



TUGAS AKHIR - TM 091486

**SIMULASI DAN PERBAIKAN PENGECORAN
CETAKAN PASIR PADA *CRANKSHAFT* SINJAI
(MESIN JAWA TIMUR) MATERIAL FCD 600**

Achmad Fahrudin
NRP. 2112 105 044

Dosen Pembimbing
Indra Sidharta, ST. M.Sc.
NIP. 19800619 200604 1 004

PROGRAM SARJANA
LABORATORIUM METALURGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2015



FINAL PROJECT - TM 091486

**SIMULATION AND CASTING IMPROVEMENT OF
SAND CAST ON SINJAI'S CRANKSHAFT (MESIN
JAWA TIMUR) MATERIAL FCD 600**

Achmad Fahrudin
NRP. 2112 105 044

Advisor
Indra Sidharta, ST. M.Sc.
NIP. 19800619 200604 1 004

BACHELOR PROGRAM
METALLURGY LABORATORY
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER OF INSTITUTE TECHNOLOGY
SURABAYA
2015

**SIMULASI DAN PERBAIKAN PENGECORAN
CETAKAN PASIR PADA CRANKSHAFT SINJAI
(MESIN JAWA TIMUR) MATERIAL FCD 600**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar

Sarjana Teknik pada Bidang Studi Metalurgi
Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

ACHMAD FAHRUDDIN

Nrp. 2112 105 044

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Indra Sidharta, ST, MSc..........(Pembimbing)
(NIP. 198006192006041004)
2. Dr. Ir. Soeharto, DEA..........(Penguji 1)
(NIP. 194809111981031001)
3. Ir. Hari Subiyanto, MSc..........(Penguji 2)
(NIP. 196006231988031002)
4. Dr. Bambang Sudharmanta, ST, MT..........(Penguji 3)
(NIP. 197301161997021001)

**SURABAYA
Januari, 2015**

SIMULASI DAN PERBAIKAN PENGECORAN CETAKAN PASIR PADA CRANKSHAFT SINJAI (MESIN JAWA TIMUR) MATERIAL FCD 600

Nama Mahasiswa : Achmad Fahrudin
NRP : 2112 105 044
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Indra Sidharta, ST. M.Sc.

Abstrak

Seiring perkembangan zaman maka perkembangan teknologi juga semakin pesat, hal ini mendorong umat manusia untuk selalu berinovasi pada segala bidang untuk meningkatkan keuntungan dan kemudahan dalam kehidupan sehari-hari. Sebagai contoh pada bidang otomotif, Institut Teknologi Sepuluh Nopember telah membuat mesin hemat energi yakni mesin SINJAI (Mesin Jawa Timur), pada mesin ini terdapat pula komponen dengan desain baru terutama pada komponen crankshaft, yang dibuat dengan metode pengecoran pasir cetak (sand casting), namun tidak dapat dipungkiri bahwa metode pengecoran ini selalu terjadi cacat. M. Nur Harfianto telah meneliti tentang pengaruh jumlah saluran masuk terhadap cacat coran pada crankshaft FCD 600 secara eksperimen, secara visual didapatkan cacat shrinkage pada masing-masing sistem saluran, cacat shrinkage dapat diatasi dengan penambahan riser dan dengan dimensi yang tepat. Dan seiring dengan perkembangan teknologi komputer saat ini letak dan persentase shrinkage dapat diprediksi melalui simulasi pengecoran, karena itu perlu dilakukan simulasi untuk memvalidasi hasil pengecoran dan dilakukan perbaikan agar dapat mengatasi cacat tersebut pada pengecoran sebenarnya sehingga didapat produk cor yang sesuai dengan diharapkan.

Penelitian ini dilakukan dengan cara memodelkan produk cor (crankshaft) secara 3D, kemudian melakukan pengecoran secara simulasi software dengan 1 gate system untuk validasi

pegecoran, serta mengaplikasikan sistem penambah (riser) yakni blind riser dan open riser pada 1 gate system, dimensi awal dari blind riser yang digunakan yakni sebesar \varnothing 66,4 x 110 mm, sedangkan untuk dimensi open riser yakni \varnothing 55 x 161 mm. Selanjutnya dilakukan perbaikan pada variabel bebas dari perencanaan pengecoran yakni memperbesar diameter riser, dan meningkatkan tinggi riser pada blind riser. Perbaikan dilakukan hingga tidak terjadi cacat shrinkage pada produk cor dengan mengoptimasi dimensi dari variabel bebas. Untuk proses meshing dan pengaturan parameter dilakukan pada software pengecoran.

Dari penelitian ini didapatkan data hasil simulasi software berupa letak dan persentase cacat shrinkage yang terjadi pada produk cor dengan metode 1 gate system, serta efek pengaplikasian blind riser dan open riser. Dari data tersebut selanjutnya dilakukan analisa dan validasi, serta dilakukan perbaikan dengan memperbesar volume riser, kemudian diambil kesimpulan mengenai dimensi dari riser yang efektif untuk mencegah terjadinya cacat shrinkage pada pengecoran cetakan pasir dengan material logam FCD 600.

Kata Kunci : simulasi, shrinkage, FCD 600.

SIMULATION AND CASTING IMPROVEMENT OF SAND CAST ON SINJAI'S CRANKSHAFT (MESIN JAWA TIMUR) MATERIAL FCD 600

Name : Achmad Fahrudin
NRP : 2112 105 044
Department : Mechanical Engineering FTI-ITS
Advisor : Indra Sidharta, ST. M.Sc.

Abstract

As the growth of times, it is also increasing rapidly at technological development, this matter encourages mankind to constantly innovate in all field to improve profitability and ease of everyday life. For example in the automotive field, the Institute of Technology Sepuluh Nopember has made energy-saving machine that called SINJAI's engine (Engine East Java), on this machine there is also a component with new design especially on the crankshaft, which are made by molding with sand casting method (sand cast), but it is undeniable that this casting method is always occur defect. M. Nur Harfianto been researching on the effect of the amount of the gate/channel to the crankshaft castings defects with FCD 600 experimentally, visually obtained shrinkage defects on each channel system, shrinkage defects can be overcome with the addition of the riser with the exact dimensions. And along with the development of computer technology, the location of the shrinkage's percentage can be predicted by the simulation of casting, because it is necessary for the simulation to validate the results of casting and improvements made in order to overcome these defects in order to get the actual casting of cast products in accordance with the expected.

The research was done by modeling the cast product (crankshaft) in 3D, then do casting in simulation software with 1 gate system for validation casting, as well as applying the system enhancer (riser), which is blind and open-riser at each gate system,

the initial dimensions of blind riser is used which is equal to \varnothing 66.4 x 110 mm, while the dimensions of the open riser \varnothing 55 x 161 mm. Then do the repairs on the independent variables from the foundry planning to enlarge the diameter of the riser, and increasing the blind riser riser height. Improvements were made until there is no shrinkage defects in castings with optimize the dimensions of the independent variable. For the meshing process and parameter settings made in the casting software.

From this study, is got the data of simulation software such as location and the percentage of shrinkage defects that occur in cast products with method 1 gate system, as well as the effect of the application of blind riser and open riser. From these data further analysis and validation, as well as improvement to increase the volume of the riser, and then drawn conclusions about the dimensions of effective riser to prevent shrinkage defects in sand casting with metal material FCD 600.

Keyword : simulation, shrinkage, FCD 600.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan segala berkah dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan yang harus dipenuhi sebelum menyelesaikan pendidikan di Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS yang merupakan integrasi dari semua materi yang telah diberikan selama perkuliahan.

Adapun keberhasilan penulisan dalam penyusunan laporan ini tidak lepas berbagi pihak yang telah banyak memberikan bantuan, motivasi, dan dukungan. Untuk itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak **Indra Sidharta, ST., M.Sc** selaku dosen pembimbing yang telah memberikan saran serta bimbingannya sehingga penulis mampu menyelesaikan pengerjaan tugas akhir.
2. Bapak **Ir. Bambang Pramujati, M.Sc,Eng,Ph.D** selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS.
3. Bapak **Yohannes, ST., M.Sc** selaku dosen wali yang telah memberi bimbingannya selama kuliah di Teknik Mesin.
4. Bapak **Arif Wahyudi, ST., MT., Ph.D** selaku koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS.
5. Bapak **Dr. Ir. Soeharto, DEA**, Bapak **Ir. Hari Subiyanto, M.Sc** dan Bapak **Dr. Bambang Sudharmanta, ST., MT** yang memberikan saran dan masukan guna menyempurnakan Tugas Akhir ini.
6. **Ayah, Ibu, Kakak, dan Adik-adik** yang selalu memberikan cinta kasih, doa dan dukungannya kepada saya.
7. **Teman – teman seperjuangan Lintas Jalur angkatan 2012** atas segala canda, tawa, dan ilmu dibagikan selama ini.

8. **Bayu Prayoga dan Faisal Febrianto (Dono)** sebagai “Partner” tugas akhir teknik cor atas bantuan dan kerjasamanya.
9. Teman – teman seperjuangan tugas akhir **M. Mousavie, Aditya P. Putra, Slamet Adriawan, Setia Rakhmadi, Awan Wahyu Prakosa, Wegig Wijayana, dan Rolando Samuel** atas motivasi dan canda tawanya sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan.
10. Arek-arek kos GW 25c **Robby Kurniawan, M. Misbahul Munir, I Made Chikas, Arief Martan, dan Ahmad Nurdiansyah.**
11. Sahabat **Eka Budiarti Rahayu, Ahmad Haikal, R. Anugrah, dan Raden Dimas** untuk semua kebahagiaan dan pengalaman yang dibagi selama ini.
12. Semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu, kami ucapkan terima kasih.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penyusunan laporan tugas akhir ini masih belum sempurna, untuk itu kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan. Akhir kata penulis berdoa agar segala bantuan yang diberikan akan mendapat balasan dan rahmat dari Allah SWT. Dan semoga hasil dari laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat sebagaimana yang diharapkan. Amin

Wassalamu’alaikum Wr.Wb.

Surabaya, Januari 2015

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL (Versi Bahasa Indonesia)	
LEMBAR JUDUL (Versi Bahasa Inggris)	
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK (Versi Bahasa Indonesia)	iii
ABSTRACT (Versi Bahasa Inggris)	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan Laporan	4
BAB II DASAR TEORI	5
2.1 Crankshaft	5
2.2 Besi Cor	5
2.2.1 Klasifikasi Besi Cor	6
2.2.1 Pengaruh C dan Si pada Besi Cor Nodular	7
2.3 Pengetahuan Dasar Pengecoran	7
2.4 Pengecoran Cetakan Pasir	8
2.5 Pasir Cetak	9
2.5.1 Cetakan Pasir	10
2.6 Pola Cetakan	11
2.7 Sistem Saluran (Gating System)	12
2.7.1 Cawan Tuang (Pouring Basin)	13
2.7.2 Saluran Turun (Sprue)	13
2.7.3 Saluran Turun Dasar (Well Base)	14
2.7.4 Pengalir (Runner)	15
2.7.5 Pengalir Tambahan (Runner Extention)	16
2.7.6 Saluran Masuk (Ingate)	16
2.8 Perencanaan Sistem saluran	17
2.9 Penentuan tambahan penyusutan yang disarankan	20
2.10 Saluran Penambah (Riser)	21

2.10.1 Merancang Riser	23
2.11 Proses Solidifikasi	26
2.12 Cacat Coran	27
2.12.1 Penyusutan (Shrinkage)	28
2.13 Penelitian Terdahulu	30
BAB III METODOLOGI.....	39
3.1 Diagram Alir (FlowChart) Penelitian	39
3.2 Tahapan – Tahapan Penelitian	42
3.2.1 Studi literatur	42
3.2.2 Perumusan Masalah	42
3.2.3 Penentuan Data Awal	42
3.2.4 Pemodelan 3D	45
3.2.5 Simulasi Software	45
3.2.6 Perencanaan Sistem Saluran Penambah (Riser)	46
3.2.7 Perbaikan Pengecoran	50
3.2.8 Analisa Hasil	51
3.2.9 Kesimpulan dan Saran	53
3.3 Diagram Alir Simulasi	54
3.4 Tahapan – Tahapan Simulasi	55
3.4.1 Model 3D	55
3.4.2 Geometry Input & Geometry Interpretation	55
3.4.3 Solid Object	56
3.4.4 Meshing.....	57
3.4.5 Boundary Condition	58
3.4.6 Metal Input	59
3.4.7 Metal Parameter	60
3.4.8 Heat Transfer Coefficient	61
3.4.9 Solver Parameter	61
3.4.10 Advanced Option	62
3.4.11 Post Processing	62
3.5 Jadwal Kegiatan	63
BAB IV DATA HASIL SIMULASI	65
4.1 Data Hasil Simulasi	65
BAB V ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	77
5.1 Validasi Hasil Pengecoran Secara Simulasi vs. Eksperimen	77
5.2 Hasil Simulasi Perbaikan 1 Sistem Saluran dengan Variasi Tinggi dan Diameter Blind Riser	82
5.3 Hasil Simulasi Perbaikan 1 Sistem Saluran dengan	

Variasi Diameter Blind Riser	102
5.4 Hasil Simulasi Perbaikan 1 Sistem Saluran dengan Variasi Diameter Open Riser	111
5.5 Volume Riser Vs. Cacat Shrinkage	126
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	129
6.1 Kesimpulan	129
6.2 Saran	130
DAFTAR PUSTAKA.....	131
LAMPIRAN	
BIOGRAFI	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tambahan penyusutan karena solidification contraction	21
Tabel 2.2 Penentuan diameter penambah	26
Tabel 2.3 Lokasi dan jenis cacat pada produk cor	31
Tabel 2.4 Persentase cacat shrinkage secara eksperimen Vs simulasi	36
Tabel 2.5 Persentase cacat shrinkage terhadap ketinggian riser	37
Tabel 2.6 Persentase cacat shrinkage terhadap ketinggian runner	37
Tabel 3.1 Dimensi 1 Gate System (mm)	44
Tabel 3.2 Hasil simulasi perbaikan 1 sistem saluran dengan variasi tinggi dan diameter blind riser	52
Tabel 3.3 Hasil simulasi perbaikan 1 sistem saluran dengan variasi diameter blind riser dan tinggi riser tetap 110 mm	52
Tabel 3.4 Hasil simulasi perbaikan 1 sistem saluran dengan variasi diameter open riser dan tinggi riser tetap 161 mm	53
Tabel 4.1 Hasil simulasi pengecoran 1 sistem saluran tanpa riser	65
Tabel 4.2 Hasil simulasi perbaikan 1 sistem saluran dengan variasi tinggi dan diameter blind riser	68
Tabel 4.3 Volume riser pada simulasi perbaikan 1 sistem saluran dengan variasi tinggi dan diameter blind riser	70
Tabel 4.4 Hasil simulasi perbaikan 1 sistem saluran dengan variasi diameter blind riser dan tinggi riser tetap 110 mm	71
Tabel 4.5 Volume riser pada simulasi perbaikan 1 sistem saluran dengan variasi diameter blind riser dan tinggi riser tetap 110 mm riser	72
Tabel 4.6 Hasil simulasi perbaikan 1 sistem saluran dengan	

	variasi diameter open riser dan tinggi riser tetap 161 mm.....	73
Tabel 4.7	Volume riser pada simulasi perbaikan 1 sistem saluran dengan variasi diameter open riser dan tinggi riser tetap 161 mm	74
Tabel 4.8	Hasil simulasi pengecoran 1 sistem saluran dengan komposisi kadar karbon yang tidak standard FCD 600 (5,6 %C) (Eksperimen oleh M. Nur Hafianto).....	75
Tabel 5.1	Hasil pengecoran secara simulasi vs Eksperimen ...	77

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Produk Crankshaft	5
Gambar 2.2 Prosentase carbon dan silicon untuk besi tuang nodular ..	7
Gambar 2.3 Pengecoran logam	8
Gambar 2.4 Pengecoran cetakan pasir	9
Gambar 2.5 Skema cetakan pasir	10
Gambar 2.6 Sistem Saluran	12
Gambar 2.7 Jenis cawan tuang : cawang tuang tanpa inti pemisah (a), dengan inti pemisah (b), dengan penutup (c)	13
Gambar 2.8 Jenis bentuk sprue : tapered sprue (a), dan straight sprue (b)	14
Gambar 2.9 Bentuk saluran turun dasar (well base)	15
Gambar 2.10 Jenis bentuk pengalir : Wide shallow runner (a), dan Square runner (b)	15
Gambar 2.11 Jenis saluran masuk (ingate)	16
Gambar 2.12 Top Gating	18
Gambar 2.13 Bottom Gating	19
Gambar 2.14 Parting line Gating	19
Gambar 2.15 Dimensi Well Base	20
Gambar 2.16 Skematik Ilustrasi shrinkage pada tiap fase	21
Gambar 2.17 Top riser dan side riser	22
Gambar 2.18 Peletakan Top riser dan side riser pada cetakan	22
Gambar 2.19 Contoh-Contoh Penambah : (a) Penambah atas, (b) Penambah buta, dan (c) Penambah samping	23
Gambar 2.20 Casting modulus	25
Gambar 2.21 Persentase penyusutan	25
Gambar 2.22 Desain dan ukuran penambah samping	26
Gambar 2.23 Proses solidifikasi	27
Gambar 2.24 Macam-macam bentuk cacat	27
Gambar 2.25 Cacat penyusutan (shrinkage)	28
Gambar 2.26 Ilustrasi terjadinya cacat penyusutan (shrinkage)	29
Gambar 2.27 Prototipe 1 : 1 Saluran tanpa riser (a), Prototipe 2 : 1 Saluran tanpa riser (b), dan Prototipe 5 : 2 Saluran tanpa riser (c)	31
Gambar 2.28 Grafik persentase cacat penyusutan (shrinkage)	31
Gambar 2.29 Prototipe 3: 1 Saluran dengan blind riser (a) dan Prototipe 4 : 1 Saluran dengan open riser (b)	32
Gambar 2.30 Pengecoran pada gear wheel dengan menggunakan	

riser samping dingin (cold riser)	33
Gambar 2.31 Uji perbandingan antara dua cara pengecoran crankshaft 6110 (tanpa riser dan dengan riser)	34
Gambar 2.32 3D Model dari bearing housing	35
Gambar 2.33 Kondisi cair setelah penuangan logam cair	35
Gambar 2.34 Cacat shrinkage hasil simulasi	36
Gambar 2.35 Cacat shrinkage terhadap variasi ketinggian riser	36
Gambar 2.36 Grafik ketinggian riser Vs cacat shrinkage	37
Gambar 2.37 Cacat shrinkage terhadap variasi ketinggian runner	37
Gambar 2.38 Grafik ketinggian runner Vs cacat shrinkage	38
Gambar 2.39 Cacat shrinkage kombinasi antara ketinggian runner 18 mm dan riser 160 mm	38
Gambar 3.1 Flowchart penelitian	42
Gambar 3.2 Dimensi Poros engkol	43
Gambar 3.3 Model 3D Poros engkol dengan 1 gate system	45
Gambar 3.4 Desain dan dimensi blind riser	48
Gambar 3.5 Desain dan dimensi open riser	49
Gambar 3.6 Variabel bebas untuk 1 gate system menggunakan blind riser	50
Gambar 3.7 Variabel bebas untuk 1 gate system menggunakan open riser	51
Gambar 3.8 Flowchart Simulasi	54
Gambar 3.9 Geometry Interpretation	55
Gambar 3.10 Solid Object	56
Gambar 3.11 Pengaturan Meshing	57
Gambar 3.12 Boundary Condition	58
Gambar 3.13 Metal Input	59
Gambar 3.14 Metal Parameter	60
Gambar 3.15 Heat Transfer Coefficient	61
Gambar 3.16 Solver Parameter	61
Gambar 3.17 Advanced Option	62
Gambar 3.18 Kegiatan pengerjaan tugas akhir	63
Gambar 4.1 Tampilan cube view pada pandangan depan hasil simulasi pengecoran pada open riser	66
Gambar 4.2 Tampilan cube view pada pandangan atas hasil simulasi pengecoran pada open riser	66
Gambar 5.1 Model 3D dan hasil cacat shrinkage pada simulasi menggunakan blind riser sebelum dilakukan perbaikan variasi tinggi dan diameter	83

Gambar 5.2	Grafik solidifikasi FCD 600 pada pengecoran crankshaft dengan blind riser.....	84
Gambar 5.3	Temperatur pada kondisi logam masih cair (a), dan setelah logam cair mulai fase padat (b) pada pengecoran dengan blind riser.....	85
Gambar 5.4	Model 3D dan hasil cacat shrinkage pada simulasi menggunakan blind riser dengan tinggi + 5 mm	86
Gambar 5.5	Temperatur pada kondisi logam masih cair (a), dan setelah logam cair mulai fase padat (b) pada pengecoran dengan blind riser tinggi + 5 mm..	88
Gambar 5.6	Model 3D dan hasil cacat shrinkage pada simulasi menggunakan blind riser dengan tinggi + 10 mm	89
Gambar 5.7	Grafik solidifikasi FCD 600 pada pengecoran crankshaft dengan blind riser tinggi + 10 mm	90
Gambar 5.8	Temperatur pada kondisi logam masih cair (a), dan setelah logam cair mulai fase padat (b) pada pengecoran dengan blind riser tinggi + 10 mm..	91
Gambar 5.9	Model 3D dan hasil cacat shrinkage pada simulasi menggunakan blind riser dengan tinggi + 15 mm	93
Gambar 5.10	Temperatur pada kondisi logam masih cair (a), dan setelah logam cair mulai fase padat (b) pada pengecoran dengan blind riser tinggi + 15 mm.....	94
Gambar 5.11	Model 3D dan hasil cacat shrinkage pada simulasi menggunakan blind riser dengan tinggi + 20 mm	95
Gambar 5.12	Grafik solidifikasi FCD 600 pada pengecoran crankshaft dengan blind riser tinggi + 20 mm.....	96
Gambar 5.13	Temperatur pada kondisi logam masih cair (a), dan setelah logam cair mulai fase padat (b) pada pengecoran dengan blind riser tinggi + 20 mm..	97
Gambar 5.14	Model 3D dan hasil cacat shrinkage pada simulasi menggunakan blind riser dengan tinggi + 20 mm, diameter + 5 mm, dan panjang gate + 2,5 mm	98
Gambar 5.15	Grafik solidifikasi FCD 600 pada pengecoran crankshaft dengan blind riser tinggi + 20 mm dan diameter + 5 mm	99
Gambar 5.16	Temperatur pada kondisi logam masih cair (a), dan setelah logam cair mulai fase padat (b) pada pengecoran dengan blind riser tinggi + 20 mm dan diameter + 5 mm..	100

Gambar 5.17	Grafik persentase cacat shrinkage terhadap variasi tinggi dan diameter blind riser	101
Gambar 5.18	Model 3D dan hasil cacat shrinkage pada simulasi menggunakan blind riser dengan diameter + 5 mm	104
Gambar 5.19	Grafik solidifikasi FCD 600 pada pengecoran crankshaft dengan blind riser diameter + 5 mm	105
Gambar 5.20	Temperatur pada kondisi logam masih cair (a), dan setelah logam cair mulai fase padat (b) pada pengecoran dengan blind riser diameter + 5 mm.....	106
Gambar 5.21	Model 3D dan hasil cacat shrinkage pada simulasi menggunakan blind riser dengan diameter + 10 mm....	107
Gambar 5.22	Grafik solidifikasi FCD 600 pada pengecoran crankshaft dengan blind riser diameter + 10 mm.....	108
Gambar 5.23	Temperatur pada kondisi logam masih cair (a), dan setelah logam cair mulai fase padat (b) pada pengecoran dengan blind riser diameter + 10 mm.....	109
Gambar 5.24	Grafik persentase cacat shrinkage terhadap variasi diameter blind riser	110
Gambar 5.27	Model 3D dan hasil cacat shrinkage pada simulasi menggunakan open riser sebelum dilakukan perbaikan variasi diameter	112
Gambar 5.28	Grafik solidifikasi FCD 600 pada pengecoran crankshaft dengan open riser	113
Gambar 5.29	Temperatur pada kondisi logam masih cair (a), dan setelah logam cair mulai fase padat (b) pada pengecoran dengan blind riser.....	114
Gambar 5.30	Model 3D dan hasil cacat shrinkage pada simulasi menggunakan open riser dengan diameter + 5 mm	115
Gambar 5.31	Grafik solidifikasi FCD 600 pada pengecoran crankshaft dengan open riser diameter + 5 mm	116
Gambar 5.32	Temperatur pada kondisi logam masih cair (a), dan setelah logam cair mulai fase padat (b) pada pengecoran dengan open riser diameter + 5 mm	117
Gambar 5.33	Model 3D dan hasil cacat shrinkage pada simulasi menggunakan open riser dengan diameter + 10 mm ...	118
Gambar 5.34	Grafik solidifikasi FCD 600 pada pengecoran crankshaft dengan open riser diameter + 10 mm	119
Gambar 5.35	Temperatur pada kondisi logam masih cair (a), dan setelah logam cair mulai fase padat (b) pada	

	pengecoran dengan open riser diameter + 10 mm.....	120
Gambar 5.36	Model 3D dan hasil cacat shrinkage pada simulasi menggunakan open riser dengan diameter + 15 mm....	121
Gambar 5.37	Grafik solidifikasi FCD 600 pada pengecoran crankshaft dengan open riser diameter + 15 mm	122
Gambar 5.38	Temperatur pada kondisi logam masih cair (a), dan setelah logam cair mulai fase padat (b) pada pengecoran dengan open riser diameter + 15 mm.....	123
Gambar 5.39	Grafik persentase cacat shrinkage terhadap variasi diameter open riser	124
Gambar 5.40	Grafik persentase cacat shrinkage terhadap volume riser.....	126

DAFTAR PUSTAKA

1. Muhammad Nur Hafianto, 2013., Tugas Akhir, Pengaruh Jumlah Saluran Masuk Terhadap Cacat Coran Pada Pembuatan Poros Engkol (Crankshaft) FCD 600 Menggunakan Pengecoran Pasir, Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
2. Zhou Gen, 2005, Analysis of reasons causing riser feeding failure in nodular iron casting production. Wuxi Diesel Engine Works, Jiefang Automobile Co.Ltd, P. R China.
3. Bhupendra J. Chudasama, 2013, Solidification Analysis and Optimization Using Pro-Cast. Department of Mechanical Engineering, S. P. B. Patel Engineering College, Linch (Mehsana), Gujarat (India).
4. R Brown, John. Foseco Ferrous Foundryman's Handbook. 11th edition. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1994.
5. Surdia, Tata. Chijiwa, Kenji. 1986. Teknik Pengecoran Logam 8th. Jakarta.
6. PPG Teknik Mesin. 2010. Teknik Pengecoran Logam. Yogyakarta : Universitas Negeri Yogyakarta.
7. F. Bonollo, A. Gramegna, 1996, A Contribution to The Correct Use of Heat Transfer Coefficients and Cooling Media Properties in Simulation of Foundry Processes. Padova University.
8. Flow 3D Cast Manual
<URL:www.easysimulation.com/web/html/flow3dcast_en.htm>
9. Besi Cor Nodular
<URL:<http://hapli.wordpress.com/forum-ferro/besi-cor-nodular/>>
10. *Sand Casting*
<URL:<http://www.custompartnet.com/wu/SandCasting>>
11. *Sand Casting Introduction*

- <URL:https://www.efunda.com/processes/metal_processing/sand_casting_intro.cfm>
12. American Foundrymen's Society Training & Research Institute. 1972. Basic Principle of Gating and Riser. Golf&Wolf Roads Des Plaines Illinois.
 13. ASM Handbooks Committee, Metal Handbooks 9th Vol. 15 "Casting", ASM International, 1988.
 14. The Metal Casting Operation
<URL:http://thelibraryofmanufacturing.com/metalcasting_operation.html>
 15. *Shrinkage* HAPLI
<URL:http://hapli.wordpress.com/casting_defect_main/shrinkage/>
 16. Cacat *Shrinkage*
<URL:http://en.wikipedia.org/wiki/File:Cast_ingot_macrostructure.svg>
 17. Mobil Sinjai
<URL:<http://www.centroone.com/news/2014/07/1y/its-hasilkan-mobil-pedesaan-sinjai/>>
 18. Spesifikasi FCD 600
<URL:www.thaithavorn.com/pdf/specifications.pdf>
 19. Gambar Shrinkage
<URL:<http://www.afsinc.org/files/MCDP/stories/castingdesign/defects/axial%20shrinkage.jpg>>
 20. Beely, P.R. 2001. Foundry Technology. Oxford: Butterworth-Heinemann.
 21. Jain P. L . 2003. Principles of Foundry Technology 4th edition. New-Delhi: Tata McGraw-Hill Education.
 22. Gambar *Crankshaft*
<URL:http://www.jscspeed.com/catalog/Performance_Crankshafts_for_90_99_Mitsubishi_Eclipse_4G63-8773-1.html>
 23. Gambar Pengecoran Logam

<URL:http://2.bp.blogspot.com/nwLpFtTIsGw/UH1acB2tFaI/AAAAAAAAACc/JvD34KcKXTI/s1600/3_Foundry_pouring.jpg>

24. Campbell, John. 2004. Casting Practice 'The 10 Rule Of Casting'. Oxford: Butterworth-Heinemann.

BIODATA PENULIS



1

Penulis merupakan anak kedua dari empat bersaudara. Dilahirkan di kota Surabaya pada tanggal 21 Oktober 1991. Penulis memulai pendidikannya pada umur 4 tahun di TK Aisyiah, kemudian SDN Gempol Sari 1 Sidoarjo, SMP Negeri 1 Tanggulangin, SMA Muhammadiyah 2 Sidoarjo, dan D3 Teknik Mesin ITS. Kemudian melanjutkan pendidikan di S1 Teknik Mesin ITS. Penulis aktif berorganisasi semenjak D3, dan menjadi Bendahara Forum Komunikasi ITS – DISNAKER, Pernah diamanahi menjadi ketua *organization committee* pengkaderan pada periode 2010 dan 2011. Pada jurusan Teknik Mesin penulis tertarik pada bidang Teknik cor, dan mengambil tugas akhir dengan bidang yang sama. Dan juga dikarenakan penulis hobi untuk menggunakan teknologi komputer, maka penulis mengambil topik tentang simulasi pengecoran logam.

Email : fahrudin.achmad.af@gmail.com

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan zaman maka perkembangan teknologi juga semakin pesat, hal ini mendorong umat manusia untuk selalu berinovasi pada segala bidang dengan tujuan untuk meningkatkan keuntungan dan kemudahan dalam kehidupan sehari-hari. Sebagai salah satu contoh pada bidang otomotif, Institut Teknologi Sepuluh Nopember telah membuat suatu teknologi mesin hemat energi yang dinamakan mesin SINJAI (Mesin Jawa Timur). Pada mesin SINJAI ini pula terdapat rancangan dan desain komponen-komponen yang baru, terutama komponen poros engkol (*crankshaft*). Poros engkol dibuat dengan menggunakan teknik pengecoran, metode untuk pengecoran sangat bermacam-macam, pemilihan metode ini didasarkan oleh kerumitan benda kerja dan jenis material. Namun tidak dapat dipungkiri bahwa metode pengecoran ini selalu terjadi cacat, contohnya inklusi, *crack*, dan *flash*. Akan tetapi untuk mengatasi cacat-cacat tersebut dapat dihilangkan dengan proses machining pada produk cor tersebut, sedangkan untuk cacat yang sulit ditangani yakni cacat penyusutan (*shrinkage*).

Cacat penyusutan (*shrinkage*) adalah cacat yang berdampak pada volume benda kerja, cacat ini dapat terjadi pada daerah permukaan luar dan didalam produk cor. Cacat *shrinkage* disebabkan oleh pembekuan atau solidifikasi yang tidak merata karena perbedaan ketebalan, semakin tebal produk cor maka presentase cacat penyusutan semakin besar. Untuk cacat *shrinkage* pada permukaan dalam dapat diidentifikasi dengan menggunakan metode *ultrasonic*, *x-ray*, dan untuk permukaan luar dapat dilakukan secara visual menggunakan indra penglihatan. Salah satu cara untuk mengatasi penyusutan adalah dengan menggunakan saluran penambah (*riser*). *Riser* adalah bagian yang berfungsi untuk menambahkan logam cair pada rongga cetak yang masih kekurangan selama proses solidifikasi. Penambahan riser ini

diharapkan agar dapat menjadi bagian yang membeku terakhir dari sistem saluran sehingga pada produk cor tidak terjadi cacat penyusutan. Apabila pada produk cor terjadi cacat penyusutan maka dapat menyebabkan berkurangnya kinerja komponen tersebut, sehingga cepat rusak dan tidak dapat bekerja sesuai spesifikasi.

Pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, M. Nur Harfianto telah meneliti tentang pengaruh jumlah saluran masuk terhadap cacat coran pada pengecoran poros engkol (*crankshaft*) FCD 600 menggunakan pengecoran pasir, dimana pada penelitian tersebut didapatkan cacat penyusutan (*shrinkage*) untuk 1 *gate system* sebesar 1,9% dan 2 *gate system* sebesar 3,11%. Dengan perkembangan teknologi komputer saat ini letak dan persentase cacat *shrinkage* yang terjadi dapat diprediksi. Untuk mengembangkan teknologi pengecoran ini perlu dilakukan validasi pengecoran secara simulasi pada penelitian yang dilakukan oleh M. Nur Hafianto dan melakukan perbaikan cacat yang terjadi menggunakan *software* pengecoran, hal ini diharapkan dapat mengatasi cacat penyusutan yang terjadi pada produk cor dan dapat mengaplikasikan cara-cara untuk mengatasi cacat tersebut pada pengecoran sebenarnya agar dapat menghemat waktu dan biaya.

1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah bagaimana cara untuk melakukan simulasi pengecoran dan mengatasi penyusutan (*shrinkage*) pada produk *crankshaft* SINJAI dengan material *cast iron* FCD 600 menggunakan *Horizontal 1 gate system* secara simulasi menggunakan *software*.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk menganalisa hasil pengecoran pada produk *crankshaft* SINJAI dengan material *cast iron* FCD 600 menggunakan 1 *gate system* serta pengaplikasian riser (*blind riser* dan *open riser*) secara simulasi *software*, kemudian melakukan perbaikan untuk mengatasi cacat penyusutan (*shrinkage*) yang terjadi pada produk

cor sehingga didapat data acuan yang dapat diaplikasikan pada pengecoran sebenarnya.

1.4. Batasan Masalah

Beberapa batasan dan asumsi yang diajukan pada penelitian untuk menyederhanakan permasalahan dan lebih memfokuskan arah penelitian, adalah sebagai berikut :

1. Sistem saluran yang digunakan adalah *Horizontal - Parting Line Gating System*, dan sistem saluran dianggap sudah ideal.
2. Data properti dari pasir cetak dan material logam yang digunakan pada simulasi mengacu pada *software* dan dianggap sudah sesuai standar.
3. Parameter yang digunakan pada penelitian ini seperti jenis material, temperatur logam cair, dimensi produk cor, jenis *gating System*, dan desain *riser* mengacu pada penelitian pengecoran poros engkol (*crankshaft*) sebelumnya yang dilakukan secara eksperimen.
4. Temperatur pasir cetak pada simulasi dianggap konstan dan sama dengan temperatur ruang yakni 27 °C.
5. Tinggi penuangan dianggap 0 mm dari ujung sprue bagian atas.
6. Pengaturan perpindahan panas pada simulasi antara cetakan dengan logam cair yakni sebesar 334.9 W/m² °K.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Membantu mengembangkan teori dan teknologi dibidang pengecoran secara simulasi *software*.
2. Mengetahui cara untuk mengatasi cacat penyusutan terutama pada produk *crankshaft* SINJAI dengan material *cast iron FCD 600*.
3. Meningkatkan produktifitas terutama pada industri otomotif dengan merubah proses *trial and error* dunia nyata kedalam dunia virtual sehingga dapat membuat hasil pengecoran yang diinginkan pada pengecoran pertama.

1.6 Sistematika Penulisan Laporan

Sistematika penulisan ini terbagi dalam beberapa bab yang dapat ditunjukkan sebagai berikut :

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bagian ini diuraikan latar belakang penelitian, perumusan masalah, maksud dan tujuan penelitian, pembatasan masalah, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB 2 DASAR TEORI

Pada bab dasar teori, membahas beberapa teori yang berkaitan dengan pengecoran logam menggunakan metode *sand casting*, sistem saluran, saluran penambah (*riser*), cacat *shrinkage*, besi cor nodular, dan beberapa penelitian sebelumnya yang mendukung penelitian kali ini.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Pada bagian ini diuraikan langkah-langkah dalam melakukan penelitian serta sarana dan prasarana yang terlibat didalamnya.

BAB 4 DATA HASIL SIMULASI

Pada bab ini ditampilkan data-data hasil simulasi, yakni berupa persentase dan gambar letak cacat *shrinkage* pada produk cor.

BAB 5 ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dibahas tentang pengolahan data-data yang didapat dari hasil penelitian, serta perbandingan data antara data hasil simulasi dan eksperimen untuk validasi.

BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN

Menyimpulkan secara garis besar berbagai fenomena yang timbul dan berpengaruh dari penelitian, beserta solusi yang tepat dan saran untuk penelitian berikutnya.

BAB 2 DASAR TEORI

2.1 *Crankshaft*

Crankshaft atau secara bahasa disebut poros engkol, yakni sebuah bagian pada mesin yang berfungsi untuk mengubah gerak translasi dari piston menjadi gerak rotasi putaran. Untuk mengubahnya, sebuah poros engkol (*crankshaft*) membutuhkan pena engkol (*crankpin*), sebuah bearing tambahan yang diletakkan di ujung batang penggerak pada setiap silindernya. Ruang engkol (*crankcase*) akan dihubungkan ke roda gila (*flywheel*) atau roda sehingga mobil atau motor bisa bergerak[1]. Poros engkol dibuat dengan metode pengecoran cetakan pasir, sedangkan material yang biasa digunakan untuk poros engkol yakni besi cor nodular dan untuk *crankshaft* SINJAI (Mesin Jawa Timur) menggunakan bahan FCD 600.



Gambar 2.1 Produk *Crankshaft*[23].

2.2 Besi Cor

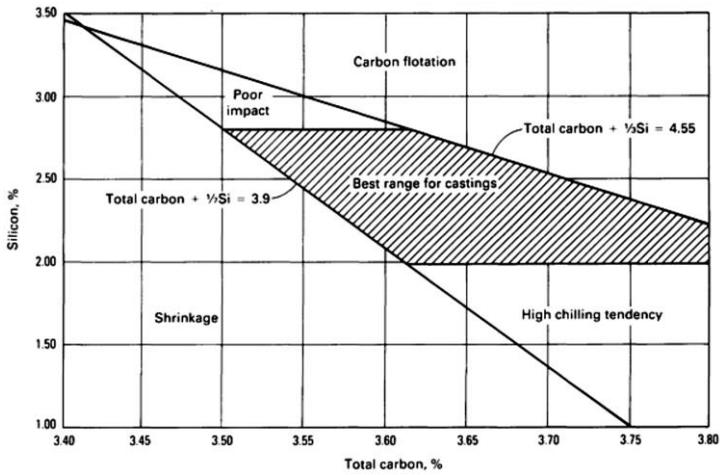
Besi cor (*Cast Iron*) termasuk dalam besi paduan dengan kadar karbon diatas 2.1 wt% C, namun dalam prakteknya sebagian besar besi cor mengandung berat Karbon antara 3.0 dan 4.5 wt% C serta terdapat penambahan elemen paduan lainnya. Fasa-fasa yang terlihat pada besi cor antara lain; larutan padat, terutama terdiri dari besi (di mana silisium dan sebagian dari karbon larut dalam besi), senyawa antar logam Fe_3C (sementit), dan grafit[1].

2.2.1 Klasifikasi besi cor

- Besi cor putih (*white cast iron*)
Disebut putih, karena bidang patahan nya berwarna putih, unsur karbon nya terikat sebagai karbida atau disebut juga: karbida bersifat keras, sehingga dikatakan besi cor putih adalah logam yang mempunyai sifat mampu mesin rendah. Besi cor putih dibuat dengan cara menuangkan besi cair ke dalam cetakan logam dengan mengatur komposisi kimia dan dilakukan pendinginan cepat atau chilled.
- Besi cor mampu tempa (*malleable cast iron*)
Besi cor mampu tempa, dibuat dari besi cor putih yang mempunyai komposisi kimia tertentu, Proses pembuatan yakni dengan besi cor putih dilakukan perlakuan panas didalam dapur dengan waktu penahanan pada temperatur tertentu kemudian didinginkan. Karbonnya berbentuk *rosette*.
- Besi cor kelabu (*gray cast iron*)
Disebut kelabu, karena warna patahan logam ini berwarna keabu-abu an, dengan karbon nya berbentuk serpihan grafit (*flake*). Kekuatan tarik besi cor kelabu berkisar antara 140 MPa sampai 415 MPa, namun keuletannya (*ductility*) sangat rendah.
- Besi cor nodular (*nodular cast iron*)
Besi cor nodular adalah logam yang kuat dan ulet serta mempunyai sifat mampu mesin yang baik. Karbonnya berbentuk nodular grafit yang diperoleh dengan cara menambahkan Mg dan Ce, penambahan unsur paduan tersebut untuk menghilangkan kadar sulfur pada besi cor, semakin tinggi Mg dan Ce maka kemungkinan dapat merubah grafit menjadi bentuk *nodular*, tetapi jika terlalu rendah kemungkinan grafit menjadi bentuk *flake*[1].

2.2.2 Pengaruh C dan Si pada Besi Cor Nodular

Pengaruh unsur Si dalam pembentukan grafit sebagai penstabil (*grafit stabilizer*), pembentukan jenis dari besi cor nodular juga dipengaruhi oleh *carbon equivalent* (CE), CE adalah nilai prosentase campuran antara carbon, silikon dan fosfor yakni $C\% + 1/3(\%Si + \%P)$ [1]. Untuk FCD 600 komposisi kimianya yakni 3,6 %C, 2 %Si, 0,80 %Mn, dan 0,05 %P, sehingga didapatkan jumlah CE ± 4.29 Pada FCD 600 terbentuk struktur utama grafit berbentuk bulat. Prosentase kandungan karbon C dan silikon Si dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.2 Persentase carbon dan silicon untuk besi tuang nodular[13].

2.3 Pengetahuan Dasar Pengecoran

Pengecoran adalah suatu proses manufaktur yang menggunakan logam cair dan cetakan untuk menghasilkan produk cor dengan bentuk yang mendekati bentuk geometri akhir produk jadi. Proses pengecoran meliputi pembuatan cetakan, peleburan logam cair, Penuangan logam cair dan pemeriksaan hasil produk cor[5].



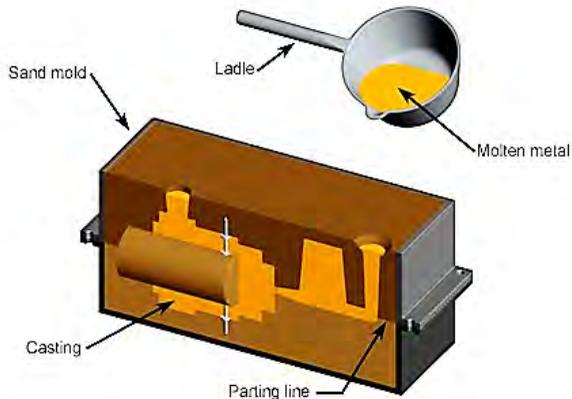
Gambar 2.3 Pengecoran Logam[24].

2.4 Pengecoran Cetakan Pasir

Pengecoran *sand casting* adalah proses pengecoran logam untuk membuat suatu benda kerja atau komponen dengan metode penuangan logam cair kedalam cetakan pasir. Pengecoran *sand casting* paling banyak digunakan dalam produksi pengecoran dikarenakan metode ini merupakan metode yang paling kuno tetapi mempunyai banyak keunggulan seperti:

1. Dapat mencetak logam dengan titik lebur yang tinggi seperti baja, nikel dan titanium.
2. Dapat memproduksi benda cor dengan dimensi dari yang ukuran kecil hingga ukuran besar serta panjang seperti pengecoran untuk pembuatan baling – baling kapal dan rel kereta api.
3. Dapat memproduksi banyak dengan cetakan yang banyak pula.

Pembuatan benda cor dengan metode sand casting harus dilakukan dengan banyak pertimbangan dan perencanaan yang baik untuk menghasilkan produk hasil pengecoran mempunyai kualitas yang baik dengan sedikit terjadi cacat.



Gambar 2.4 Pengecoran cetakan pasir[10].

2.5 Pasir Cetak

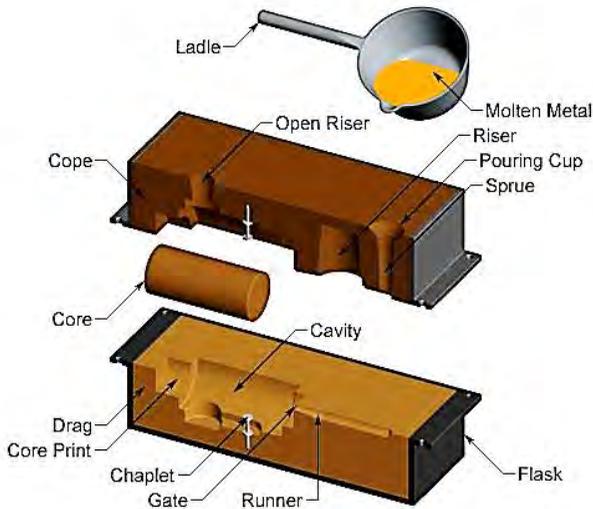
Pasir cetak adalah pasir yang digunakan untuk membuat cetakan. Alasan pemakaian pasir sebagai bahan cetakan adalah karena murah dan ketahanannya terhadap temperatur tinggi. Kebanyakan pasir yang digunakan dalam pengecoran adalah pasir silika (SiO_2). Pasir cetak harus memiliki sifat- sifat antara lain[5] :

- a. Mempunyai sifat mampu bentuk sehingga mudah untuk dibentuk.
- b. Distribusi besar yang cocok, dan seragam.
- c. Tahan terhadap temperatur logam yang dituang.
- d. Permeabilitas yang cocok, sehingga tidak terjadi cacat seperti rongga penyusutan, kekasaran permukaan, dan gelembung gas.

Selain hal tersebut diatas, pasir cetak harus memiliki kadar lempung sekitar 10-20% untuk dapat dipakai. Pasir cetak ada beberapa jenis yaitu pasir gunung, pasir pantai, pasir sungai, dan pasir silika. Beberapa dari pasir tersebut dipakai begitu saja tanpa melalui proses lain, namun ada juga yang harus digiling dan dipecah menjadi butir-butir dengan komposisi yang cocok. Pasir yang memiliki komposisi yang cocok dan bersifat adhesi dapat dipakai begitu saja sedangkan kalau sifat adhesinya kurang maka harus ditambahkan lempung[5].

2.5.1 Cetakan Pasir

Cetakan Pasir adalah cetakan yang terbuat dari bahan dasar pasir dan tanah lempung sebagai penguatnya. Cetakan pasir biasanya dibuat dengan tangan, namun ada juga yang dibuat dengan mesin cetakan. Cetakan pasir terdiri dari dua macam yaitu cetakan atas (*cup*) dan cetakan bawah (*drag*)[5].



Gambar 2.5 Skema cetakan pasir[10].

Secara umum cetakan pasir harus memiliki bagian-bagian utama sebagai berikut :

- **Cavity (rongga cetakan)**, merupakan ruangan tempat logam cair yang dituangkan kedalam cetakan. Bentuk rongga ini sama dengan benda kerja yang akan dicor. Rongga cetakan dibuat dengan menggunakan pola.
- **Core (inti)**, fungsinya adalah membuat rongga pada benda coran. Inti dibuat terpisah dengan cetakan dan dirakit pada saat cetakan akan digunakan. Bahan inti harus tahan terhadap temperatur cair logam dan biasanya paling sering dijumpai bahannya dari pasir.

- **Gating sistem (sistem saluran masuk)**, merupakan saluran masuk kerangka cetakan dari saluran turun melalui saluran turun dasar, pengalir, dan *gate*. Gating sistem suatu cetakan tergantung dengan ukuran rongga cetakan yang akan diisi oleh logam cair
- **Sprue (Saluran turun)**, merupakan saluran pertama yang dilalui cairan logam dari cawang tuang kedalam pengalir dan saluran masuk. Saluran turun dibuat lurus dan tegak dengan irisan berupa lingkaran ataupun persegi. Kadang irisan sama besar ukurannya dari atas kebawah atau terkadang berbentuk tirus kebawah atau mengecil pada bagian bawah. Saluran turun yang mempunyai luasan yang mengecil pada bagian bawah berfungsi untuk mengurangi aspirasi dari udara dan gas yang terjebak. Bentuk *straight sprue* menyebabkan aliran logam cair akan membentuk olakan dan aliran jatuh bebas dan akibat aliran jatuh bebas tersebut mengakibatkan pasir cetak menjadi rontok dan terbawa oleh logam cair.
- **Pouring cup/basin**, merupakan cekungan pada cetakan yang fungsi utamanya adalah untuk mengurangi kecepatan logam cair masuk langsung dari ladle ke sprue. Kecepatan aliran logam yang tinggi dapat terjadi erosi pada sprue dan terbawanya kotoran-kotoran logam cair yang berasal dari tungku kerangka cetakan.
- **Riser (penambah)**, merupakan cadangan logam cair yang berguna dalam mengisi kembali rongga cetakan bila terjadi penyusutan akibat solidifikasi.

2.6 Pola Cetakan

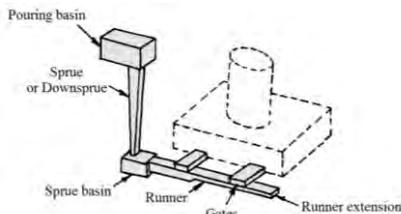
Pola sangat diperlukan dalam pengecoran, dapat digolongkan menjadi pola logam maupun dan pola kayu (termasuk pola plastik). Pola logam dipergunakan agar dapat menjaga ketelitian ukuran benda coran terutama dalam masa produksi sehingga unsur pola bisa lebih lama dan produktivitas lebih tinggi. Hal pertama yang harus dilakukan pada pembuatan pola adalah mengubah gambaran perencanaan menjadi gambar untuk pengecoran. Dalam hal ini dipertimbangkan bagaimana membuat

coran yang baik, bagaimana menurunkan biaya pembuatan cetakan, bagaimana membuat pola yang mudah, dan bagaimana cara mempermudah pembongkaran cetakan, kemudian menetapkan arah cup dan drag, posisi permukaan pisah, bagian yang dibuat oleh cetakan utama dan bagian yang dibuat oleh inti. Selanjutnya menetapkan tambahan penyusutan, tambahan untuk penyelesaian dengan mesin, kemiringan pola, dan seterusnya serta dibuat gambar untuk pengecoran yang kemudian diserahkan pada pembuat pola[5].

2.7 Sistem Saluran (*Gating System*)

Secara garis besar sistem saluran didefinisikan sebagai jalan masuk atau saluran bagi logam cair yang dituangkan dari ladle menuju ke dalam rongga cetakan. Pada umumnya sistem saluran dirancang untuk mengisi cetakan secepat mungkin dan tidak menimbulkan terbentuknya turbulensi. Sistem saluran mempunyai fungsi utama yang dijelaskan seperti di bawah ini[5]:

1. Mengurangi turbulensi pada aliran logam cair ketika melalui sistem saluran dan menuju ke rongga cetakan.
2. Menghilangkan udara dan gas yang terjebak di dalam logam.
3. Mengurangi kecepatan dari aliran logam ketika melalui sistem saluran dan masuk ke rongga cetakan.
4. Mengikuti cetakan agar diisi secara cukup cepat untuk mencegah pembekuan terlalu dini dan menghasilkan cacat coran.
5. Berperan dalam membentuk gradien temperatur yang tepat untuk menghasilkan pembekuan langsung di dalam pengecoran.

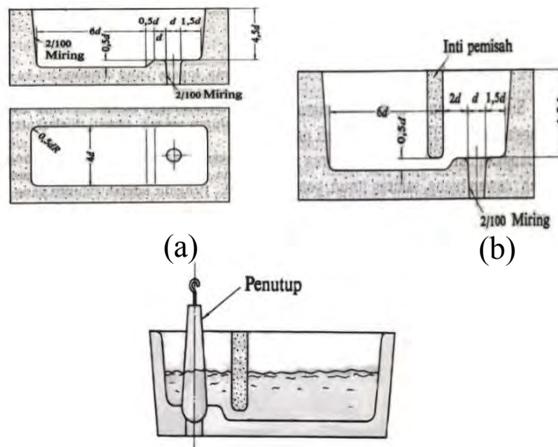


Gambar 2.6 Sistem Saluran[12].

Sistem saluran dari proses pengecoran mempunyai bagian-bagian seperti berikut:

2.7.1 Cawan Tuang (*Pouring Basin*)

Merupakan bagian yang menerima cairan logam langsung dari ladle. Biasanya berbentuk corong atau cawan dengan saluran turun dibawahnya. Cawan tuang tidak boleh terlalu dangkal sebab hal itu bisa menyebabkan pusaran karena bentuk dari cawan tuang itu sendiri sehingga timbul terak atau kotoran yang terapung pada logam cair. Pada gambar 2.7 cawan tuang dengan tanpa inti pemisah mengakibatkan kemungkinan kotoran atau terak yang terapung dapat masuk ke rongga cetakan, maka dari itu dibuatkan inti pemisah supaya kotoran atau terak yang terapung dihambat oleh inti tersebut sehingga logam cair yang bersih yang masuk ke dalam rongga cetakan[5].

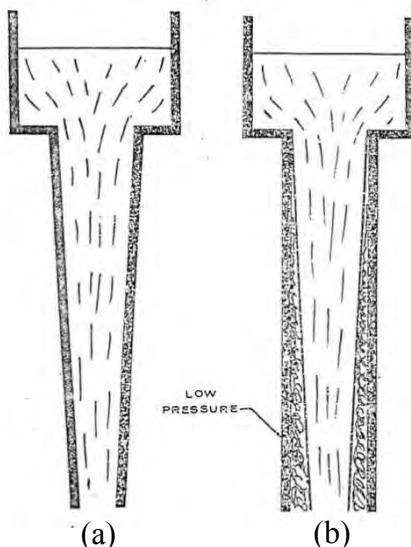


Gambar 2.7 Jenis cawan tuang : cawan tuang tanpa inti pemisah (a), dengan inti pemisah (b), dengan penutup (c)[5].

2.7.2 Saluran Turun (*Sprue*)

Adalah saluran pertama cairan logam dari cawan tuang kedalam pengalir dan saluran masuk. Saluran turun dibuat lurus dan tegak dengan irisan berupa lingkaran. Kadang irisan sama besar ukurannya dari atas kebawah atau terkadang berbentuk tirus

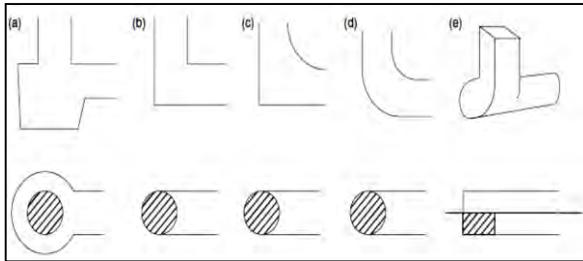
kebawah. Dengan kita memilih bentuk *straight sprue* maka aliran logam cair akan membentuk olakan dan aliran jatuh bebas dimana di daerah yang bertekanan rendah kemungkinan akan menyebabkan menghisapan udara dan gas yang akan dijerat dalam aliran logam cair. Sehingga kemungkinan adanya cacat rongga udara, selain itu akibat aliran jatuh bebas tersebut mengakibatkan pasir cetak menjadi rontok dan terbawa oleh logam cair[5].



Gambar 2.8 Jenis bentuk sprue : tapered sprue (a), dan straight sprue (b)[12].

2.7.3 Saluran Turun Dasar (*Well Base*)

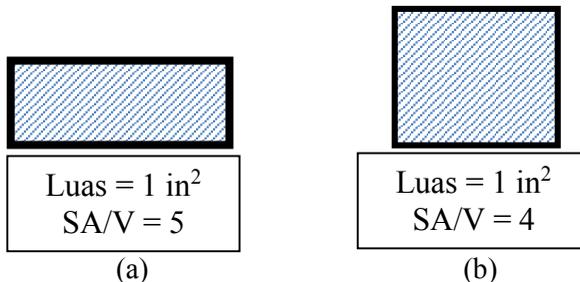
Adalah bagian dasar *sprue* dimana luasan bagian dasarnya diperluas, biasanya berbentuk silinder atau segi empat yang berfungsi untuk merangkap kotoran pada aliran logam cair dan mengurangi *energy kinetic* yang jatuh bebas yang mengakibatkan aliran turbulen. Biasanya pemilihan bentuk dari *well base* adalah silindris karena mudah dibuat dari pada bentuk yang lain[1].



Gambar 2.9 Bentuk saluran turun dasar (*well base*)[25].

2.7.4 Pengalir (*Runner*)

Adalah saluran yang membawa logam cair dari saluran turun menuju rongga cetak. Pengalir biasanya mempunyai irisan seperti trapesium atau setengah lingkaran sebab irisan yang demikian mudah dibuat pada permukaan pemisah (*parting line*). Untuk pengalir tidak dianjurkan berbentuk silindris, karena bentuk tersebut memicu terjadinya olakan sehingga mengakibatkan adanya gas yang terperangkap pada aliran logam cair yang mengakibatkan timbulnya cacat porositas pada hasil coran. Menurut AFS untuk pemasangan pengalir diletakan di posisi drug dan saluran masuk (*ingate*) di letakan di cup, dimaksudkan agar pasir yang rontok di harapkan mengendap didasar pengalir dan yang masuk ke rongga cetak adalah aliran logam cair yang bersih[1].



Gambar 2.10 Jenis bentuk pengalir : *Wide shallow runner* (a), dan *Square runner* (b)[12].

Yang membedakan antara *Square runner* (gambar 2.10 b) dengan *Wide shallow runner* diatas (gambar 2.10 a) yakni, semakin

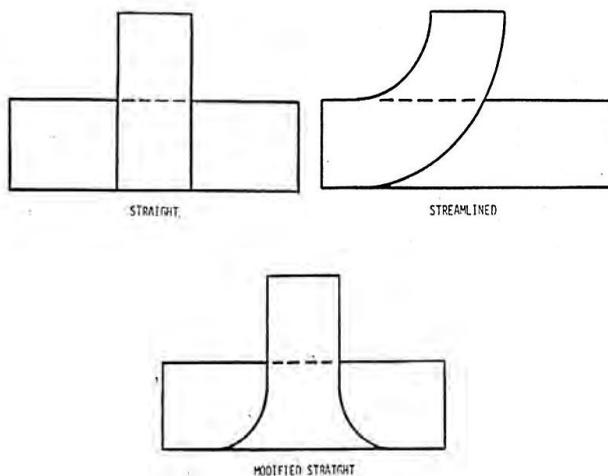
rendah SA/V maka kehilangan panas (*heat loss*) juga semakin rendah, sedangkan untuk perbandingan SA/V tinggi menunjukkan bahwa terjadi *friction loss* yang tinggi pula.

2.7.5 Pengalir Tambahan (*Runner Extension*)

Adalah bagian pengalir yang diperpanjang, berfungsi untuk merangkap kotoran dari logam cair akibat erosi dinding cetakan karena aliran turbulen dan kotoran saat penuangan. Pengalir tambahan harus cukup panjang untuk mencegah backflow aliran logam cair sehingga aliran logam cair tidak masuk kedalam saluran masuk terakhir[1].

2.7.6 Saluran Masuk (*Ingate*)

Adalah saluran untuk mengisikan logam cair dari saluran pengalir kedalam rongga cetakan. Saluran ini dibuat dengan irisan yang lebih kecil dari pada irisan pengalir agar dapat mencegah kotoran masuk kedalam rongga cetakan. Saluran ini dapat terdiri dari satu atau lebih saluran masuk dalam sistem saluran yang direncanakan. Untuk bentuk saluran masuk lebih baik pilih dengan bentuk *straight* karena mudah dibuat, dan peletakannya diatas pengalir (*runner*)[5].



Gambar 2.11 Jenis saluran masuk (*ingate*)[12].

2.8 Perencanaan Sistem Saluran

Berdasarkan *American Foundrymen's Society* (AFS)[12], sistem saluran yang optimal dapat dibuat berdasarkan ketentuan sebagai berikut:

1. Sistem saluran menggunakan sistem tanpa tekanan dimana perbandingan antara luasan saluran turun : pengalir : saluran masuk adalah 1 : 4 : 4.
2. Saluran turun yang digunakan adalah saluran turun yang meruncing dengan bagian bawah saluran turun mengecil merupakan luasan penyempitan.
3. Menggunakan cawan tuang.
4. *Sprue Base* digunakan untuk menyerap energi kinetik yang jatuh dari saluran turun.
5. *Runner* diletakkan di *drag* dan *ingate* di *cup*.
6. Perpanjangan pengalir digunakan untuk menjebak slag atau pengotor dari logam cair, terjebaknya udara atau gas dalam coran.

Di dalam melakukan perhitungan sistem saluran dibutuhkan beberapa data awal yang akan digunakan untuk menentukan dimensi sistem saluran. Secara matematis perhitungan sistem saluran antara lain:

- a) Menghitung volume pola (V). Gunakan gambar pola ataupun ukuran dari pola yang sudah disertai toleransi ukuran serta penambahan untuk penyusutan, penyelesaian mesin, dan kemiringan pola.

- b) Menghitung berat benda coran (w) dengan menggunakan rumus:

$$w = \rho \cdot V \dots\dots\dots(\text{Pers 2.1})$$

Dengan ρ merupakan massa jenis material pengecoran.

- c) Menghitung waktu tuang (t) untuk coran menggunakan material *cast iron* dapat dihitung dengan menggunakan rumusan berikut:

$$t = K_1 \sqrt{w} \dots\dots\dots (\text{Pers 2.2})$$

Dimana :

- K_1 = Konstanta
 - = 1,8 untuk penampang 3/8 s/d 1 in tebal
 - = 1,4 untuk penampang < 3/8 in tebal
 - = 2,0 untuk penampang > 1 in tebal

- t = Waktu tuang (detik)
- w = Berat benda coran (lb)

d) Menentukan *Choke Area* (A_B) dapat dihitung berdasarkan rumusan:

$$A_B = \frac{w}{d.t.c.\sqrt{2.g.H}} \dots\dots\dots \text{(Pers 2.3)}$$

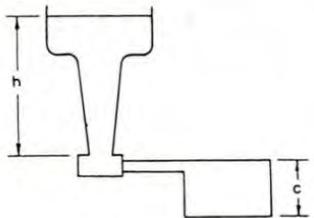
Dimana :

- A_B = Luasan penyempitan *Choke Area* (mm²)
- w = Berat coran (gr)
- d = Densitas logam cair (gr / cm³)
- t = Waktu penuangan (detik)
- H = Ketinggian efektif saluran turun (cm)
- g = Percepatan gravitasi (981 cm/det²)
- c = Faktor efisiensi dari saluran turun
 - = 0,88 (*tapered sprue*)
 - = 0,47 (*round straight sprue*)
 - = 0,74 (*square tapered sprue*)

Untuk menentukan ketinggian efektif saluran turun didasarkan atas sistem saluran yang digunakan antara lain sebagai berikut :

- *Top Gating system*, dengan menggunakan rumus :

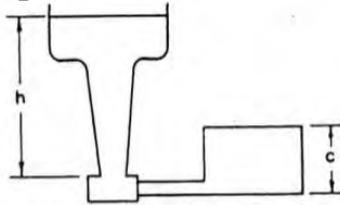
$$H = h \dots\dots\dots \text{(Pers 2.4)}$$



Gambar 2.12 *Top Gating*.

- *Bottom gating system*, dengan menggunakan rumus :

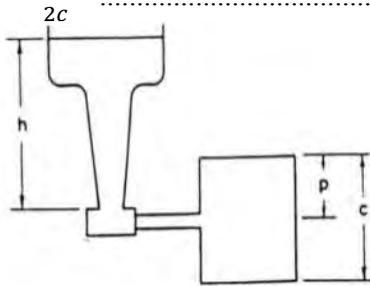
$$H = h - \frac{c}{2} \dots\dots\dots(\text{Pers 2.5})$$



Gambar 2.13 *Bottom Gating*.

- *Parting line gating system*, dengan menggunakan rumus :

$$H = \frac{2hc - p^2}{2c} \dots\dots\dots(\text{Pers 2.6})$$



Gambar 2.14 *Parting line Gating*.

- e) Menentukan *Area of the Top of Sprue* (A_T) dapat dihitung dengan rumusan:

$$A_T = A_B \sqrt{\frac{H}{b}} \dots\dots\dots(\text{Pers 2.7})$$

Dimana :

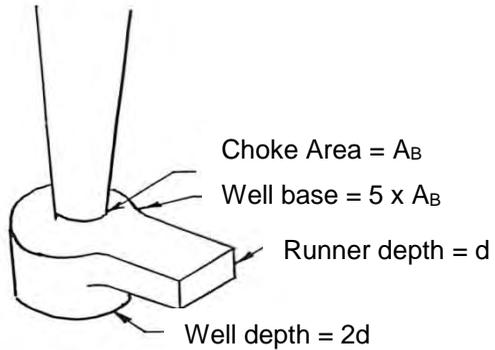
$A_B = \text{Choke Area (mm}^2\text{)}$

$b = \text{Kedalaman logam pada cawan tuang (mm)}$

- f) Menentukan Luasan Pengalir (*Runner Area*) dan luasan saluran masuk (*Gate Area*) dengan menggunakan rekomendasi AFS pengecoran horizontal maka untuk menentukan luasan pengalir menggunakan perbandingan antara *choke area : runner area : gate area* = 1 : 4 : 4. Maka

runner area sama dengan empat kali *choke area* dan *gate area* sama dengan empat kali *choke area*.

