



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PERANCANGAN DAN SIMULASI PENGECORAN  
PADA PEMBUATAN CASING TURBIN UAP  
DIRECT CONDENSING 3,5 MW**

**TESIS**

**KHAMDA HERBANDONO  
0806477415**

**FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL  
DEPOK  
JUNI 2011**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PERANCANGAN DAN SIMULASI PENGECORAN  
PADA PEMBUATAN CASING TURBIN UAP  
DIRECT CONDENSING 3,5 MW**

**TESIS**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik**

**KHAMDA HERBANDONO  
0806477415**

**FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL  
DEPOK  
JUNI 2011**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar

Nama : Khamda Herbandono

NPM : 0806477415

Tanda Tangan : 

Tanggal : Juni 2011

## LEMBAR PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :

Nama : Khamda Herbandono  
NPM : 0806477415  
Program Studi : S-2 Teknik Metalurgi dan Material  
Judul Tesis : Perancangan dan Simulasi Pengecoran pada Pembuatan Casing Turbin Uap Direct Condensing 3,5 MW

**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik, pada Program Studi S-2 Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia**

### DEWAN PENGUJI

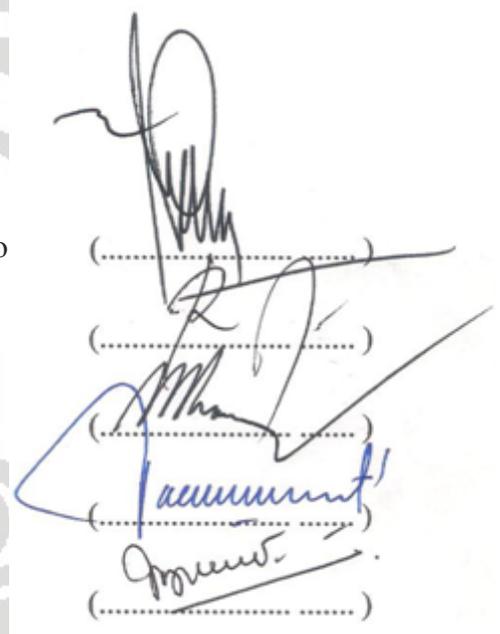
Pembimbing 1 : Prof. Dr.-Ing. Ir. Bambang Suharno

Pembimbing 2 : Deni Ferdian S.T., M.Sc

Penguji 1 : Dr. Ir. Muhammad Anis M.Met.

Penguji 2 : Dr. Ir. Donanta Dhaneswara M.Si

Penguji 3 : Dr. Ir. Myrna Ariati Mochtar M.S.



(.....)

(.....)

(.....)

(.....)

(.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : Juni 2011

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT., karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan tesis ini. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Teknik Program studi S-2 Teknik Metalurgi dan Material pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

