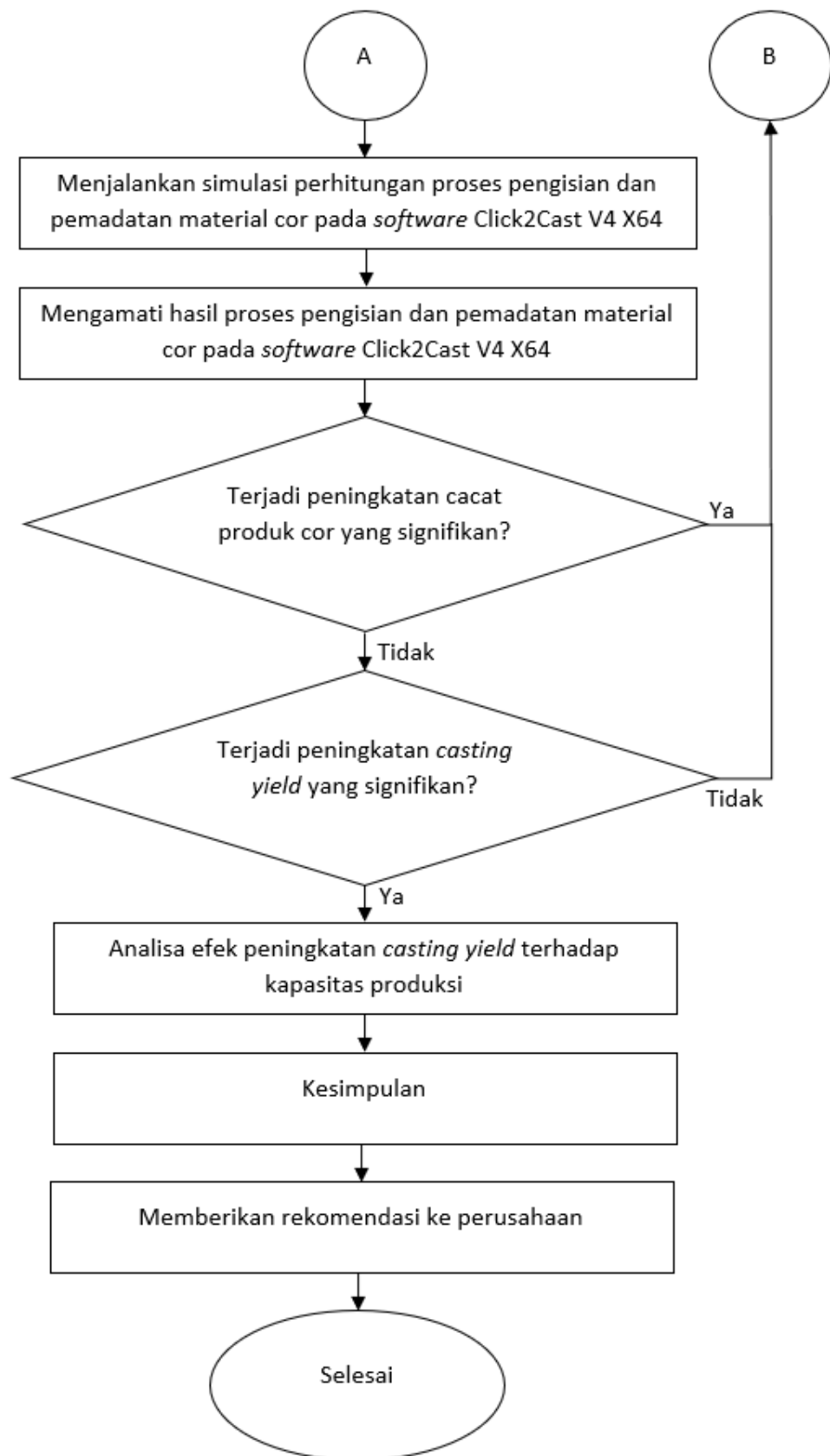
riser, dimana saluran masuk berfungsi sebagai saluran turun sekaligus sebagai *riser* dihasilkan coran *Clamp* Base Coyote dengan *yield* yang lebih besar yaitu dari 42 % menjadi 81,5 % serta porositas yang sudah tak terlihat lagi. Sehingga perlu memperhatikan parameter-parameter seperti Aliran kuat bisa menyebabkan erosi cetakan, aliran turbulen yang besar bisa mengakibatkan udara dan inklusi terperangkap dan pengisian logam cair yang relatif lambat akan menghentikan aliran logam mengisi rongga cetakan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. *Flowchart* Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan. Tahapan penelitian yang akan dilakukan dalam penelitian ini digambarkan melalui *flowchart* gambar 3.1.





Gambar 3. 1 Flowchart penelitian

3.2 Prosedur Penelitian

Diagram alir penelitian pada gambar 3.1 dijelaskan sebagai berikut:

3.2.1 Identifikasi Masalah

Pada tahap ini dilakukan penetapan perusahaan sebagai objek amatan penelitian yang digunakan untuk mengaplikasikan metode yang digunakan. Setelah didapatkan perusahaan objek amatan maka selanjutnya dilakukan identifikasi permasalahan – permasalahan yang diselesaikan melalui tugas akhir ini. Pada tahap ini pula ditentukan area penelitian yaitu sejauh mana penelitian dilakukan. Area penelitian meliputi batasan dan ruang lingkup permasalahan pada proses produksi PT. X.

3.2.2 Perumusan Masalah

Setelah dilakukan identifikasi permasalahan yang ada, kemudian dari permasalahan tersebut dirumuskan menjadi sebuah kerangka dalam pengerjaan tugas akhir. Fokus masalah yang dipecahkan dalam penelitian tugas akhir ini adalah bagaimana cara meningkatkan kapasitas maksimum produksi *cable protector* di PT. X.

3.2.3 Penentuan Tujuan

Dengan ditemukannya permasalahan – permasalahan yang dihadapi oleh perusahaan objek amatan, kemudian dilakukan penentuan tujuan dari penelitian yang dilakukan. Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah mengetahui cara meningkatkan kapasitas produksi *cable protector* serta memberikan usulan perbaikan bentuk geometri pohon *cable protector* pada PT. X.

3.2.4 Studi Lapangan

Studi lapangan adalah proses melakukan pengamatan langsung terhadap proses atau objek yang diteliti misalnya proses – proses yang terjadi untuk melakukan produksi pada perusahaan, mencari permasalahan – permasalahan yang diangkat pada penelitian tugas akhir, dan melakukan pengecekan apakah data – data yang dibutuhkan tersedia atau tidak. Data – data tersebut selanjutnya dijadikan input pada bagian pengolahan data.

3.2.5 Studi Literatur

Tahap selanjutnya adalah melakukan pencarian berbagai referensi agar dapat mendukung proses pengerjaan tugas akhir. Referensi yang digunakan disesuaikan dengan permasalahan yang diangkat. Penggunaan referensi ini dapat mendukung pengerjaan tugas akhir sehingga menjadi lebih terarah karena memiliki dasar dan pedoman yang kuat dalam menyelesaikan permasalahan yang diangkat dan mencapai tujuan penelitian. Literatur yang digunakan berasal dari buku teks, jurnal – jurnal penelitian, dan penelitian tugas akhir. Adapun literatur yang digunakan antara lain definisi dan detail dari konsep konsep studi kelayakan, pengkondisian parameter mesin dan produktivitas.

3.2.6 Identifikasi Aktivitas Produksi Perusaan X

Pada tahapan ini, dilakukan proses identifikasi setiap aktivitas proses produksi yang memungkinkan mempengaruhi tujuan penelitian di PT.X.

3.2.7 Pengumpulan Data Produksi

Pada tahap ini, hasil identifikasi yang dilakukan pada bulan Oktober 2021 hingga Desember 2022 berupa data produksi, skema, dan parameter proses *pouring* di catat yang nantinya akan dijadikan sebagai acuan proses berikutnya.

3.2.8 Pembuatan Desain Geometri Pohon Cor

Pada Tahap ini dilakukan pembuatan beberapa desain geometri 3D dari pohon *clamp* dan pohon *body*. Pohon tersebut dibuat dengan menggunakan Software *SolidWorks* 2019 X64. Masing-masing komponen pohon kemudian di gabungkan menjadi satu dan dibuat menjadi format (.STEP).

3.2.9 Menggabungkan komponen Pohon Cor

Pada tahap ini, file (.STEP) diolah dengan menggunakan *software* Spaceclaim ANSYS 2021 R1 untuk dilakukannya proses perbaikan permukaan yang dilanjutkan penggabungan komponen-komponen menjadi 1 bagian. Proses ini perlu dilakukan agar tidak terjadi kegagalan *meshing* pada proses berikutnya. Output dari proses ini adalah file dengan format (.STL)

3.2.10 Pembuatan Mesh dengan Software Click2Cast

Pada tahap ini, file (.STL) dijalankan dengan *software* Click2Cast dan akan terbaca sebagai 1 komponen yang akan dibuat menjadi geometri pohon cor. Kemudian dipilih lokasi masuknya *molten* dan ukuran *mesh* yang diinginkan (pada penelitian ini ukuran *mesh* yang dipakai adalah 2,5mm).

3.2.11 Menjalankan Simulasi Perhitungan Proses Pengisian dan Pematatan

Menjalankan simulasi perhitungan adalah tahap pemrosesan proses pengisian (*filling*) dan Pematatan (*solidification*) pada pohon cor yang dilakukan dengan *software* Click2Cast untuk menggambarkan proses *casting* yang terjadi. Proses ini akan menjadi semakin lama apabila ukuran *mesh* dari geometri diperkecil, hal ini dikarenakan semakin banyaknya elemen yang perlu dihitung oleh komputer yang mana akan menyebabkan hasil simulasi perhitungan menjadi semakin akurat.

3.2.12 Mengamati hasil Simulasi Perhitungan Proses Pengisian dan Pematatan

Pada tahap ini, Hasil menjalankan simulasi perhitungan dapat diamati berupa gambar geometri 3D yang memiliki keterangan-keterangan tertentu. Secara garis besar hasil simulasi perhitungan dibedakan menjadi 2 kelompok, yaitu: hasil Proses *Filling* yang terdiri dari *Flow Front*, *Temperature Hasil Filling*, *Cold Shuts*, *Air Entrap*, *Filling Time*. Serta proses *solidification* yang terdiri dari Temperatur akhir *solidification*, *Liquid Fraction*, *Solidification Times*, *Shrinkage*, *Porosity*. Hasil simulasi tersebut nantinya akan menjadi indikator untuk memprediksi cacat yang akan terjadi dan sebagai masukan untuk perbaikan desain pohon berikutnya.

3.2.13 Analisa Efek Peningkatan Casting Yield Terhadap Kapasitas Produksi

Setelah pohon *casting* dinyatakan tidak mengalami peningkatan cacat cor yang signifikan dan memiliki peningkatan *casting yield* yang signifikan maka dilakukan analisa pengaruh peningkatan *casting yield* terhadap kapasitas produksi *cable protector* dengan menggunakan perbandingan *linear* terhadap kapasitas produksi pohon *casting* empat tangkai yang digunakan PT.X.

3.2.13 Kesimpulan

Tahap ini merupakan tahapan penarikan kesimpulan berdasarkan penelitian yang telah dilakukan. Penarikan kesimpulan dilakukan berdasarkan tujuan penelitian yang telah ditetapkan pada saat penelitian dimulai dan berdasarkan data-data yang didapatkan pada saat penelitian berlangsung. Tahap ini merupakan tahap pemberian saran yang sekiranya diperlukan untuk kepentingan kesempurnaan penelitian di masa yang akan datang. Pemberian

saran diharapkan dapat bermanfaat bagi perusahaan dan peneliti yang lain ketika akan melakukan penelitian dengan tema yang serupa.

3.2.14 Memberikan Rekomendasi ke perusahaan

Tahap ini merupakan tahap terakhir yaitu dengan memberikan rekomendasi desain geometri ke PT. X sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilakukan. Hal ini dilakukan dengan tujuan memberikan pabrik sebuah pilihan alternatif yang dapat meningkatkan kapasitas produksi dengan usaha terendah.

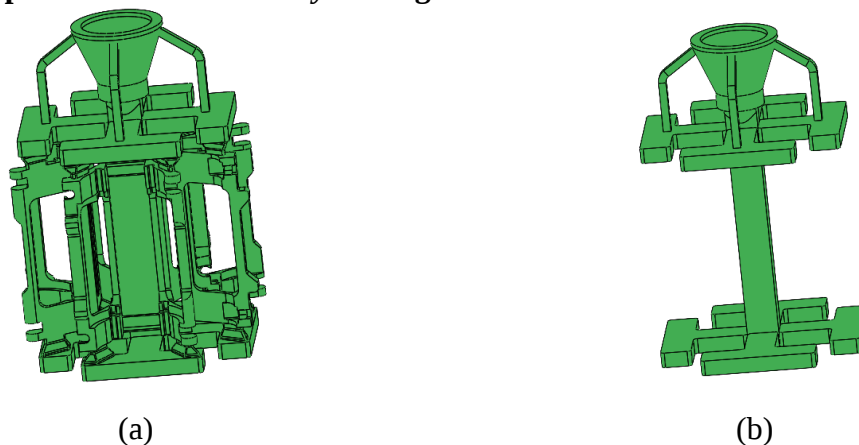
3.3 Komponen Wax Penyusun Pohon Cor

Investment casting merupakan metode *casting* yang membutuhkan pembuatan *mold* terlebih dahulu sebelum melakukan proses tuang. *Mold* berfungsi sebagai cetakan produk yang akan dicor. Pada metode *investment casting*, pembuatan *mold* diawali dengan *wax injection*, yaitu proses mencetak komponen demi komponen *wax* menggunakan mesin *injection molding*. Kemudian masing-masing komponen *wax* diperbaiki dan disusun menjadi satu buah pohon *wax* yang disebut juga sebagai pohon cor. Pohon *wax* siap memasuki proses *dipping*.