- g) Menghitung Saluran Turun Dasar (*Well Base*)
Perumusan *well base* sebagai berikut:



Gambar 2.15 Dimensi *Well Base*.

Dimana :

Well base = 5 x A_B.....(Pers 2.8)

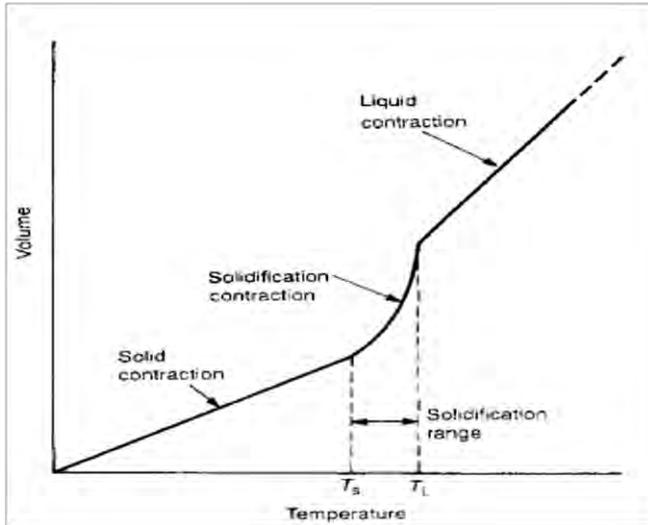
Well depth = 2 x *Runner depth* (d)(Pers 2.9)

Dimana : A_B = *Choke Area* (mm)

2.9 Penentuan tambahan penyusutan yang disarankan

Tambahan untuk penyusutan diperlukan karena coran menyusut pada saat pembekuan paling akhir, pada proses peleburan logam dari padat menjadi cair, logam akan mengalami tiga tahap perubahan fase seperti pada gambar 2.16, dimana di ikuti oleh kontraksi dari ikatan – ikatan atom logam yang selanjutnya membuat volume logam tersebut menjadi lebih besar. Sebaliknya setelah proses penuangan pada cetakan, logam cair yang dituang akan mengalami pendinginan dan mengalami penyusutan volume dari logam cair, berkebalikan seperti pada proses pemanasan. Cacat *shrinkage* terjadi akibat adanya ketidak seragaman pendinginan dalam proses pengecoran sehingga pada bagian yang memiliki laju pendinginan yang relatif lambat dan luas permukaan bidang cor yang cukup besar maka sangat rawan terjadi penyusutan. Oleh karena itu diperlukan persyaratan penyusutan pada daftar tabel 2.1.

Untuk bahan besi cor dengan panjang 1.000 mm maka penyusutan yang terjadi adalah 8 mm[5].



Gambar 2.16 Skematik Ilustrasi *shrinkage* pada tiap fase[25].

Tabel 2.1 Tambahan penyusutan karena *solidification contraction*[5].

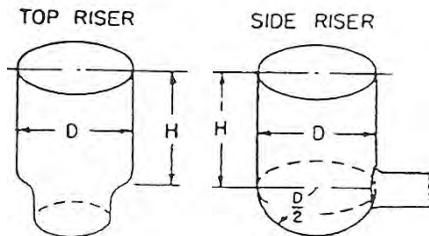
Tambahan penyusutan (mm/mm)	Bahan
8/1.000	Besi cor, baja cor tipis
9/1.000	Besi cor, baja cor tipis yang banyak menyusut
10/1.000	Besi cor, baja cor tipis yang banyak menyusut dan aluminium
12/1.000	Paduan Aluminium, bronze, baja cor (tebal 5-7 mm)
14/1.000	Kuningan kekuatan tinggi, baja cor
16/1.000	Baja cor (tebal lebih dari 10 mm)
20/1.000	Coran baja yang besar
25/1.000	Coran baja besar dan tebal

2.10 Saluran Penambah (*Riser*)

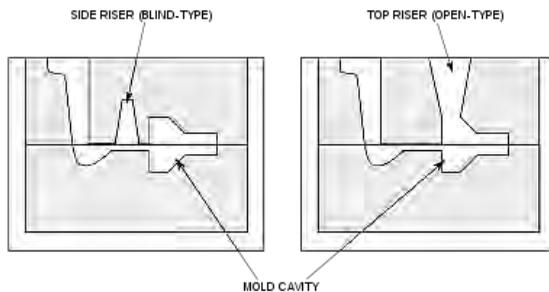
Fungsi dari saluran penambah (*riser*) adalah sebagai penyimpan/reservoir yang akan mensuplai logam cair tambahan pada produk cor selama proses solidifikasi. Dalam hal ini logam cair dalam *riser* harus membeku lebih lambat dari benda coran.

Proses solidifikasi dimulai dari bagian tertipis menuju ke bagian yang paling tebal. Oleh karena itu, pada bagian yang paling tebal harus ada *riser*, serta diperlukan untuk penentuan arah solidifikasi. Ketersediaan logam pengisi (*feed metal*) selama proses solidifikasi bergantung dari beberapa variabel yang sangat berkaitan erat dengan *riser*, yaitu bentuk dan lokasi *riser* serta ukurannya harus disesuaikan dengan benda coran.

Riser sangat didesain untuk membeku paling akhir dalam proses pengecoran dan juga berfungsi untuk menarik cacat *shrinkage* keluar dari produk cor. Ada 2 jenis *riser* yang umum digunakan yaitu penambah atas (*top riser*) dan penambah samping (*side riser*).

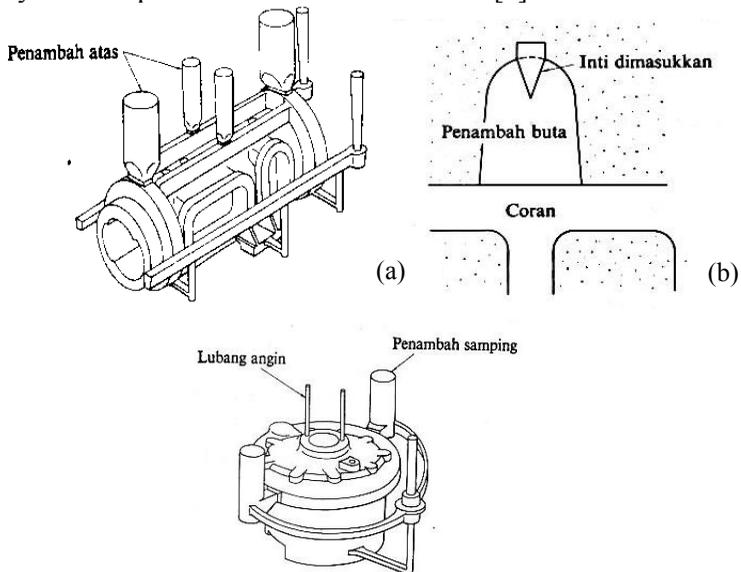


Gambar 2.17 *Top riser* dan *side riser*.



Gambar 2.18 Peletakan *Top riser* dan *side riser* pada cetakan.

Riser yang terbuka ke udara luar disebut *riser* terbuka (*open riser*), sedangkan *riser* yang dekat pada bagian atasnya yang biasanya berbentuk setengah bola disebut *riser* buta (*blind riser*). *Riser* buta tidak dapat memberikan logam cair kalau bagian luarnya membeku, karena di bagian-bagian yang tidak membeku di atasnya menjadi hampa udara. Untuk menghindari kesukaran ini disisipkan kerucut inti yang berukuran kecil dan berujung tajam. *Riser* buta lebih ekonomis sebab dapat diusahakan *riser* buta yang kecil sebagai pengganti *riser* terbuka yang lebih besar. Tetapi hal ini menyebabkan pembuatan cetakan lebih lama[5].



Gambar 2.19 Contoh-Contoh Penambah : (a) Penambah atas, (b) Penambah buta, dan (c) Penambah samping[5].

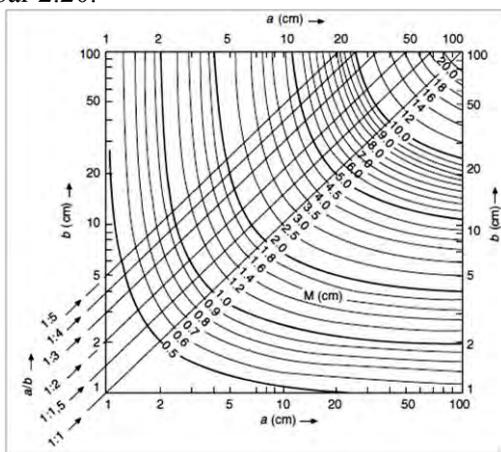
Jumlah berat *riser* tidak seluruhnya berfungsi sebagai penambah sebab logam cair menyentuh permukaan cetakan atau udara luar akan membeku lebih dulu karena penurunan temperatur yang cepat. Perbandingan pengisian yang efektif dari *side riser* yang dihubungkan dengan sistem pengisian berbeda dengan *top*

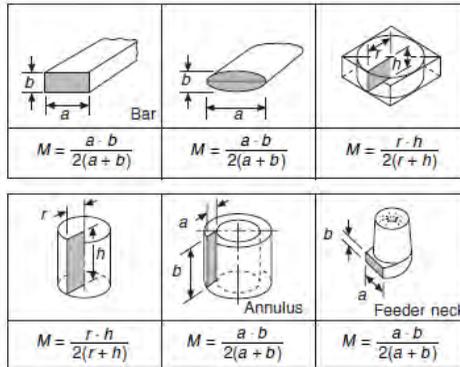
riser yang diisi dengan logam cair melalui rongga cetakan karena perbedaan temperatur dari logam cair dalam *riser-riser* itu. Pada umumnya, *riser* dibuat dalam bentuk silinder karena mudah membuatnya[1].

2.10.1 Merancang *Riser*

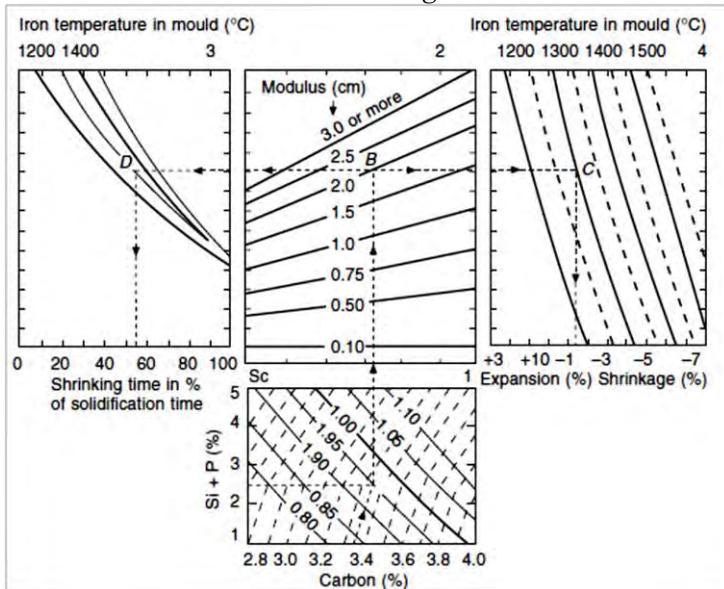
Langkah-langkah untuk merancang *riser* pada proses pengecoran dengan metode **Jhon R. Brown (Foseco Ferrous Foundryman)** dapat dirumuskan sebagai berikut[4]:

- a) Menentukan nilai modulus ($C\%$) yang efisien sesuai dengan jenis *riser*.
 - 33% apabila menggunakan *Foseco sleeve*.
 - 16% apabila menggunakan *natural feeder/riser* (logam cair mengalir sebelum mencapai rongga cetak).
 - 10%-14% untuk *natural feeder* yang lainnya.
- b) Menentukan nilai *shrinkage* pada paduan yang akan dicor. Nilai *shrinkage* untuk pengecoran paduan diberikan pada gambar 2.20.





Gambar 2.20 Casting modulus.



Gambar 2.21 Persentase penyusutan[4].

- c) Memperkirakan berat logam cair yang ada di dalam riser (W_F) dengan terlebih dahulu menentukan berat dari benda yang akan di cor (W_C). Hubungan antara W_F dan W_C dapat dilihat pada rumus berikut:

$$W_F = W_C \times \frac{100}{C\%} \times \frac{S\%}{100}$$

Dengan mendapatkan berat logam cair yang ada di dalam riser (W_F) maka dapat ditentukan dimensinya.

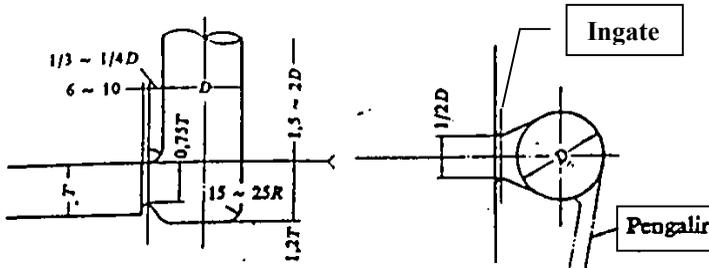
Sedangkan dengan metode **Tata Surdia** perancangan riser dengan bahan atau material coran besi adalah sebagai berikut[5] :

Tabel 2.2 Penentuan diameter penambah[5].

Kekuatan tarik bahan	Diameter (D) (mm)	
	Penambah samping	Penambah atas
20-25 kgf/mm ²	T + 30	T + 40
≥ 30 kgf/mm ²	T + 40	T + 50

Catatan : T = Tebal bagian coran di bawah penambah.

Dan desain riser untuk metode Tata Surdia adalah untuk coran besi adalah sebagai berikut[5] :

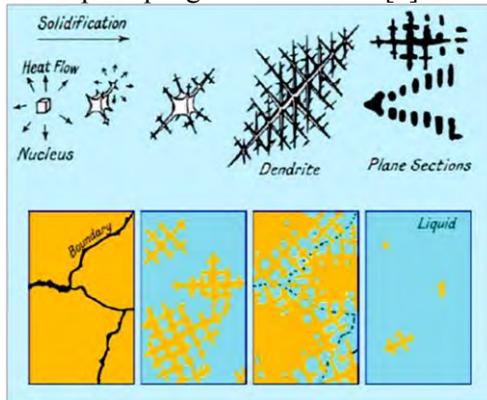


Gambar 2.22 Desain dan ukuran penambah samping[5].

2.11 Proses Solidifikasi

Proses solidifikasi adalah proses transformasi logam cair ke wujud padatnya (solid), disaat itu pula tumbuh inti padatan (*nuclei*). Inti tersebut tumbuh biasanya dibawah temperatur melingnya, setelah terbentuknya *nuclei* maka terjadi pertumbuhan solidifikasi, atom-atom yang menempel pada *nuclei* akan tersolidifikasi dan seterusnya. Solidifikasi dari atom-atom logam ini akan membentuk suatu struktur yang biasa disebut dengan dendrit. Dendrit akan tumbuh ke segala arah sehingga cabang-

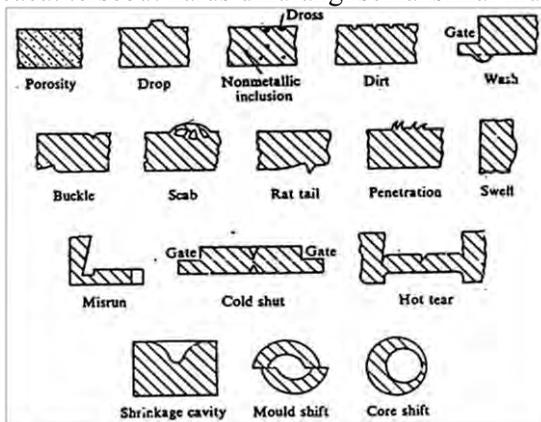
cabang akan saling bertemu dan bersentuhan. Pertemuan antar dendrit disebut batas butir. Setelah itu, batas butir antar tiap dendrit membeku seiring dengan penurunan suhu. Sehingga proses solidifikasi pada pengecoran berakhir[1].



Gambar 2.23 Proses solidifikasi[1].

2.12 Cacat Coran

Pada proses pengecoran banyak sekali adanya cacat pada produk. Apabila produk tersebut akan diproduksi dan banyak adanya cacat coran maka banyak pula kerugian yang didapatkan, sehingga cacat tersebut harus dikurangi semaksimal mungkin.



Gambar 2.24 Macam-macam bentuk cacat[6].

Banyak faktor-faktor yang mempengaruhi cacat pada coran, misal desain sistem saluran yang kurang masimal, waktu penuangan yang terlalu lama, dll. Cacat-cacat tersebut biasanya berupa cacat penyusutan, porositas, salah alur, retakan, slag, dros inklusi pasir dan masih banyak cacat-cacat yang lain. Dari semua cacat-cacat tersebut dapat diketahui dan dapat dilakukan pencegahannya.

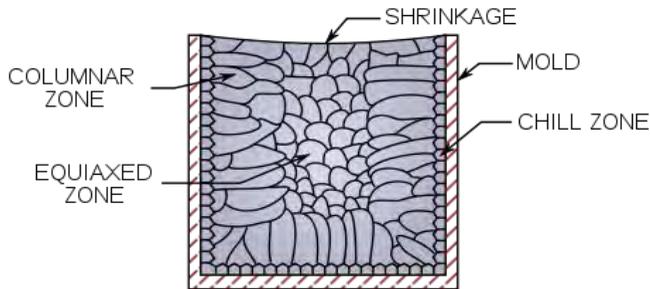
2.12.1 Penyusutan (*Shrinkage*)

Pada setiap pembuatan cetakan (*mould*) harus selalu memperhitungkan terjadinya penyusutan (*shrinkage*) setelah terjadi pembekuan. Hal itu terjadi karena adanya perubahan fase dari material cair menjadi padat sehingga akan terjadi perubahan volume. Jadi jika dibandingkan dengan ukuran pada rongga cetak, ukuran produk akan berbeda, yakni ukurannya akan menjadi lebih kecil dibandingkan rongga cetaknya[1].



Gambar 2.25 Cacat penyusutan (*shrinkage*)[19].

Proses pembekuan logam cair dimulai dari bagian logam cair yang bersentuhan dengan dinding cetakan karena panas dari logam cair diambil oleh cetakan sehingga bagian logam yang bersentuhan dengan cetakan itu mendingin sampai titik beku. Selama proses pembekuan berlangsung, inti-inti kristal tumbuh. Bagian dalam coran mendingin lebih lambat daripada bagian luarnya. Akibat adanya perbedaan kecepatan pembekuan, terbentuklah arah pembekuan yang disebut dendritik[5].



Gambar 2.26 Ilustrasi terjadinya cacat penyusutan (*shrinkage*)[15].

Bentuk benda coran mempengaruhi terjadinya cacat *shrinkage*. Untuk itu, dihindari benda coran yang memiliki perubahan tebal yang sangat besar dan pada bidang lengkung yang memerlukan pekerjaan tangan diubah menjadi datar. Adanya perubahan tebal yang terlalu besar dan bentuk benda coran yang rumit memperbesar kemungkinan terjadinya cacat penyusutan (*shrinkage*)[1].

Cacat penyusutan (*shrinkage*) merupakan cacat pada coran berupa cekungan bila bentuk cetakan terbuka seperti pada gambar 2.26 dan berupa rongga bila bentuk cetakan tertutup dengan bentuk tidak beraturan seperti pada gambar 2.25, terlihat kondisi permukaannya yang kasar, terjadi karena penyusutan volume logam cair pada saat proses pembekuan dan tidak mendapatkan pasokan logam cair dari *riser*. Pada saat logam membeku, tiap bagian coran yang berbeda bentuknya memiliki kecepatan pembekuan yang berbeda pula, cacat tersebut mudah terjadi pada bagian yang paling lambat membeku. Sebab-sebab adanya rongga penyusutan antara lain sebagai berikut :

- 1) Tidak menggunakan saluran penambah (*riser*).
- 2) Temperatur penuangan yang terlalu rendah menyebabkan penambah membeku lebih dahulu.
- 3) Perencanaan dan pembuatan *riser* kurang sempurna .
- 4) Logam cair yang teroksidasi menyebabkan perbandingan penyusutan yang besar .

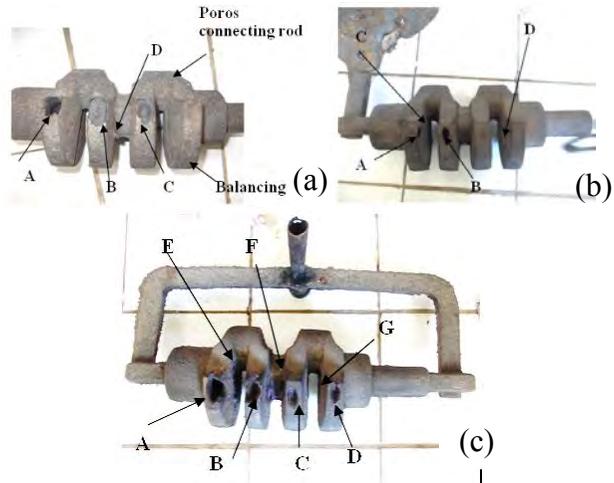
- 5) Ukuran leher *riser* yang tidak cukup.
- 6) Penempatan *riser* yang tidak tepat .
- 7) Cetakan membengkak karena tekanan dari logam cair di tempat yang kurang mampat.
- 8) Perubahan yang mendadak dari ketebalan menyebabkan sukarnya proses pengisian dari *riser*.
- 9) Terdapat bagian coran yang cekung terlalu tajam atau mempunyai radius terlalu kecil.
- 10) Logam cair yang dialirkan mengandung banyak karat dan kotoran.

2.13 Penelitian Terdahulu

Pada sub bab ini akan ditampilkan beberapa hasil penelitian-penelitian terdahulu yang dijadikan dasar pertimbangan dalam melakukan penelitian tugas akhir ini;

- 1) Muhammad Nur Hafianto (2013)[1], judul, PENGARUH JUMLAH SALURAN MASUK TERHADAP CACAT CORAN PADA PEMBUATAN POROS ENKOL (CRANKSHAFT) FCD 600 MENGGUNAKAN CETAKAN PASIR.

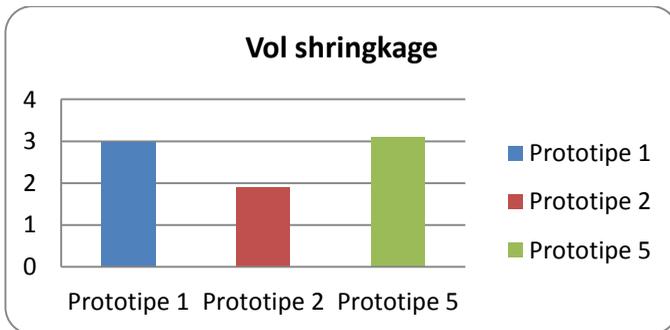
Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh isitem satu saluran masuk dan sistem dua saluran masuk terhadap adanya cacat pada produk *crankshaft* dan mempelajari cara mengatasi cacat penyusutan serta rongga udara dengan penambahan *riser* serta *ventilasi*. Penelitian ini menggunakan 5 prototipe *crankshaft*, dan dari penelitian ini didapatkan sistem dua saluran tanpa menggunakan *riser* lebih banyak terdapat cacat penyusutan dengan persentase 3,11 % dari sistem saluran tanpa menggunakan riser yakni untuk prototipe 1 sebesar 2,99 %, dan prototipe 2 sebesar 1,9 %. Untuk prototipe 1 didapat banyak cacat *shrinkage* dikarenakan saat pembuatan cetakan pemasangan gate miring sehingga didapatkan penampang saluran antara *runner* dan *gate* yang kecil, dan menyebabkan *gate* cepat membeku.



Gambar 2.27 Prototipe 1 : 1 Saluran tanpa riser (a), Prototipe 2 : 1 Saluran tanpa riser (b), dan Prototipe 5 : 2 Saluran tanpa riser (c)[1].

Tabel 2.3 Lokasi dan jenis cacat pada produk cor[1].

Sebelum machining	JENIS CACAT				
	Rongga udara	Inklusi Pasir	Shrinkage	Salah alir	Lubang jarum
Prototipe 1	B,C	C	A,B,C	-	-
Prototipe 5	B,C,D	E,G	A,B,C,D,F	-	-



Gambar 2.28 Grafik persentase cacat penyusutan (*shrinkage*)[1].

Untuk hasil dengan ditambahkan riser dan ventilasi pada sistem saluran, secara visual cacat penyusutan dan rongga udara dapat teratasi. Skema penyusutan atau *shrinkage* pada *riser buta* sebesar 5,69 % dan untuk *open riser* sebesar 3,86 %.



Gambar 2.29 Prototipe 4 : 1 Saluran dengan *open riser* tanpa proses machining[1].

Dengan data-data dan dimensi gating system sebagai berikut :
Material :

- Jenis material logam = FCD 600 (GJS 600)
- Berat Jenis (ρ) = 7,2 gr/cm³
= 0,260117 lb/in³
- Temp. penguangan (FCD 600) = 1349 ° C

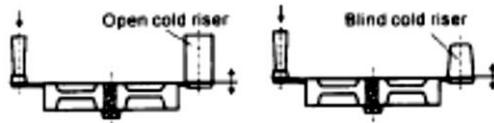
Bentuk dan ukuran *crankshaft*:

- Berat *crankshaft* FCD = 13 Kg = 28,661 lb
- Volume *crankshaft* FCD = $\frac{12500 \text{ gr}}{7,2 \text{ gr/cm}^3} = 1736,11 \text{ cm}^3$

- 2) Zhou Gen (2005)[2], judul, ANALYSIS OF REASONS CAUSING RISER FEEDING FAILURE IN NODULAR CASTING PRODUCTION.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sebab terjadinya kegagalan pada pengecoran menggunakan riser. Penelitian ini mengacu pada pengecoran yang dilakukan oleh perusahaan WXDEW (*Wuxi Diesel Engine Works*) yang menggunakan material besi cor nodular. Hasil dari penelitian adalah sebagai berikut :

1. Dengan mengaplikasikan *cold riser (cold metal flowing)* akan menyebabkan meningkatnya jumlah dari logam cair yang mengalir pada rongga cetak dan menyebabkan rongga cetak mengalami panas yang berlebihan (*overheated*) sehingga terjadi cacat *shrinkage* pada daerah leher riser.

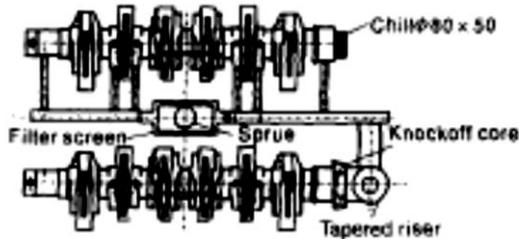


Gambar 2.30 Pengecoran pada *gear wheel* dengan menggunakan *riser* samping dingin (*cold riser*)[2].

Agar riser mempunyai kemampuan untuk mengisi, maka menggunakan *riser* panas (*hot riser*), riser tersebut harus berkoneksi dengan saluran masuk (*ingate*) dan harus diletakkan sejauh mungkin dari daerah titik panas (*hot spot*) pengecoran tersebut untuk memastikan riser membeku terakhir, juga harus mempunyai ketinggian dan diameter yang cukup besar agar memperoleh tekanan untuk mengalirkan logam cair.

2. Untuk menghindari cacat *shrinkage* yang terjadi pada titik panas (*hot spot*) yang terisolasi karena tidak terkoneksi aliran logam cair oleh riser maka jaraknya

harus dijaga untuk jauh dari *riser*, atau memasang *chill* pada daerah titik panas.



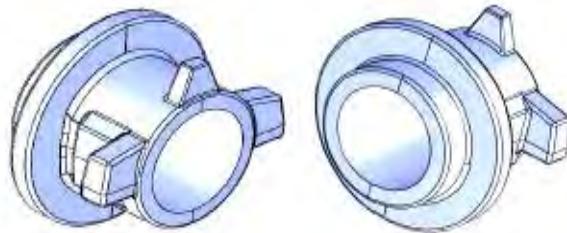
Gambar 2.31 Uji perbandingan antara dua cara pengecoran crankshaft 6110 (tanpa *riser* dan dengan *riser*)[2].

Seperti pada gambar diatas dilakukan pengecoran dua crankshaft dalam satu cetakan dengan dan tanpa *riser*. Dengan membelah titik tengah *crankshaft* untuk yang tanpa *riser* didapatkan timbul cacat *shrinkage* pada garis tengah dari *crank jurnal* sebesar \varnothing 20-30 mm, sedangkan dengan menggunakan *riser* didapatkan tidak ada cacat *shrinkage* pada garis tengah. Dan dengan inspeksi *magnaflux* pada crankshaft dengan dan tanpa *riser* didapatkan cacat *shrinkage* pada daerah ujung pada bagian dalam dari bagian engkol, hal ini mengindikasikan bahwa masih ada titik panas pada daerah tersebut yang mana tidak terkoneksi dengan aliran logam cair oleh *riser*.

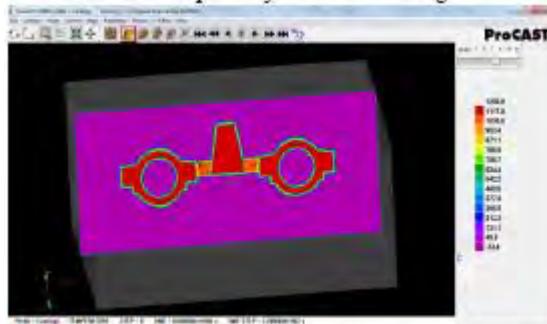
3. Dengan ukuran penyalur aliran logam cair (*runner* dan *gate*) yang kecil dan tipis mengakibatkan aliran logam cair yang sempit untuk mengalir hingga masuk cetakan, sehingga kecenderungan untuk terjadi cacat penyusutan relatif besar. Untuk menaggulangnya yakni :
 - a) Mengadopsi tambahan pemesinan untuk memperluas saluran aliran logam cair.

- b) Menambah rasio ukuran riser terhadap ketebalan dinding benda coran.
 - c) Kisaran jarak riser dengan lehernya (saluran masuk) harus dibuat sepanjang mungkin.
- 3) Bhupendra J. Chudasama (2013)[3], judul, SOLIDIFICATION ANALYSIS and OPTIMIZATION USING PRO-CAST.

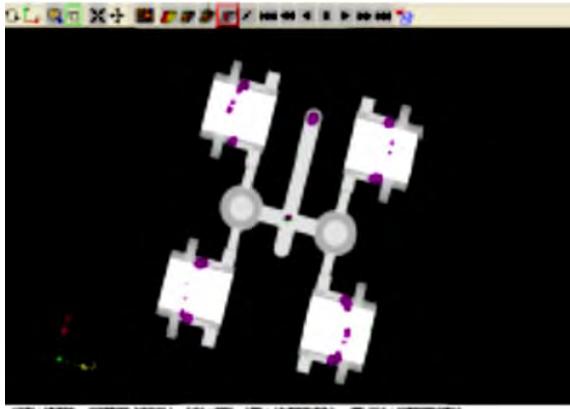
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil simulasi pengecoran pada komponen bearing housing dengan menggunakan sistem *blind riser*, kemudian membandingkan hasil simulasi dengan eksperimen, dan mengetahui pengaruh ketinggian *riser* dan *runner* terhadap cacat *shrinkage*, juga mengetahui pengaruh penggabungan antara ketinggian *riser* dan *runner* yang mempunyai cacat penyusutan paling rendah. Hasil dari penelitian tersebut adalah sebagai berikut :



Gambar 2.32 3D Model dari *bearing housing*[3].



Gambar 2.33 Kondisi cair setelah penuangan logam cair[3].

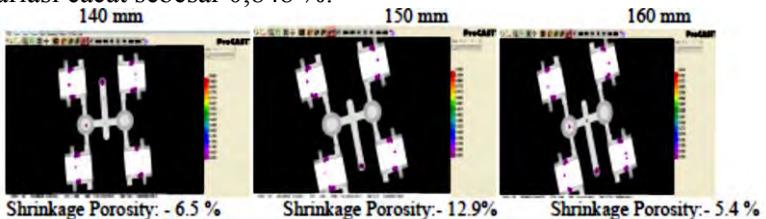


Gambar 2.34 Cacat shrinkage hasil simulasi[3].

Tabel 2.4 Persentase cacat *shrinkage* secara eksperimen Vs simulasi[3].

	Experimental Results	FE Analysis Results	Percentage Variation
Shrinkage Porosity	3.152%	4%	0.848%

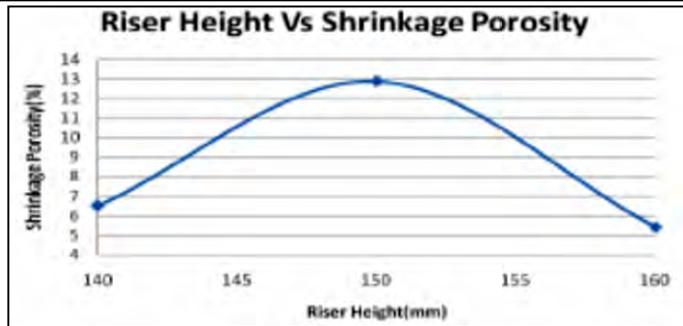
Dengan menggunakan metode x-ray untuk mengetahui presentase cacat shrinkage pada pengecoran secara eksperimen didapatkan sebesar 3,152 %, sedangkan untuk secara simulasi didapatkan sebesar 4 %, sehingga persentase variasi cacat sebesar 0,848 %.