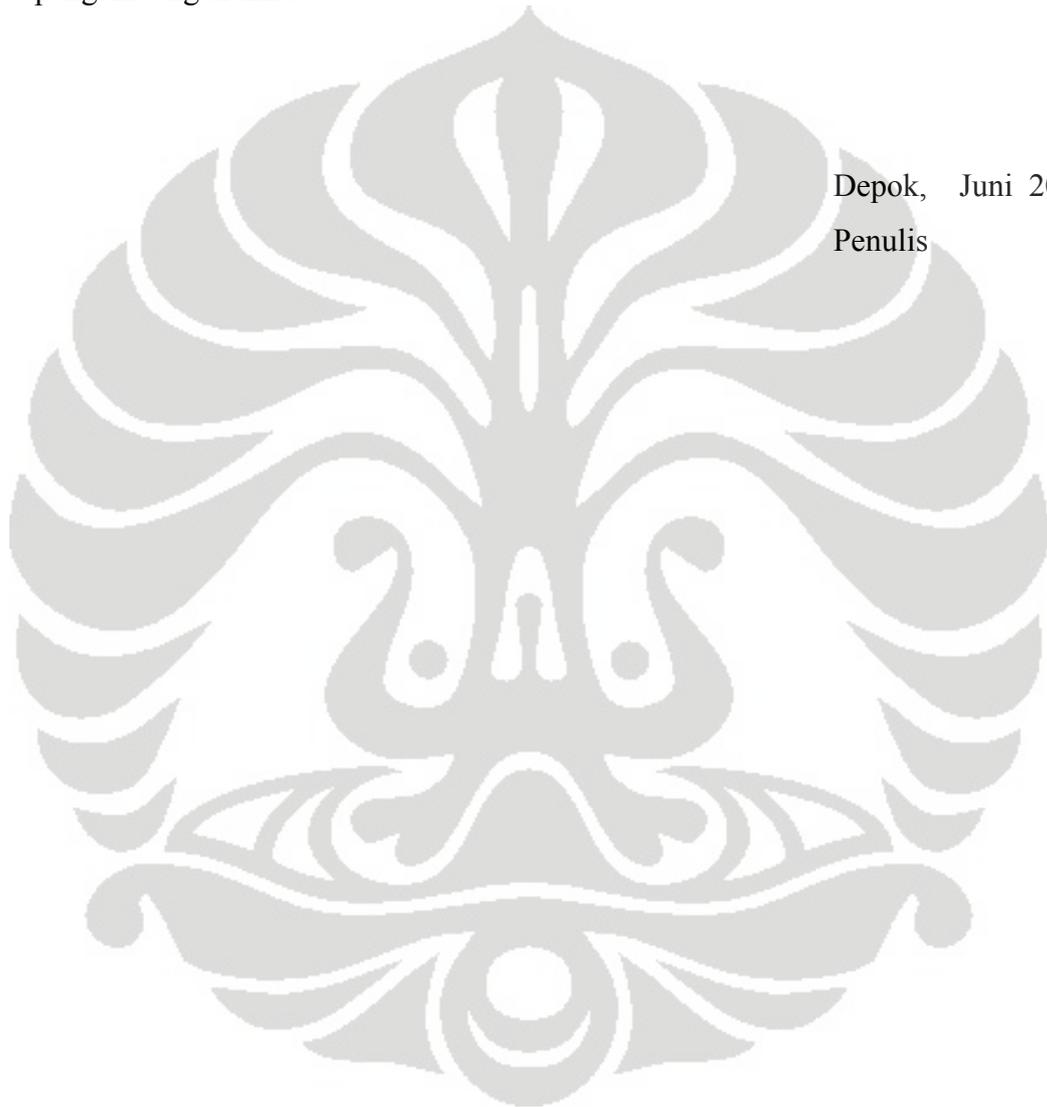
- (1) Prof. Dr-Ing. Ir. Bambang Suharno selaku dosen pembimbing I dan Ir. Deni Ferdian, MSi selaku dosen pembimbing II yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan serta membimbing saya dalam penyusunan tesis ini;
- (2) Dr. Ir. Erzi Agson Gani, M.Eng selaku Direktur Pusat Teknologi Industri Manufaktur – BPPT; Ir. Arli Guardi; Ir. Bagus Trisaptono; Ir. Triadi Kaswanto, MM; Ir. Sumartono (Alm), Ir. Rudias Harmadi, MT, Ir. Margono, Wismono dan rekan-rekan dikantor lainnya yang telah memberikan dukung untuk menyelesaikan studi dan tesis ini. Serta PUSBINDIKLAT – BPPT yang telah memberikan beasiswa untuk studi ini.
- (3) Rekan-rekan di PT. Barata Indonesia – Gresik (Ir. Syafiq Barakuan, Ir. Agus S, Ir. Bustomek, Ir. Hadi) dan di PT. Nusantara Turbin Propulsi – Bandung (Dr. Mulyanto, Ir. Tariyadi, Ir. Yana C.) dan pihak lain yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data yang saya perlukan;
- (4) Hermawan Sukisnun (Alm), Hj. Siti Komariyah, H. Muslich dan Hj. Nur Khasanah selaku orang tua yang senantiasa memberikan dukungan dan restu selama proses studi ini.
- (5) “*My Sweet Family*” Ruli Arini, ST dan Naila Zhafira Herliani yang senantiasa memberikan dukungan, inspirasi, semangat untuk terus maju dan menyelesaikan studi ini.