Pada penelitian ini dilakukan rancang bangun sistem *gating* dan *feeding* pada pohon cor, yang diawali dari pengurangan volume pada tangkai pedang pohon untuk memastikan *molten* bisa mengisi produk dengan baik dan tidak berlebih, proses ini diulang pada desain tangkai lengan pohon untuk meletakkan produk, dilanjutkan dengan desain *gating* untuk mempermudah *molten* mengisi produk cor dan tidak menjadi penyebab timbulnya cacat. Bagian *gating* sebesa mungkin menjadi bagian yang paling akhir mengalami *solidification*, hal ini dikarenakan untuk memastikan cacat pada produk.

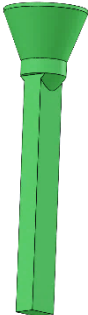
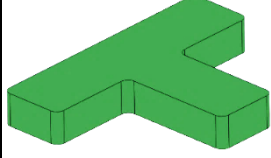
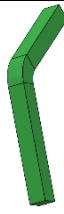
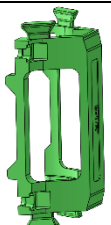
Geometri pohon yang telah dibuat kemudian dilakukan simulasi perhitungan menggunakan software Click2Cast. Hasil simulasi berupa prediksi fenomena *casting* yang akan terjadi pada geometri pohon dan dijadikan sebagai bahan masukan untuk mendesain geometri pohon yang lebih baik hingga hasil geometri pohon tidak terjadi peningkatan cacat cor yang signifikan serta menghasilkan peningkatan *casting yield* yang signifikan. Berikut adalah komponen-komponen *wax* yang menjadi penyusun pohon cor pada penelitian ini:

3.3.1 Komponen Pohon Wax Body 4 Tangkai

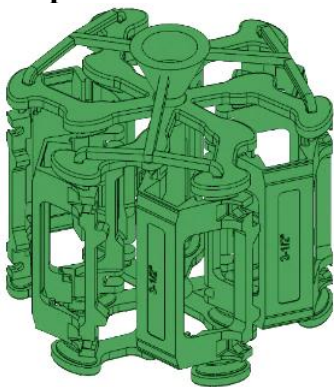


Gambar 3. 2 (a) Pohon *wax body* 4 tangkai; (b) Sistem *feeding* pohon *body* 4 tangkai

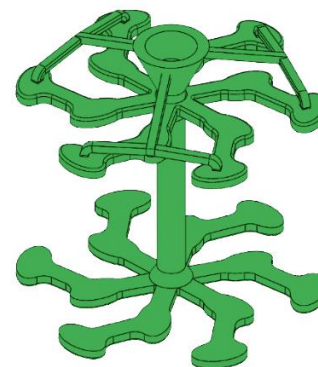
Tabel 3. 1 Komponen wax penyusun pohon *body* 4 tangkai

Bentuk Komponen	Nama Komponen	Jumlah per pohon	keterangan
	Tangkai Pedang <i>Square</i>	1	Berfungsi sebagai tulang utama pohon agar mampu berdiri kokoh ketika masih berupa wax, sebagai jalur utama proses pengisian (<i>Filling molten</i>), dan sebagai <i>Riser</i> proses pematatan (<i>solidification</i>) molten
	Tangkai lengan T	8	Berfungsi sebagai lengan pohon tempat meletakkan produk <i>body</i>
	Tangkai udara	4	Berfungsi sebagai saluran keluarnya udara ketika terjadi proses pengisian (<i>filling</i>)
	<i>Body</i>	4	Berfungsi sebagai produk cor yang akan dibuat, memiliki sistem <i>gating</i> sebagai penyambung antara produk cor dengan desain <i>feeding</i>

3.3.2 Komponen Pohon Wax *Body* 6 Tangkai



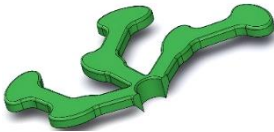
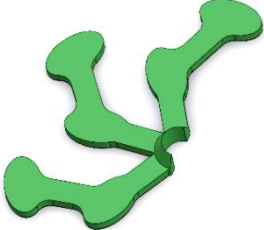
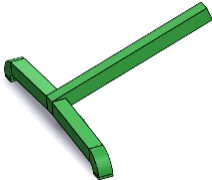
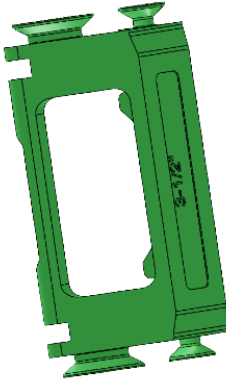
(a)



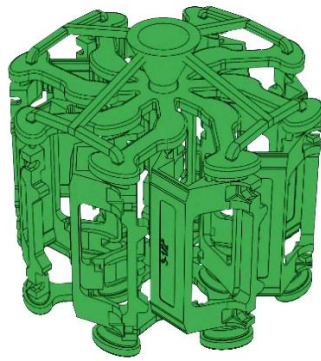
(b)

Gambar 3. 3 (a) Pohon wax *body* 6 tangkai; (b) Sistem *feeding* pohon *body* 6 tangkai

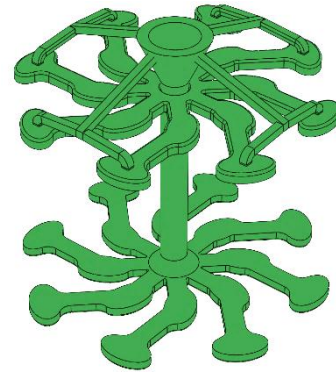
Tabel 3. 2 Komponen wax penyusun pohon *body* 6 tangkai

Bentuk Komponen	Nama Komponen	Jumlah per pohon	keterangan
	Tangkai Pedang <i>Circle</i>	1	Mengalami perubahan geometri <i>feeding</i> yang semula ber penampang persegi panjang dengan ukuran 4,14 cm x 3,11 cm menjadi berpenampang lingkaran dengan diameter 3,4 cm.
	Tangkai B3 lengan atas	2	Merubah jumlah pemasangan yang semula menyambungkan 4 tangkai lengan menjadi 2 tangkai lengan. Mengalami perubahan ketebalan yang semula 2 cm menjadi 1,3 cm, lebih disesuaikan untuk tangkai lengan atas
	Tangkai B3 lengan bawah	2	Merubah jumlah pemasangan yang semula menyambungkan 4 tangkai lengan menjadi 2 tangkai lengan. Mengalami perubahan ketebalan yang semula 2 cm menjadi 1,3 cm, lebih disesuaikan untuk tangkai lengan bawah
	Tangkai B3 udara	3	Merubah jumlah pemasangan yang semula menyambungkan 4 tangkai udara menjadi 3 tangkai udara.
	Body A	6	Merubah sistem <i>gating</i> yang semula memiliki penampang trapesium menjadi penampang oval. Mengurangi ketinggian sistem <i>gating</i> yang semula 1,98cm menjadi 1,5cm untu mendekatkan produk cor dengan desain <i>feeding</i>

3.3.3 Komponen Pohon Wax Body 8 Tangkai



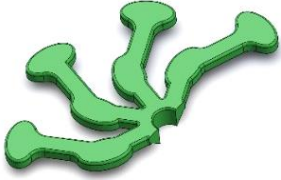
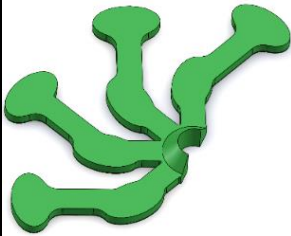
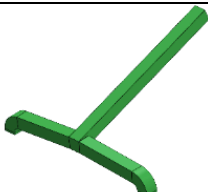
(a)

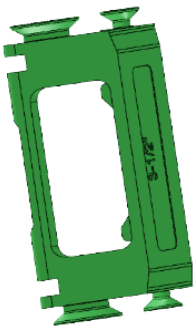


(b)

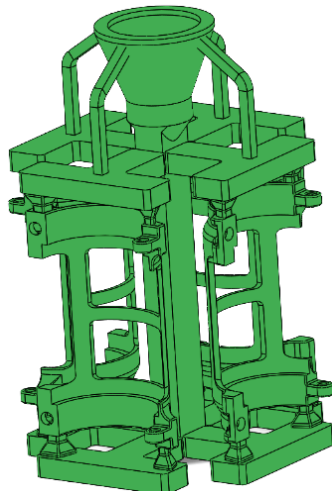
Gambar 3. 4 (a) Pohon Wax body 8 tangkai; (b) Sistem *feeding* pohon body 8 tangkai

Tabel 3. 3 Komponen wax penyusun pohon body 8 tangkai

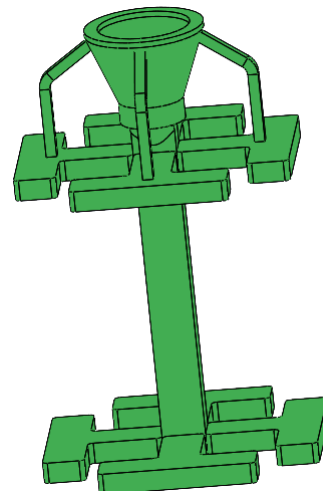
Bentuk Komponen	Nama Komponen	Jumlah per pohon	keterangan
	Tangkai Pedang Circle	1	Mengalami perubahan geometri <i>feeding</i> yang semula ber penampang persegi panjang dengan ukuran 4,14 cm x 3,11 cm menjadi berpenampang lingkaran dengan diameter 3,4 cm.
	Tangkai B4 lengan atas	2	Merubah jumlah pemasangan yang semula menyambungkan 4 tangkai lengan menjadi 2 tangkai lengan. Mengalami perubahan ketebalan yang semula 2 cm menjadi 1,3 cm, lebih disesuaikan untuk tangkai lengan atas
	Tangkai B4 lengan bawah	2	Merubah jumlah pemasangan yang semula menyambungkan 4 tangkai lengan menjadi 2 tangkai lengan. Mengalami perubahan ketebalan yang semula 2 cm menjadi 1,3 cm, lebih disesuaikan untuk tangkai lengan bawah
	Tangkai B4 udara	4	Merubah bentuk sambungan tangkai udara

	Body B	8	Merubah sistem <i>gating</i> yang semula memiliki penampang trapesium menjadi penampang oval. Mengurangi ketinggian sistem <i>gating</i> yang semula 1,98cm menjadi 1,5cm untu mendekatkan produk cor dengan desain <i>feeding</i>
---	--------	---	--

3.3.4 Komponen Pohon Wax Clamp 4 Tangkai



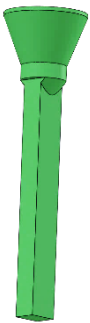
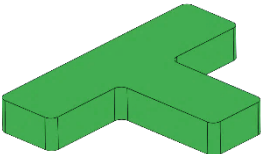
(a)



(b)

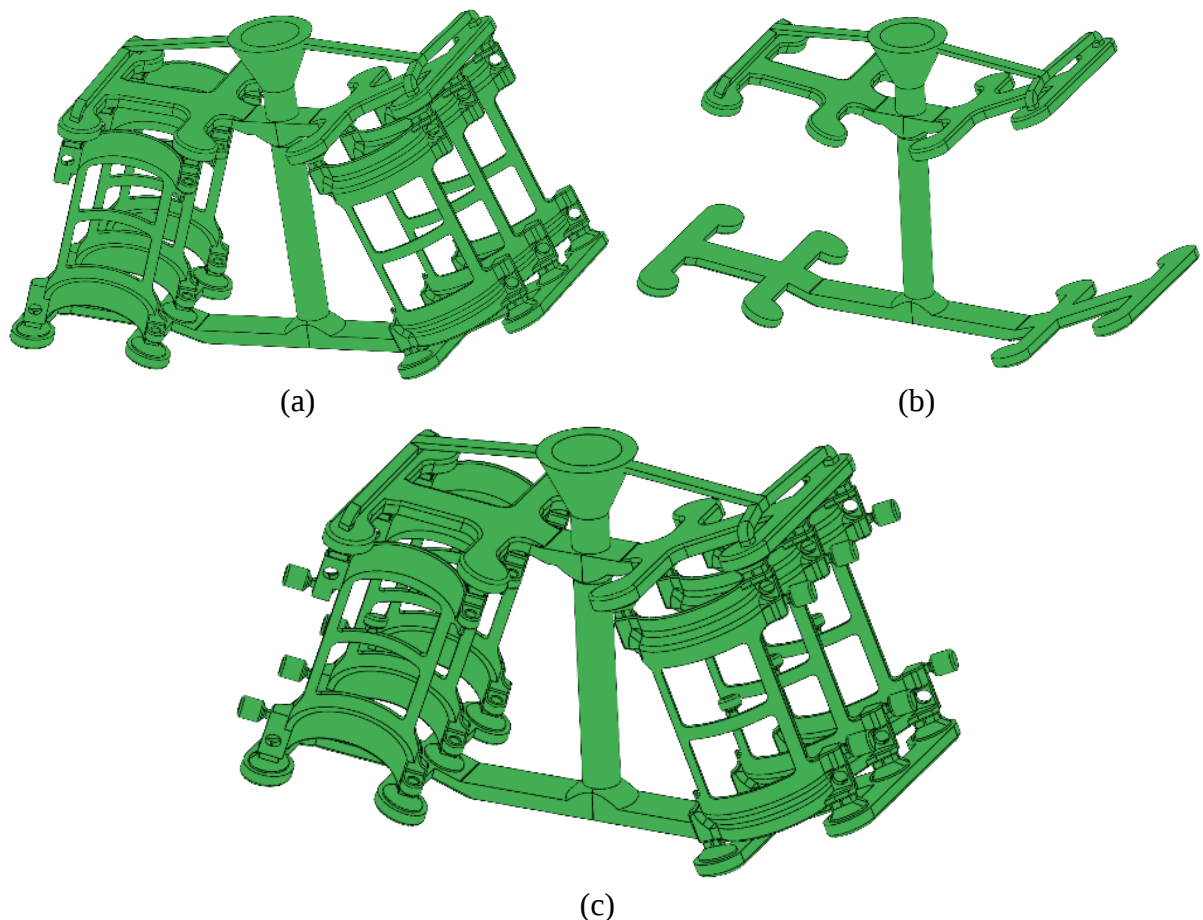
Gambar 3. 5 (a) Pohon wax clamp 4 tangkai (b) Sistem *feeding* pohon clamp 4 tangkai