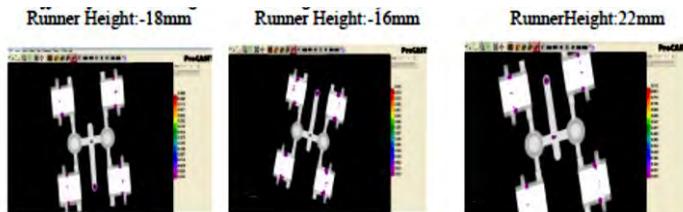
Gambar 2.35 Cacat shrinkage terhadap variasi ketinggian *riser*[3].

Tabel 2.5 Persentase cacat *shrinkage* terhadap ketinggian *riser*[3].

Riser Height(mm)	Shrinkage Porosity (%)
140	6.5
150	12.9
160	5.4



Gambar 2.36 Grafik ketinggian *riser* Vs cacat *shrinkage*[3].

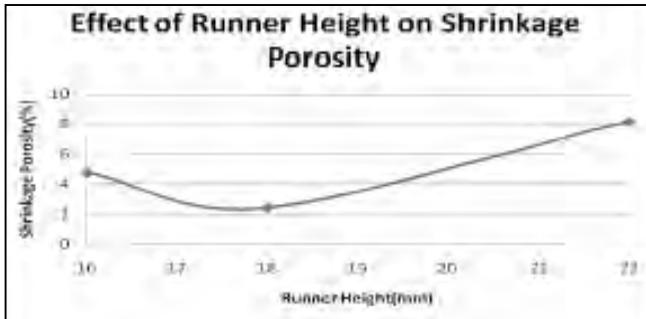


Shrinkage Porosity: - 2.43% Shrinkage Porosity: - 4.78 % Shrinkage Porosity: - 8.2 %

Gambar 2.37 Cacat *shrinkage* terhadap variasi ketinggian *runner*[3].

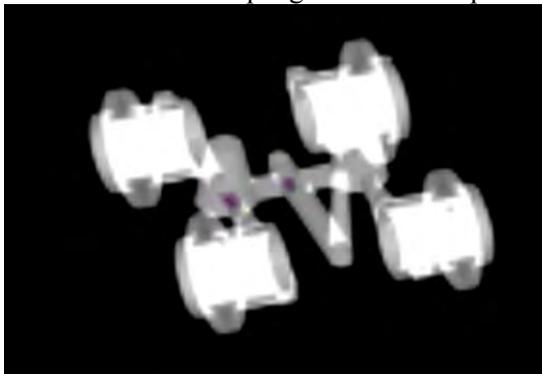
Tabel 2.5 Persentase cacat *shrinkage* terhadap ketinggian *runner*[3].

Runner Height(mm)	Shrinkage Porosity (%)
16	4.78
18	2.43
22	8.2



Gambar 2.38 Grafik ketinggian *runner* Vs cacat *shrinkage*[3].

Setelah mengetahui efek individual pada cacat *shrinkage*, kemudian mengkombinasikan kedua parameter antara ketinggian *riser* dan ketinggian *runner* dengan persentase cacat terkecil, yakni dengan ketinggian *runner* 18 mm dan ketinggian *riser* 160 mm didapatkan cacat *shrinkage* sebesar 6,70 %, yang mana dapat disimpulkan bahwa dengan kombinasi tersebut pengecoran tidak optimum.

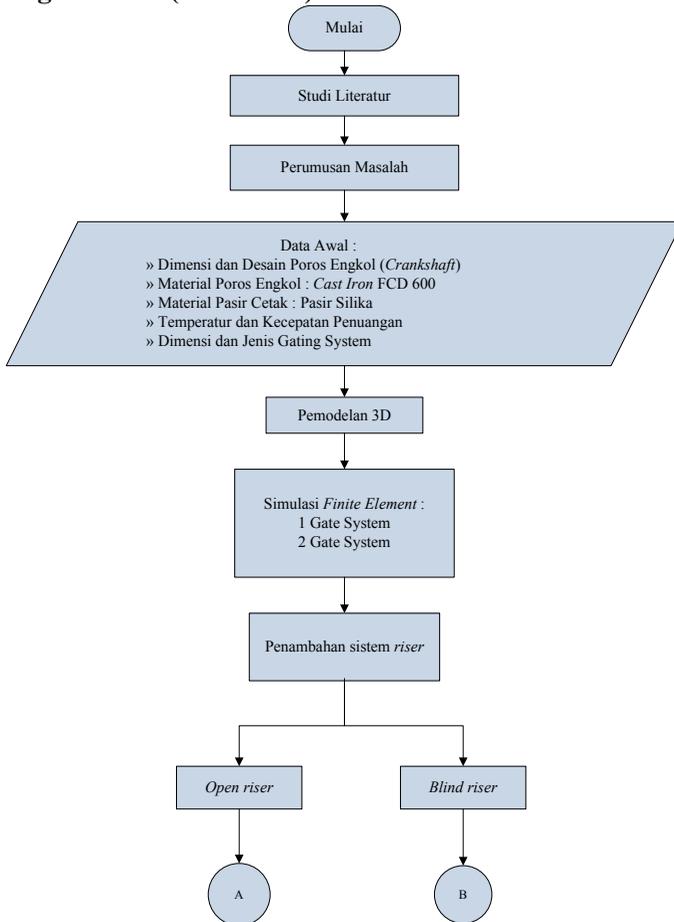


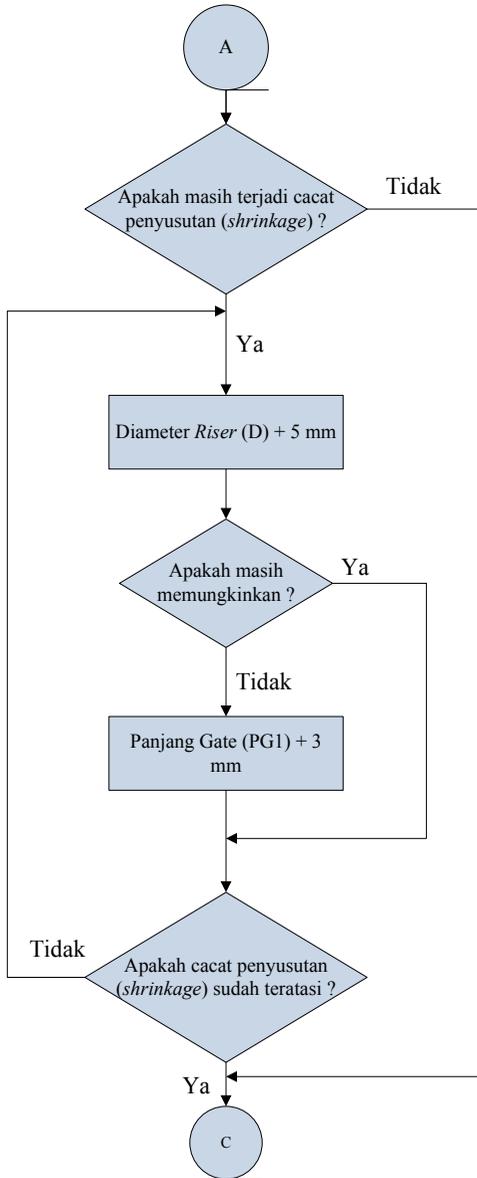
Gambar 2.39 Cacat *shrinkage* kombinasi antara ketinggian *runner* 18 mm dan *riser* 160 mm[3].

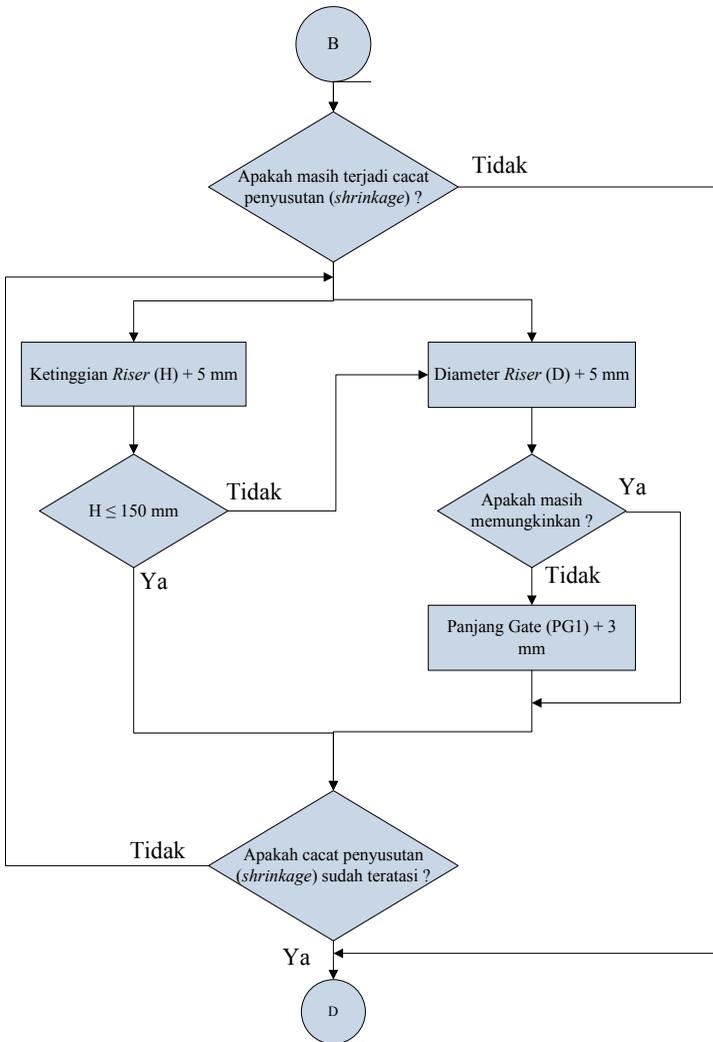
BAB 3 METODOLOGI

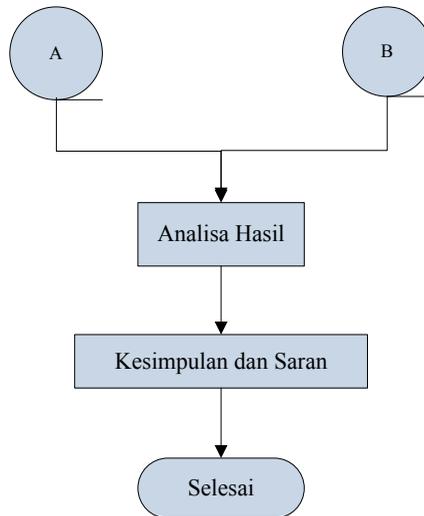
Pada bab ini menjelaskan langkah-langkah penelitian, juga dijelaskan mengenai geometri, dan prosedur proses pelaksanaan pada penelitian ini. Simulasi yang digunakan yakni dengan menggunakan *software*.

3.1 Diagram Alir (*Flowchart*) Penelitian









Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian.

3.2 Tahapan-tahapan Penelitian

3.2.1 Studi Literatur

Yakni pengumpulan dan pembelajaran berbagai literatur atau buku-buku referensi yang berkaitan dengan *proses pengecoran logam* dan juga perangkat lunak (*software*) pengecoran. Literatur yang dipelajari juga dapat berupa tugas akhir yang pernah ada, buku teks, jurnal-jurnal, informasi dari internet, data paten dan standar, maupun buku manual.

3.2.2 Perumusan Masalah

Setelah dilakukan pembelajaran, selanjutnya ditetapkan suatu kasus dan ditetapkan sebagai suatu permasalahan untuk diteliti. Masalah tersebut adalah bagaimana cara untuk melakukan pengecoran dan mengatasi penyusutan (*shrinkage*) pada produk *crankshaft* SINJAI dengan material *cast iron FCD 600* menggunakan *Horizontal 1 gate system* secara simulasi menggunakan *software*.

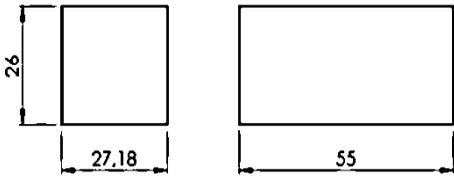
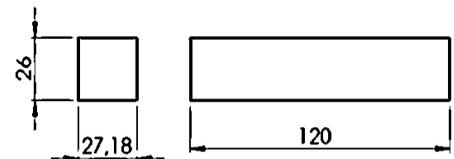
3.2.3 Penentuan Data Awal

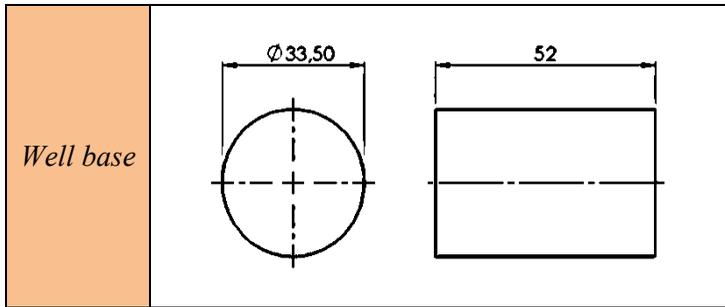
Data awal selalu dibutuhkan untuk melakukan perencanaan dan simulasi. Data tersebut merupakan data-data yang dapat

❖ Dimensi dan jenis *Gating System*

Gating system yang digunakan untuk pengecoran yang didapatkan dari perancangan dan perhitungan dari penelitian sebelumnya yakni sistem saluran *Horizontal-Parting line* yang menggunakan 1 sistem saluran. Dimensi dari masing sistem saluran adalah sebagai berikut :

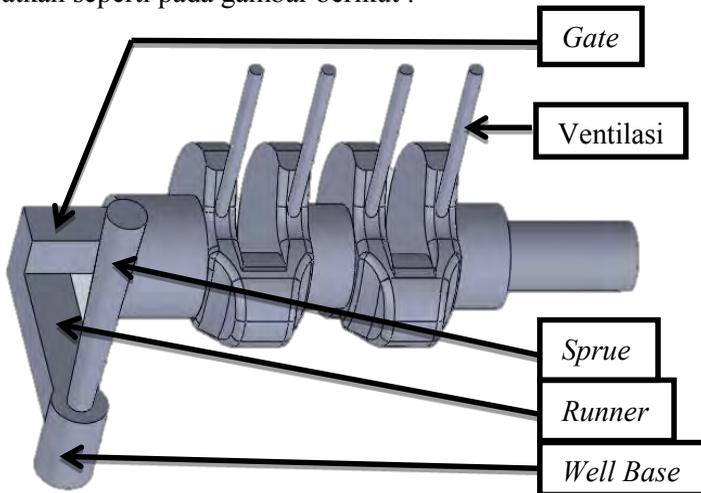
Tabel 3.1 Dimensi 1 *Gate System* (mm).

Dimensi	1 <i>Gate System</i>
<i>Gate</i>	
<i>Runner</i>	
<i>Sprue</i>	



3.2.4 Pemodelan 3D

Pemodelan secara 3D dilakukan dengan menggabungkan semua komponen gating system dengan produk benda cor (poros engkol), pemodelan ini dimaksudkan agar dapat melakukan simulasi secara statis maupun dinamis pada benda cor serta mendapatkan hasil visual secara simulasi. Bentuk pemodelan 3D didapatkan seperti pada gambar berikut :



Gambar 3.3 Model 3D Poros engkol dengan 1 gate system.

3.2.5 Simulasi Software

Simulasi pengecoran dilakukan dengan menggunakan software, hal ini bertujuan untuk mengetahui hasil pengecoran

pada produk poros engkol mesin SINJAI dengan material *cast iron* FCD 600 menggunakan 1 *gate system* serta penggunaan *open riser* dan *blind riser* secara simulasi, dari hasil simulasi akan didapatkan letak dan presentase cacat penyusutan yang terjadi. Kemudian melakukan perbaikan untuk mengatasi cacat penyusutan (*shrinkage*) yang terjadi pada produk cor tersebut. Adapun langkah-langkah dan cara simulasi dijelaskan seperti pada sub-bab 3.3 dan 3.4.

3.2.6. Perencanaan Sistem Saluran Penambah (*Riser*)

Mengacu pada penelitian sebelumnya oleh M. Nur Hafianto[1] digunakan 2 macam penambah yaitu penambah samping jenis tertutup (*blind riser*) dan penambah samping jenis terbuka (*open riser*), dengan tujuan membandingkan keefektifan kinerja riser secara simulasi pada 1 *gate system* dan 2 *gate system*, dan mencari volume yang efisien untuk pengecoran besi cor FCD 600. Perencanaan sistem saluran yang digunakan seperti yang berikut :

1. *Blind Riser*

Dengan mengacu pada *Foseco Ferrous Foundryman's Handbook*[4], perencanaan saluran penambah (*riser*) yang digunakan untuk perbaikan adalah sebagai berikut :

a). Menentukan nilai modulus (C%)

C% = 16%, dengan menggunakan *natural feeder/riser* (logam cair mengalir sebelum mencapai rongga cetak).

b). Menentukan nilai shrinkage pada paduan yang akan dicor (S%).

S% = 3.5%, merujuk pada gambar 2.21 menggunakan material *cast iron* FCD 600 dengan komposisi : 3,6% C, 2% Si, 0,8% Mn, 0,05% P dan 0,02% S.

c). Memperkirakan berat logam cair yang ada di dalam riser (WF).

Sesuai dengan penelitian sebelumnya, diketahui berat poros engkol (WC) adalah : $WC = 12,5 \text{ kg} = 12500 \text{ gr}$, Sehingga dengan perhitungan akan didapatkan berat logam cair yang ada di dalam *riser* (WF).

$$WF = WC \times \frac{100}{C\%} \times \frac{S\%}{100}$$

$$WF = 12,5 \text{ kg} \times \frac{100}{16\%} \times \frac{3,5\%}{100}$$

$$WF = 2,73 \text{ kg}$$

$$WF = 2730 \text{ gr}$$

d). Menghitung dimensi *riser*

Volume *riser* yang dibutuhkan (VR) :

$$VR = \frac{W_F}{\rho}$$

Dengan massa jenis *iron* FCD 600, $\rho = 7,2 \text{ gr/cm}^3$

$$VR = \frac{2730 \text{ gr}}{7,2 \text{ gr/cm}^3}$$

$$VR = 379,2 \text{ cm}^3$$

$$VR = \pi r^2 L = 379,2 \text{ cm}^3$$

Untuk tinggi *riser* (L_{BR}) mengacu pada penelitian terdahulu yakni sebesar 110 mm, sehingga didapatkan jari-jari *riser* sebesar berikut :

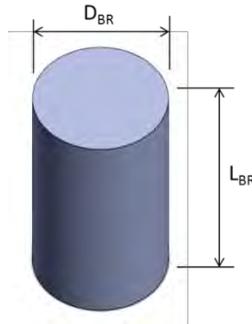
$$\pi r^2 (110 \text{ mm}) = 379200 \text{ mm}^3$$

$$\pi r^2 = 3447,2 \text{ mm}^2$$

$$r^2 = 1097,2 \text{ mm}^2$$

$$r = 33,12 \text{ mm} \approx 33,2 \text{ mm}$$

Sehingga untuk mendapatkan dimensi *riser* yang aman, dari perhitungan diatas didapatkan :



Gambar 3.4 Desain dan dimensi *blind riser*.

Tinggi *blind riser* (L_{BR}) = 110 mm

Diameter *blind riser* (D_{BR}) = $2 \times r = 2 \times 33,2 = 66,4$ mm

2. *Open Riser*

Perencanaan saluran penambah terbuka (*open riser*) sama dengan metode perencanaan saluran penambah tertutup (*blind riser*), yakni mengacu pada ***Foseco Ferrous Foundryman's Handbook***[4], namun pada *open riser*, tinggi *riser* yang digunakan sama dengan tinggi sprue yang telah dirancang. Sehingga perancangannya menjadi sebagai berikut :

Dari perhitungan diatas didapatkan :

$$VR = \pi r^2 L = 379,2 \text{ cm}^3$$

Untuk tinggi riser (L_{OR}) mengacu pada penelitian terdahulu yakni sebesar 161 mm, sehingga didapatkan jari-jari riser sebesar berikut :

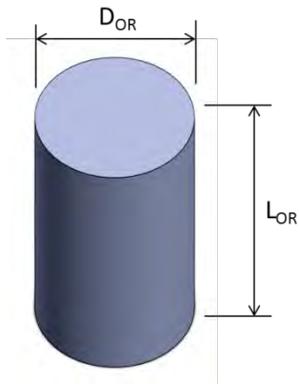
$$\text{Sehingga : } \pi r^2 (161 \text{ mm}) = 379200 \text{ mm}^3$$

$$\pi r^2 = 2370 \text{ mm}^2$$

$$r^2 = 754,40 \text{ mm}^2$$

$$r = 27,47 \text{ mm} \approx 27,5 \text{ mm}$$

Jadi dari perhitungan didapatkan dimensi *open riser* yang aman yakni sebesar:



Gambar 3.5 Desain dan dimensi *open riser*.

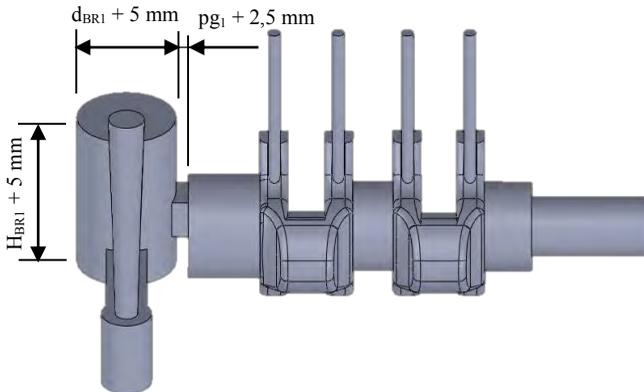
Tinggi *open riser* (L_{BR}) = 161 mm

Diameter *blind riser* (D_{BR}) = $2 \times r = 2 \times 27,5 = 55$ mm

3.2.7 Perbaikan Pengecoran

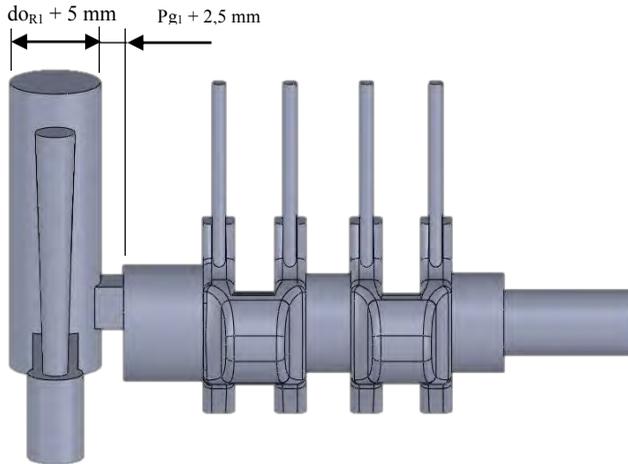
Setelah dilakukan validasi simulasi *finite element* pada 1 *gate system*, serta penggunaan *open riser* dan *blind riser*, dan jika didapatkan letak dan presentase cacat penyusutan, maka selanjutnya dilakukan perbaikan pada simulasi pengecoran dengan merubah variabel bebas yakni dengan menambahkan diameter *riser*, ketinggian *riser*, dan panjang *gate*. Hal ini dilakukan hingga pada produk cor tidak terjadi cacat penyusutan dan cacat penyusutan hanya terjadi atau ada pada *riser*.

Penambahan untuk sistem dengan menggunakan *blind riser* yakni :



Gambar 3.6 Variabel bebas untuk 1 *gate system* menggunakan *blind riser*.

Dan penambahan untuk sistem dengan menggunakan *open riser* yakni :



Gambar 3.7 Variabel bebas untuk 1 *gate system* menggunakan *open riser*.

Untuk penambahan tinggi *blind riser* dibatasi hingga 130 mm agar tingginya tidak sampai melebihi atau sama dengan tinggi *open riser*. Sedangkan untuk panjang gate hanya ditambahkan sebesar 0,5 x diameter *riser*, hal ini dimaksudkan agar jarak antara *riser* dengan produk cor tetap sama dengan jarak pengaplikasian *riser* yang semula, dan juga untuk mengoptimalkan dimensi perancangan *riser*.

3.2.8 Analisa Hasil

Data hasil simulasi yang berupa data gambar, grafik, atau tabel dilakukan analisa serta dilakukan perbandingan pada data hasil tersebut untuk dapat diambil kesimpulan dari penelitian. Tabel hasil pengambilan data atau simulasi adalah sebagai berikut :

Tabel 3.2 Hasil simulasi perbaikan 1 sistem saluran dengan variasi tinggi dan diameter *blind riser* :

No	Tinggi <i>blind riser</i> (mm)	Diameter <i>blind riser</i> (mm)	Panjang <i>gate</i> (mm)	Hasil simulasi	Cacat pada benda kerja	Persentase cacat shrinkage keseluruhan (%)
1	110	66,4	55		Ya / Tidak	
2	(110 + 5)	66,4	55		Ya / Tidak	
3	..	66,4	55		Ya / Tidak	
N	130	66,4	55		Ya / Tidak	
n + 1	130	(66,4 + 5)	(55 + 2,5)		Ya / Tidak	

Tabel 3.3 Hasil simulasi perbaikan 1 sistem saluran dengan variasi diameter *blind riser* dan tinggi *riser* tetap 110 mm :

No	Diameter <i>blind riser</i> (mm)	Panjang <i>gate</i> (mm)	Hasil simulasi	Cacat pada benda kerja	Persentase cacat shrinkage keseluruhan (%)
1	66,4	55		Ya / Tidak	
2	(66,4 + 5)	(55 + 2,5)		Ya / Tidak	
3		Ya / Tidak	
n	(66,4 + 5.n-1)	(55 + 2,5.n-1)		Ya / Tidak	

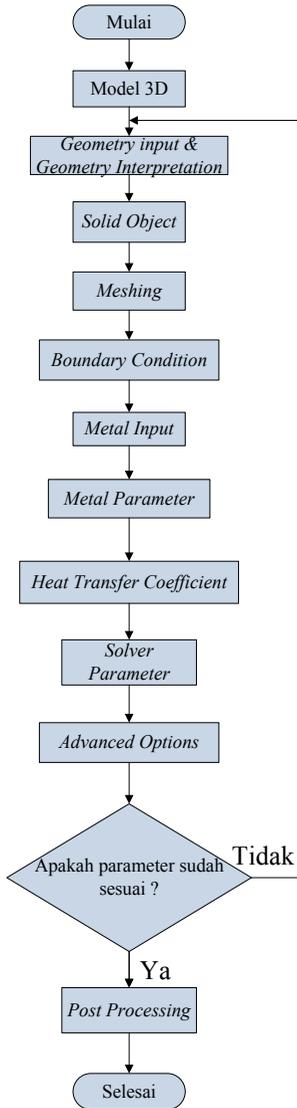
Tabel 3.4 Hasil simulasi perbaikan 1 sistem saluran dengan variasi diameter *open riser* dan tinggi *riser* tetap 161 mm :

No	Diameter <i>open riser</i> (mm)	Panjang <i>gate</i> (mm)	Hasil simulasi	Cacat pada benda kerja	Persentase cacat shrinkage keseluruhan (%)
1	55	55		Ya / Tidak	
2	(55 + 5)	(55 + 2,5)		Ya / Tidak	
3		Ya / Tidak	
N	(55 + 5.n-1)	(55 + 2,5.n-1)		Ya / Tidak	

3.2.9 Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini merupakan tahap akhir dari penelitian yaitu penarikan kesimpulan berdasarkan hasil analisa yang didapatkan dan kemudian pemberian saran untuk dapat lebih menyempurnakan tugas akhir ini.

3.3 Diagram Alir (*Flowchart*) Simulasi



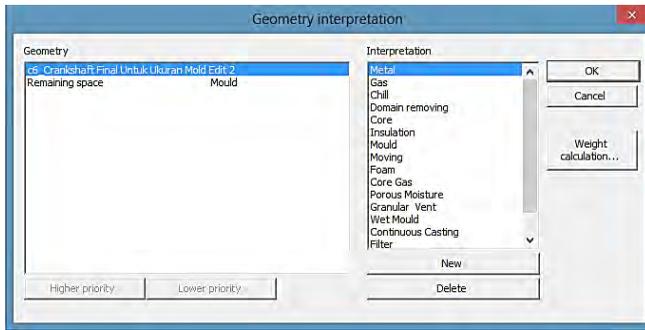
Gambar 3.8 *Flowchart* Simulasi.

3.4 Tahapan-tahapan Simulasi

3.4.1 Model 3D

Model 3D dibuat dengan menggunakan *software solidworks* atau CAD, kemudian disimpan dengan format STL.

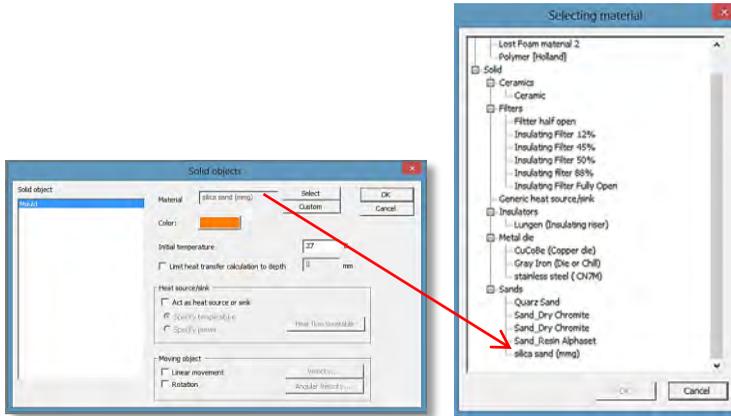
3.4.2 *Geometry Input & Geometry Interpretation*



Gambar 3.9 *Geometry Interpretation*.

Geometry input yakni penggunaan simulasi pada model 3D dengan format STL yang telah dibuat, dan *geometri interpretation* merupakan pengaturan properti atau jenis material pada model 3D yang telah dibuat, pengaturan yang digunakan yakni model 3D sebagai logam (*metal*) dan ruang sisa (*remaining space*) sebagai cetakan (*mould*).

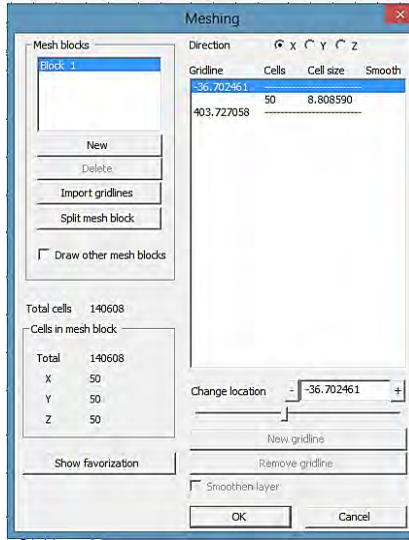
3.4.3 Solid Object



Gambar 3.10 Solid Object.

Solid Object merupakan pengaturan material dan temperatur mula pada benda padat, jika jenis material yang diinginkan tidak ada pada pilihan maka dapat menggunakan menu *custom* untuk membuat *database* material baru. pengaturan yang digunakan yakni pasir silika sebagai material benda padat (pada *mould*) dan 27°C sebagai temperatur mula yang terjadi.

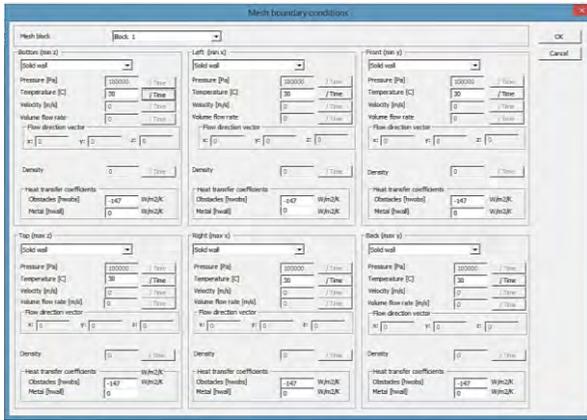
3.4.4 Meshing



Gambar 3.11 Pengaturan *Meshing*.

Meshing dilakukan agar kondisi batas dan parameter yang diperlukan dapat diaplikasikan dalam volume-volume kecil, dan dilakukan dengan cara membagi model solid menjadi volume kecil sesuai dengan jumlah *cell* yang diinginkan. Pengaturan jumlah *cell* pada *meshing* yang digunakan sesuai dengan aturan mula yakni pada sumbu x, y, dan z masing-masing 50. Semakin besar jumlah *cell* maka hasil analisa yang didapat semakin akurat dan semakin besar pula data penyimpanan hasil simulasi.

3.4.5 Boundary Condition



Gambar 3.12 Boundary Condition.