(6) Semua dosen DTMM-UI yang saya hormati, rekan, keluarga dan sahabat yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu tanpa mengurangi hormat saya mengucapkan terima kasih atas bantuan dan dukungannya.

Akhir kata, saya berharap Allah SWT. berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga tesis ini mambawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, Juni 2011

Penulis



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Khamda Herbandono  
NPM : 0806477415  
Program Studi : S-2 Teknik Metalurgi dan Material  
Departemen : Teknik Metalurgi dan Material  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Tesis

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**Perancangan dan Simulasi Pengecoran pada Pembuatan  
Casing Turbin Uap Direct Condensing 3,5 MW**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan. Mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis /pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : Juni 2011

Yang menyatakan



( Khamda Herbandono )

## ABSTRAK

Nama : Khamda Herbandono  
Program Studi : S-2 Teknik Metalurgi dan Material  
Judul : Perancangan dan Simulasi Pengecoran Pada Pembuatan Casing Turbin Uap Direct Condensing 3,5 MW

Latar belakang penelitian ini adalah dijumpainya cacat coran berupa penyusutan pada casing turbin uap. Program pengembangan turbin uap ini merupakan program nasional untuk peningkatan TKDN dan kemandirian industri manufaktur dalam negeri. Perkembangan teknologi CAE dapat dimanfaatkan dalam proses optimalisasi desain untuk memverifikasi desain coran yang telah dibuat dan memprediksi kemungkinan cacat-cacat yang dapat timbul. Penelitian ini menggunakan *software* simulasi pengecoran (Z-Cast) untuk memberikan penjelasan ilmiah pada proses perancangan dan simulasi pengecoran casing TUDC 3,5 MW. Penelitian dilakukan dalam tiga tahap yaitu review coran casing TUBP, perancangan dan simulasi pengecoran TUDC 3,5 MW serta tahap ketiga untuk perbaikan desain (*improvement*) dan kajian tekno ekonomi.

Hasil dari tahap pertama ini dapat diketahui bahwa munculnya cacat coran yang menyebabkan casing TUBP harus mengalami kegagalan karena adanya kesalahan desain pengecoran dan kurang optimalnya fungsi riser dalam mensuplai logam coran. Sedangkan pada tahap kedua, melalui pemanfaatan *software* Z-Cast secara optimal dan setelah dilakukan pengecoran dengan cetakan pasir didapatkan produk coran casing yang dapat diterima oleh standar material JIS SCPH2 dan standar pengujian ultrasonik ASTM A 609 *Security Level 2*. Kemudian dalam tahap ketiga, dilakukan perbaikan desain yang ada dengan orientasi peningkatan *yield casting*. Hasil dari tahap akhir penelitian ini, didapatkan desain coran yang mampu meningkatkan *yield casting* 5-10% dari desain coran semula. Peningkatan tersebut mampu mengurangi penggunaan material 485 kg dan menurunkan biaya produksi sebesar Rp14.417.000,- atau 6,3%.

Kata kunci :  
Cacat coran, simulasi pengecoran, optimalisasi desain, tekno-ekonomi

## ABSTRACT

Name : Khamda Herbandono  
Study Program : S-2 Metallurgy and Materials Engineering  
Title : Casting Design and Simulation in The Manufacture of 3.5 MW  
Direct Considering Steam Turbine Housing

Research background is met casting defect have the shape of shrinkage at houshing steam turbine. The program of steam turbine development is national program for improvement local content and manufacture industry independence. The CAE technology evolution can be exploited in design optimization for verification casting design which have been made and predict potencial casting defect. This research use casting simulation software (Z-Cast) to give the scientifically explanation at casting design and simulation of TUDC 3,5 MW houshing. Research done in three phase, there are casting review for TUBP houshing, casting design and simulation for TUDC 3,5 MW houshing and also third phase for improvement design and techno-economic analisys.