Tabel 3. 4 Komponen wax penyusun pohon clamp 4 tangkai

Bentuk Komponen	Nama Komponen	Jumlah per pohon	keterangan
	Tangkai Pedang Square	1	Berfungsi sebagai tulang utama pohon agar mampu berdiri kokoh ketika masih berupa wax, sebagai jalur utama proses pengisian (<i>Filling</i>) molten, dan sebagai Riser proses pemadatan (<i>solidification</i>) molten
	Tangkai lengan T	8	Berfungsi sebagai lengan pohon tempat meletakkan produk body

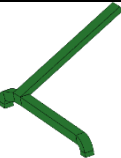
	Tangkai udara	4	Berfungsi sebagai saluran keluarnya udara ketika terjadi proses pengisian (<i>filling</i>)
	Clamp A	4	Berfungsi sebagai produk cor yang akan dibuat, memiliki sistem <i>gating</i> sebagai penyambung antara produk cor dengan desain <i>feeding</i>

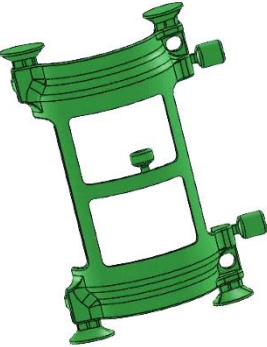
3.3.5 Komponen Pohon Wax Clamp 6 Tangkai



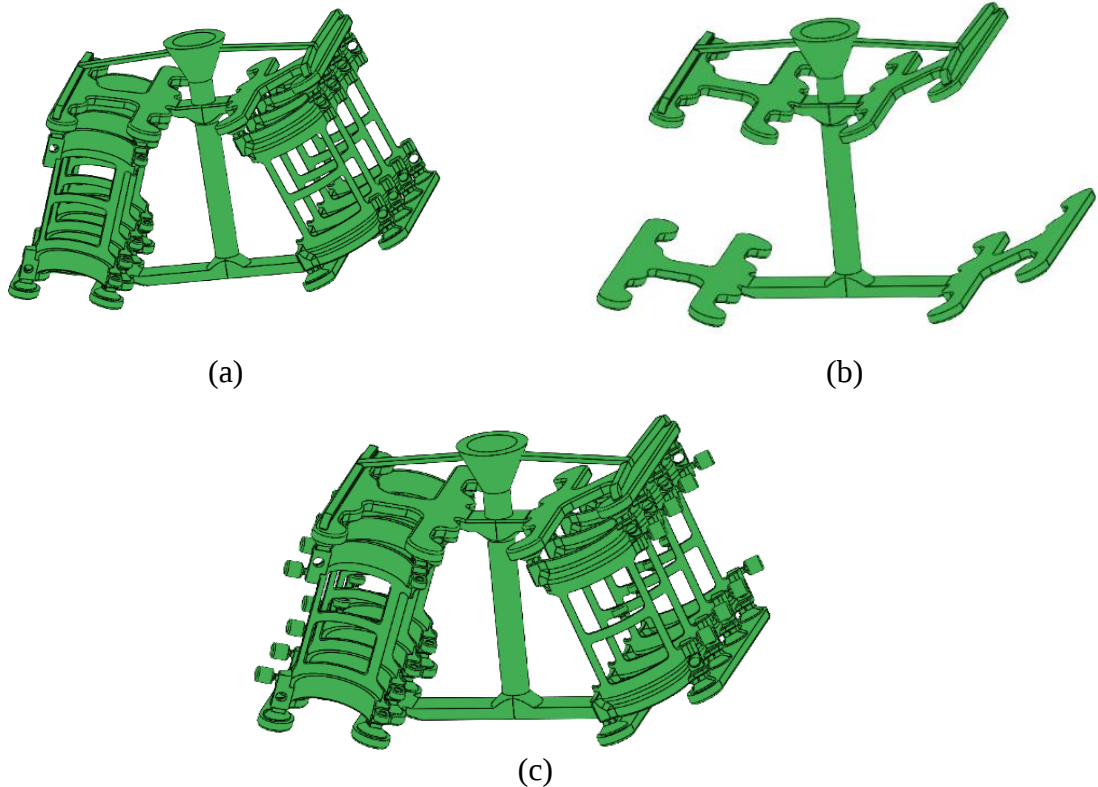
Gambar 3. 6 (a) Pohon wax clamp 6 tangkai tanpa riser; (b) Sistem *feeding* pohon clamp 6 tangkai; (c) Pohon wax clamp 6 tangkai dengan riser

Tabel 3. 5 Komponen *wax* penyusun pohon *clamp* 6 tangkai

Bentuk Komponen	Nama Komponen	Jumlah per pohon	keterangan
	Tangkai Pedang <i>Circle</i>	1	Mengalami perubahan geometri <i>feeding</i> yang semula ber penampang persegi panjang dengan ukuran 4,14 cm x 3,11 cm menjadi berpenampang lingkaran dengan diameter 3,4 cm.
	Tangkai C3 lengan atas	2	Merubah jumlah pemasangan yang semula menyambungkan 4 tangkai lengan menjadi 2 tangkai lengan. Mengalami perubahan ketebalan yang semula 2 cm menjadi 1,3 cm, lebih disesuaikan untuk tangkai lengan atas
	Tangkai C3 lengan Bawah	2	Merubah jumlah pemasangan yang semula menyambungkan 4 tangkai lengan menjadi 2 tangkai lengan. Mengalami perubahan ketebalan yang semula 2 cm menjadi 1,3 cm, lebih disesuaikan untuk tangkai lengan bawah
	Tangkai C3 udara	2	Merubah jumlah pemasangan yang semula menyambungkan 4 tangkai udara menjadi 2 tangkai udara.
	<i>Clamp B</i>	6	Merubah sistem <i>gating</i> yang semula memiliki penampang trapesium kecil menjadi penampang trapesium yang lebih besar. Mengurangi ketinggian sistem <i>gating</i> yang semula 1,98cm menjadi 1,5cm untuk mendekatkan produk cor dengan desain <i>feeding</i>

	Clamp B dengan Riser	6	Merubah sistem <i>gating</i> yang semula memiliki penampang trapesium kecil menjadi penampang trapesium yang lebih besar. Mengurangi ketinggian sistem <i>gating</i> yang semula 1,98cm menjadi 1,5cm untuk mendekatkan produk cor dengan desain <i>feeding</i> , serta menambahkan sistem <i>riser</i> untuk mengurangi cacat
---	----------------------	---	--

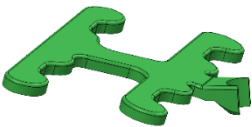
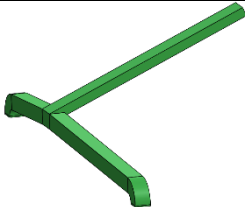
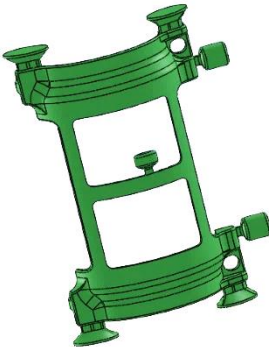
3.3.6 Komponen Pohon Wax Clamp 8 Tangkai



Gambar 3. 7 (a) Pohon wax *clamp* 8 tangkai tanpa riser; (b) Sistem *feeding* pohon *clamp* 8 tangkai; (c) Pohon wax *clamp* 8 tangkai Dengan riser

Tabel 3. 6 Komponen wax penyusun pohon *clamp* 8 tangkai

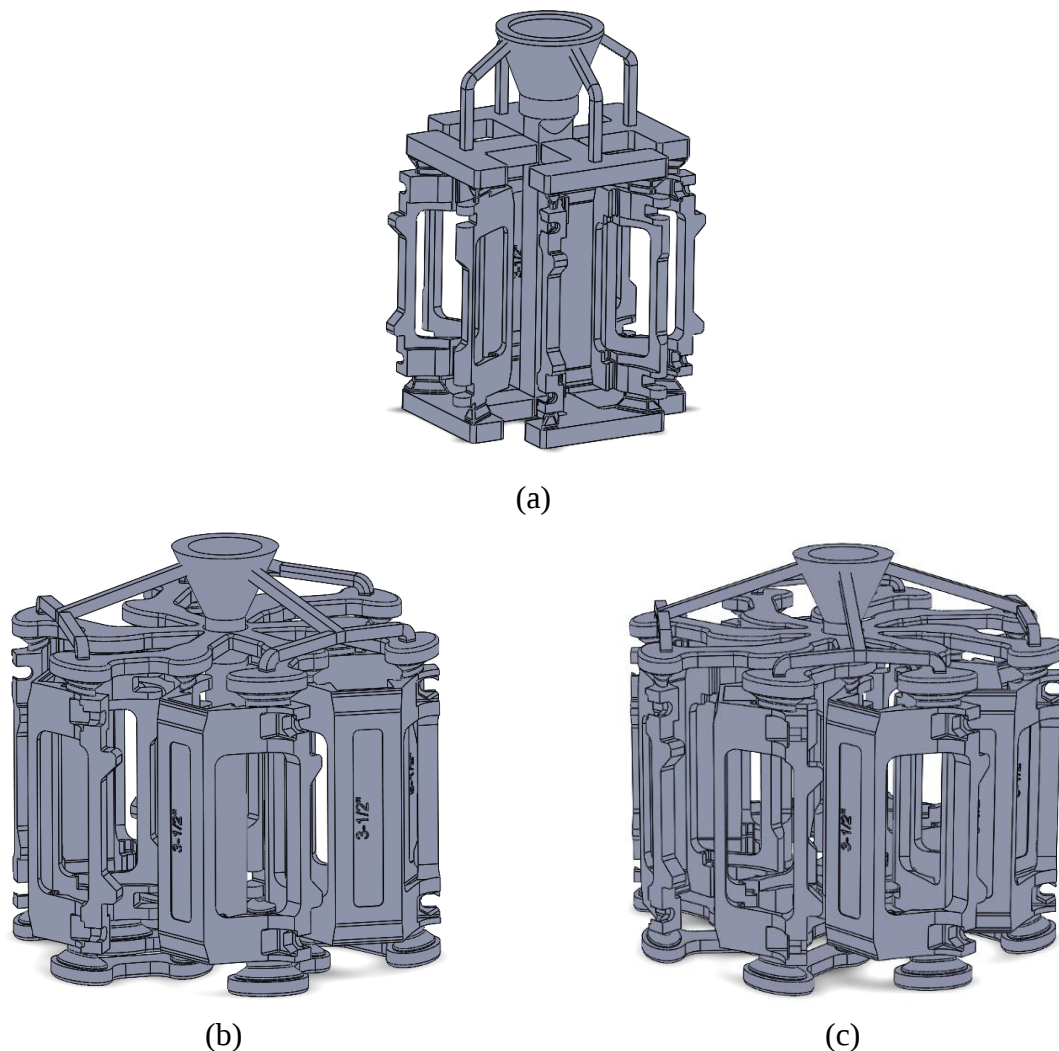
Bentuk Komponen	Nama Komponen	Jumlah per pohon	keterangan
	Tangkai Pedang Circle	1	Mengalami perubahan geometri <i>feeding</i> yang semula ber penampang persegi panjang dengan ukuran 4,14 cm x 3,11 cm menjadi berpenampang lingkaran dengan diameter 3,4 cm.