Boundary Condition merupakan penentuan parameter dan batasan yang terjadi dinding cetakan (*solid wall*). Data yang diperlukan pada *boundary Condition* tergantung pada tipe kondisi batas (*solid wall*, *symmetry plane*, *specific gas pressure*, dan lain-lain) sedangkan macam-macam parameter yang dimasukkan antara lain tekanan, temperatur, kecepatan, laju aliran volume, densitas dan koefisien perpindahan panas pada dinding cetakan masing-masing per waktu. Pengaturan yang digunakan yakni tipe kondisi batas *solid wall* pada masing-masing sumbu x, y, z minimal dan maksimal, untuk temperatur ruang menggunakan 27°C, dan untuk koefisien perpindahan panas pada *obstacle* menggunakan 334.9 W/m²/K.

3.4.6 Metal Input

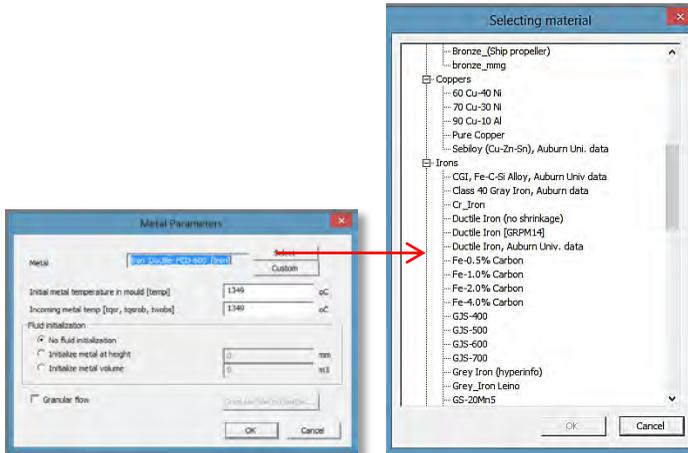
The screenshot shows a 'Metal inputs' dialog box with the following fields and values:

- Name:** Metal Input
- Location:** X: 16.75, Y: 180, Z: 0
- Profile radius:** 12.085 mm
- Metal flow direction vector:** X: 0, Y: 0, Z: 1
- Flow rate:** Volume/time: 0 m³/s, Mass/time: 0 Kg/s, Filling time: 0 s
- Other metal source parameters:** Density: 0 kg/m³, Temperature: 0 C

Gambar 3.13 *Metal Input*.

Metal Input merupakan pengaturan dimensi, letak dan arah dimana logam cair mulai masuk kedalam cetakan. Letak penuangan diatur dengan mengubah angka pada sumbu x, y, dan z pada *metal source* hingga didapatkan lokasi yang sesuai untuk penuangan yakni ujung *sprue* bagian atas. Diameter meter penuangan disamakan dengan diameter ujung *sprue* atas, dan mengatur arah aliran sesuai dengan arah gaya gravitasi dengan mengubah angka pada sumbu x, y, z *metal flow direction*. Angka x, y, dan z tergantung dengan bentuk model atau letak ujung *sprue*.

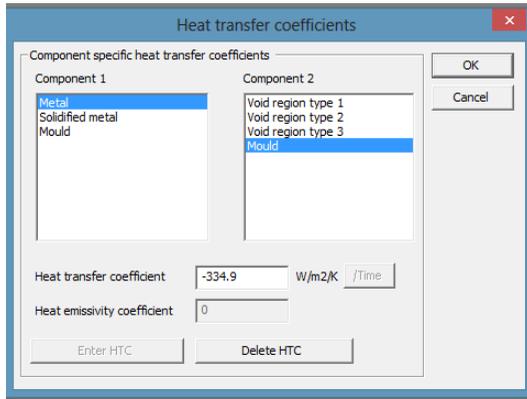
3.4.7 Metal Parameter



Gambar 3.14 Metal Parameter.

Metal Parameter yakni pengaturan jenis material logam, temperatur mula penuangan, temperatur mula dalam cetakan, dan properti logam cair yang akan dilakukan pada simulasi pengecoran. Pengaturan yang digunakan yakni memilih material logam GJS-600 (*cast iron* FCD 600-3) atau membuat database material baru jika material yang diinginkan tidak ada dipilhian, dengan cara memilih menu *custom*. Selanjutnya mengatur temperatur mula saat logam cair sudah masuk cetakan dan mengatur temperatur logam cair yang akan masuk cetakan, sesuai dengan refrensi didapatkan masing-masing temperatur yakni 1349°C. Untuk pengaturan properti logam cair sesuai asumsi tinggi penuangan (*initialize metal at height*) dianggap 0 mm dari ujung atas *sprue*, dan pada mulanya tidak ada logam didalam cetakan (*initialize metal volume* = 0 m³).

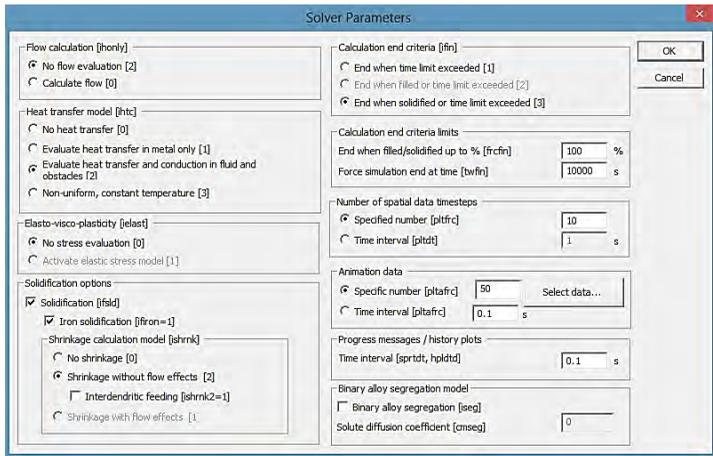
3.4.8 Heat Transfer Coefficient



Gambar 3.15 Heat Transfer Coefficient.

Heat Transfer Coefficient yakni mengatur koefisien perpindahan panas yang terjadi antara logam dengan cetakan, pengaturan ini sama dengan yang ada pada *boundary condition*. Untuk pengaturan perpindahan panas antara logam dengan cetakan pasir silika yakni sebesar $334.9 \text{ W/m}^2/\text{K}$.

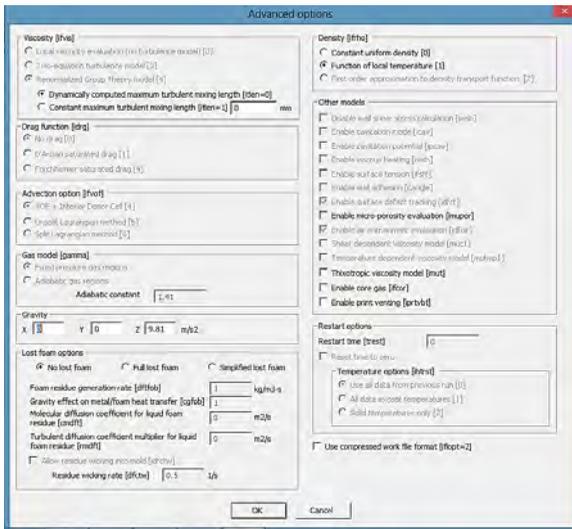
3.4.9 Solver Parameter



Gambar 3.16 Solver Parameter.

Solver Parameter digunakan untuk mencari data simulasi yang diinginkan pada *software*, pengaturan yang digunakan adalah solidifikasi besi yang menampilkan cacat penyusutan (*shrinkage*) pada benda cor tanpa memunculkan efek aliran. Sehingga pada hasil simulasi diharapkan cacat penyusutan dapat terlihat dan dianalisa.

3.4.10 Advanced Option



Gambar 3.17 *Advanced Option*.

Advanced Option digunakan untuk mengatur besar gaya gravitasi pada sumbu yang terdapat sprue, agar aliran logam cair yang dituang pada simulasi dapat berjalan seperti pada pengecoran sesungguhnya. Yakni aliran logam cair yang mengarah kebawah sehingga dapat mengisi rongga cetak.

3.4.11 Post Processing

Post Processing digunakan untuk menampilkan hasil serta analisa yang telah dilakukan pada simulasi. Hasil yang diharapkan yakni berupa lokasi serta persentase cacat penyusutan yang terjadi.

3.5 Jadwal Kegiatan Tugas Akhir

Kegiatan pengerjaan tugas akhir dilaksanakan setelah proposal diterima dan disetujui untuk dilakukan kegiatan penelitian selanjutnya. Adapun jadwal kegiatan pengerjaan akhir adalah sebagai berikut ;

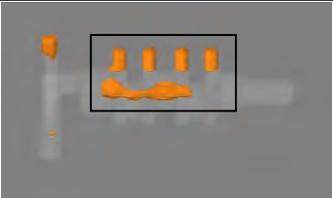
No	Kegiatan	Waktu Pelaksanaan (bulan/minggu ke-)																			
		September				Oktober				November				Desember				Januari			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
A	Seminar Proposal Tugas Akhir																				
B	Simulasi Pengecoran dengan software																				
1	Studi Pustaka (literatur)																				
2	Persiapan data dan peralatan simulasi																				
3	Mempelajari software finite element																				
4	Membuat desain 3D dan komponen cetakan pasir (pola, sistem saluran, dll)																				
5	Meshing model																				
6	Simulasi Flow dan Solidifikasi																				

BAB 4 DATA HASIL SIMULASI

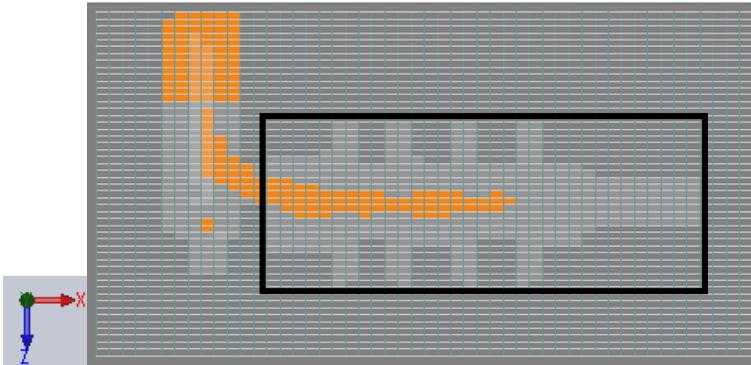
4.1 Data Hasil Simulasi

Dengan menggunakan *software* pengecoran didapatkan hasil simulasi sebagai berikut ;

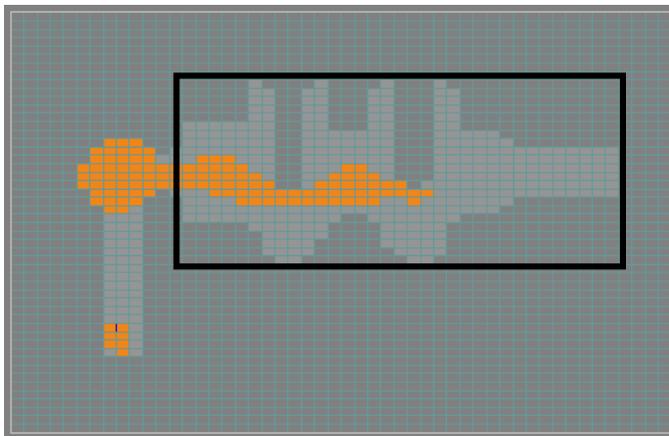
Tabel 4.1 Hasil simulasi pengecoran 1 sistem saluran tanpa *riser* :

No	Material	Kadar karbon (%C)	Hasil simulasi	Cacat pada benda kerja	Persentase cacat shrinkage pada benda kerja (%)
1	FCD 600 (Standard)	3,6		Ya	10,6
2	FCD 600	5,6		Ya	30,5
Keterangan :					
 = cacat <i>shrinkage</i>  = produk cor					

Contoh cara menghitung cacat *shrinkage* pada benda kerja:



Gambar 4.1 Tampilan *cube view* pada pandangan depan hasil simulasi pengecoran pada *open riser*.



Gambar 4.2 Tampilan *cube view* pada pandangan atas hasil simulasi pengecoran pada *open riser*.

Dari gambar diatas didapatkan :

Untuk pandangan atas :

Total kotak pada crankshaft = 450

Total kotak warna oranye = 74

Luas permukaan = 20774,386 mm²

Sehingga luasan *shrinkage* pada pandangan atas :

$$\frac{74}{450} = \frac{X}{20774,386}$$

$$X = \frac{74 \times 20774,386}{450}$$

$$X = 3416,23 \text{ mm}^2$$

Untuk pandangan depan :

Total ukuran panjang sebenarnya crankshaft =
308,856 mm

Total kotak sepanjang sumbu x = 33

Total ukuran tinggi sebenarnya pada poros tebal
= 69,36 mm

Total kotak pada tinggi poros tebal = 14

Sehingga tinggi untuk 1 kotak didapatkan :

$$\frac{1}{14} = \frac{X}{69,36}$$

$$X = \frac{1 \times 69,36}{14}$$

$$X = 4,95 \text{ mm}$$

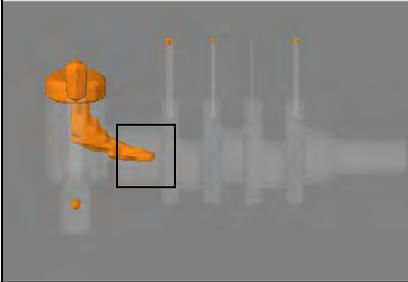
Jadi volume cacat *shrinkage* yang terjadi pada benda kerja (crankshaft) yakni sebesar :

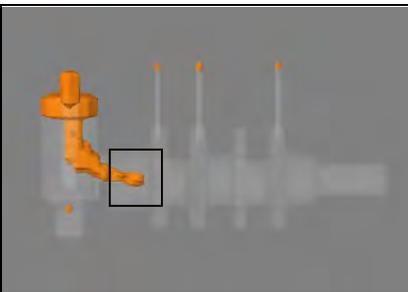
$$V_{shrinkage} = \frac{\text{luas cacat } shrinkage \text{ pada pandangan atas} \times \text{rata-rata tinggi kotak warna oranye}}{\text{volume } crankshaft \text{ total}} \times 100 \%$$

$$V_{shrinkage} = \frac{3416,23 \times (5 \times 4,95)}{1204554,47} \times 100 \%$$

$$V_{shrinkage} = 7,01 \%$$

Tabel 4.2 Hasil simulasi perbaikan 1 sistem saluran dengan variasi tinggi dan diameter *blind riser* :

No	Tinggi <i>blind riser</i> (mm)	Diameter <i>blind riser</i> (mm)	Panjang <i>gate</i> (mm)	Hasil simulasi	Cacat pada benda kerja	Persentase cacat <i>shrinkage</i> pada benda kerja (%)
1	110	66,4	55		Ya	1,25
2	115	66,4	55		Ya	1,06

11	120	66,4	55		Ya	0,79
4	125	66,4	55		Ya	0,84
5	130	66,4	55		Ya	0,91
6	130	71,4	57,5		Tidak	0

Untuk penggunaan *riser* diatas dapat diketahui volumenya dengan persamaan :

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 \times L \dots\dots\dots \text{(Pers 4.1)}$$

Dimana :

V = Volume *riser* (mm³)

D = Diameter riser (mm)

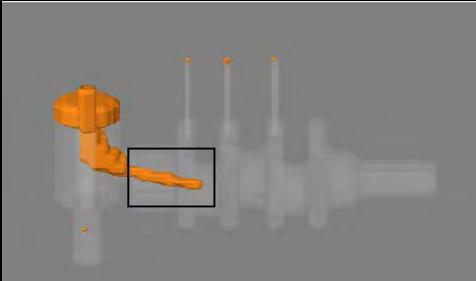
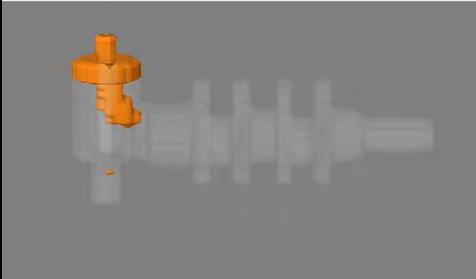
L = Tinggi *riser* (mm)

Sehingga didapatkan volume dari masing-masing riser diatas adalah sebagai berikut :

Tabel 4.3 Volume riser pada simulasi perbaikan 1 sistem saluran dengan variasi tinggi dan diameter *blind riser* :

No	Tinggi <i>blind riser</i> (L) (mm)	Diameter <i>blind riser</i> (D) (mm)	Volume <i>riser</i> (V) (mm ³)	Cacat pada benda kerja	Persentase cacat shrinkage pada benda kerja (%)
1	110	66,4	380906,79	Ya	1,25
2	115	66,4	398220,79	Ya	1,06
3	120	66,4	415534,69	Ya	0,79
4	125	66,4	432848,63	Ya	0,84
5	130	66,4	450162,58	Ya	0,91
6	130	71,4	520510,69	Tidak	0

Tabel 4.4 Hasil simulasi perbaikan 1 sistem saluran dengan variasi diameter *blind riser* dan tinggi *riser* tetap 110 mm :

No	Diameter <i>blind riser</i> (mm)	Panjang <i>gate</i> (mm)	Hasil simulasi	Cacat pada benda kerja	Persentase cacat shrinkage pada benda kerja (%)
1	66,4	55		Ya	1,25
2	71,4	57,5		Ya	0,03
3	76,4	60		Tidak	0

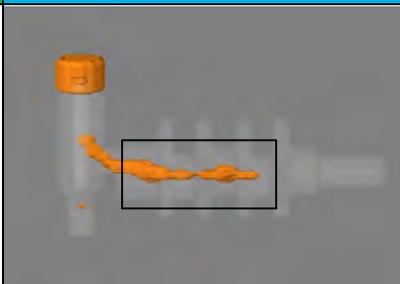
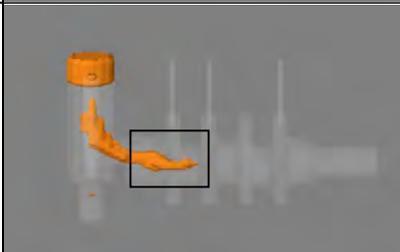
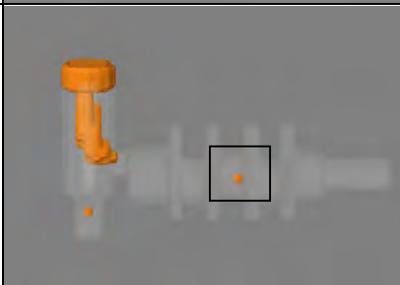
Dengan menggunakan persamaan 4.1, didapatkan volume dari masing-masing penggunaan riser pada simulasi diatas adalah sebagai berikut :

Tabel 4.5 Volume riser pada simulasi perbaikan 1 sistem saluran dengan variasi diameter *blind riser* dan tinggi *riser* tetap 110 mm

:

No	Tinggi <i>blind riser</i> (L) (mm)	Diameter <i>blind riser</i> (D) (mm)	Volume <i>riser</i> (V) (mm ³)	Cacat pada benda kerja	Persentase cacat shrinkage pada benda kerja (%)
1	110	66,4	380906,79	Ya	1,25
2	110	71,4	440432,12	Ya	0,03
3	110	76,4	504277,14	Tidak	0

Tabel 4.6 Hasil simulasi perbaikan 1 sistem saluran dengan variasi diameter *open riser* dan tinggi *riser* tetap 161 mm :

No	Diameter <i>blind riser</i> (mm)	Panjang <i>gate</i> (mm)	Hasil simulasi	Cacat pada benda kerja	Persentase cacat shrinkage pada benda kerja (%)
1	55	55		Ya	7,01
2	60	57,5		Ya	2,95
3	65	60		Ya	0.07

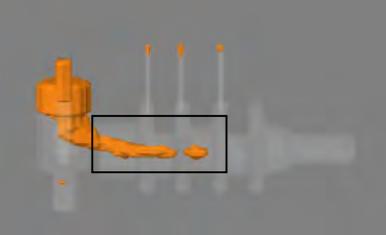
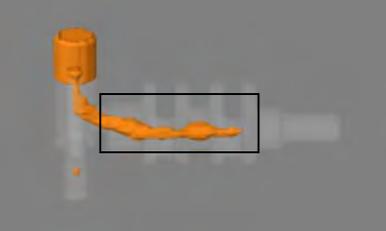
4	70	62,5		Tidak	0
---	----	------	---	-------	---

Dengan menggunakan persamaan 4.1, didapatkan volume dari masing-masing penggunaan riser pada simulasi diatas adalah sebagai berikut :

Tabel 4.7 Volume riser pada simulasi perbaikan 1 sistem saluran dengan variasi diameter *open riser* dan tinggi *riser* tetap 161 mm

No	Tinggi <i>blind riser</i> (L) (mm)	Diameter <i>blind riser</i> (D) (mm)	Volume <i>riser</i> (V) (mm ³)	Cacat pada benda kerja	Persentase cacat shrinkage pada benda kerja (%)
1	161	55	382508,54	Ya	7,01
2	161	60	455216,77	Ya	2,95
3	161	65	534247,46	Ya	0,07
4	161	70	619600,61	Tidak	0

Tabel 4.8 Hasil simulasi pengecoran 1 sistem saluran dengan komposisi kadar karbon yang tidak standard FCD 600 (5,6 %C) (Eksperimen oleh M. Nur Hafianto) :

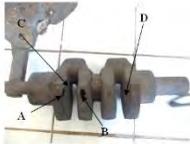
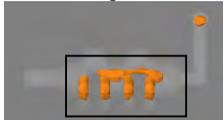
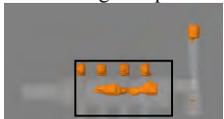
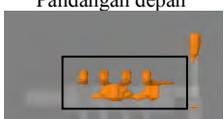
No	Jenis	Hasil simulasi	Cacat pada benda kerja	Persentase cacat shrinkage pada benda kerja (%)
1	<i>Blind riser</i> dengan dimensi : D = 66,4 mm dan L = 110 mm		Ya	4,90
2	<i>Open riser</i> dengan dimensi : D = 55 mm dan L = 161 mm		Ya	9,33

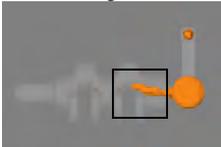
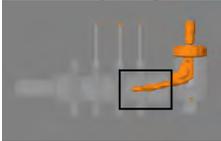
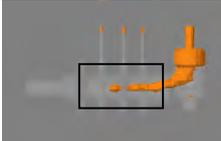
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

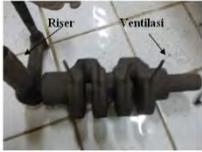
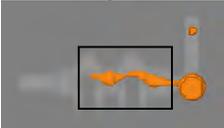
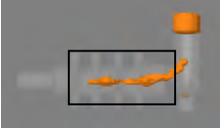
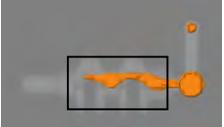
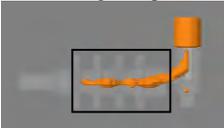
BAB 5
ANALISA DAN PEMBAHASAN

5.1 Validasi Hasil Pengecoran Secara Simulasi vs Eksperimen

Tabel 5.1 Hasil pengecoran secara simulasi vs. Eksperimen.

No	Jenis	Pengecoran secara eksperimen	Persentase cacat shinkage (%)	Pengecoran secara simulasi	Persentase cacat shinkage (%)
1	1 Sistem saluran tanpa riser	<p>FCD 600 (5,6 % C) :</p> 	1,9	<p>FCD 600 (Standard) :</p> <p>Pandangan atas</p>  <p>Pandangan depan</p> 	10,6
				<p>FCD 600 (5,6 % C) :</p> <p>Pandangan atas</p>  <p>Pandangan depan</p> 	30,5

2	1 Sistem saluran dengan blind riser	<p>FCD 600 (5,6 % C) :</p> 	5,69	<p>FCD 600 (Standard) : Pandangan atas</p>  <p>Pandangan depan</p> 	1,25
				<p>FCD 600 (5,6 % C) : Pandangan atas</p>  <p>Pandangan depan</p> 	4,90

3	1 Siste n salura n denga n <i>open riser</i>	<p>FCD 600 (5,6 % C) :</p> 	3,86	<p>FCD 600 (Standard) : Pandangan atas</p>  <p>Pandangan depan</p> 	7,01
				<p>FCD 600 (5,6 % C) : Pandangan atas</p>  <p>Pandangan depan</p> 	9,33
<p>Keterangan :</p>  = cacat <i>shrinkage</i>  = produk cor					

Dari tabel diatas didapatkan data hasil simulasi dibandingkan dengan eksperimen yang telah dilakukan oleh M. Nur Hafianto, untuk pengecoran dengan 1 sistem saluran tanpa riser dan ventilasi didapatkan cacat *shrinkage* sebesar 1,9 %, untuk 1 sistem saluran dengan *blind riser* sebesar 5,69 %, dan untuk *open riser* didapatkan cacat *shrinkage* sebesar 3,86 %. Namun pada pengecoran secara eksperimen yang telah dilakukan terdapat kesalahan komposisi kimia (kadar karbon) pada material yang digunakan saat peleburannya, yakni didapatkan kadar karbonnya sebesar 5,6 %C, sehingga material FCD 600 yang digunakan tidak sesuai dengan standarnya yakni sebesar 3,6 %C. Dengan kadar karbon yang lebih tinggi maka didapatkan nilai CE (Carbon Equivalent) yang lebih tinggi pula, untuk kadar karbon 5,6 % C didapatkan nilai CE sebesar $\pm 6,29$, dengan melihat gambar 2.2 maka dapat disimpulkan bahwa material logam cair yang digunakan pada eksperimen tidak bagus untuk dicor (*castability* rendah) karena nilai CE dan kadar karbon melebihi batas kemampuan cor suatu jenis material. Sedangkan untuk material FCD 600 standar didapatkan nilai CE sebesar $\pm 4,29$ dan nilai ini masih dalam batas kemampuan cor, seperti pada gambar 2.2 dengan batas bawah nilai CE sebesar 3,9 dan batas atasnya yakni 4,55.

Seperti pada referensi yakni oleh **Bhupendra J. Chudasama (2013)[3]**, yakni tentang SOLIDIFICATION ANALYSIS and OPTIMIZATION USING PRO-CAST, didapatkan cacat *shrinkage* pada benda cor secara eksperimen lebih kecil dari pengecoran secara simulasi. Dan dari tabel diatas, sebagai contoh pada jenis pengecoran yang pertama yakni 1 sistem saluran tanpa riser secara eksperimen didapatkan cacat sebesar 1,9 %, sedangkan untuk secara simulasi dengan komposisi material yang sama dengan secara eksperimen yakni FCD 600 dengan 5,6 %C didapatkan cacat *shrinkage* sebesar 30,5 %, dan dengan material FCD 600 standar (3,6 %C) didapatkan sebesar 10,6 %, hal ini dapat disimpulkan bahwa pengecoran sudah sesuai dengan dasar teori. Untuk hasil pengecoran pada no 1 didapatkan selisih yang sangat

besar karena pada pengecoran secara eksperimen yang cacat *shrinkage* yang diukur hanya pada permukaan luar, sedangkan jika dilihat pada hasil simulasi didapatkan cacat pada bagian dalam *crankshaft*. Mengacu pada teori dengan komposisi kimia 5,6 %C pada pengecoran secara eksperimen, cacat *shrinkage* harus lebih kecil dari simulasi dengan material FCD 600 (5,6 %C) dan tidak lebih kecil dari hasil simulasi dengan material FCD 600 standar (3,6 %C). Dengan melihat hasil pengecoran, dapat disimpulkan pula bahwa pada masing-masing pengecoran yang dilakukan secara eksperimen dan simulasi didapatkan hasil yang menyerupai *crankshaft* (bentuk dari produk cor), juga dengan menggunakan komposisi material yang standar dan benar dapat mengurangi cacat *shrinkage* secara signifikan.

Pada pengecoran jenis no 2, yakni 1 sistem saluran dengan *blind riser*, secara eksperimen didapatkan cacat *shrinkage* sebesar 5,69 %, sedangkan untuk yang secara simulasi didapatkan cacat sebesar 4,90 %. Jika dibandingkan, cacat pada pengecoran secara eksperimen lebih besar dari pada cacat pada simulasi, hal ini dikarenakan terjadi kesalahan saat pengukuran persentase cacat pada pengecoran secara eksperimen yang dilakukan pada penelitian sebelumnya, yakni volume riser dikurangi dahulu dengan volume air pada rongga yang terjadi dipermukaan (*void*), kemudian dibagi dengan volume produk cor saja (*crankshaft*), dan cara pengukuran yang seharusnya dilakukan adalah sama dengan pengukuran cacat *shrinkage* pada pengecoran jenis 1, yaitu volume air yang didapat dari rongga penyusutan pada *crankshaft* dibagi dengan volume produk cor. Karena kesalahan pengukuran cacat sehingga hasil pengecoran tidak sesuai dengan teori yakni cacat *shrinkage* pada pengecoran secara eksperimen lebih besar dari pada cacat secara simulasi.

Untuk pengecoran jenis no 3, 1 sistem saluran dengan *open riser*, pada pengecoran secara eksperimen didapatkan cacat *shrinkage* sebesar 3,86 %, sedangkan untuk cacat secara simulasi didapatkan sebesar 9,33 % dengan material yang sama (dengan kadar karbon 5,6%C), dan sebesar 7,01 % dengan material FCD

600 standar. Sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil pengecoran sudah sesuai dengan teori yakni cacat *shrinkage* yang terjadi pada pengecoran eksperimen lebih kecil dari pada secara simulasi, dan cacat *shrinkage* dengan material FCD 600 yang tidak standar (5,6 %C) tidak lebih rendah dari material FCD 600 standar (3,6 %C).

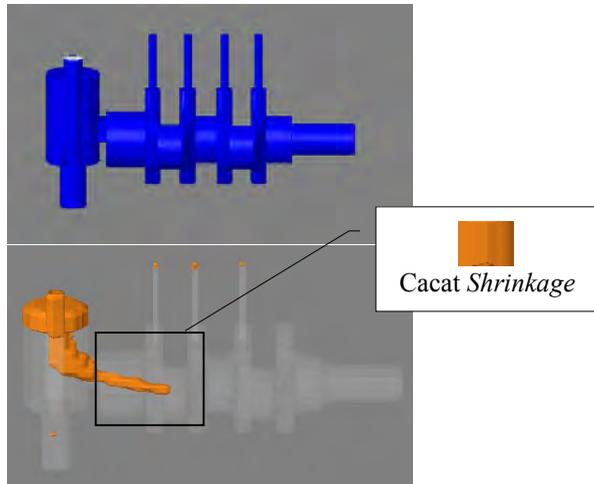
Dari hasil pengecoran pada jenis 2 dan 3 secara eksperimen dan simulasi diatas dapat disimpulkan bahwa dengan mengaplikasikan riser yang menggunakan metode ***Foseco Ferrous Foundryman's Handbook***[4] masih terjadi cacat *shrinkage* pada produk cor, untuk itu perlu dilakukan perbaikan pengecoran dengan menvariasikan variabel bebas dari *riser* secara simulasi. Dan perbaikan dilakukan penambahan dimensi *riser* secara iterasi hingga tidak terjadi cacat *shrinkage* pada produk cor.

5.2 Hasil Simulasi Perbaikan 1 Sistem Saluran dengan Variasi Tinggi dan Diameter *Blind Riser*.

Variabel bebas yang dapat diubah dari *blind riser* adalah tinggi dan diameternya, perbaikan pertama yang dilakukan yakni dengan mengaplikasikan kedua cara tersebut pada simulasi, namun pada penambahan tinggi *riser* dibatasi agar tidak melebihi 130 mm, dikarenakan dinding pasir antara rongga cetak pada riser dengan permukaan paling atas akan terlalu tipis, sehingga dapat mengakibatkan kerusakan cetakan (ambrol). Perubahan dimensi dilakukan dengan menggunakan software CAD dan mendesain ulang model 3D dari *riser* dan *gate*, material yang digunakan pada simulasi adalah FCD 600 dengan properti mengacu pada software yakni dengan kadar karbon sebesar 3,6 %C. Simulasi 1 sistem saluran dengan variasi tinggi dan diameter *blind riser* adalah sebagai berikut :

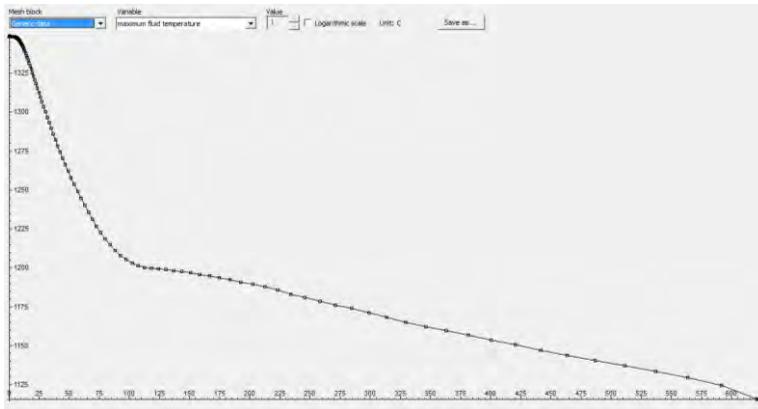
1. Dimensi *riser* : Diameter = 66,4 mm, Panjang *Gate* = 55 mm dan Tinggi = 110 mm.