Result of this first phase knowable that casting defect appearance causing TUBP houshing have to failure caused by casting design fault and less optimal of riser function to supply casting metal. At second phase, through Z-Cast exploiting in an optimal design process and after done by sand mould process got the houshing product able to be accepted by material standard JIS SCPH2 and ultrasonic test standard ASTM A 609 Security Level 2. Then the result of third phase, yield casting of early design could be improved about 5-10%. Those improvement could reduce the 485 kgs material usage and drop off the production cost in amount of IDR 14.417.000 or equal 6,3%.

Key word :

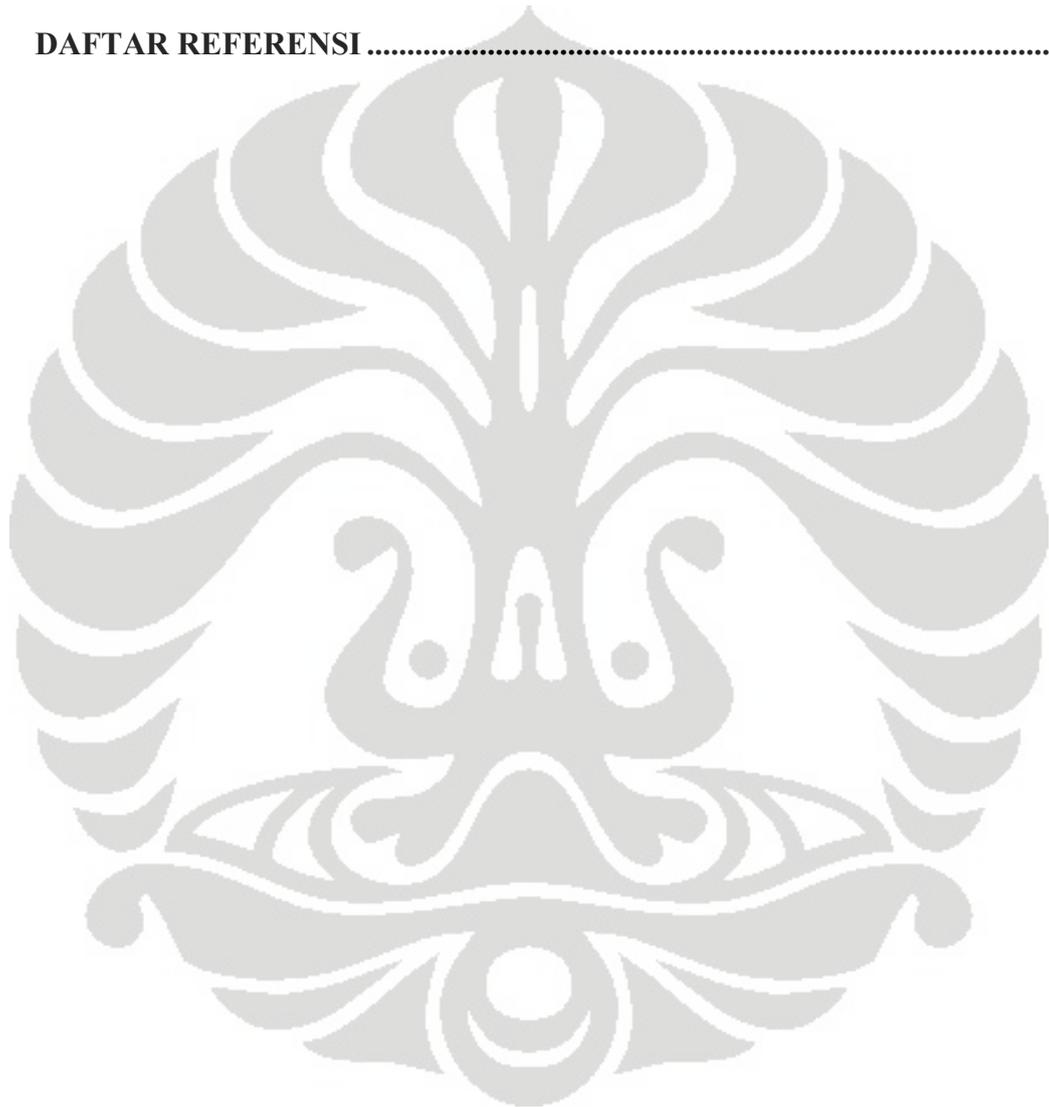
Casting defect, casting simulation, design optimization, tecno-economy