	Tangkai C4 lengan atas	2	Merubah jumlah pemasangan yang semula menyambungkan 4 tangkai lengan menjadi 2 tangkai lengan. Mengalami perubahan ketebalan yang semula 2 cm menjadi 1,3 cm, lebih disesuaikan untuk tangkai lengan atas
	Tangkai C4 lengan Bawah	2	Merubah jumlah pemasangan yang semula menyambungkan 4 tangkai lengan menjadi 2 tangkai lengan. Mengalami perubahan ketebalan yang semula 2 cm menjadi 1,3 cm, lebih disesuaikan untuk tangkai lengan bawah
	Tangkai C4 udara	2	Merubah jumlah pemasangan yang semula menyambungkan 4 tangkai udara menjadi 2 tangkai udara.
	Clamp B	8	Merubah sistem <i>gating</i> yang semula memiliki penampang trapesium kecil menjadi penampang trapesium yang lebih besar. Mengurangi ketinggian sistem <i>gating</i> yang semula 1,98cm menjadi 1,5cm untuk mendekatkan produk cor dengan desain <i>feeding</i>
	Clamp B dengan Riser	8	Merubah sistem <i>gating</i> yang semula memiliki penampang trapesium kecil menjadi penampang trapesium yang lebih besar. Mengurangi ketinggian sistem <i>gating</i> yang semula 1,98cm menjadi 1,5cm untuk mendekatkan produk cor dengan desain <i>feeding</i> , serta menambahkan sistem <i>riser</i> untuk mengurangi cacat

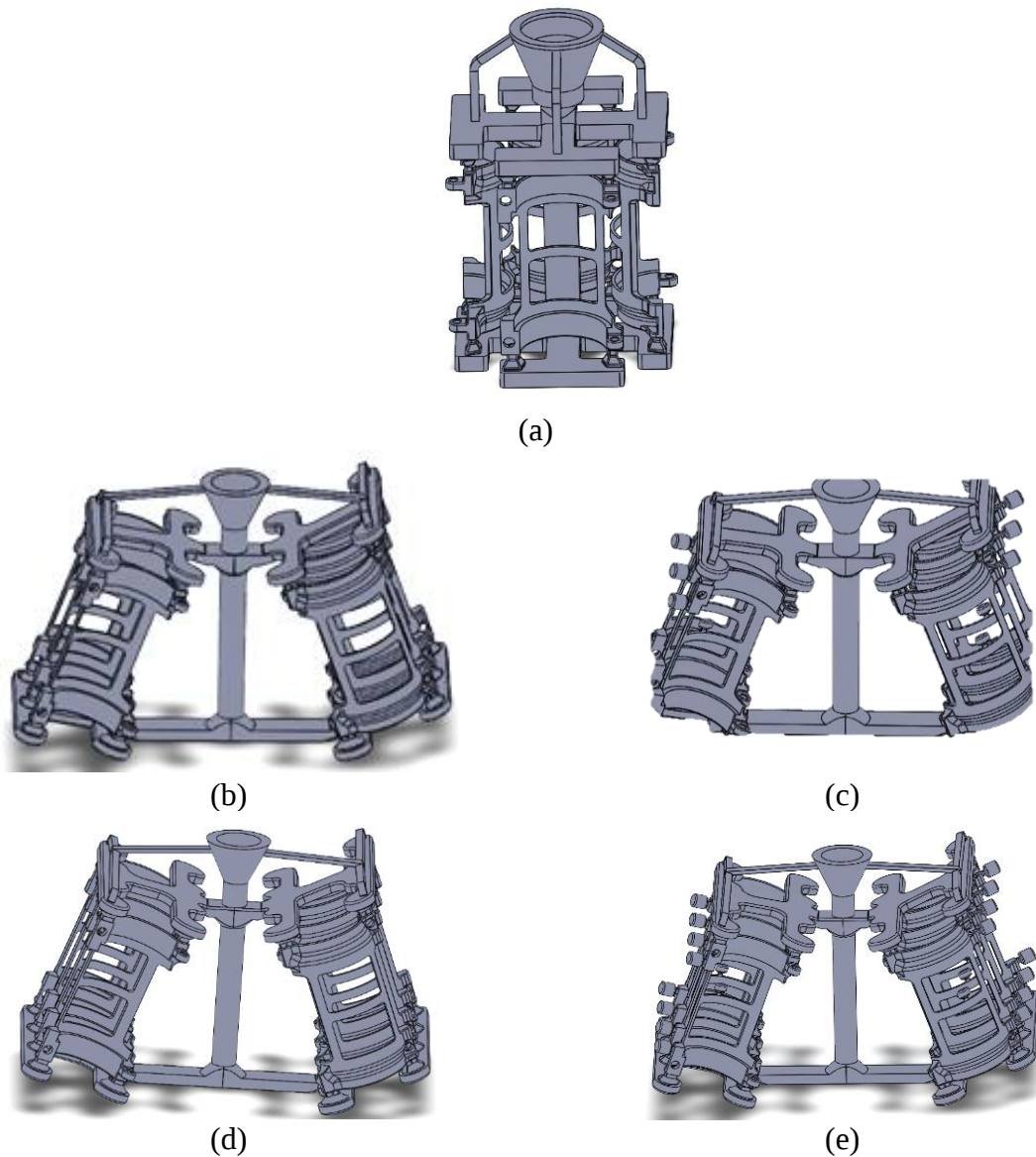
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Geometri Pohon Casting

Geometri pohon *casting* terdiri menjadi 3 kategori, yaitu: geometri pohon *body*, geometri pohon *clamp tanpa riser* dan geometri pohon *clamp dengan riser*. Geometri pohon *body* terdiri dari variasi pohon *body* 4 tangkai yang merupakan geometri yang digunakan pabrik saat ini, pohon *body* 6 tangkai dan pohon *body* 8 tangkai yang merupakan geometri optimasi yang akan diteliti pada penelitian ini. Geometri Pohon *Clamp* tanpa *riser* terdiri dari geometri 4 tangkai yang merupakan geometri yang dipakai pabrik saat ini, pohonw *clamp* 6 tangkai tanpa *riser* dan pohon 8 tangkai tanpa *riser* merupakan geometri optimasi yang akan diteliti pada penelitian ini. Serta geometri pohon *clamp* 6 tangkai dengan *riser* dan pohon *clapm* 8 tangkai dengan *riser* yang digunakan untuk menyempurnakan hasil optimasi dari pohon *clamp* tanpa *riser*. Berikut adalah gambar geometri masing-masing pohon yang telah dibuat menggunakan *software SolidWorks 2019 X64* dengan format file (.STEP).



Gambar 4. 1 Gambar pohon *body*: (a) Pohon *Body* 4 Tangkai; (b) Pohon *Body* 6 Tangkai; (c) Pohon *Body* 8 Tangkai



Gambar 4. 2 Gambar pohon *clamp*: (a) Pohon *Clamp* 4 Tangkai; (b) Pohon *Clamp* 6 Tangkai Tanpa *Riser*; (c) Pohon *Clamp* 6 Tangkai Dengan *Riser*; (d) Pohon *Clamp* 8 Tangkai Tanpa *Riser*; (e) Pohon *Clamp* 8 Tangkai Dengan *Riser*

4.2. Hasil *Meshing* Pohon *Casting*

Fille-file (.STEP) tersebut kemudian diproses dengan Software Spaceclaim untuk di repair surface dan combine. Proses ini diperlu dilakukan untuk mencegah terjadi nya eror atau gagal *meshing* pada proses selanjutnya. Hasil dari proses ini adalah file dengan format (.STL). Kedelapan file geometri (.STL) tersebut akan dijalankan menggunakan software click2cast untuk dibuat menjadi file *meshing* yang mana file2 *meshing* tersebut merupakan gambar partikel-partikel yang terjadi pada proses *casting*. Berikut adalah tabel hasil *casting*:

Tabel 4. 1 *Number of Elemen* hasil *Meshing*

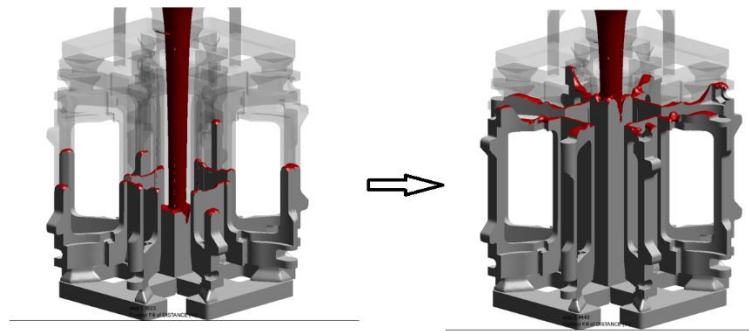
Hasil Mesh	Body 4 Tangkai	Body 6 Tangkai	Body 8 Tangkai	Clamp 4 tangkai	Clamp 6 tangkai tanpa raiser	Clamp 6 tangkai dengan raiser	Clamp 8 tangkai tanpa raiser	Clamp 8 tangkai dengan raiser
Volume (mm3)	3.509.078	3.334.700	4.313.951	2.941.766	2.601.769	2.941.766	3.351.304	3.475.878
Berat pohon	27.546	26.177	33.864	23.092	20.423	21.160	26.307	27.285
Surface (mm2)	704.985,09	866.437,15	1.133.335,90	575.464,30	703.019,92	703.019,92	880.621,46	948.464,50
Filling Time (s)	4	3,80	4,92	4	3,54	4	4,56	4,73
Element Size (mm)	2,5							
Tetrahedra (mesh)	1.153.315	1.248.189	1.626.433	1.005.330	988.342	1.034.042	1.279.382	1.341.480
Triangel (mesh)	281.126	367.262	481.110	244.270	297.906	315.948	387.564	412.032
nodes (mesh)	264.670	303287	395.794	231.041	242.938	255.583	314.784	331.957

4.3. Hasil Simulasi Proses *Filling*

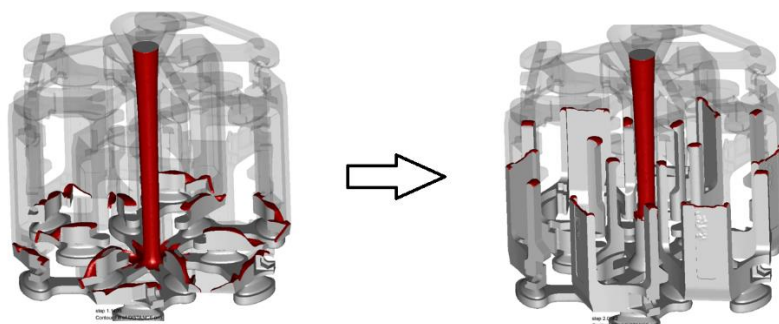
Proses *Filling* merupakan proses pengisian *mold* ceramic *investment casting* dengan *molten* logam AISI 4130. Selama proses *filling* terjadi beberapa fenomena *casting* seperti *flow front*, temperatur hasil *filling*, *cold shut*, *air entrap*.

4.3.1 Flow Front

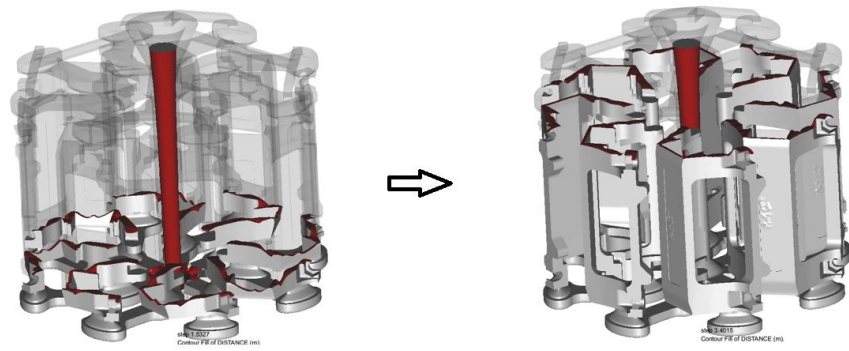
Flow front merupakan gambaran bagaimana *molten* mengisi rongga pohon *mold* dari ingate hingga *mold* terisi penuh. Hasil geometri akan dilihat *Flow front*nya, apabila didapati *flow* yang mengisi tangkai udara terlebih dahulu sebelum mengisi produk secara penuh, maka desain geometri tersebut dianggap gagal dan perlu di desain ulang pada bagian tangkai pedang untuk memiliki luas penampang yang lebih besar agar tidak terjadi tumpah *molten* saat penuangan material. berikut adalah gambar penuangan masing-masing *molten* pada pohon *casting*.



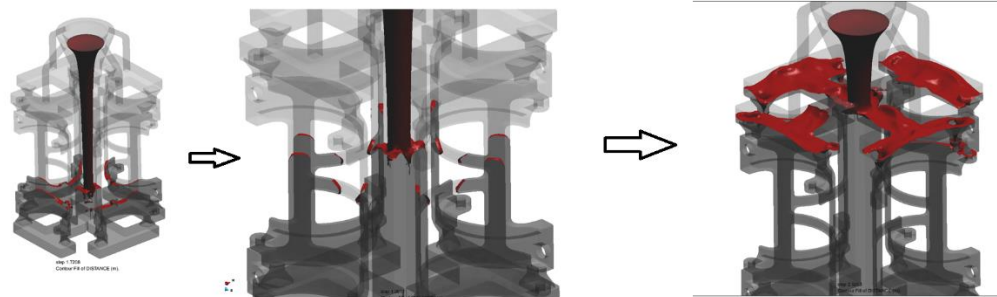
Gambar 4. 3 *Flow Front* Pada Pohon Body 4 Tangkai



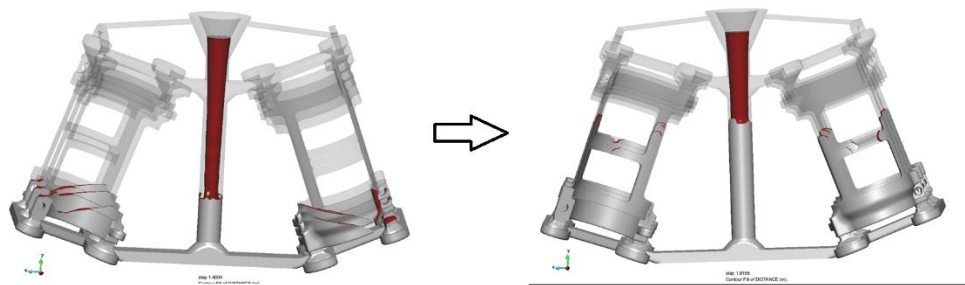
Gambar 4. 4 *Flow Front* Pada Pohon Body 6 Tangkai