Simulasi yang pertama dilakukan yakni dengan mengaplikasikan perencanaan *blind riser* menggunakan metode ***Foseco***[4], dan dari perhitungan didapatkan volume riser sebesar 380906,79 mm³. Model 3D dari pemasangan produk cor, sistem saluran, ventilasi, dan *riser* seperti pada gambar berikut :



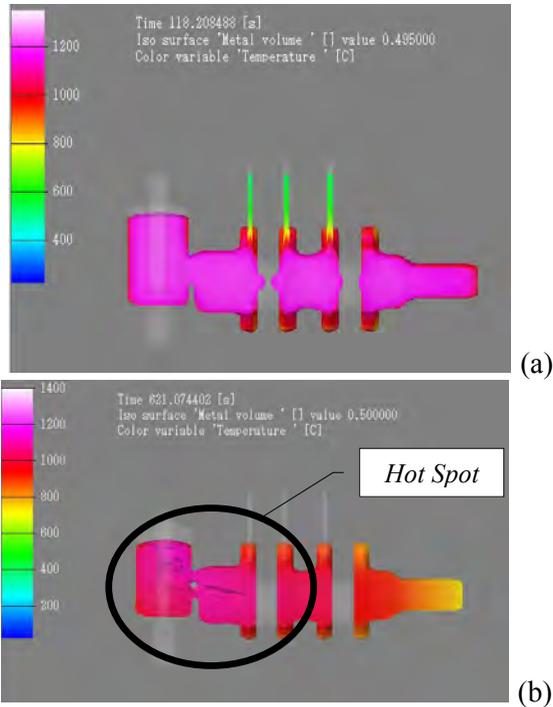
Gambar 5.1 Model 3D dan hasil cacat *shrinkage* pada simulasi menggunakan *blind riser* sebelum dilakukan perbaikan variasi tinggi dan diameter.

Seperti pada gambar diatas dengan mengaplikasikan perancangan riser menggunakan metode **Foseco**[4], didapatkan masih terjadi cacat pada daerah produk cor (diindikasikan dengan warna oranye), dengan persentase cacat yakni sebesar 1,25 %. Secara teori, dan mengacu penelitian oleh **Zhou Gen (2005)**[2] yakni tentang ANALYSIS OF REASONS CAUSING RISER FEEDING FAILURE IN NODULAR CASTING PRODUCTION, penyebab terjadinya cacat *shrinkage* dengan pengaplikasian *riser* adalah masih terdapat titik panas (*hot spot*) pada produk cor yang tidak terisi logam cair dari *riser*, dimensi *riser* (tinggi dan diameter) yang kurang besar untuk memberikan tekanan sehingga logam cair dapat mengisi, dan jarak antara riser dengan produk cor terlalu sempit. Dari simulasi didapatkan data temperatur dan grafik sebagai berikut :



Gambar 5.2 Grafik solidifikasi FCD 600 pada pengecoran *crankshaft* dengan *blind riser*.

Dengan diketahui temperatur liquidus material FCD 600 sebesar 1200 °C, dari grafik diatas didapatkan yakni pada detik ke $\pm 118,20$. Sedangkan untuk temperatur solidus yakni sebesar 1120 °C, didapatkan pada detik ke $\pm 621,07$, solidifikasi dimulai setelah temperatur mengalami penurunan dibawah temperatur liquidus dan berakhir setelah mencapai temperatur solidus. Dari data waktu tersebut selanjutnya dipilih untuk menampilkan gambar gradien temperatur pada produk cor untuk mengetahui letak atau lokasi *hot spot*, yakni sebagai berikut :



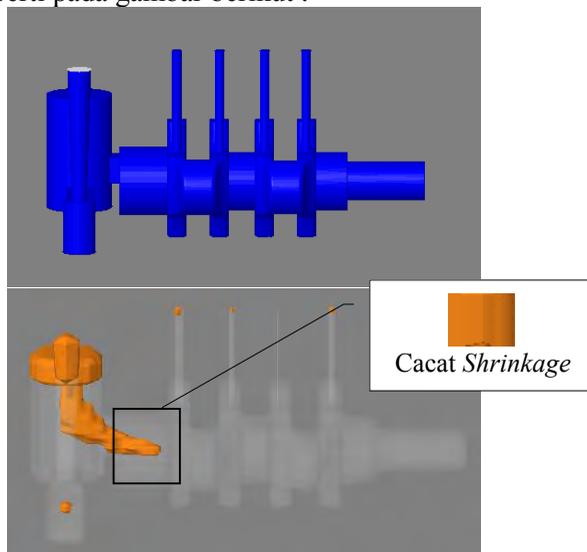
Gambar 5.3 Temperatur pada kondisi logam masih cair (a), dan setelah logam cair mulai fase padat (b) pada pengecoran dengan *blind riser*.

Dari gambar 5.3 (potongan produk cor) diatas dapat diketahui bahwa pada pada kondisi masih cair yakni pada waktu 118,20 detik setelah penuangan, bagian dalam dari produk cor mempunyai temperatur ± 1200 °C, ditunjukkan dengan warna merah muda dan pada bagian luar ± 1000 °C, ditunjukkan dengan warna merah, disini riser masih dapat mengisi rongga cetak karena masih dalam kondisi cair ditunjukkan pada gambar dengan berkurangnya volume logam cair dalam *riser*, hal ini terjadi hingga logam cair mengalami solidifikasi sepenuhnya. Selanjutnya seperti pada gambar gambar 5.4 (b), setelah kondisi logam cair mulai fase padat pada 621,07 detik setelah penuangan, pada bagian dalam produk cor masih terdapat *hot spot*, hal ini menunjukkan bahwa

bagian tebal produk cor masih belum teraliri sepenuhnya oleh *riser*, sehingga membeku paling akhir bersama dengan *riser*, yakni dengan temperatur ± 1120 °C ditunjukkan dengan warna merah muda gelap, sedangkan pada bagian luar dan ujung poros antara $\pm 900 - 700$ °C, ditunjukkan dengan warna kuning hingga oranye. Karena masih terjadi titik panas (*hot spot*) pada bagian *crankshaft* dan menyebabkan cacat *shrinkage*, sehingga dapat disimpulkan bahwa dimensi perancangan *riser* masih belum tepat, sehingga perlu dilakukan perbaikan pengecoran.

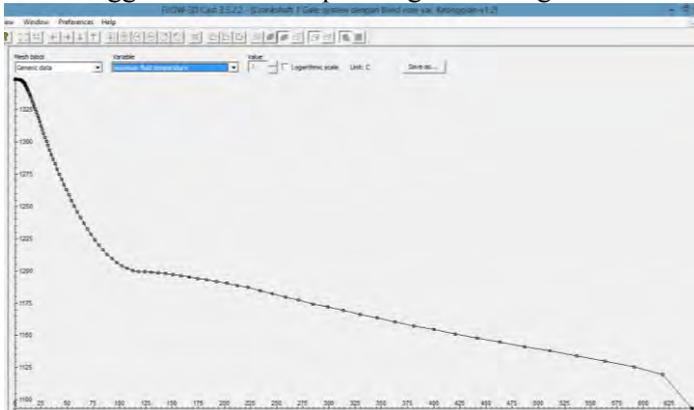
2. Dimensi *riser* : Diameter = 66,4 mm, Panjang *Gate* = 55 mm dan Tinggi = 115 mm.

Simulasi yang dilakukan yakni dengan menambahkan tinggi riser sebesar 5 mm, hal ini dimaksudkan untuk mengetahui efek penambahan tinggi riser terhadap cacat *shrinkage*, dan dari perhitungan didapatkan volume riser sebesar 398220,79 mm³. Model 3D dari pemasangan produk cor, sistem saluran, ventilasi, dan *riser* seperti pada gambar berikut :



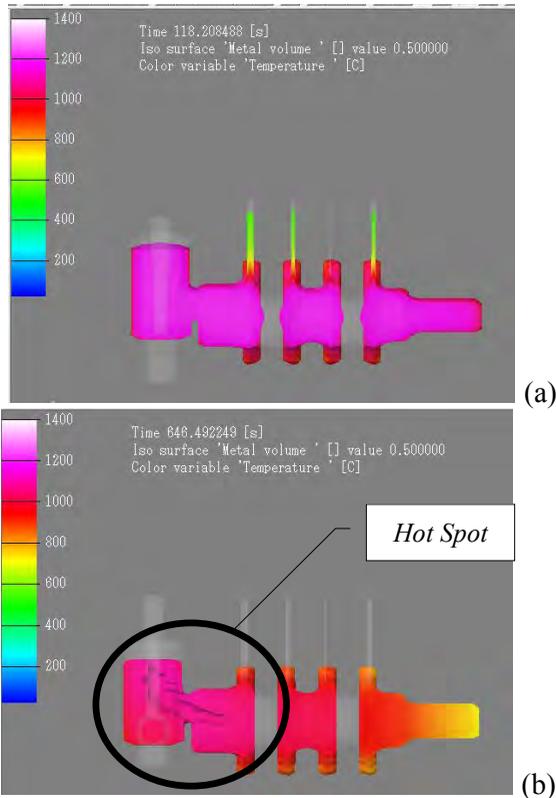
Gambar 5.4 Model 3D dan hasil cacat *shrinkage* pada simulasi menggunakan *blind riser* dengan tinggi + 5 mm.

Pada gambar diatas didapatkan, dengan menambahkan tinggi riser sebesar 5 mm, masih terjadi cacat *shrinkage* pada daerah produk cor, dengan persentase cacat yakni sebesar 1,06 %, namun cacat yang terjadi pada crankshaft berkurang dibandingkan dengan perancangan riser awal (metode **Foseco**[4]). Data grafik solidifikasi material FCD 600 pada *crankshaft* dengan *blind riser* variasi ketinggian + 5mm didapatkan grafik sebagai berikut :



Gambar 5.5 Grafik solidifikasi FCD 600 pada pengecoran *crankshaft* dengan *blind riser* tinggi + 5 mm.

Selanjutnya dipilih data gradien temperatur pada waktu 118,208 dan 646,48 detik untuk menunjukkan lokasi *hot spot* yakni sebagai berikut :



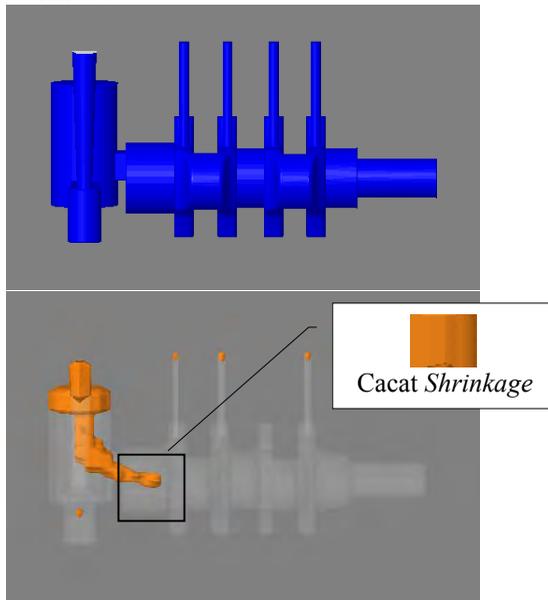
Gambar 5.6 Temperatur pada kondisi logam masih cair (a), dan setelah logam cair mulai fase padat (b) pada pengecoran dengan *blind riser* tinggi + 5 mm.

Dari gambar 5.6 (a) diatas, dapat diketahui bahwa pada pada kondisi masih cair yakni pada waktu 118,208 detik setelah penuangan, bagian dalam dari produk cor mempunyai temperatur ± 1200 °C dan pada bagian luar ± 1000 °C, disini riser masih dapat mengisi rongga cetak karena masih dalam kondisi cair ditunjukkan pada gambar dengan berkurangnya volume logam cair dalam *riser*, hal ini terjadi hingga logam cair mengalami solidifikasi sepenuhnya. Untuk setelah kondisi logam cair mulai fase padat, pada 646,48 detik setelah penuangan, bagian dalam produk cor

didaerah yang ditunjukkan seperti pada gambar 5.6 (b) diatas masih terdapat *hot spot* yakni dengan temperatur ± 1100 °C, sedangkan pada bagian luar dan ujung poros antara 900 – 700 °C. Hal ini disebabkan karena dimensi riser belum cukup untuk memasok logam cair untuk mengisi rongga cetak, sehingga bagian dalam produk cor membeku bersama dengan *riser*, dan dapat disimpulkan bahwa dimensi perancangan *riser* masih belum tepat, sehingga masih perlu dilakukan perbaikan dengan penambahan tinggi + 10 mm.

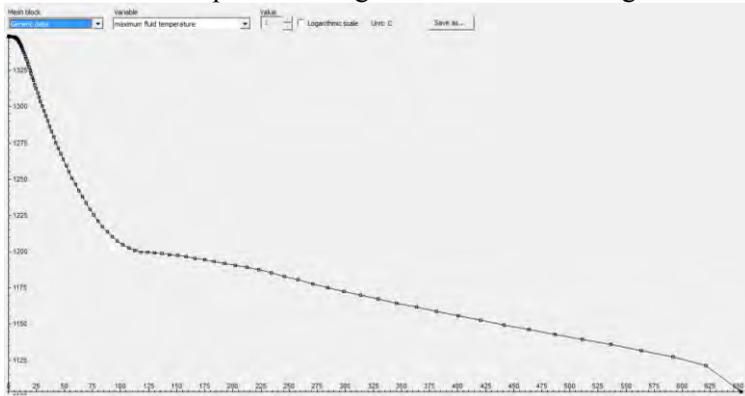
3. Dimensi *riser* : Diameter = 66,4 mm, Panjang *Gate* = 55 mm dan Tinggi = 120 mm.

Simulasi yang dilakukan yakni dengan menambahkan tinggi *riser* sebesar 10 mm dari tinggi *riser* awal, dan dari perhitungan didapatkan volume riser sebesar 415534,69 mm³. Model 3D dari pemasangan produk cor, sistem saluran, ventilasi, dan *riser* seperti pada gambar berikut :



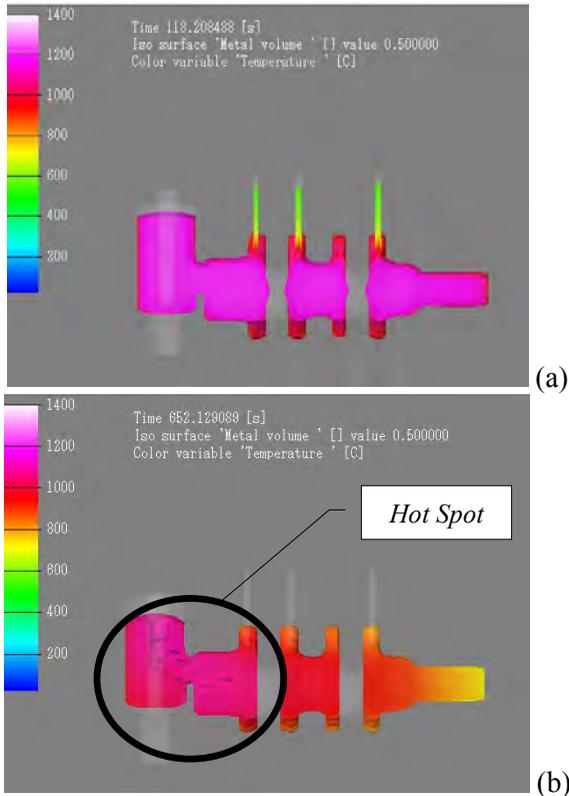
Gambar 5.7 Model 3D dan hasil cacat *shrinkage* pada simulasi menggunakan *blind riser* dengan tinggi + 10 mm.

Dari gambar diatas menunjukkan yakni dengan menambahkan tinggi *riser* sebesar 10 mm, didapatkan masih terjadi cacat *shrinkage* pada daerah produk cor, dengan persentase cacat total yakni sebesar 0,79 %, dibandingkan dengan penambahan tinggi *blind riser* sebesar 5 mm cacat yang terjadi hampir sama letak dan persentasenya. Secara teori, cacat *shrinkage* dengan pengaplikasian *riser* disebabkan karena masih terdapat titik panas (*hot spot*) pada produk cor yang tidak terisi logam cair dari *riser*, dimensi *riser* (tinggi dan diameter) yang kurang besar untuk memberikan tekanan. Dari simulasi, dengan menambahkan tinggi *riser* + 10 mm didapatkan data grafik solidifikasi sebagai berikut :



Gambar 5.8 Grafik solidifikasi FCD 600 pada pengecoran *crankshaft* dengan *blind riser* tinggi + 10 mm.

Dari gambar 5.8 diatas, untuk temperatur liquidus material FCD 600 sebesar 1200 °C, didapatkan yakni pada detik ke ± 118,20, dan untuk temperatur solidus yakni sebesar 1120 °C, didapatkan pada detik ke ± 653,12. Selanjutnya data gradien temperatur pada waktu 118,20 dan 652,12 detik, yakni sebagai berikut :



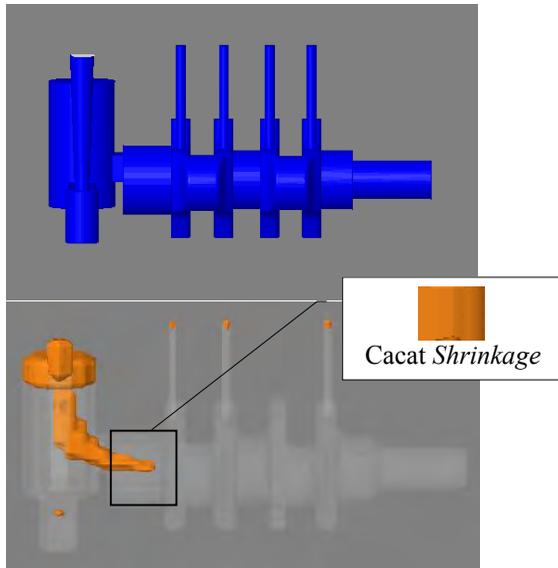
Gambar 5.9 Temperatur pada kondisi logam masih cair (a), dan setelah logam cair mulai fase padat (b) pada pengecoran dengan *blind riser* tinggi + 10 mm.

Dari gambar 5.9 (a) diatas dapat diketahui bahwa pada pada kondisi masih cair yakni pada waktu 118,20 detik setelah penuangan, bagian dalam dari produk cor mempunyai temperatur ± 1200 °C, ditunjukkan dengan warna merah muda dan pada bagian luar ± 1000 °C, ditunjukkan dengan warna merah, disini *riser* masih dapat mengisi rongga cetak karena masih dalam kondisi cair ditunjukkan pada gambar dengan berkurangnya volume logam cair dalam *riser*, hal ini terjadi hingga logam cair mengalami solidifikasi sepenuhnya.

Dan dari gambar 5.9 (b) untuk setelah kondisi logam cair mulai fase padat pada 652,12 detik setelah penuangan, bagian dalam produk cor didaerah yang ditunjukkan seperti pada gambar diatas masih terdapat *hot spot* yakni dengan temperatur ± 1100 °C diindikasikan dengan warna merah muda gelap, sedangkan pada bagian luar dan ujung poros antara 850 – 700 °C, diindikasikan dengan warna kuning hingga oranye. Terdapat *hot spot* pada bagian produk cor disebabkan karena dimensi riser belum cukup untuk memasok logam cair untuk mengisi rongga cetak, sehingga bagian dalam produk cor membeku bersama dengan *riser*, dan dapat disimpulkan bahwa dimensi perancangan *riser* masih belum tepat, sehingga masih perlu dilakukan perbaikan dengan penambahan tinggi + 15 mm.

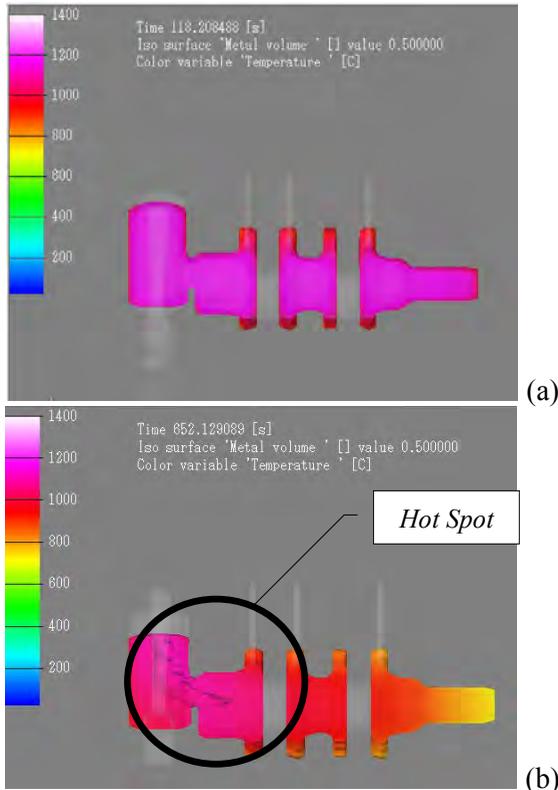
4. Dimensi *riser* : Diameter = 66,4 mm, Panjang *Gate* = 55 mm dan Tinggi = 125 mm.

Simulasi yang dilakukan yakni dengan menambahkan tinggi *riser* sebesar 15 mm dari tinggi *riser* awal, dan dari perhitungan didapatkan volume riser sebesar 432848,63 mm³. Model 3D dari pemasangan produk cor, sistem saluran, ventilasi, dan *riser* seperti pada gambar berikut :



Gambar 5.10 Model 3D dan hasil cacat *shrinkage* pada simulasi menggunakan *blind riser* dengan tinggi + 15 mm.

Gambar 5.10 diatas menunjukkan bahwa dengan menambahkan tinggi *riser* sebesar 15 mm, masih terjadi cacat *shrinkage* pada daerah produk cor, dengan persentase yakni sebesar 0,84 %, dibandingkan dengan penambahan tinggi *blind riser* sebesar 5 dan 10 mm cacat yang terjadi hampir sama letaknya, namun bentuk cacat lebih pipih dikarenakan persentase cacat yang lebih kecil. Data grafik solidifikasi pada penggunaan *blind riser* variasi ketinggian + 15 mm didapatkan sama dengan grafik pada gambar 5.8, selanjutnya dipilih data gradien temperatur pada waktu 118,208 dan 652,12 detik untuk menunjukkan lokasi *hot spot* yakni sebagai berikut :



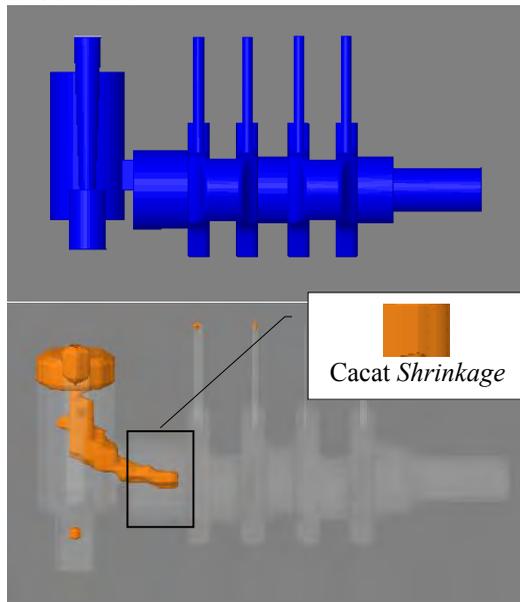
Gambar 5.11 Temperatur pada kondisi logam masih cair (a), dan setelah logam cair mulai fase padat (b) pada pengecoran dengan *blind riser* tinggi + 15 mm.

Dari gambar 5.11 diatas didapatkan bahwa pada pada kondisi masih cair yakni pada waktu 118,208 detik setelah penuangan, bagian dalam dari produk cor mempunyai temperatur ± 1200 °C ditunjukkan dengan warna merah muda yang merata, dan untuk pada bagian luar ± 1000 °C. Sedangkan setelah kondisi logam cair mulai fase padat yakni pada 652,12 detik setelah penuangan, pada bagian dalam produk cor didaerah yang ditunjukkan seperti pada gambar 5.12 (b) diatas masih terdapat *hot spot* yakni dengan temperatur ± 1100 °C, sedangkan pada bagian

luar dan ujung poros antara 800 – 650 °C. Karena masih didapatkan daerah titik panas (*hot spot*) pada bagian tengah poros yang tebal dan menyebabkan cacat *shrinkage* seperti pada gambar 5.10, maka perlu untuk dilakukan penambahan tinggi *riser*.

5. Dimensi *riser* : Diameter = 66,4 mm, Panjang *Gate* = 55 mm dan Tinggi = 130 mm.

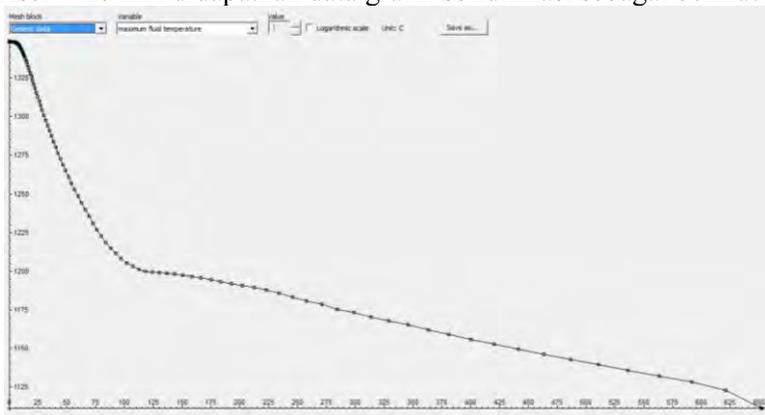
Simulasi yang dilakukan yakni dengan menambahkan tinggi *riser* sebesar 20 mm dari tinggi *riser* awal, dan dengan perhitungan didapatkan volume riser sebesar 450162,58 mm³. Untuk tinggi riser 130 mm ini sebagai batas penambahan tinggi pada simulasi pengecoran variasi tinggi dan diameter *blind riser*. Model 3D dari pemasangan produk cor, sistem saluran, ventilasi, dan *riser* seperti pada gambar berikut :



Gambar 5.12 Model 3D dan hasil cacat *shrinkage* pada simulasi menggunakan *blind riser* dengan tinggi + 20 mm.

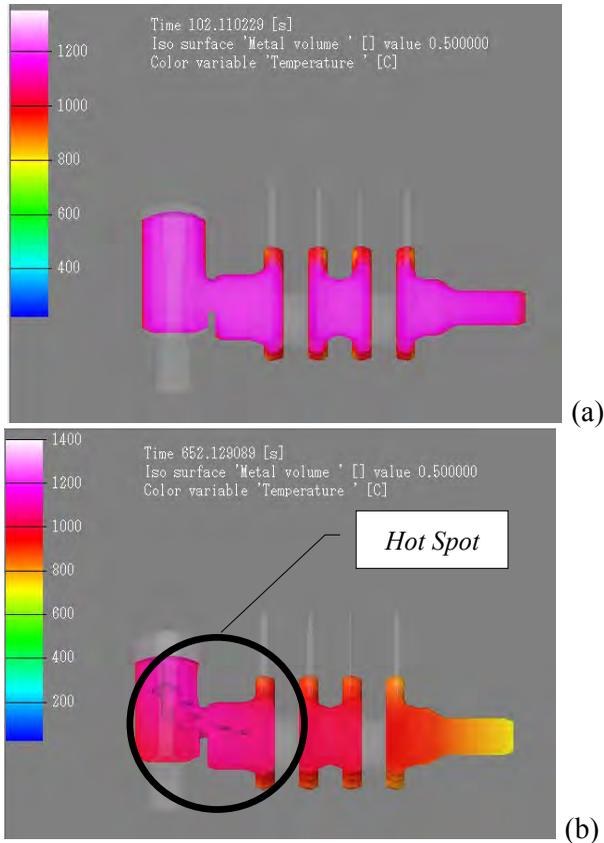
Seperti gambar 5.12 diatas menunjukkan bahwa, dengan menambahkan tinggi *riser* sebesar 20 mm, cacat *shrinkage* masih terjadi pada daerah produk cor, dengan persentase cacat total yakni

sebesar 0,91 %, dibandingkan dengan penambahan tinggi blind riser sebesar 5, 10, dan 15 mm, persentase cacat shrinkage yang terjadi lebih besar. Dari simulasi, dengan menambahkan tinggi riser + 20 mm didapatkan data grafik solidifikasi sebagai berikut :



Gambar 5.13 Grafik solidifikasi FCD 600 pada pengecoran *crankshaft* dengan *blind riser* tinggi + 20 mm.

Data temperatur liquidus material FCD 600 yakni sebesar 1200 °C, dari grafik diatas didapatkan pada detik ke ± 102,11, sedangkan untuk temperatur solidus yakni sebesar 1120 °C, didapatkan pada detik ke ± 652,12, solidifikasi dimulai setelah temperatur mengalami penurunan dibawah temperatur liquidus dan berakhir setelah mencapai temperatur solidus. Kemudian dari waktu tersebut didapatkan data gradien temperatur pada pengecoran yakni sebagai berikut :



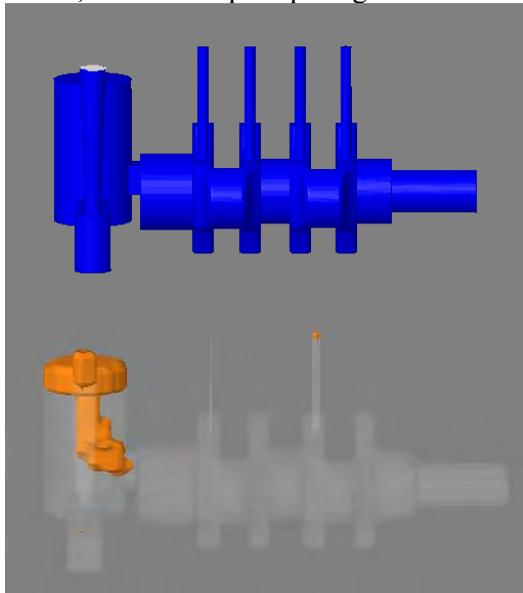
Gambar 5.14 Temperatur pada kondisi logam masih cair (a), dan setelah logam cair mulai fase padat (b) pada pengecoran dengan *blind riser* tinggi + 20 mm.

Pada gambar 5.14 (a) terlihat bagian dalam memiliki gradien warna merah muda dengan temperatur ± 1200 °C sehingga *riser* masih dapat mengisi bagian *crankshaft* karena logam masih cair. Dan dari gambar 5.14 (b) diatas didapatkan bahwa setelah kondisi logam cair mulai fase padat pada 652,12 detik setelah penuangan, pada bagian dalam produk cor didaerah yang dilingkari diatas masih terdapat *hot spot* yakni dengan temperatur ± 1100 °C, sedangkan pada bagian luar dan ujung poros antara $\pm 900 - 700$ °C.

Karena masih didapatkan titik panas (*hot spot*) pada daerah tengah poros yang menyebabkan cacat *shrinkage*, maka perlu untuk dilakukan penambahan tinggi *riser*.

6. Dimensi riser : Diameter = 71,4 mm, Panjang Gate = 55 mm dan Tinggi = 130 mm.

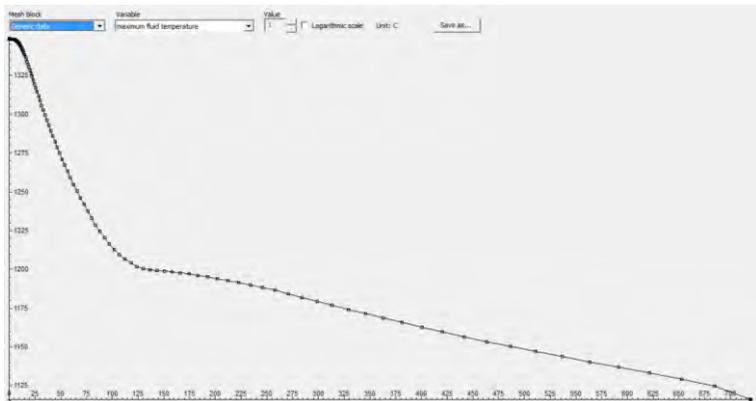
Simulasi yang dilakukan yakni dengan menambah diameter sebesar 5 mm pada diameter mula *blind riser* dan dengan tinggi 130 mm, dikarenakan variasi ketinggian dibatasi hanya sampai 130 mm agar ketebalan cetakan antara riser dengan permukaan luar tidak terlalu tipis yang dapat menyebabkan kerusakan cetakan (*ambrol*), dan dengan perhitungan didapatkan volume riser sebesar 520510,69 mm³. Model 3D dari pemasangan produk cor, sistem saluran, ventilasi, dan *riser* seperti pada gambar berikut :



Gambar 5.15 Model 3D dan hasil cacat *shrinkage* pada simulasi menggunakan *blind riser* dengan tinggi 130 mm, diameter + 5 mm.