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	vi
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Penelitian.....	2
1.2 Tujuan Penelitian.....	5
1.3 Manfaat Penelitian.....	5
1.4 Ruang Lingkup Penelitian.....	5
1.5 Aspek Teknologi dan Manfaat.....	6
<b>BAB 2 LANDASAN TEORI .....</b>	<b>7</b>
2.1 Sistem Penggerak Turbin Uap.....	7
2.2 Material Baja Coran.....	9
2.3 Teori Dasar Pengecoran.....	11
2.3.1 Sejarah pengecoran.....	11
2.3.2 Klasifikasi pengecoran.....	14
2.3.3 Karakteristik logam cair.....	15
2.3.4 Proses pembekuan.....	15
2.4 Proses Pengecoran.....	17
2.4.1 Model atau pola.....	17
2.4.2 Cetakan pasir dan pasir cetak.....	18
2.4.3 Peleburan dan penuangan.....	18
2.4.4 Pengerjaan akhir dan perlakuan panas.....	19
2.5 Cacat Coran dan Analisa Penyebab Cacat.....	22
2.5.1 Cacat coran.....	22
2.5.2 Frekuensi penyebab cacat coran.....	26
2.5.3 Arah pengembangan teknologi pengecoran.....	26
2.6 Desain Pengecoran.....	27
2.6.1 Sistem saluran.....	27
2.6.2 Sistem penambah.....	30
2.7 Simulasi Pengecoran dan Sistem Numerik.....	31
2.7.1 Simulasi pengecoran.....	31
2.7.2 Sistem numerik.....	35
2.8 Pengujian dan Standarisasi.....	39
2.8.1 Pengamatan visual.....	39

2.8.2	Pengujian komposisi kimia .....	40
2.8.3	Pengujian mikrostruktur .....	41
2.8.4	Pengujian tarik .....	45
2.8.5	Pengujian kekerasan .....	46
2.8.6	Pengujian tidak merusak ( <i>Non Destructive Test</i> ) .....	48
2.8.7	Standarisasi .....	51
2.9	Kajian Tekno Ekonomi .....	53
<b>BAB 3</b>	<b>METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>55</b>
3.1	Diagram Alir Metodologi Penelitian .....	55
3.2	Perancangan dan Perhitungan Coran Casing TUDC 3,5 MW .....	57
3.2.1	Perancangan sistem saluran .....	58
3.2.2	Perancangan sistem penambah ( <i>Riser</i> ) .....	62
3.3	Proses Simulasi Pengecoran .....	67
3.4	Proses Pengecoran TUDC 3,5 MW .....	68
3.4.1	Proses pembuatan model .....	70
3.4.2	Proses pembuatan cetakan .....	71
3.4.3	Proses peleburan .....	72
3.4.4	Proses penuangan .....	73
3.4.5	Proses pembongkaran .....	75
3.4.6	Proses pembersihan .....	75
3.4.7	Proses pemotongan .....	75
3.4.8	Proses pelakuan panas .....	76
3.4.9	Proses NDT dan perbaikan .....	77
3.4.10	Proses permesinan .....	78
3.4.11	Uji Hidrostatik .....	78
<b>BAB 4</b>	<b>HASIL ANALISA DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>80</b>
4.1	Desain dan Simulasi Casing TUBP .....	80
4.1.1	TUBP 450 HP .....	80
4.1.2	TUBP 2 MW .....	82
4.1.3	TUBP 4 MW .....	83
4.2	Analisa Kualitas Coran Casing TUBP .....	84
4.2.1	Pengujian material .....	84
4.2.2	Pengujian NDT (Pengujian tidak merusak) .....	85
4.2.3	Analisa desain dan coran casing TUBP .....	87
4.3	Analisa Kegagalan Coran Casing TUBP .....	91
4.4	Desain dan Simulasi Casing TUDC 3,5 MW .....	93
4.4.1	Alternatif desain pengecoran .....	93
4.4.2	Analisis dan pemilihan desain pengecoran .....	102
4.5	Analisa Kualitas Coran Casing TUDC 3,5 MW .....	107
4.5.1	Pengamatan visual .....	107
4.5.2	Pengujian material .....	108
4.5.3	Pengujian <i>Non Destructive Test (Ultrasonic Test)</i> .....	110
4.5.4	Pengujian mikrostruktur .....	111
4.5.5	Pengujian hidrostatik .....	113
4.5.6	Analisis desain dan coran casing TUDC 3,5 MW .....	114
4.6	Optimalisasi Desain Coran Casing TUDC 3,5 MW .....	117