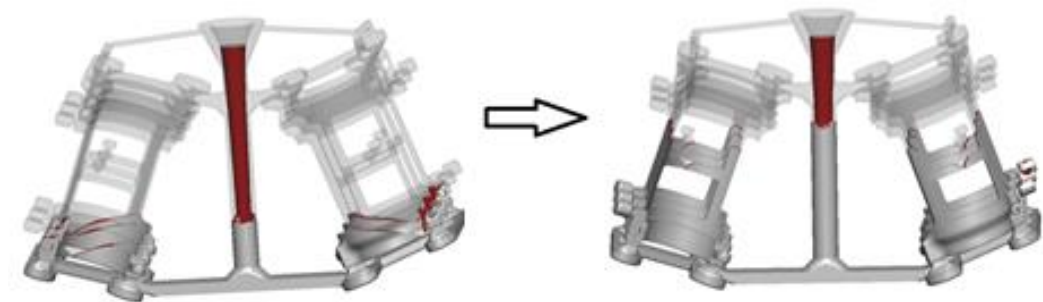
Gambar 4. 5 *Flow Front* Pada Pohon *Body* 8 Tangkai



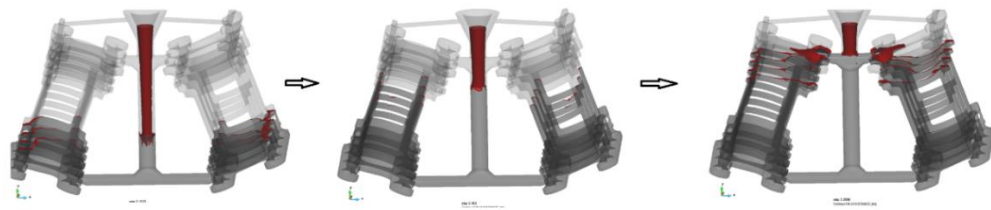
Gambar 4. 6 *Flow Front* Pada Pohon *Clamp* 4 Tangkai



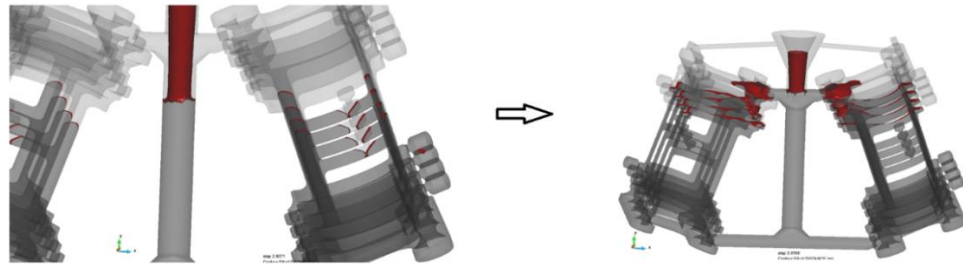
Gambar 4. 7 *Flow Front* Pada Pohon *Clamp* 6 Tangkai Tanpa *Riser*



Gambar 4. 8 *Flow Front* Pada Pohon *Clamp* 6 Tangkai Dengan *Riser*



Gambar 4. 9 *Flow Front* Pada Pohon *Clamp* 8 Tangkai Tanpa *Riser*

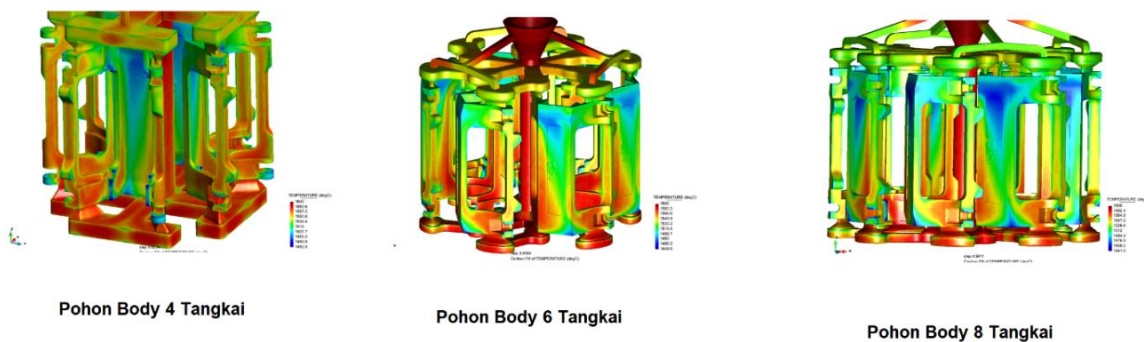


Gambar 4. 10 *Flow Front* Pada Pohon *Clamp* 8 Tangkai Dengan *Riser*

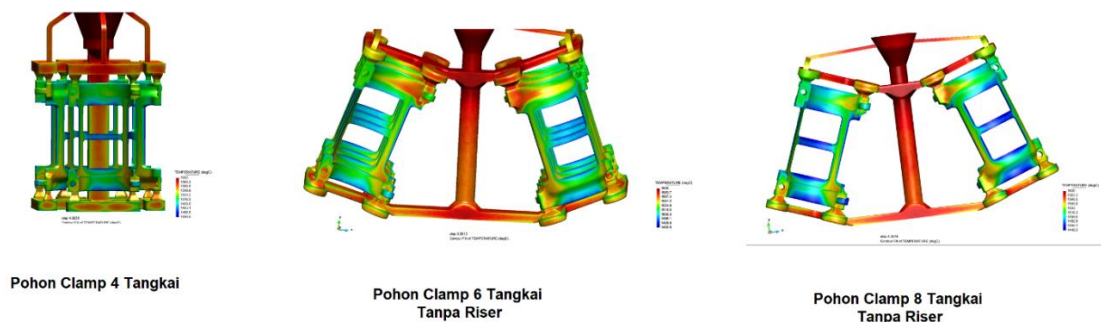
Dari kedelapan geometri diatas terlihat bahwa *molten* tidak ada yang memasuki tangkai udara disaat awal penuangan, sehingga kedelapan pohon *casting* diatas dapat disebut lolos indikator *Flow Front*

4.3.2 Temperatur Akhir *Filling*

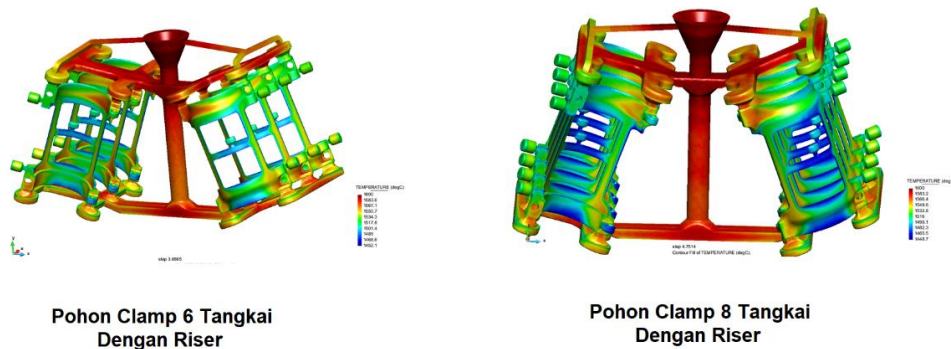
Selama proses *filling*, *molten* akan mengalami penurunan temperatur seiring dengan banyaknya area yang dilewatinya. Hal ini perlu diperhatikan karena jika temperatur *filling* terlalu rendah maka *molten* akan menjadi *solid* terlebih dahulu sebelum mengisi rongga - rongga terjauh dari ingate. Hasil Temperatur *Filling* dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4. 11 Temperatur *Filling* Pohon *Body*



Gambar 4. 12 Temperatur *Filling* Pohon *Clamp* Tanpa *Riser*

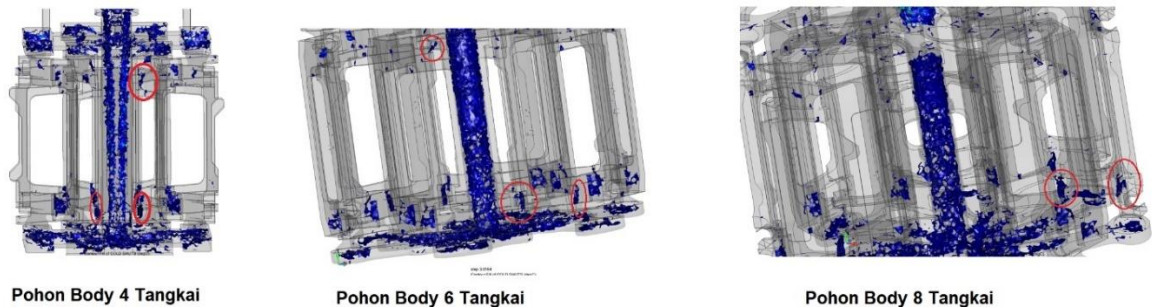


Gambar 4. 13 Temperatur *Filling* Pohon *Clamp* Dengan *Riser*

Dari gambar 4.11-4.13 diatas dapat dilihat bahwa bagian-bagian tepi produk yang tipis berwarna biru sedang bagian yang tebal berwarna merah. Hal ini menandakan bahwa bagian yang berwarna biru mengalami penurunan temperatur yang lebih cepat dibandingkan bagian yang berwarna merah. Serta dapat terlihat bahwa pada temperatur tuang 1600C pada semua pohon, menghasilkan persebaran jumlah warna biru yang berbeda. Hal ini dikarenakan semakin besar *volume* pohon maka akan semakin banyak area yang harus dilewati *molten*, sehingga *molten* mengalami penurunan temperatur yang auh lebih banyak pada pohon yang lebih besar. Sehingga untuk meningkatkan *volume* pohon perlu diikuti dengan peningkatan temperatur tuang *molten* dan atau *mold*.

4.3.3 Cold Shut

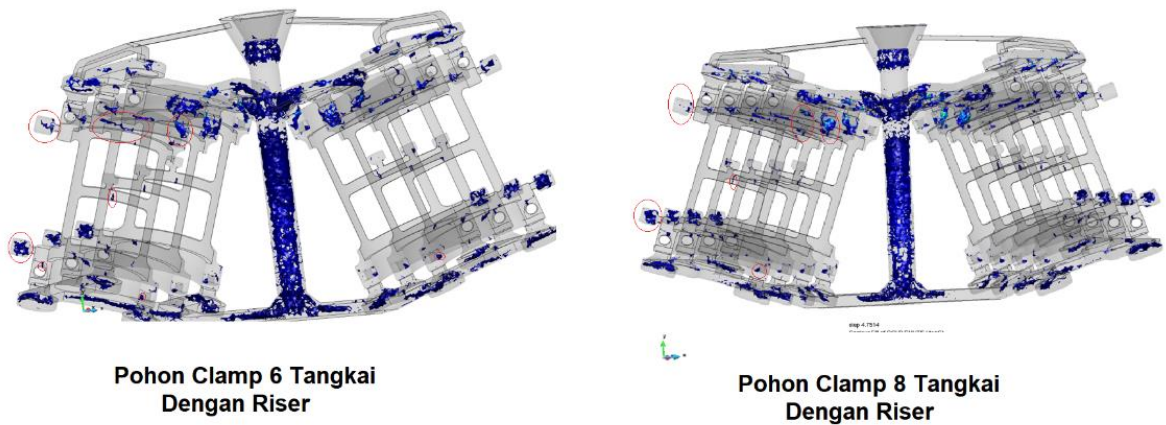
Salah satu hasil *filling* adalah *cold shut*, dimana terjadi pertemuan antara dua aliran *filling* yang memiliki beda temperatur atau pada geometri yang berlekuk dan tipis. Hasil *cold shut* dari simulasi ini dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4. 14 *Cold Shut* pada Pohon *Body*



Gambar 4. 15 *Cold Shut* pada Pohon *Clamp* Tanpa *Riser*

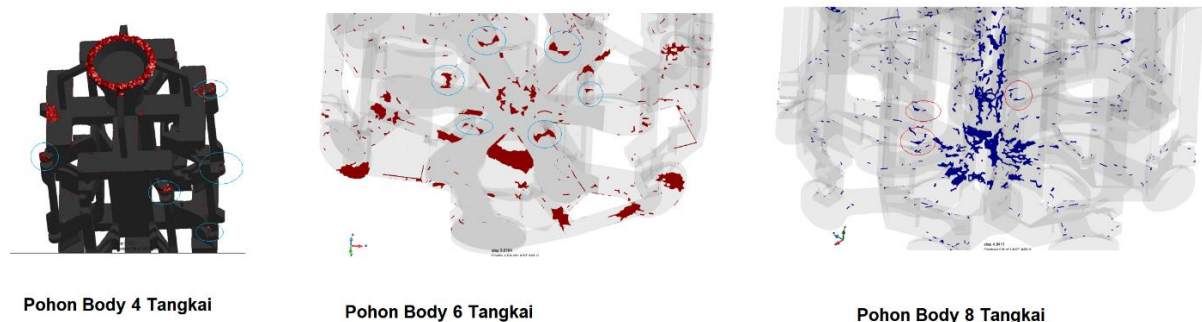


Gambar 4. 16 *Cold Shut* pada Pohon *Clamp* Dengan *Riser*

Dari gambar 4.14-4.16 diatas dapat dilihat bahwa bagian-bagian tepi berwarna biru merupakan *cold shut* yang terjadi pada proses menuangan *molten* pada *mold*. Pada bagian atas dekat dengan tangkai pedang, dapat terlihat terjadi *cold shut* yang sangat besar, hal ini dikarenakan *flow front* terjadi melalui *gating* atas disaat produk *clamp* atau *Body* belum terisi sepenuhnya. Sehingga mempertemukan dua aliran *molten* yang memiliki perbedaan temperatur. Pada gambar diatas juga terlihat bahwa pohon *boy* memiliki *cold shut* yang cukup luas pada bagian bawah produk. Hal ini dikarenakan *molten* diharuskan untuk mengisi area yang belekuk tipis dengan cepat. Namun disaat *volume* yang harus diisi meningkat, maka kecepatan *molten* mengisi area tersebut akan berkurang yang mana juga mengurangi terjadinya *cold shut* seperti yang terjadi pada pohon *body* 8 tangkai.