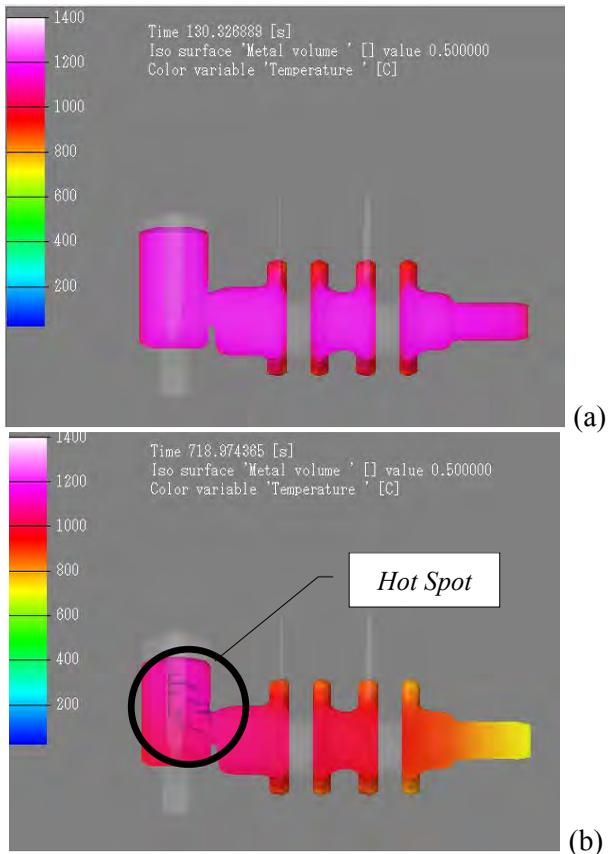
Dari gambar diatas dapat diketahui bahwa, dengan menambahkan diameter sebesar 5 mm pada tinggi *blind riser*

sebesar 130 mm, cacat *shrinkage* sudah tidak terjadi pada daerah produk cor dan hanya pada *riser*. Secara teori dan mengacu pada penelitian oleh **Zhou Gen (2005)[2]**, untuk mengatasi cacat *shrinkage* pada pengecoran menggunakan riser yakni dengan memperbesar dimensi *riser* (ketinggian dan diameter) dan menjaga jarak agar mempunyai tekanan untuk mengalirkan logam cair ke daerah titik panas yang belum terisi oleh *riser*, sehingga dapat disimpulkan bahwa perbaikan pengecoran sudah tepat, dan tidak dilakukan perbaikan kembali pada variasi tinggi dan diameter *blind riser*. Untuk grafik solidifikasi hasil simulasi yakni sebagai berikut :



Gambar 5.16 Grafik solidifikasi FCD 600 pada pengecoran *crankshaft* dengan *blind riser* tinggi + 20 mm dan diameter + 5 mm.

Diketahui temperatur liquidus material FCD 600 sebesar 1200 °C, dari grafik solidifikasi diatas didapatkan yakni pada detik ke ± 130,32, sedangkan untuk temperatur solidus yakni sebesar 1120 °C, didapatkan pada detik ke ± 718,97. Kemudian dari waktu tersebut didapat data gradien temperatur pada pengecoran yakni sebagai berikut :



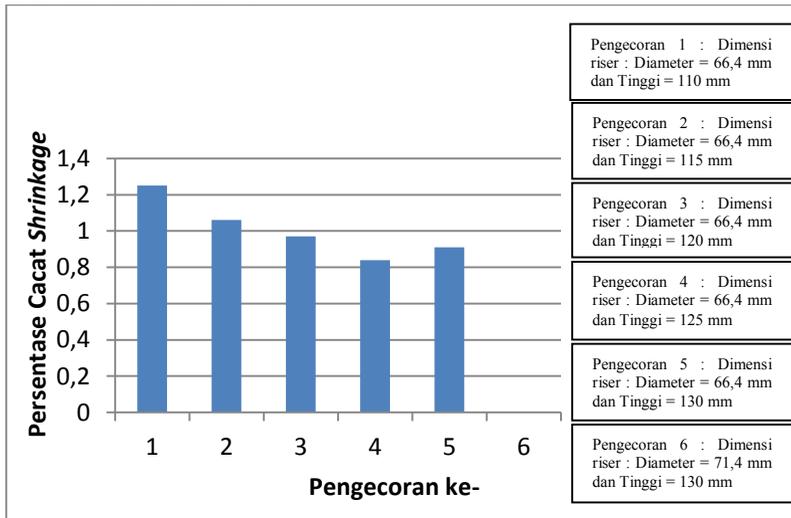
Gambar 5.17 Temperatur pada kondisi logam masih cair (a), dan setelah logam cair mulai fase padat (b) pada pengecoran dengan *blind riser* tinggi + 20 mm dan diameter + 5 mm.

Dari gambar 5.17 (a) diatas dapat diketahui bahwa pada pada kondisi masih cair yakni pada waktu 130,32 detik setelah penuangan, bagian dalam dari produk cor mempunyai temperatur ± 1200 °C dan pada bagian luar ± 1000 °C. Untuk setelah kondisi logam cair mulai fase padat yakni pada 718,97 detik setelah penuangan, pada bagian dalam produk cor didaerah yang ditunjukkan seperti pada gambar 5.19 (b) tidak terjadi titik panas,

dan hanya terdapat pada daerah *riser* dengan temperatur $\pm 1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ yakni diindikasikan dengan warna merah muda gelap, sedangkan pada bagian luar dan ujung poros antara $\pm 800 - 700\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Pada data solidifikasi pada masing-masing perbaikan pengecoran dengan *blind riser* variasi tinggi dan diameter, dapat dilihat bahwa semakin tinggi dan besar diameter *riser* yang mengakibatkan volume *riser* juga semakin besar, titik panas (*hot spot*) semakin bergeser ke kiri atau menuju *riser*, hal ini menyebabkan riser membeku paling akhir sehingga dapat mensuplai logam cair untuk mengisi rongga cetak. Hal ini dapat dibuktikan dengan waktu solidifikasi yang lebih lama dengan ditambahkan dimensi *riser*.

Berikut adalah grafik persentase cacat *shrinkage* yang terjadi pada perbaikan 1 sistem saluran dengan variasi tinggi dan diameter *blind riser* :



Gambar 5.18 Grafik persentase cacat *shrinkage* terhadap variasi tinggi dan diameter *blind riser*.

Grafik diatas menunjukkan persentase cacat pada tiap dilakukanya perbaikan dengan penambahan tinggi *riser*, dan juga menunjukkan bahwa dibutuhkan 5 kali langkah perbaikan untuk

menghilangkan cacat *shrinkage* pada *crankshaft*. Dengan persentase cacat pada masing-masing perbaikan dimensi *riser*, didapatkan bentuk trendline cacat pada hasil simulasi yang cenderung turun hingga pengecoran ke-4, kemudian naik dan turun lagi pada pengecoran ke-6. Pada pengecoran ke-1 didapatkan cacat sebesar 1,25 % yakni dengan volume *riser* sebesar 380906,79 mm³, kemudian turun pada pengecoran ke-2 dengan selisih 0,19% yakni sebesar 1,06 % dengan volume *riser* 398220,79 mm³. Pada pengecoran ke-3 selisih cacat yang kecil yakni 0,33% dengan volume *riser* sebesar 415534,69 mm³ , selanjutnya pada pengecoran ke-4 didapatkan trendline yang turun naik dengan selisih 0,15 % dari pengecoran ke-3 yakni dengan persentase cacat sebesar 0,84 %, volume riser pada pengecoran ke-4 yakni sebesar 432848,63 mm³. Lalu pada pengecoran ke-5 trendline grafik naik dengan persentase cacat sebesar 0,91 %, dan volume *riser*-nya sebesar 450162,58 m³. Selanjutnya trendline grafik menurun pada pengecoran ke-6 dimana sudah tidak terjadi cacat *shrinkage* pada *crankshaft* dengan volume riser sebesar 520510,69 m³.

Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa dengan bertambahnya tinggi *riser*, cacat *shrinkage* pada *crankshaft* tidak secara signifikan berkurang, dan perbedaan besar persentase cacat pada masing-masing pengecoran yakni dengan selisih antara 0,7 – 0,33 %.

5.3 Hasil Simulasi Perbaikan 1 Sistem Saluran dengan Variasi Diameter *Blind Riser*

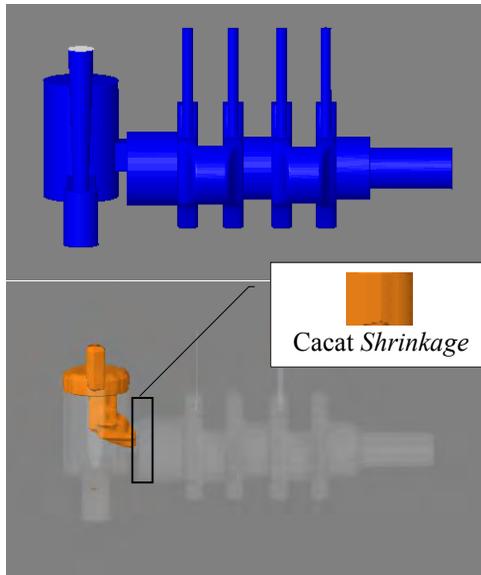
Jenis perbaikan selanjutnya yang dilakukan yakni dengan menambah diameter *riser* sebesar 5 mm, dengan tinggi tetap 110 mm. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh penambahan diameter terhadap cacat *shrinkage* dengan material FCD 600. Simulasi 1 sistem saluran dengan variasi diameter *blind riser* adalah sebagai berikut :

1. Dimensi riser : Diameter = 66,4 mm, Panjang Gate = 55 mm dan Tinggi = 110 mm.

Hasil simulasi sama dengan simulasi pertama yang dilakukan pada perbaikan 1 sistem saluran dengan variasi tinggi dan diameter *blind riser*. Yakni didapatkan kesimpulan bahwa perencanaan *riser* menggunakan metode **Foseco**[4] masih belum tepat karena didapatkan cacat *shrinkage* pada *crankshaft*, dan juga dari data simulasi didapatkan titik panas yang tidak dapat teraliri logam cair oleh *riser*, sehingga pada proses solidifikasi menyebabkan terjadinya cacat pada daerah titik panas tersebut, untuk itu perlu dilakukan perbaikan dengan menambah dimensi dari variabel bebasnya yakni penambahan diameter *riser*.

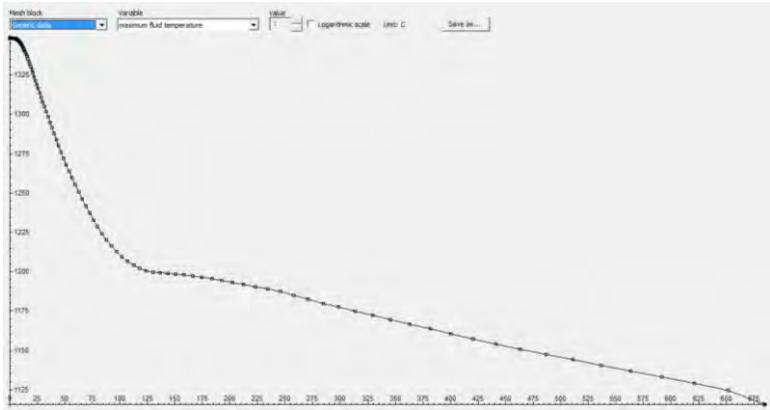
2. Dimensi riser : Diameter = 71,4 mm, Panjang Gate = 57,5 mm dan Tinggi = 110 mm.

Simulasi yang dilakukan yakni dengan menambahkan diameter *riser* sebesar 5 mm dari diameter *riser* awal, dan dari perhitungan didapatkan volume riser sebesar 440432,12 mm³. Model 3D dan hasil *meshing* didapatkan seperti pada gambar berikut :



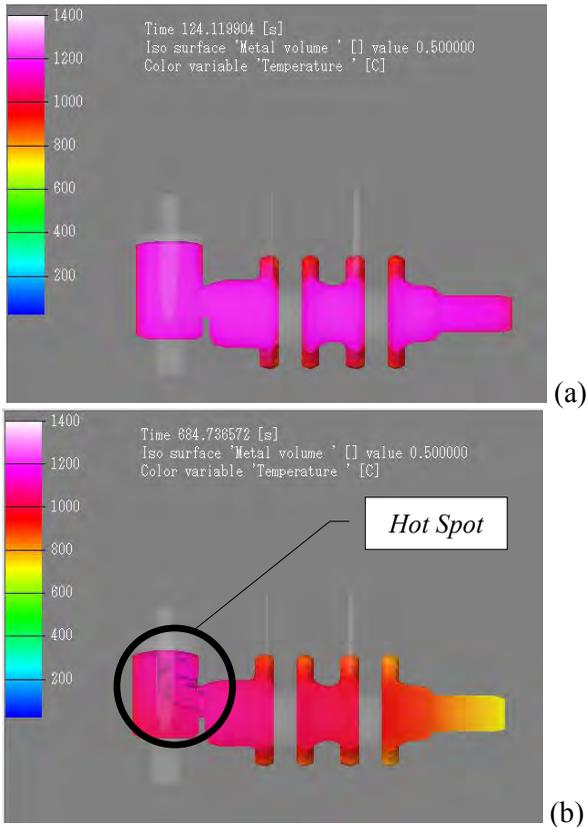
Gambar 5.19 Model 3D dan hasil cacat *shrinkage* pada simulasi menggunakan *blind riser* dengan diameter + 5 mm.

Dari gambar 5.19 diatas menunjukkan yakni dengan menambahkan diameter *riser* sebesar 5 mm, didapatkan masih terjadi cacat *shrinkage* pada daerah permukaan poros produk cor, dengan persentase cacat yakni sebesar 0,03 %, dibandingkan dengan perancangan mula metode **Foseco**[4], cacat total yang terjadi lebih besar persentasenya namun letak cacat *shrinkage* pada crankshaft jauh lebih berkurang dan yang terbesar terjadi pada *riser*. Data solidifikasi yang didapatkan dari hasil simulasi yakni sebagai berikut :



Gambar 5.20 Grafik solidifikasi FCD 600 pada pengecoran *crankshaft* dengan *blind riser* diameter + 5 mm.

Untuk temperatur liquidus material FCD 600 sebesar 1200 °C, dari grafik diatas didapatkan yakni pada detik ke ± 124,12 dan untuk temperatur solidus yakni sebesar 1120 °C, didapatkan pada detik ke ± 684,73, solidifikasi dimulai setelah temperatur mengalami penurunan dibawah temperatur liquidus dan berakhir setelah mencapai temperatur solidus. Data gradien temperatur pada pengecoran yakni sebagai berikut :



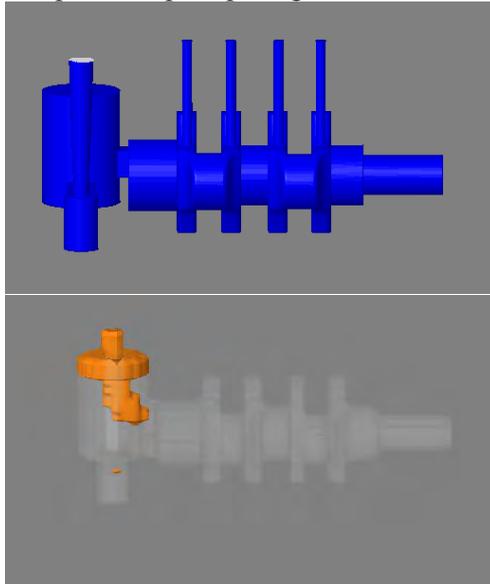
Gambar 5.21 Temperatur pada kondisi logam masih cair (a), dan setelah logam cair mulai fase padat (b) pada pengecoran dengan *blind riser* diameter + 5 mm.

Dari gambar 5.23 (b) diatas, untuk kondisi logam cair mulai fase padat pada 684,73 detik setelah penuangan, bagian ujung poros besar pada *crankshaft* masih terdapat *hot spot* yakni dengan temperatur ± 1100 °C, seperti yang ditunjukkan dengan gradien warna merah muda, disini *riser* masih dapat mengisi rongga cetak karena masih dalam kondisi cair ditunjukkan pada gambar dengan berkurangnya volume logam cair dalam *riser*, hal ini terjadi hingga logam cair mengalami solidifikasi sepenuhnya. . Sedangkan pada

bagian luar dan ujung poros yakni antara $\pm 800 - 600$ °C, diindikasikan dengan warna kuning hingga oranye. Terdapat *hot spot* pada bagian produk cor disebabkan karena dimensi riser belum cukup untuk memasok logam cair untuk mengisi rongga cetak, sehingga bagian dalam produk cor membeku bersama dengan riser, dan dapat disimpulkan bahwa dimensi perancangan riser masih belum tepat, sehingga masih perlu dilakukan perbaikan dengan penambahan diameter + 10 mm.

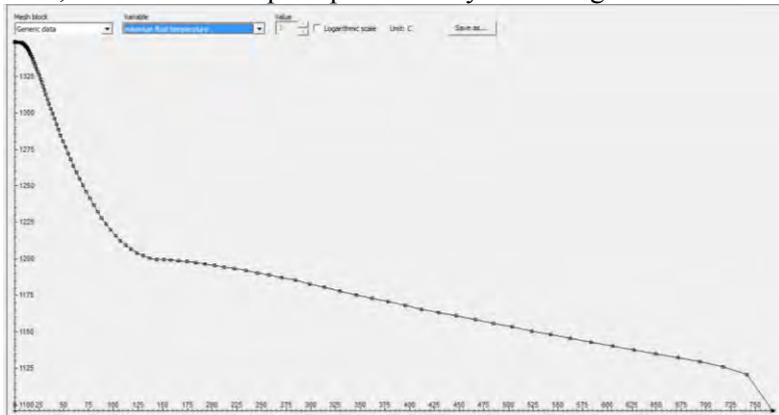
3. Dimensi riser : Diameter = 76,4 mm, Panjang Gate = 60 mm dan Tinggi = 110 mm.

Simulasi yang dilakukan yakni dengan menambahkan diameter riser sebesar 10 mm dari diameter riser awal (metode *Foseco* [4]), dan dari perhitungan didapatkan volume riser sebesar 504277,14 mm³. Model 3D, hasil *meshing*, dan hasil simulasi pengecoran didapatkan seperti pada gambar berikut :



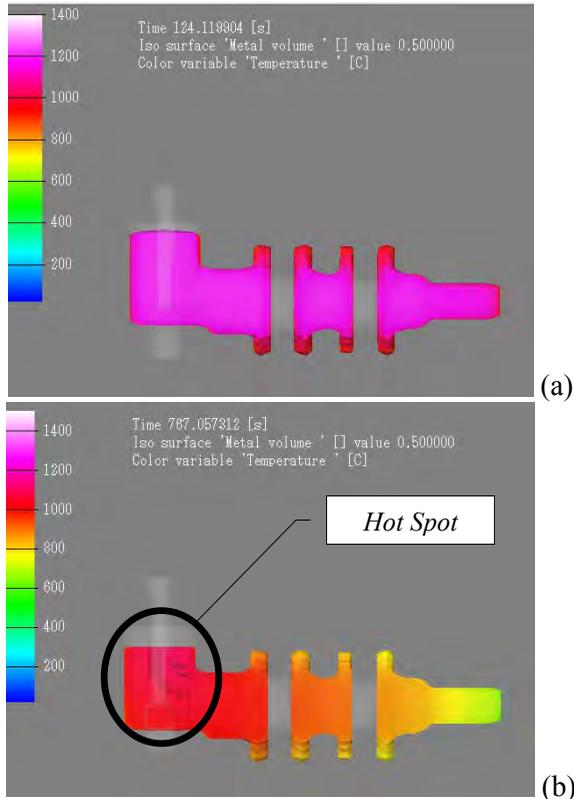
Gambar 5.22 Model 3D dan hasil cacat *shrinkage* pada pengecoran menggunakan *blind riser* dengan diameter + 10 mm.

Dengan menambahkan diameter *riser* sebesar 10 mm, didapatkan cacat *shrinkage* sudah tidak terjadi pada bagian *crankshaft*, dan cacat yang letaknya hanya pada *riser* saja. Hal ini menunjukkan dimensi perancangan riser sudah tepat dan tidak dilakukan lagi perbaikan dengan menambahkan diameter *blind riser*, data solidifikasi pada produk cor yakni sebagai berikut :



Gambar 5.23 Grafik solidifikasi FCD 600 pada pengecoran *crankshaft* dengan *blind riser* diameter + 10 mm.

Pada gambar 5.23 diatas, dengan temperatur liquidus material FCD 600 yakni sebesar 1200 °C, didapatkan pada detik ke ± 124,11, dan untuk temperatur solidus yakni sebesar 1120 °C, didapatkan pada detik ke ± 787,05. Dan data gradien temperatur pada pengecoran yakni sebagai berikut :

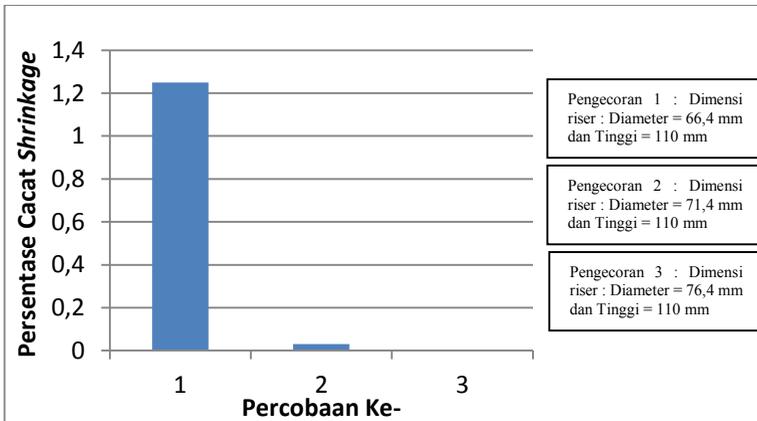


Gambar 5.24 Temperatur pada kondisi logam masih cair (a), dan setelah logam cair mulai fase padat (b) pada pengecoran dengan *blind riser* diameter + 10 mm.

Pada gambar 5.24 (a) didapatkan kondisi logam masih cair sehingga logam cair yang tersimpan dalam *riser* dapat mengisi/mensupplai ke dalam bagian *crankshaft*, dan untuk gambar 5.24 (b) diatas, kondisi logam cair mulai fase padat pada 767,05 detik setelah penuangan, seperti pada gambar tidak terdapat titik panas pada bagian *crankshaft*, dan hanya terjadi pada *riser*, hal ini menunjukkan bahwa perancangan *riser* sudah tepat, *riser* membeku paling akhir sehingga logam cair dari *riser* dapat mengisi sepenuhnya pada bagian titik panas dari *crankshaft*.

Seperti pada data solidifikasi pada masing-masing perbaikan pengecoran dengan *blind riser* variasi diameter, dapat dilihat bahwa semakin besar diameter *riser*, volume *riser* juga semakin besar, dan titik panas (hot spot) semakin bergeser ke kiri atau menuju *riser*, hal ini menyebabkan riser membeku paling akhir sehingga dapat mensuplai logam cair untuk mengisi rongga cetak. Hal ini dapat dibuktikan dengan waktu solidifikasi yang lebih lama dengan ditambahkan dimensi *riser*.

Grafik persentase cacat yang terjadi pada pengecoran *crankshaft* dengan *blind riser* variasi diameter adalah sebagai berikut :



Gambar 5.25 Grafik persentase cacat *shrinkage* terhadap variasi diameter *blind riser*.

Grafik diatas menunjukkan persentase cacat pada tiap dilakukanya perbaikan pengecoran dengan penambahan diameter, dan dibutuhkan 2 kali langkah perbaikan untuk menghilangkan cacat pada *crankshaft*. Dari grafik didapatkan bentuk trendline hasil simulasi terhadap cacat *shrinkage* yang naik pada pengecoran ke-2, kemudian turun pada pengecoran ke-3. Pada pengecoran ke-1 didapatkan cacat sebesar 1,25 % yakni dengan volume *riser* sebesar 380906,79 mm³, kemudian turun pada pengecoran ke-2 dengan selisih yang besar yakni 1,22%, dengan cacat shrinkage sebesar 2,98 % dan volume *riser* didapatkan 440432,12 mm³. Pada

pegecoran ke-3, cacat *shrinkage* sudah tidak terjadi pada produk cor yakni dengan volume *riser* sebesar $504277,14 \text{ mm}^3$.

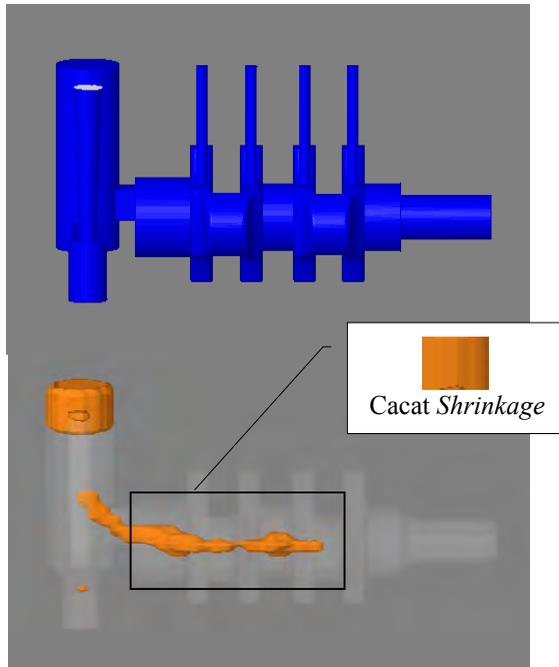
Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa dengan bertambahnya diameter *riser*, cacat *shrinkage* yang terjadi pada *crankshaft* secara signifikan berkurang, jika dibandingkan dengan penambahan variasi tinggi dan diameter *blind riser*, hal ini menunjukkan bahwa penambahan diameter lebih efektif dari pada penambahan tinggi, dikarenakan hanya dibutuhkan 2 kali langkah perbaikan untuk menghilangkan cacat pada *crankshaft* sedangkan dengan penambahan variasi tinggi dan diameter dibutuhkan 5 kali langkah perbaikan.

5.4 Hasil Simulasi Perbaikan 1 Sistem Saluran dengan Variasi Diameter *Open Riser*

Variabel bebas yang dapat diubah dari *open riser* adalah diameternya, sehingga perbaikan yang dilakukan yakni hanya dengan menambah diameter *riser* pada simulasi, dan material yang digunakan adalah FCD 600 dengan properti mengacu pada software yakni dengan kadar karbon sebesar 3,6 %C. Hasil simulasi 1 sistem saluran dengan variasi tinggi dan diameter *blind riser* adalah sebagai berikut :

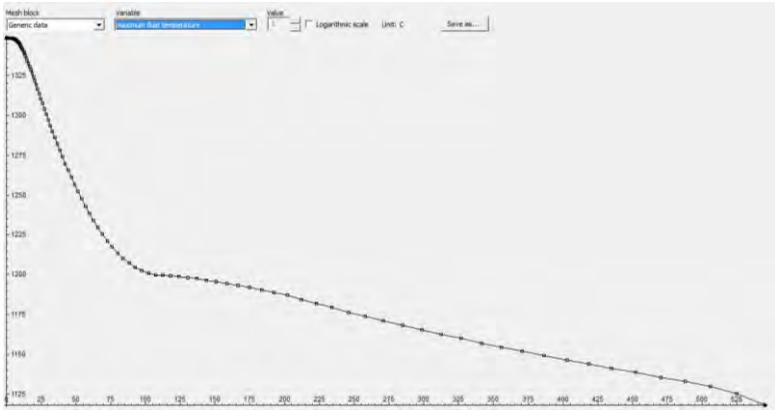
1. Dimensi *riser* : Diameter = 55 mm, Panjang *Gate* = 55 mm dan Tinggi = 161 mm.

Simulasi yang pertama dilakukan yakni dengan mengaplikasikan perencanaan *blind riser* menggunakan metode **Foseco[4]**, dan dari perhitungan didapatkan volume riser sebesar $382508,54 \text{ mm}^3$. Model 3D, hasil *meshing*, dan hasil simulasi pada software ditunjukkan seperti pada gambar berikut :



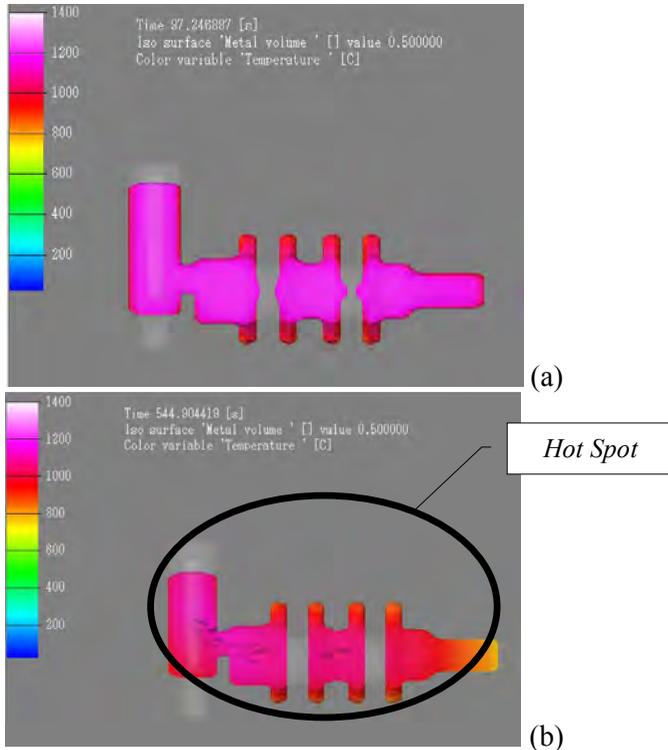
Gambar 5.26 Cacat *shrinkage* pada pengecoran menggunakan *open riser* sebelum dilakukan perbaikan dengan variasi diameter.

Pada gambar 5.26 diatas dengan mengaplikasikan perancangan riser menggunakan metode **Foseco**[4], masih terjadi cacat *shrinkage* pada daerah produk cor (diindikasikan dengan warna oranye), dengan persentase cacat total yakni sebesar 7,01 %. Secara teori, dan mengacu penelitian oleh **Zhou Gen (2005)**[2], penyebab terjadinya cacat *shrinkage* pada penggunaan *riser* yakni masih terdapat titik panas (*hot spot*) pada produk cor yang tidak terisi logam cair dari *riser*, dimensi *riser* (tinggi dan diameter) yang kurang besar untuk memberikan tekanan sehingga logam cair dapat mengisi, dan jarak antara riser dengan produk cor terlalu sempit, untuk itu perlu dilakukan perbaikan pengecoran dengan penambahan diameter. Dari simulasi didapatkan data solidifikasi pengecoran *crankshaft* dengan *open riser* yakni sebagai berikut :



Gambar 5.27 Grafik solidifikasi FCD 600 pada pengecoran *crankshaft* dengan *open riser*.

Dengan diketahui temperatur liquidus material FCD 600 sebesar 1200 °C, dari grafik diatas didapatkan yakni pada ± 97,34 detik setelah penuangan, dan untuk temperatur solidus yakni sebesar 1120 °C, didapatkan pada ± 621,07 detik setelah penuangan, solidifikasi dimulai setelah temperatur mengalami penurunan dibawah temperatur liquidus dan berakhir setelah mencapai temperatur solidus. Dari data waktu tersebut gambar gradien temperatur pada produk cor untuk mengetahui letak atau lokasi *hot spot*, yakni sebagai berikut :



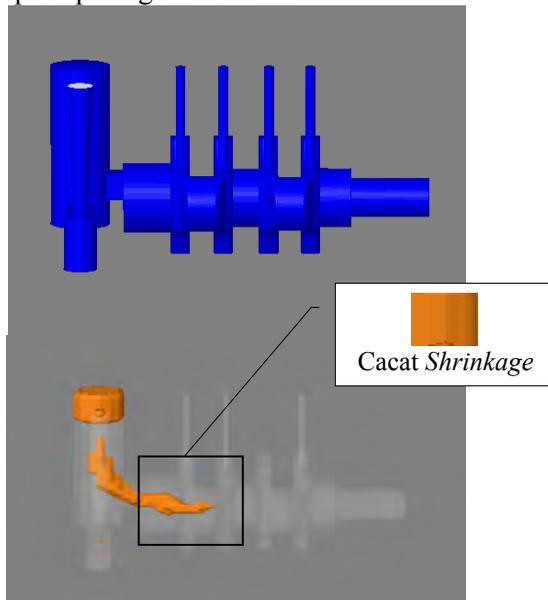
Gambar 5.28 Temperatur pada kondisi logam masih cair (a), dan setelah logam cair mulai fase padat (b) pada pengecoran dengan *open riser*.

Gambar 5.28 (a) diatas menunjukkan bahwa pada pada kondisi masih cair yakni pada waktu $\pm 97,24$ detik setelah penuangan, bagian dalam dari produk cor mempunyai temperatur batas liquidus ± 1200 °C dan pada bagian luar ± 1150 °C. Untuk setelah kondisi logam cair mulai fase padat pada 544,90 detik setelah penuangan, bagian dalam produk cor seperti pada gambar 5.28 (b) diatas masih terdapat *hot spot* yakni dengan temperatur antara $\pm 1100 - 1000$ °C, ditunjukkan dengan warna merah muda gelap hingga merah gelap, sedangkan pada bagian luar dan ujung poros antara $850 - 700$ °C, yakni dengan warna kuning hingga

oranye. Dari gambar tersebut dapat disimpulkan bahwa masih terjadi titik panas (*hot spot*) pada bagian *crankshaft*, yang menyebabkan cacat *shrinkage*, dan dapat disimpulkan bahwa dimensi perancangan *riser* masih belum tepat, sehingga perlu dilakukan perbaikan.