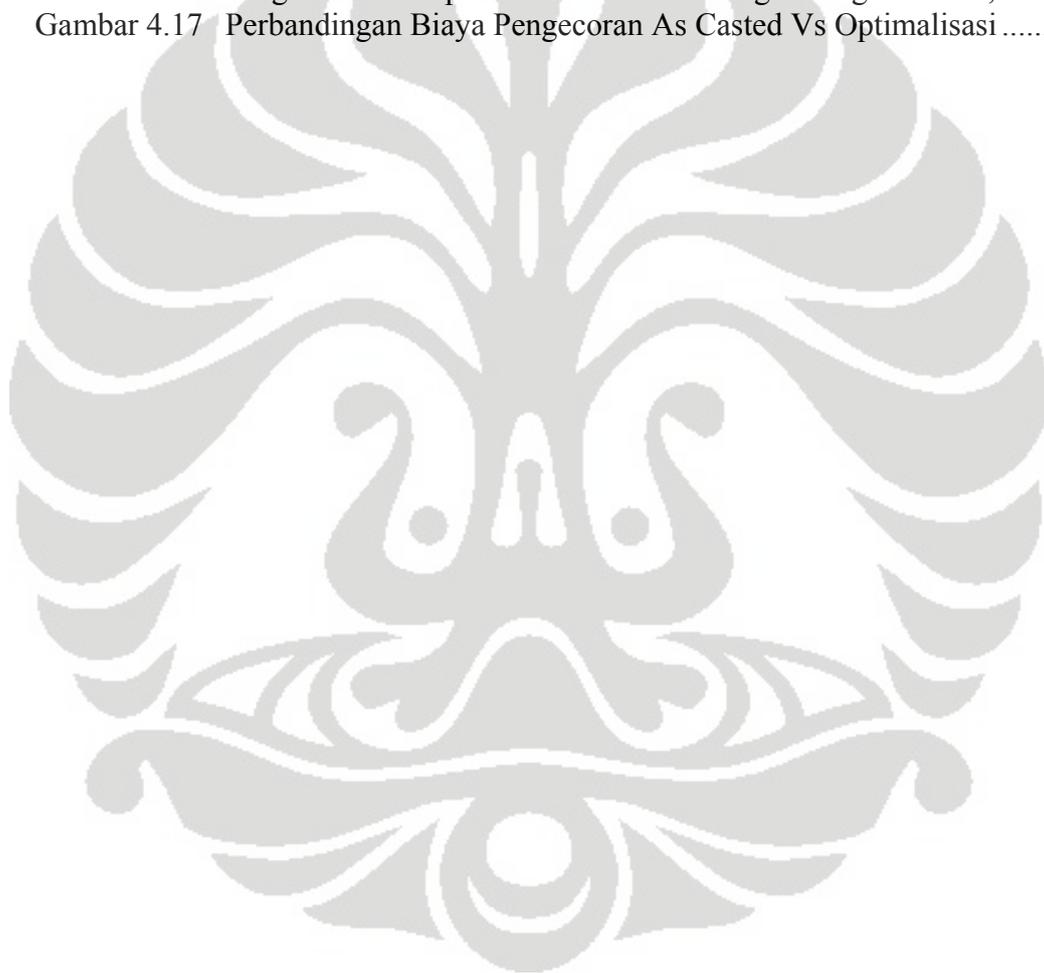
4.6.1	Perhitungan desain coran .....	117
4.6.2	Desain dan simulasi pengecoran .....	119
4.6.3	Analisis optimalisasi desain .....	124
4.7	Analisa Kajian Tekno Ekonomi .....	126
<b>BAB 5</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>129</b>
5.1	Kesimpulan .....	129
5.2	Saran .....	130
	<b>DAFTAR REFERENSI .....</b>	<b>131</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Program Pengembangan Manufaktur Turbin Uap .....	3
Gambar 2.1	Turbin Uap Pada Industri Gula.....	7
Gambar 2.2	Sistem Pembangkit (Siklus <i>Rankine</i> ) .....	8
Gambar 2.3	Proses Manufaktur dan Komponen Turbin Uap.....	9
Gambar 2.4	Diagram Fasa FeC .....	10
Gambar 2.5	Ilustrasi Proses Pembekuan .....	16
Gambar 2.6	Proses Peleburan Baja Cor dengan Tanur Listrik Basa.....	19
Gambar 2.7	Kisaran Batas Autenisasi Baja pada Proses <i>Annealing</i> .....	20
Gambar 2.8	Kisaran Batas Autenisasi Baja pada Proses <i>Normalizing</i> .....	20
Gambar 2.9	Diagram Proses Pengerasan ( <i>quenching</i> ) .....	21
Gambar 2.10	Diagram Proses <i>Temper</i> .....	21
Gambar 2.11	Tipe Cacat <i>Shrinkage</i> .....	23
Gambar 2.12	Alternatif Pencegahan Cacat <i>Shrinkage</i> .....	23