4.3.4 Air Entrap

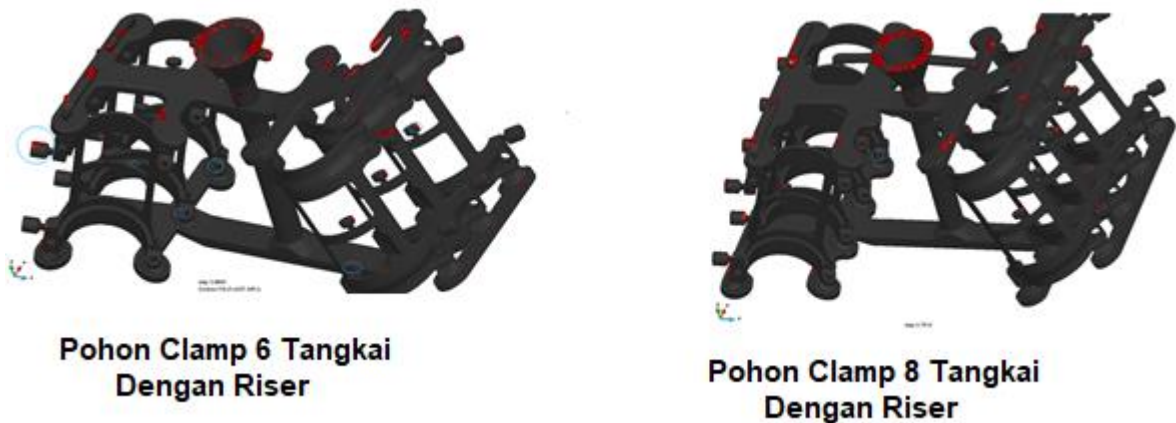
Air entrap pada produk *casting* adalah fenomena yang dimana fluida udara tidak dapat naik ke atas (dalam kasus ini naik menuju tangkai udara) dikarenakan udara tersebut berada pada geometri yang membuat udara tidak dapat pergi ke atas dan terperangkap oleh aliran *molten*, banyaknya jumlah udara yang terperangkap akan meningkatkan terjadinya porositas pada suatu produk dan memicu *cold shut* yang menimbulkan cacat. Pada simulasi ini dapat terlihat hasil *air entrap* yang terjadi pada masing-masing pohon *casting*.



Gambar 4. 17 *Air Entrap* pada Pohon *Body*



Gambar 4. 18 Air Entrap pada Pohon *Clamp* Tanpa Riser



Gambar 4. 19 Air Entrap pada Pohon *Clamp* Dengan Riser

Dari gambar 4.17-4.19 dapat dilihat persebaran air ientrap umumnya terjadi pada bagian yang mudah memerangkap udara ketika terisi *mold* terisi *molten*. Pada gambar pohon *clamp* 4 tangkai dapat terlihat terjadi *air entrap* yang besar pada bagian yang memiliki ujung yang panjang maupun pada bagian-bagiannya yang tipis namun panjang dimana karakteristik ini sesuai dengan karakteristik geometri *clamp*. Sehingga untuk meminimalisir terjadinya *air entrap* berlebih pada produk *clamp*, maka disusunlah sebuah geometri yang memiliki kemiringan 20deg dan dapat dimanufaktur seperti pada *clamp* 6 dan 8 tangkai. Namun untuk mengurangi *air entrap* yang terjadi akibat di berikannya kemiringan ini, maka perlu diberikan sebuah *riser* untuk menangkap *air entrap* yang terjadi pada produk. Hal ini terbukti efektif dengan berkurangnya *air entrap* pada pohon *clamp* 6 dan 8 tangkai dengan *riser* (gambar 4.12).

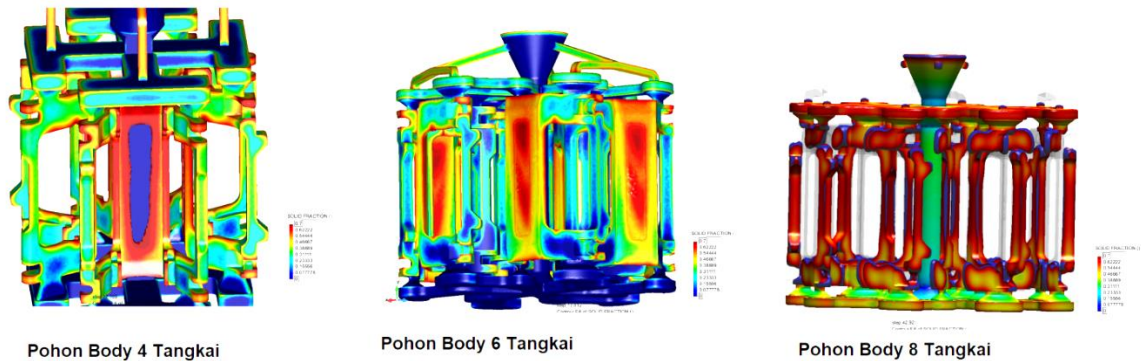
4.4. Hasil Simulasi Proses *Solidification*

Proses *solidification* adalah proster jadinya perubahan fase logam dari yang semula berfase *liquid* menjadi logam berfase *solid*. Perubahan fase ini akan menimbulkan berbagai efek pada produk *casting* yang mana dipengaruhi oleh kecepatan *solidification* suatu area tertentu pada produk *casting*. Kecepatan tersebut sejajar dengan peningkatan luas area terhadap *volume* pada suatu komponen *casting*. Selama proses *Solidification* terjadi beberapa fenomena *casting* terjadi seperti *Liquid Fraction*, *macro Porosity*, *Shrinkage*.

4.4.1 Solid Fration

Solid Fraction adalah proses persentase *solidification* sebuah logam yang besar nilainya antara 0 hingga 0,7. Yang mana 0 mengartikan bahwa area tersebut masih 100% *liquid* sedangkan 0.7 mengartikan bahwa area tersebut telah mengalami 70% *solidification*. Ketika logam mengalami *solidification* 70% maka akan dianggap bahwa logam tersebut akan diam

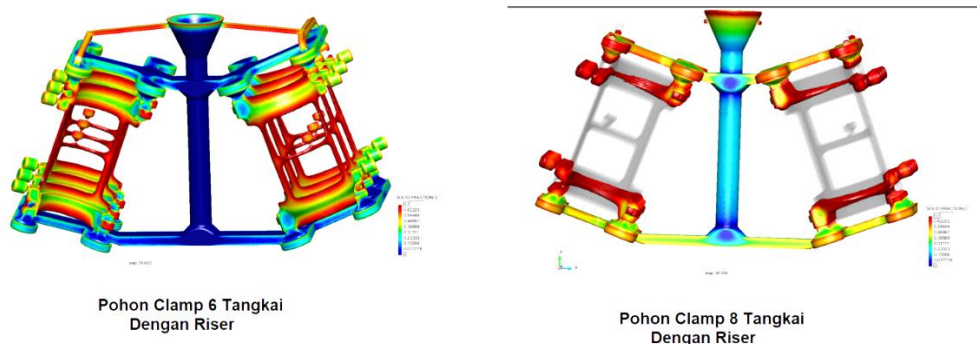
ditempat dan tidak dapat mengisi area yang lebih membutuhkan disekitarnya. Berikut adalah gambar proses *solid fraction* pada pohon-pohon *casting* penelitian ini:



Gambar 4. 20 *Solid Fraction* pada Pohon *Body*



Gambar 4. 21 *Solid Fraction* pada Pohon *Clamp* Tanpa *Riser*



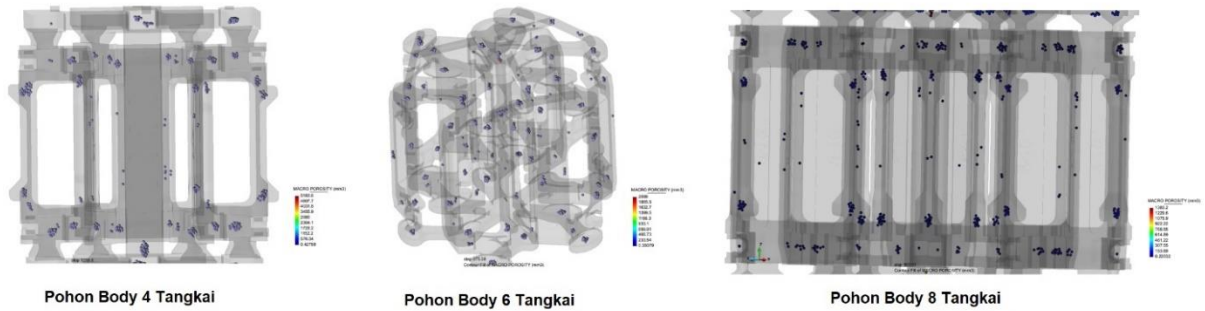
Gambar 4. 22 *Solid Fraction* pada Pohon *Clamp* Dengan *Riser*

Dari gambar 4.20-4.22 dapat dilihat pada laju *solid fraction* tercepat pada area yang memiliki luar area terbesar dan hanya memiliki *volume* yang sedikit pada bagian tersebut. Desain laju *solid fraction* produk *casting* yang ideal. Bagian komponen terjauh dari *gating* memiliki nilai *solid fraction* yang paling bear, dan nilainya mengecil secara bertahap seiring dekatnya bagian komponen dengan sistem *gating* pada produk coran tersebut. *Solid fraction* dapat digunakan juga untuk mengidentifikasi cacat porositas pada produk coran, dikarenakan pada bagian yang memiliki nilai *solid fraction* terkecil pasti akan menjadi bagian yang mengalami *solidification* seutuhnya terakhir kali, serta akan menjadi bagian yang paling akan terserap oleh area disekitarnya.

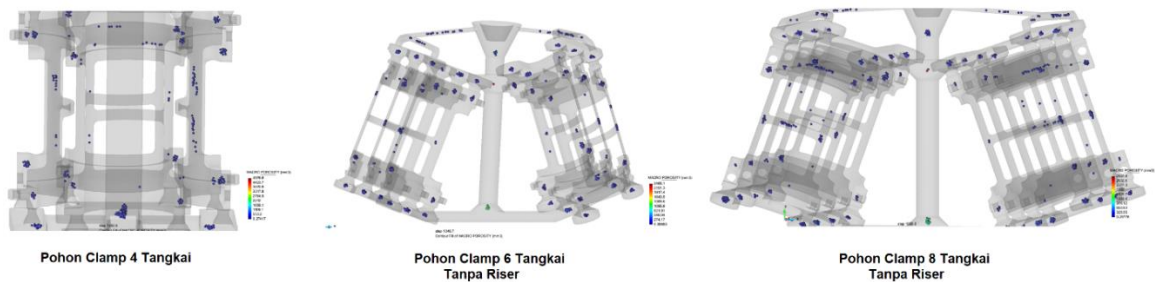
4.4.2 *Macro Porosity*

Pada proses *solidification* yang tidak merata pasti akan menimbulkan cacat *porosity macro* yang letaknya tersebar pada bagian-bagian yang terjebak (terputus dari sistem *gating*

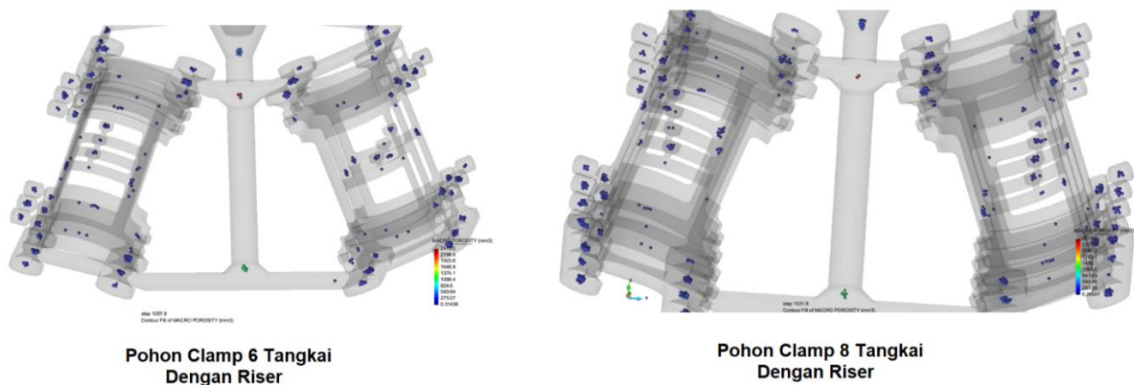
disaat bagian tersebut belum mengalami *solidification* sempurna). Berikut adalah hasil *porosity macro* yang terjadi pada pohon *casting cable protector*:



Gambar 4. 23 Macro Porosity Pada Pohon Body



Gambar 4. 24 Macro Porosity Pada Pohon Clamp Tanpa Riser

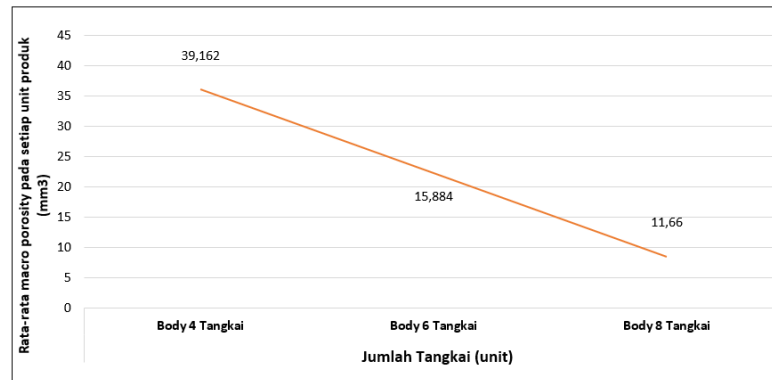


Gambar 4. 25 Macro Porosity Pada Pohon Clamp Dengan Riser

Dari gambar 4.23-4.25, dapat terlihat titik-titik persebaran *macro porosity* yang terjadi pada produk *clamp* dan *body*. Titik-titik tersebut jumlahnya akan dihitung dan dikaliberasi dengan keterangan *macro porosity* pada masing-masing hasil simulasi yang nantinya akan dibandingkan dengan produk *casting* yang dihasilkan.