2. Dimensi *riser* : Diameter = 60 mm, Panjang *Gate* = 57,5 mm dan Tinggi = 161 mm.

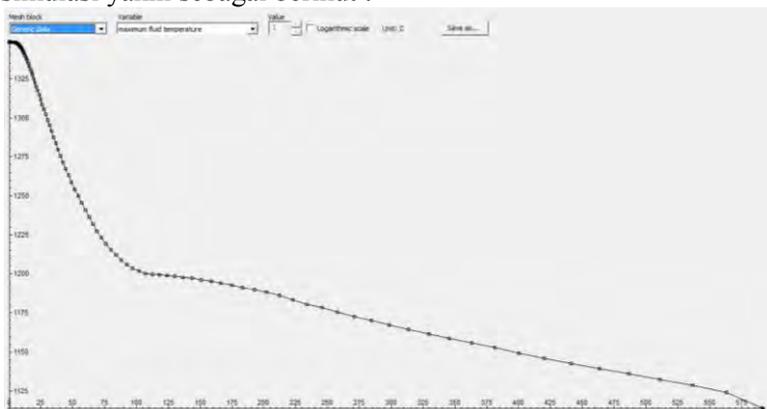
Simulasi yang dilakukan yakni dengan menambahkan diameter *riser* sebesar 5 mm, hal ini dimaksudkan untuk mengetahui efek penambahan diameter *riser* terhadap cacat *shrinkage* pada *open riser*, dan dari perhitungan didapatkan volume *riser* sebesar 455216,77 mm³. Model 3D dari pemasangan produk cor, hasil *meshing*, dan hasil simulasi dari *software* pengecoran seperti pada gambar berikut :



Gambar 5.29 Model 3D dan hasil cacat *shrinkage* pada pengecoran menggunakan *open riser* dengan diameter + 5 mm.

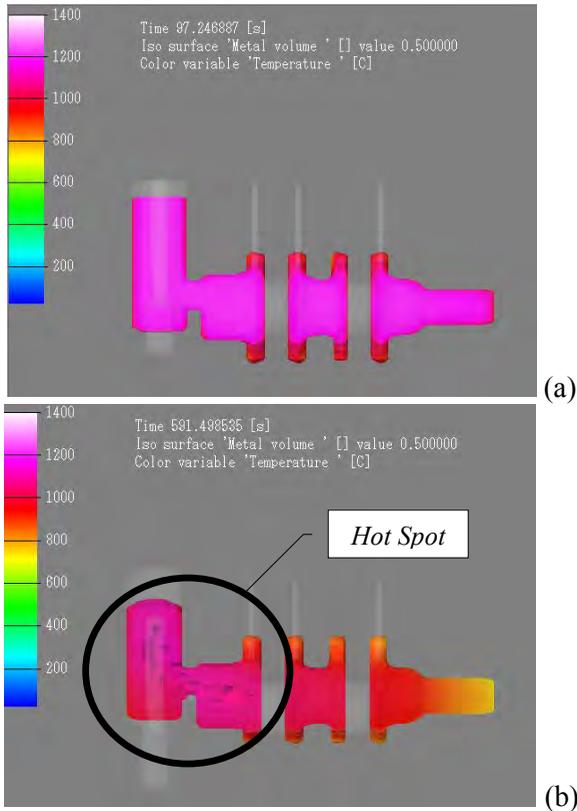
Dari gambar 5.29 hasil simulasi diatas, didapatkan yakni dengan menambahkan diameter *open riser* sebesar 5 mm, masih

terjadi cacat *shrinkage* pada daerah poros besar *crankshaft* seperti yang dilingkari pada gambar, namun dibandingkan dengan penggunaan dimensi riser mula, cacat yang terjadi secara signifikan berkurang dengan persentase cacat shrinkage total yang terjadi yakni sebesar 2,95 %. Karena masih terdapat cacat pada *crankshaft*, sehingga masih perlu dilakukan perbaikan dengan menambah diameter *riser*. Data grafik solidifikasi dari hasil simulasi yakni sebagai berikut :



Gambar 5.30 Grafik solidifikasi FCD 600 pada pengecoran *crankshaft* dengan *open riser* diameter + 5 mm.

Pada gambar 5.30 diatas, untuk temperatur liquidus material FCD 600 sebesar 1200 °C, didapatkan yakni pada ± 97,24 detik dan untuk temperatur solidus yakni sebesar 1120 °C, didapatkan pada ± 591,43 detik, untuk solidifikasi dimulai setelah temperatur mengalami penurunan dibawah temperatur liquidus dan berakhir setelah mencapai temperatur solidus. Data gradien temperatur pada waktu pengecoran tersebut yakni sebagai berikut :



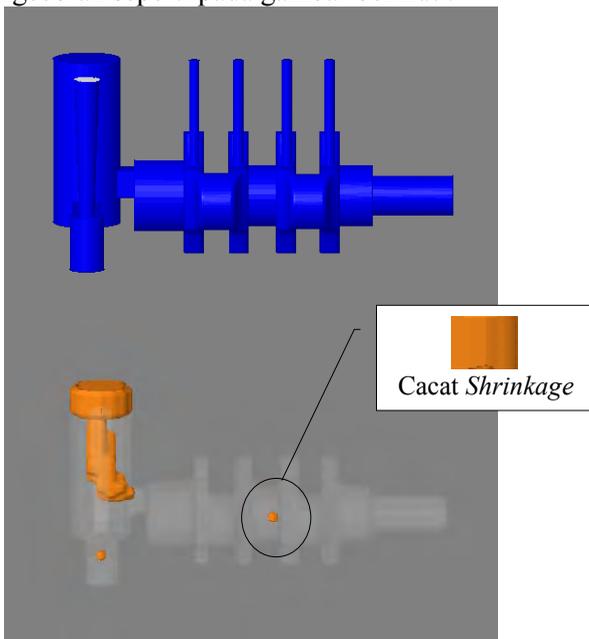
Gambar 5.31 Temperatur pada kondisi logam masih cair (a), dan setelah logam cair mulai fase padat (b) pada pengecoran dengan *open riser* diameter + 5 mm.

Dari gambar diatas dapat diketahui bahwa pada pada kondisi masih cair yakni pada waktu 97,24 detik setelah penuangan, bagian dalam dari produk cor mempunyai temperatur ± 1200 °C, ditunjukkan dengan warna merah muda, dan pada bagian luar ± 1100 °C ditunjukkan dengan warna merah, karena kondisi logam yang masih cair, *riser* masih dapat mengisi/mensupplai pasokan logam cair kedalam bagian *crankshaft*. Untuk setelah kondisi logam cair mulai fase padat pada 591,43 detik setelah penuangan, pada bagian dalam produk cor didaerah yang dilingkari seperti

pada gambar 5.31 (b) diatas masih terdapat *hot spot* pada bagian dalam *crankshaft* yakni dengan temperatur ± 1100 °C, sedangkan pada bagian luar dan ujung poros antara 800 – 700 °C. Hal ini menunjukkan bahwa masih terjadi titik panas yang tidak dapat teraliri logam cair oleh *riser* dan menyebabkan cacat *shrinkage*, dan dapat disimpulkan bahwa dimensi perancangan *riser* masih belum tepat, sehingga masih perlu dilakukan perbaikan penambahan diameter *riser*.

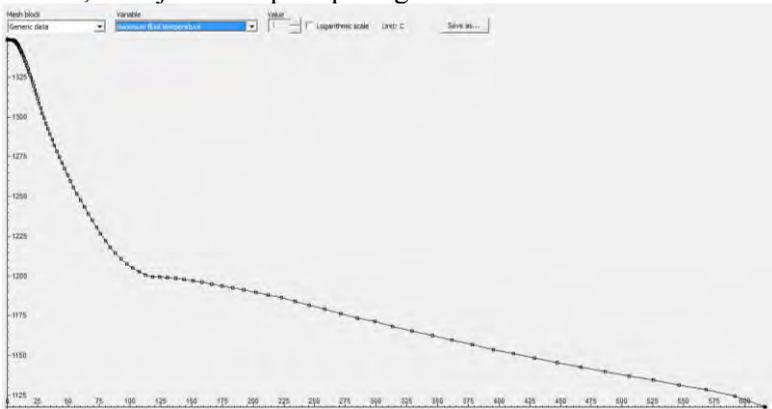
3. Dimensi *riser* : Diameter = 65 mm, Panjang *Gate* = 60 mm dan Tinggi = 161 mm.

Simulasi yang dilakukan yakni dengan menambahkan diameter *open riser* sebesar 10 mm, dan dari perhitungan didapatkan volume riser sebesar 534247,46 mm³. Model 3D dari pemasangan produk cor, hasil *meshing*, dan hasil simulasi dari *software* pengecoran seperti pada gambar berikut :



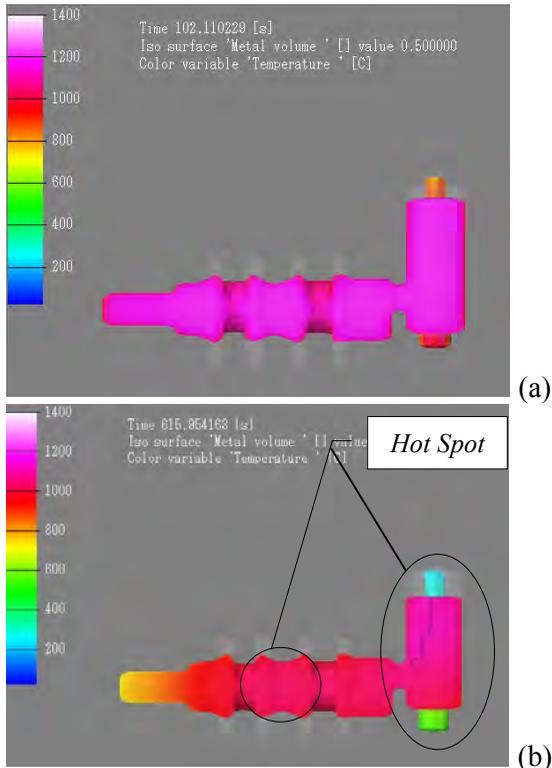
Gambar 5.32 Cacat *shrinkage* pada pengecoran menggunakan *open riser* dengan diameter +10 mm.

Seperti gambar 5.32 diatas menunjukkan bahwa, dengan menambahkan diameter *riser* sebesar 10 mm, cacat *shrinkage* masih terjadi pada daerah produk cor meskipun hanya sedikit pada daerah tengah *crankshaft*, dengan persentase cacat total yakni sebesar 0,07 %, dibandingkan dengan penambahan diameter *riser* sebesar 5 mm, cacat *shrinkage* pada *crankshaft* secara signifikan berkurang, dapat dilihat bahwa pada bagian poros yang tebal tidak terjadi cacat. Data solidifikasi pengecoran dengan diameter riser + 10 mm, ditunjukkan seperti pada gambar berikut :



Gambar 5.33 Grafik solidifikasi FCD 600 pada pengecoran *crankshaft* dengan *open riser* diameter + 10 mm.

Data temperatur liquidus material FCD 600 yakni sebesar 1200 °C, dari grafik diatas didapatkan pada detik ke ± 102,11, sedangkan untuk temperatur solidus yakni sebesar 1120 °C, didapatkan pada detik ke ± 615,954, karena solidifikasi dimulai setelah temperatur mengalami penurunan dibawah temperatur liquidus dan berakhir setelah mencapai temperatur solidus, dan dari data waktu tersebut didapatkan data gradien temperatur pada pengecoran yakni sebagai berikut :



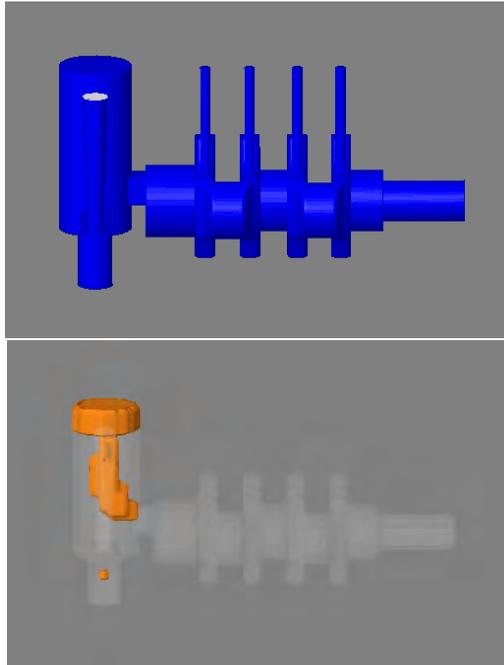
Gambar 5.34 Temperatur pada kondisi logam masih cair (a), dan setelah logam cair mulai fase padat (b) pada pengecoran dengan *open riser* diameter + 10 mm.

Pada gambar 5.34 (a) yakni pada waktu 102,11 detik setelah penuangan, kondisi logam masih cair sehingga *riser* dapat mengisi logam cair kedalam *crankshaft*, ditunjukkan dengan berkurangnya volume *riser* seperti pada gambar, dan untuk pada gambar 5.34 (b) diatas menunjukkan bahwa setelah kondisi logam cair mulai fase padat pada 615,95 detik setelah penuangan, bagian dalam produk cor pada didaerah yang dilingkari, masih terdapat *hot spot* yakni dengan temperatur ± 1100 °C, sedangkan pada bagian luar dan ujung poros antara 800 – 700 °C. Karena masih didapatkan *hotspot* pada *crankshaft*, sehingga dapat disimpulkan bahwa dimensi

perancangan *riser* masih belum tepat, sehingga masih perlu dilakukan perbaikan.

4. Dimensi *riser* : Diameter = 70 mm, Panjang *Gate* = 62,5 mm dan Tinggi = 161 mm.

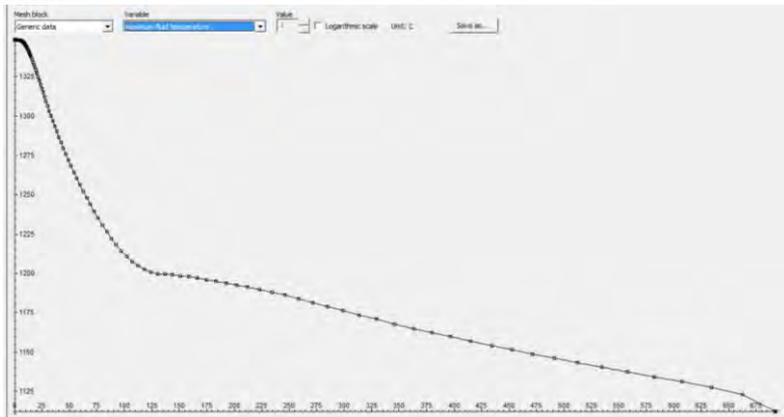
Simulasi yang dilakukan yakni dengan menambahkan diameter *open riser* sebesar 15 mm, dan dari perhitungan didapatkan volume *riser* sebesar 619600,61 mm³. Model 3D dari pemasangan produk cor, hasil *meshing*, dan hasil simulasi yakni sebagai berikut :



Gambar 5.35 Model 3D dan hasil cacat *shrinkage* pada pengecoran menggunakan *open riser* dengan diameter +15 mm.

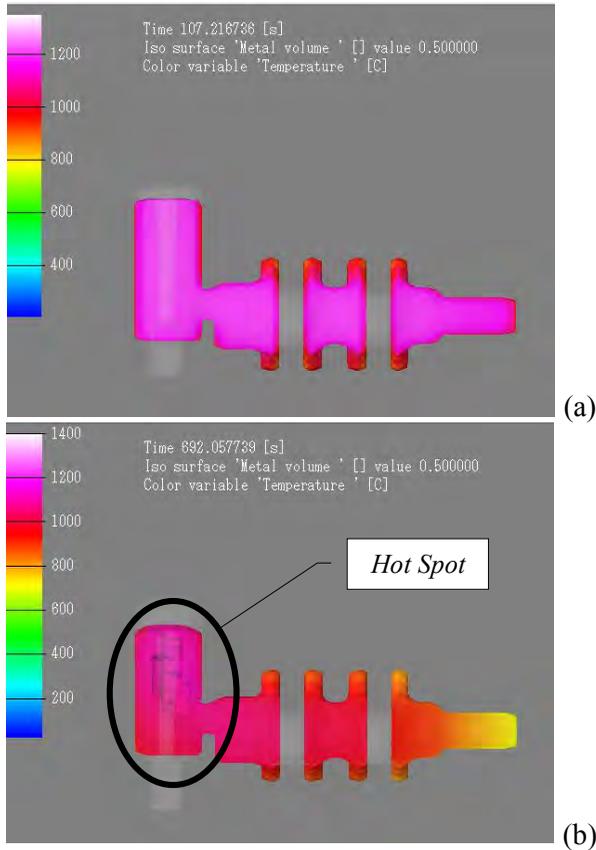
Dengan menambahkan diameter *open riser* sebesar 15 mm, cacat *shrinkage* sudah tidak terjadi pada bagian *crankshaft*, dengan persentase cacat total yakni sebesar 3 %, cacat total yang terjadi persentasenya lebih besar dari penambahan diameter *open riser* + 5 dan + 10 mm, namun letaknya hanya pada *riser* saja. Hal ini

menunjukkan dimensi perancangan *riser* sudah tepat dan tidak dilakukan lagi perbaikan dengan menambahkan diameter *open riser*, data solidifikasi pada simulasi pengecoran yakni sebagai berikut :



Gambar 5.36 Grafik solidifikasi FCD 600 pada pengecoran *crankshaft* dengan *open riser* diameter + 15 mm.

Data temperatur liquidus material FCD 600 yakni sebesar 1200 °C, dari gambar 2.39 diatas didapatkan pada detik ke ± 107,21, sedangkan untuk temperatur solidus yakni sebesar 1120 °C, didapatkan pada detik ke ± 692,05. Kemudian dari waktu tersebut didapatkan data gradien temperatur pada pengecoran yakni sebagai berikut :



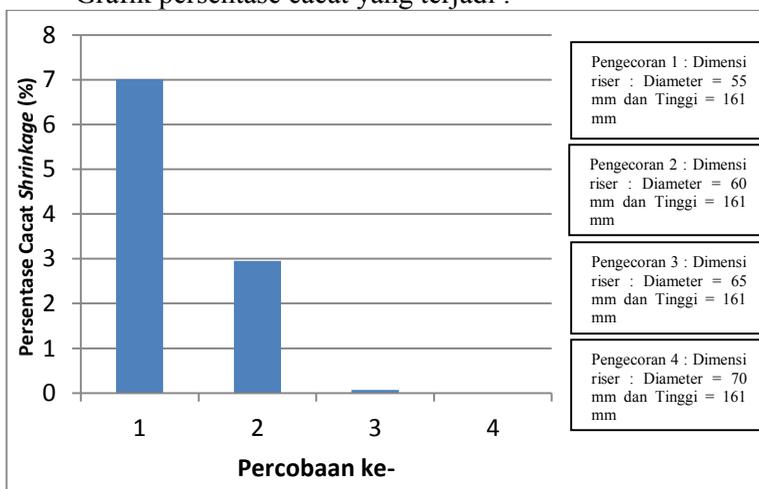
Gambar 5.36 Temperatur pada kondisi logam masih cair (a), dan setelah logam cair mulai fase padat (b) pada pengecoran dengan *open riser* diameter + 15 mm.

Dari gambar diatas didapatkan bahwa pada pada kondisi masih cair yakni pada waktu 183,39 detik setelah penuangan, bagian dalam dari produk cor mempunyai temperatur ± 1200 °C dan pada bagian luar ± 1000 °C. Untuk setelah kondisi logam cair mulai fase padat pada 682,06 detik setelah penuangan, seperti pada gambar tidak terdapat titik panas pada bagian *crankshaft*, dan hanya terjadi pada *riser*, hal ini menunjukkan bahwa perancangan

riser sudah tepat, logam cair dari riser dapat mengisi sepenuhnya pada bagian titik panas dari *crankshaft*.

Pada data solidifikasi masing-masing perbaikan pengecoran dengan *open riser* variasi diameter, dapat dilihat bahwa semakin besar diameter *riser*, volume *riser* juga semakin besar, dan titik panas (hot spot) semakin bergeser ke kiri atau menuju *riser*, hal ini menyebabkan riser membeku paling akhir sehingga dapat mensuplai logam cair untuk mengisi rongga cetak. Hal ini dapat dibuktikan dengan waktu solidifikasi yang lebih lama dengan ditambahkan dimensi *riser*.

Grafik persentase cacat yang terjadi :



Gambar 5.37 Grafik persentase cacat *shrinkage* terhadap variasi diameter *open riser*.

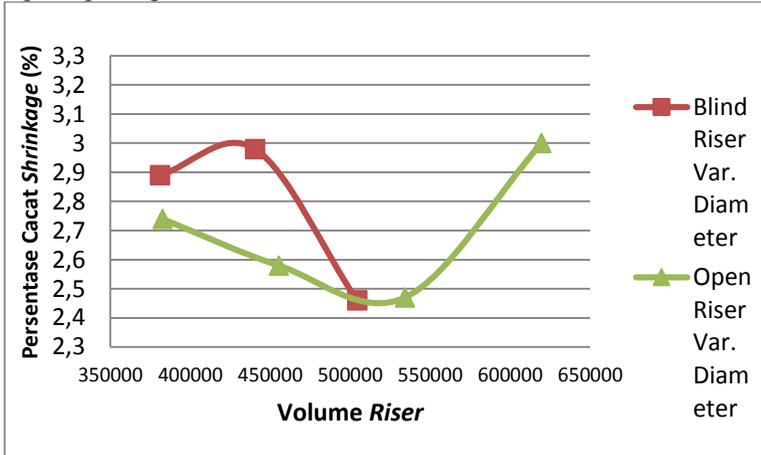
Dari Grafik diatas menunjukkan persentase cacat tiap dilakukanya perbaikan pengecoran dengan penambahan diameter pada pengaplikasian *open riser*, dan dibutuhkan 3 kali langkah perbaikan untuk menghilangkan cacat pada *crankshaft*. Dari grafik didapatkan bentuk trendline hasil simulasi terhadap cacat *shrinkage* yang cenderung turun hingga pengecoran ke-3, kemudian naik pada pengecoran ke-4. Pada pengecoran ke-1 didapatkan cacat sebesar 7,01 % yakni dengan volume *riser*

sebesar 382508,54 mm³, kemudian turun pada pengecoran ke-2 dengan selisih 4,06 % yakni sebesar 2,95 % dengan volume *riser* 455216,77 mm³. Pada pengecoran ke-3 grafik turun sekali lagi dengan selisih cacat yang besar yakni 2,92 % dengan volume *riser* sebesar 534247,46 mm³. Dan pada pengecoran ke-5 cacat *shrinkage* sudah tidak terjadi pada bagian *crankshaft*.

Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa dengan bertambahnya diameter *open riser*, cacat *shrinkage* yang terjadi pada *crankshaft* secara signifikan berkurang, jika dibandingkan dengan penambahan diameter pada *blind riser*, penggunaan *blind riser* lebih baik dari pada *open riser*, karena pada *open riser* membutuhkan 3 kali perbaikan sedangkan pada *blind riser* hanya membutuhkan 2 kali perbaikan. Hal ini disebabkan juga karena pada *open riser* logam cair yang tersimpan pada *riser* mengalami penurunan temperatur yang lebih cepat diakibatkan pendinginan oleh udara, dan dapat dilihat seperti pada hasil titik panas (*hot spot*) pada simulasi, pada *open riser* logam cair membeku pada 682,06 detik sedangkan pada *blind riser* 767,82 detik setelah penuangan.

5.5 Volume Riser Vs. Cacat Shrinkage

Pengaruh volume riser terhadap cacat *shrinkage* yakni seperti pada grafik berikut ;



Gambar 5.38 Grafik persentase cacat *shrinkage* terhadap volume riser.

Grafik diatas menunjukkan efek volume riser terhadap cacat *shrinkage*, dari grafik didapatkan dengan volume 504277,14 m³ pada blind riser dengan variasi diameter cacat *shrinkage* pada *crankshaft* sudah teratasi dengan persentase cacat 2,46 %, sedangkan dengan variasi diameter pada *open riser* dibutuhkan volume 619600,61 m³ untuk menghilangkan cacat *shrinkage* pada *crankshaft*.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa penggunaan *blind riser* dengan variasi diameter lebih baik dari pada penggunaan *open riser* dengan variasi diameter, karena dibutuhkan volume riser yang lebih kecil yakni sebesar 504277,14 m³ untuk menghilangkan cacat pada *crankshaft*. Dan juga pada *blind riser* dengan variasi diameter hanya dibutuhkan 2 kali langkah perbiakan, sedangkan pada *open riser* yakni 3 kali. Hal ini dikarenakan pada *blind riser* panas seluruhnya masih terisolasi didalam cetakan sedangkan untuk *open riser* pada daerah permukaan atas riser terjadi pendinginan udara sehingga kemampuan untuk mengalirkan logam

cair berkurang karena logam cair cepat membeku, dan dibuktikan dengan grafik solidifikasi yang lebih pendek dari pada *blind riser*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan analisa ini didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Dengan dilakukannya simulasi pengecoran didapatkan cacat yang sama dengan secara eksperimen, namun untuk secara simulasi cacat *shrinkage* yang terjadi didalam permukaan produk cor dapat diketahui, sedangkan untuk secara eksperimen harus dilakukan uji dengan X-ray untuk melihat cacat yang ada didalam produk cor (*crankshaft*).
2. Dengan mengaplikasikan *blind riser* didapatkan dimensi yang optimal agar tidak terjadi cacat *shrinkage* pada *crankshaft*, yakni pada variasi penambahan tinggi dan diameter : untuk diameter = 71,4 mm, panjang *gate* = 55 mm, dan tinggi = 130 mm .Sedangkan untuk pada perbaikan hanya dengan variasi diameter : yakni dengan diameter = 76,4 mm dan tinggi = 110 mm.
3. Dengan mengaplikasikan *open riser* didapatkan dimensi yang optimal agar tidak terjadi cacat *shrinkage* pada *crankshaft*, yakni pada variasi penambahan diameter : untuk diameter = 70 mm, panjang *gate* = 62,5 mm, dan tinggi = 161 mm.
4. Dimensi *riser* yang optimum untuk menghilangkan cacat *shrinkage* berdasarkan *davolume riser* yakni menggunakan *blind riser* variasi diameter yakni dengan volume sebesar 504277,14 mm³, karena didapatkan volume *riser* yang lebih kecil dibandingkan penggunaan *blind riser* dengan variasi diameter dan tinggi yakni sebesar 520510,69 mm³, juga *open riser* dengan variasi diameter yakni sebesar 619600,61 mm³.
5. Dari data solidifikasi dan gradien temperatur didapatkan bahwa, dengan menggunakan dimensi *rier* yang semakin besar, maka volume *riser* juga semakin besar, dan titik

panas (hot spot) semakin bergeser ke kiri atau menuju *riser*, sehingga menyebabkan *riser* membeku paling akhir sehingga dapat mensuplai logam cair untuk mengisi rongga cetak, dan juga hal ini dapat dibuktikan dengan waktu solidifikasi yang lebih lama dengan ditambahkan dimensi *riser*.

6.2 Saran

1. Dilakukan pengecoran dengan dimensi riser yang telah optimal secara simulasi untuk memvalidasi kembali hasil pengecoran secara eksperimen.
2. Harus menggunakan material dengan komposisi kimia yang standar, karena komposisi kimia mempengaruhi *castability* suatu material pada pengecoran.
3. Dilakukan pengecoran secara simulasi dengan dua crankshaft sekaligus untuk dan mengoptimasi pengecoran, untuk menghemat waktu dan pembuatan cetakan.
4. Mengembangkan software pengecoran untuk dapat menghitung cacat *shrinkage* hanya pada daerah tertentu secara otomatis.

LAMPIRAN

1. Data properti *Ductile Cast Iron* FCD60

ASTM 80-60-03 (ISO 600-3, EN-JS 1060) Ductile Cast Iron		
Iron		
View(s) of Metal - Iron Alloy - Cast Iron - Ductile (Modular; Spheroidal) Cast Iron		
Siblings	ASTM 60-40-18 (ISO 400-18, EN-JS 1025) Ductile Cast Iron	ASTM 70-50-05 (ISO 500-7, EN-JS 1050) Ductile Cast Iron
	ASTM 120-90-02 (ISO 800-2, EN-JS 1060) Ductile Cast Iron	ASTM 65-45-12 (ISO 450-10) Ductile Cast Iron
Properties Compare	Bulk Modulus	120 GPa, or 17 10 ⁸ psi
	Density	7.2 g/cm ³ , or 440 lbm/ft ³
	Elastic (Young's) Modulus	174 GPa, or 25.2 10 ⁸ psi
	Elongation at Break - Typical	3 %
	Fracture Toughness	20 MPa·m ^{1/2}
	Hardness - Brinell	190 to 270
	Maximum Temperature - Onset of Melting (Solidus)	1120 °C, or 2040 °F
	Poisson's Ratio	0.275
	Resilience - Unit, Per Volume	
	Ultimate (Unit Rupture Work), Per Volume	
	Unit, Per Mass	
	Ultimate, Per Mass	
	Shear Modulus	87 GPa, or 12 10 ⁸ psi
	Shear Strength	450 MPa, or 65 10 ⁸ psi
	Specific Heat Capacity - Conventional	461 J/kg·K
	Volumetric	3300 J/m ³ ·K
	Speed of Sound	150 10 ³ m/s, or 490 10 ³ ft/s
	Stiffness-to-Weight Ratio - Bulk	17 lb/in ³
	Shear	12 lb/in ³
	Tensile	24 lb/in ³
	Strength-to-Weight Ratio - Shear	62 lb/in ³
	Tensile, Ultimate	76 to 83 lb/in ³
	Tensile, Yield	51 to 57 lb/in ³
	Tensile Strength - Ultimate	552 to 600 MPa, or 80.0 to 87 10 ⁸ psi

Yield (Proof)	370 to 414 MPa, or 53 to 60.0 10 ³ psi
Thermal Conductivity - Ambient	32.5 to 36 W/m·K
Thermal Diffusivity	
Thermal Expansion - 20 to 100°C	10.5 to 11.2 μm/m·K
20 to 200°C	
20 to 300°C	
20 to 500°C	
20 to 600°C	

See Also Hans Berns and Werner Theisen, *Ferrous Materials: Steel and Cast Iron*, 2008 ([link](#)).

John E. Briggas (editor), *Handbook of Comparative World Steel Standards*, 3rd ed., 2004.

Properties and Selection: Irons, Steels and High Performance Alloys, ASM Handbook vol. 1, ASM International, 1993 ([link](#)).

Copyright 2009-13 imh + Terms

2. Komposisi kimia FCD

	C	Si	Mn	P	S	CE
FC 150	3.70 3.60 - 3.80	2.10 1.90 - 2.30	0.40 0.40 - 0.60	< 0.08	<0.08	4.42
FC 200	3.50 3.35 - 3.65	2.00 1.80 - 2.20	0.50 0.40 - 0.60	"	"	4.19
FC 250	3.30 3.20 - 3.40	1.90 1.70 - 2.10	0.60 0.50 - 0.70	"	"	3.95
FC 300	3.20 3.10 - 3.30	1.70 1.60 - 1.90	0.80 0.60 - 0.80	"	"	3.78
FC 350	3.10 3.00 - 3.20	1.60 1.50 - 1.80	0.90 0.70 - 0.90	"	"	3.65
FCD 400	3.80 3.70 - 3.80	2.20 2.00 - 2.40	0.30 0.20 - 0.40	< 0.05	< 0.02	4.55
FCD 450	3.70 3.60 - 3.80	2.20 2.00 - 2.40	0.40 0.30 - 0.50	"	"	4.44
FCD 500	3.70 3.60 - 3.80	2.10 2.00 - 2.20	0.60 0.40 - 0.70	"	"	4.41
FCD 600	3.60 3.5 - 3.70	2.00 1.90 - 2.10	0.80 0.70 - 0.90	"	"	4.29

3. Thermal conductivity metal to mould

interface	HTC (W/m^2K)	notes	ref.
Al-copper chill	HTC(t): 2000-200	interface gap	1
Al-copper chill	HTC(t): 2000-1000	interface contact	1
Al4.5Cu-metal chill	1900-2200	interface contact	2
Al-copper chill	1200		6
Al-copper chill	1750	suggestions for HTC = HTC(T)	6
Al4.5Cu-steel chill	4400	polished steel, thickness = 1mm	7
Al4.5Cu-chill	2000	perfect chill	7
Al-copper chill	HTC(t): 1500-200		11
AlSi-copper chill	HTC(t): 2000-500	roughness, composition	12
Al alloys-steel die	1150		3
Al4.5Cu-metal mold	420		4
AlCu-steel mold	1900	coating (0.1mm)	7
AlSi-brass	HTC(t): 2000-500	roughness, composition	12
AlSi-steel	HTC(t): 2000-500	roughness, composition	12
AlSi-cast iron	HTC(t): 2000-500	roughness, composition	12
Al4.5Cu-sand mold	42		4
cast iron-sand mold	334.9		5
steel-sand mold	20.9		9
iron-iron mold	500	imperfect contact	10
iron-iron mold	1000	perfect contact	10