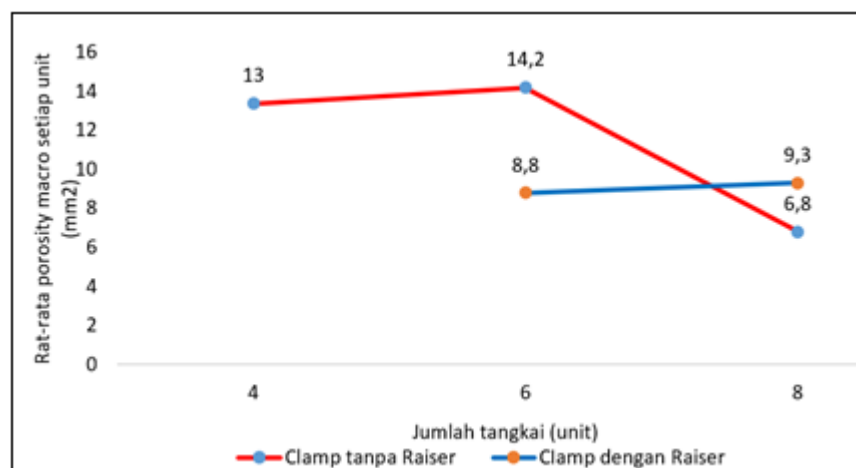
Tabel 4. 2 Rata-rata *macro porosity* yang terjadi pada setiap unit Produk

Nama Komponen		Jumlah produk (unit)	Jumlah Macro Porosity pada produk	Size Macro porosity (mm3)	Rerata Macro porosity pada setiap unit produk (mm3)
Body	Body 4 Tangkai	4	366	0,428	39,16
	Body 6 Tangkai	6	264	0,361	15,88
	Body 8 Tangkai	8	424	0,22	11,66
Clamp	Clamp 4 tangkai	4	194	0,275	13,34
	Clamp 6 tangkai tanpa raiser	6	284	0,301	14,2
	Clamp 6 tangkai dengan raiser	6	164	0,314	8,6
	Clamp 8 tangkai tanpa raiser	8	212	0,258	6,8
	Clamp 8 tangkai dengan raiser	8	226	0,246	9,3



Gambar 4. 26 Grafik rata-rata *porosity* setiap unit vs jumlah *body*

Pada gambar 4.26 dapat terlihat bahwa pohon *body* 4 tangkai memiliki rerata jumlah *macro porosity* sebesar 39,16 mm³ pada setiap unit produknya, untuk pohon *body* 6 tangkai memiliki rerata jumlah *macro porosity* sebesar 15,88 mm³ pada setiap unit produknya dan pohon *body* 8 tangkai memiliki rerata jumlah *macro porosity* sebesar 13,34 mm³ pada setiap unit produknya. Sehingga dapat dikatakan bahwa pohon *body* 8 tangkai memiliki cacat yang paling sedikit dengan penurunan porosisty sebesar 59,5% dibandingkan dengan pohon *Body* 4 tangkai.

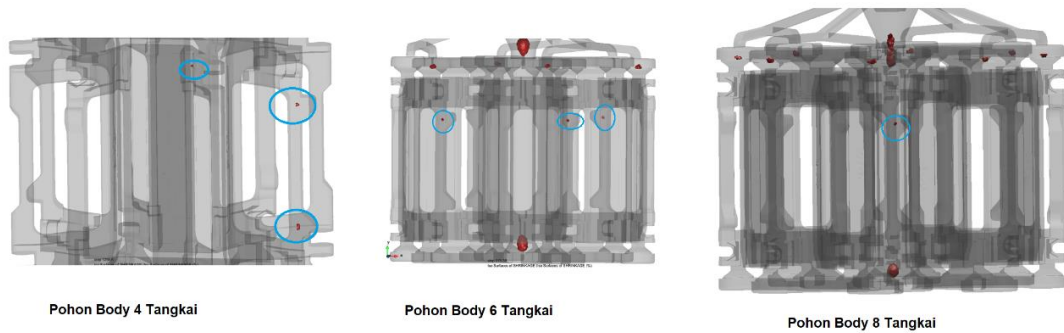


Gambar 4. 27 Grafik rata-rata *porosity* setiap unit vs jumlah Jumlah *Clamp*

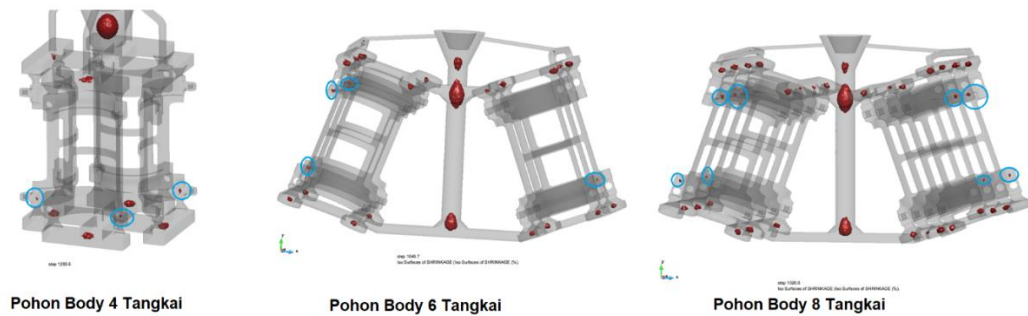
Pada gambar 4.27 dapat terlihat bahwa pohon *clamp* 4 tangkai memiliki rerata jumlah *macro porosity* sebesar 13 mm³ pada setiap unit produknya, untuk pohon *Clamp* 6 tangkai tanpa *riser* memiliki rerata jumlah *macro porosity* sebesar 14,2 mm³ pada setiap unit produknya dan pohon *Clamp* 8 tangkai memiliki rerata jumlah *macro porosity* sebesar 6.6 mm³ pada setiap unit produknya. Serta pada pohon *Clamp* 6 tangkai dengan *riser* memiliki rerata jumlah *macro porosity* sebesar 8,8 mm³ pada setiap unit produknya dan pohon *Clamp* 8 tangkai memiliki rerata jumlah *macro porosity* sebesar 9,3 mm³ pada setiap unit produknya.

4.4.3 Shrinkage

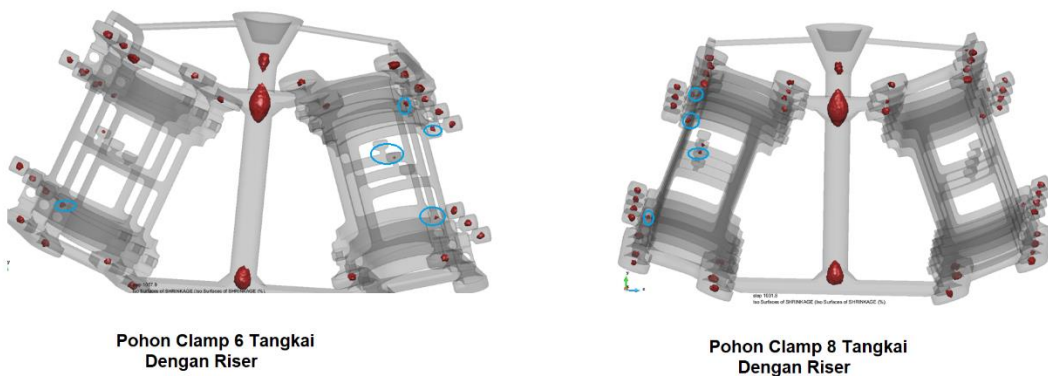
Shrinkage adalah cacat penyusutan terakhir, sesuai namanya, cacat ini terjadi pada bagian *solidification* paling akhir atau bagian yang telah terputus dari sistem *gating*.



Gambar 4. 28 *Shrinkage* 50% Pada Pohon Body



Gambar 4. 29 *Shrinkage* 85% Pada Pohon Clamp Tanpa Riser



Gambar 4. 30 *Shrinkage* 85% Pada Pohon Clamp Dengan Riser

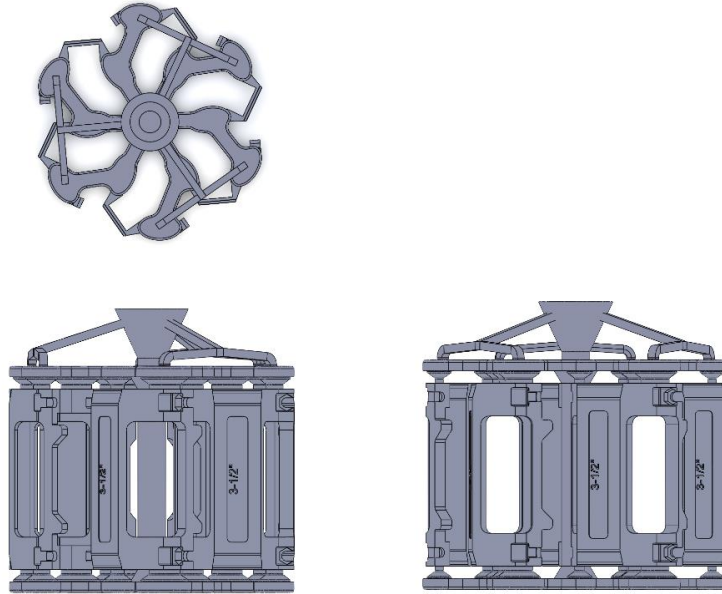
Pada gambar 4.28 dapat terlihat jumlah cacat *shrinkage* dengan ke akuratan 50% terjadi penurunan jumlah *shrinkage* pada pohon *body* 4 tangkai yang semula terdapat 4 cacat *shrinkage* berkurang menjadi 3 cacat *shrinkage* pada pohon *body* 6 tangkai dan menjadi 1 cacat pada pohon *body* 8 tangkai

Pada gambar 4.29-4.30 dapat terlihat jumlah cacat *shrinkage* dengan ke akuratan 85% terjadi kenaikan jumlah *shrinkage* pada pohon *clamp* 4 tangkai yang semula hanya terdapat 3 cacat *shrinkage*, menjadi 3 cacat *shrinkage* pada pohon 6 tangkai tanpa *riser* dan menjadi 8 cacat *shrinkage* pada pohon *clamp* 8 tangkai tanpa *riser*. Serta terjadi 4 cacat *shrinkage* pada pohon *clamp* 6 tangkai dengan *riser* dan 6 cacat *shrinkage* pada pohon *clamp* 8 tangkai.

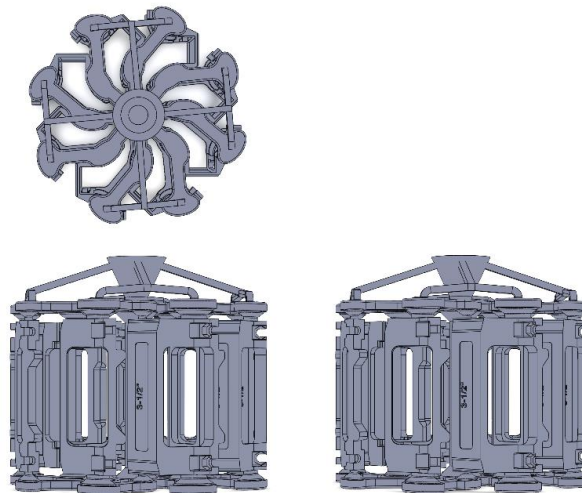
BAB V USULAN PERBAIKAN

5.1. Pengubahan geometri Pohon *Casting*

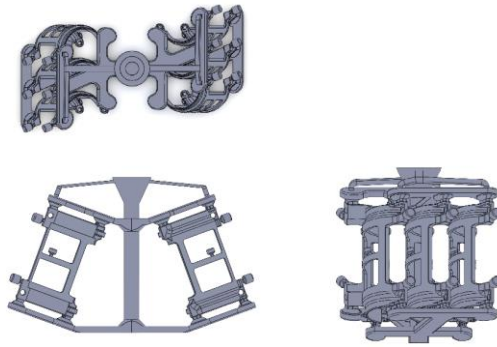
Pohon casting semula menghasilkan 4 unit produk setiap kali *casting*, diubah menjadi pohon optimasi yang mampu menghasilkan 6 unit produk atau 8 unit produk setiap kali *casting* serta mengalami penipisan geometri pada bagian yang tidak diperlukan. Bentuk geometri optimasi dapat dilihat pada gambar berikut:



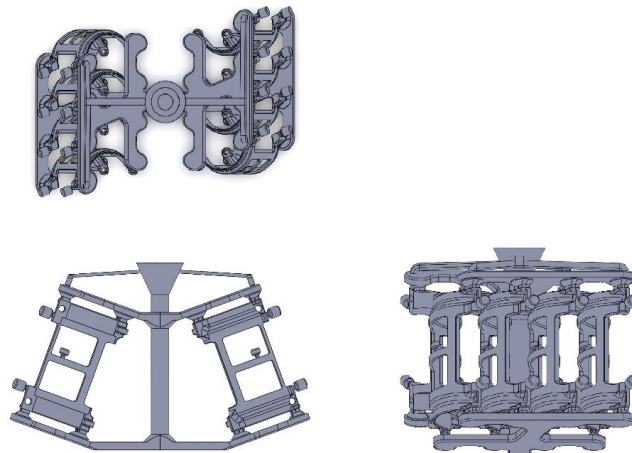
Gambar 5. 1 Pohon *Body* 6 Tangkai



Gambar 5. 2 Pohon *Body* 8 Tangkai



Gambar 5. 3 Pohon *Clamp* 6 Tangkai Dengan *Riser*



Gambar 5. 4 Pohon *Clamp* 8 Tangkai Dengan *Riser*

5.2. Peningkatan kapasitas Produksi Proses *Pouring*

Untuk meningkatkan produktifitas proses *pouring* dalam memproduksi *Cable protector*, dapat dilakukan dengan meningkatkan *casting yield mold cable protector* yang semula 29.6% untuk *Body* dan 19.5% untuk *clamp* diubah dengan menggunakan desain pohon optimasi akan menghasilkan *casting yield* 46,8% untuk pohon *body* 6 Tangkai dan 48,2% untuk pohon *body* 8 tangkai serta 31.9% untuk pohon *clamp* 6 tangkai dengan *riser* dan 33% untuk pohon *clamp* 8 tangkai dengan *riser*. Berikut adalah tabel perhitungan pengurangan kebutuhan *molten* untuk menghasilkan produk *Cable protector*.

Tabel 5. 1 Peningkatan Kapasitas Produksi *Body Cable Protector* Proses *Pouring*

	Body		
	4 Tangkai	6 Tangkai	8 Tangkai
Volume 1 pohon Cm3	3.509,1	3334,7	4314,0
Berat 1 pohon (gr)	27546,0	26177,0	33864,5
Berat Body (gr)	2040,2		
Jumlah produk per pohon (unit)	4	6	8
Berat Total Body (gr)	8160,8	12241,2	16321,6
Yield Casting (%)	29,6	46,8	48,2
Peningkatan Yield Casting	0%	58%	63%
kapasitas maks body per hari (unit)	384	607	625

Tabel 5. 2 Peningkatan Kapasitas Produksi *Clamp Cable Protector* Proses *Pouring*

	Clamp		
	4 Tangkai	6 Tangkai Dengan Riser	8 Tangkai dengan Riser
Volume 1 pohon Cm3	2941,7	2695,6	3475,6
Berat 1 pohon (gr)	23092,9	21160,8	27285,6
Berat Body (gr)	1125,1		
Jumlah produk per pohon (unit)	4	6	8
Berat Total Body (gr)	4500,4	6750,6	9000,8
Yield Casting (%)	19,5	31,9	33,0
Peningkatan Yield Casting	0%	64%	69%
kapasitas maks Clamp per hari (unit)	480	786	812

5.3. Peningkatan kapasitas Produksi Proses *Dipping*

Pada proses *Dipping* yang menjadi *bottleneck* adalah lamanya proses pengeringan *dipping* yang mencapai 46.5 Jam dalam sekali siklusnya serta sedikitnya jumlah gantungan sebagai tempat proses *dipping* terjadi yang hanya berjumlah 80 pohon cor secara bersamaan (setara 320 unit produk untuk pohon 4 tangkai). Melihat longgarnya jarak antar pohon cor, maka salah opsi untuk meningkatkan jumlah produk yang dihasilkan proses *dipping* adalah dengan meningkatkan jumlah tangkai yang dihasilkan setiap pohonnya dimana ukuran pohon yang dihasilkan tidak melebihi ukuran tempat gantungan.

Pada simulasi ini digunakan pohon 6 tangkai dan juga pohon 8 tangkai. Apabila diasumsikan laju pengeringan masing-masing pohon adalah konstan, dengan membandingkan hasil proses *dipping* secara linear terhadap pohon 4 tangkai, maka dapat diketahui kapasitas produksi proses *Dipping* akan meningkat 50% setara dengan 480 unit produk setiap 46.5 jam untuk pohon 6 tangkai dan proses *Dipping* akan meningkat 100% setara dengan 640 unit produk setiap 46.5 jam untuk pohon 8 tangkai.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Kapasitas produksi *cable protector* di perusahaan X dapat tercapai dengan meningkatkan kapasitas produksi pada Proses *Pouring* dan *Dipping* yang mana keduanya merupakan proses *bottleneck* di produksi *cable protector*.
- 2) Cara mendesain *gating* sistem pohon untuk proses *pouring cable protector* dapat dilakukan dengan menggunakan simulasi numerik, yaitu dengan menggunakan Software *SolidWorks* 2019 untuk mendesain Geometri, Software *Spaceclaim Ansys* 2021 R1 untuk merepair surface dan mengombine produk, selanjutnya file dibuka dengan menggunakan *software Click2Cast* untuk proses *meshing* dan input parameter untuk menjalankan simulasi proses *filling* dan *solidification* pada pohon *casting*. Kemudian dilakukan pengamatan kelayakan hasil simulasi.
- 3) Perubahan sistem *gating* akan mempengaruhi produk *casting* yang dihasilkan dimana:
 - a. Proses *flow front* pohon optimasi 6 tangkai dan 8 tangkai tidak memasuki tangkai lubang udara sebelum *prod molten* mengisi produk secara penuh
 - b. Temperatur akhir *filling* semakin rendah semakin banyak area yang perlu dilewatinya
 - c. *Cold shut* terjadi pada kecepatan pengisian yang tinggi, serta pertemuan 2 aliran yang memiliki beda temperatur, atau ber temperatur rendah.
 - d. *Air entrap* berkurang dengan memberikan kemiringan pada produk *clamp* saat proses *filling molten*.
 - e. Proses *solid fraction* semakin tinggi pada bagian yang tipis. Sehingga dapat digunakan sebagai awalan mendesain sistem *gating*.
 - f. *Macro porosity* pada *body* 8 tangkai mengalami penurunan *macro porosity* 59,5 % lebih rendah dibandingkan dengan pohon *body* 4 tangkai.
 - g. Terjadi penurunan jumlah cacat *shrinkage* pada pohon *body*, namun terjadi peningkatan cacat yang tidak signifikan pada pohon *clamp* disebabkan terlalu besarnya kenaikan luas permukaan pohon *clamp* berbanding peningkatan volume pohon *clamp*.
- 4) Hasil penelitian ini mendapatkan bahwa pohon *body* 6 tangkai dan 8 tangkai menghasilkan cacat lebih sedikit daripada pohon 4 tangkai yang digunakan oleh pabrik. dan pada pohon *clamp* 6 tangkai dan 8 tangkai tidak mengalami peningkatan cacat yang signifikan. juga baik pohon *body* dan pohon *clamp* menghasilkan *casting yield* yang lebih besar. Yaitu yang berturut-turut bernilai 31,9% dan 33,0% untuk pohon *clamp* 6 dan 8 tangkai dan bernilai 46,8% dan 48,2% untuk pohon *body* 6 dan 8 tangkai. Dengan menggunakan perbandingan linier terhadap kapasitas produksi pohon 4 tangkai. Maka produksi proses *pouring* meningkat menjadi 786-812 unit *clamp* per hari atau 607-625 unit *body* per hari. Sedangkan proses *dipping* meningkat hingga mampu menghasilkan 480 unit *body* atau *clamp* per hari untuk pohon 6 tangkai dan 640 unit *body* atau *clamp* per hari untuk pohon 8 tangkai.

6.2. Saran

Saran yang ditujukan bagi pihak perusahaan serta bagi penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

- 1) Perusahaan hendaknya melakukan perhitungan kapasitas maksimum masing-masing proses ketika hendak meningkatkan kapasitas produksi, agar mampu mengetahui proses *bottleneck* dengan tepat.

- 2) Perusahaan hendaknya menggunakan desain 8 tangkai *body* dan *clamp* yang telah mengalami optimasi *gating* dan *feeding* tersebut sesuai kebutuhan agar mampu meningkatkan kapasitas produksi proses *pouring* dan *dipping cable protector*
- 3) Penelitian selanjutnya hendaknya memvariasikan kebutuhan temperatur *filling*, temperatur tuang *mold* dan waktu tuang saat proses *filling* agar mampu mengurangi cacat yang akan muncul akibat proses *casting*.

DAFTAR PUSTAKA

- Büchner, A. R. (1997). Thin strip casting of steel with a twin-roll caster - Correlations between process parameters. *Steel Research*, 68(6), 247–257. <https://doi.org/10.1002/srin.199701786>
- Casalino, G., Moradi, M., Moghadam, M. K., Khorram, A., & Perulli, P. (2019). Experimental and numerical study of AISI 4130 steel surface hardening by pulsed Nd:YAG laser. *Materials*, 12(19). <https://doi.org/10.3390/ma12193136>
- Darekar Aditya M. (2013). Review of Optimization Aspects for Casting Processes Related papers Design and Optimization of Gating and Feeding System for Casting. *International Journal of Science and Research*
- Huang, P. H., & Lin, C. J. (2015). Computer-aided modeling and experimental verification of optimal gating system design for investment casting of precision rotor. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 79(5–8), 997–1006. <https://doi.org/10.1007/s00170-015-6897-5>
- Hutasoit, N., Luzin, V., Blicblau, A., Yan, W., Brandt, M., & Cottam, R. (2015). Fatigue life of laser clad hardfacing alloys on AISI 4130 steel under rotary bending fatigue test. *International Journal of Fatigue*, 72, 42–52. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2014.11.001>
- Kanyo, J. E., Schafföner, S., Uwanyuze, R. S., & Leary, K. S. (2020). An overview of ceramic molds for investment casting of nickel superalloys. In *Journal of the European Ceramic Society* (Vol. 40, Issue 15, pp. 4955–4973). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2020.07.013>
- Khan Sheikh, A. K. (2018). A comparative study of simulation software for modelling metal casting processes. *International Journal of Simulation Modelling*.
- Landage, U. S. (2020). Porosity Analysis and Optimization of Casting Process Parameters using Simulation Software for Sand Casting. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 8(11), 182–193. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2020.32101>
- Moradi Casalino G. (2019). Experimental and numerical study of AISI 4130 steel surface hardening by pulsed Nd:YAG laser. *Materials* (2019)
- Lei, T., Alexandersen, J., Lazarov, B. S., Wang, F., Haertel, J. H. K., De Angelis, S., Sanna, S., Sigmund, O., & Engelbrecht, K. (2018). Investment casting and experimental testing of heat sinks designed by topology optimization. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 127, 396–412. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.07.060>
- Rahimian, M., Milenkovic, S., Maestro, L., De Azua, A. E. R., & Sabirov, I. (2015). Physical Simulation of Investment Casting of Complex Shape Parts. *Metallurgical and Materials Transactions A: Physical Metallurgy and Materials Science*, 46(5), 2227–2237. <https://doi.org/10.1007/s11661-015-2815-6>
- Yuda, S. M., Turnip, K., & Qayyum, A. (n.d.). *PERANCANGAN SISTEM SALURAN CETAKAN PERMANEN PADA LOGAM ALUMINIUM CC401 DENGAN PENUANGAN GRAVITY DIE CASTING*.

JADWAL KEGIATAN

No	Nama Kegiatan	Minggu Ke-																																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
1	Identifikasi masalah																																	
2	Perumusan masalah																																	
3	penentuan tujuan																																	
4	studi lapangan																																	
5	Studi literatur																																	
6	Identifikasi aktivitas produksi																																	
7	Pengumpulan data produksi																																	
8	Membuat desain 3D pohon cor																																	
9	Pengambilan data																																	
10	Analisa																																	
11	Pengolahan data																																	
12	Pelaporan Kemajuan																																	
13	Pembuatan Laporan																																	

BIODATA PENULIS



Muchammad Akmaluddin lahir di Pekalongan, 23 Desember 1997, merupakan anak bungsu dari tiga bersaudara dari pasangan Rubai dan Suwarsih. Penulis telah menempuh pendidikan formal tingkat dasar di SD Ma'had Islam 02 Pekalongan tahun 2010. Kemudian melanjutkan pendidikan menengah pertamanya di SMP Ma'had Islam Pekalongan hingga 2013 dan lulus pendidikan menengah atasnya di SMA Negeri 1 Pekalongan pada tahun 2016. Penulis melanjutkan pendidikan tinggi S-1 di Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember sejak tahun 2016 hingga 2022. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa dengan NRP 02111640000141 dan mengambil bidang Rekayasa Sistem dalam studinya di Teknik Mesin FT-IRS ITS. Pada masa perkuliahan, selain bidang akademik, penulis aktif dalam bidang non akademik. Pada tahun 2018-2019 penulis menjabat sebagai Staf *Human Resource Development* di UKM *Technopreneurship Development Center-ITS*, Menjadi Pemateri Pelatihan Keterampilan Manajemen Wirausaha Tingkat Dasar (LKMW TD) 2018. Penulis juga aktif dalam kepanitiaan kegiatan di lingkungan ITS. Seperti Ketua Diklat UKM TDC 2018, Panitia Mechanical City 2017, Panitia KMHE 2017. Pada tahun 2020, penulis mendapat kesempatan untuk melaksanakan Kerja Praktik di PT. Petrokimia Gresik dan ditempatkan pada Divisi *maintenance* selama satu bulan. Pada akhirnya, pada tahun 2022 penulis menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “RANCANG BANGUN DAN ANALISA SIMULASI SISTEM *GATING* DAN *FEEDING* PADA *INVESTMENT CASTING CABLE PROTECTOR* UNTUK PENINGKATAN KAPASITAS PRODUKSI (STUDI KASUS: PERUSAHAAN X)” dengan harapan dapat memberikan manfaat ilmu mengenai kapasitas produksi dan casting bagi khalayak luas. Untuk informasi, saran, maupun pertanyaan terkait Tugas Akhir ini, dipersilahkan untuk menghubungi penulis melalui alamat email: akmaluddinmuchammad@gmail.com.