Gambar 2.13	Skematis Sistem Saluran .....	27
Gambar 2.14	Perbandingan Proses Pengecoran Secara Konvensional dan Komputasi .....	27
Gambar 2.15	Spesifikasi Hardware untuk Z-Cast .....	34
Gambar 2.16	Tahapan Pengujian Penetrasi.....	48
Gambar 2.17	Pengujian Ultrasonik .....	49
Gambar 2.18	Skematis Pengujian Radiografi Sinar X .....	50
Gambar 2.19	Skema Instalasi Alat Sinar X .....	51
Gambar 2.20	Diagram Pie Rincian Biaya Untuk Pengecoran .....	54
Gambar 3.1	Diagram Alir Metodologi Penelitian .....	56
Gambar 3.2	Gambar Coran Casing TUDC 3,5 MW .....	57
Gambar 3.3	Diagram laju penuangan untuk coran besi cor .....	60
Gambar 3.4	Hubungan Modulus Diameter dan Tinggi Riser .....	64
Gambar 3.5	Kurva <i>pellini</i> .....	65
Gambar 3.6	Grafik Diameter dan Tinggi <i>Riser</i> .....	65
Gambar 3.7	Diagram Alir Simulasi Pengecoran .....	67
Gambar 3.8	Diagram Alir Proses Manufaktur Casing .....	69
Gambar 3.9	Pembuatan Model Casing.....	70
Gambar 3.10	Pembuatan Cetakan .....	71
Gambar 3.11	Tanur Induksi Listrik.....	72
Gambar 3.12	Penuangan Baja Cair ke dalam Ladle.....	74
Gambar 3.13	Penuangan Baja Cair ke dalam Cetakan.....	74
Gambar 3.14	Proses Pemotongan Benda Cor .....	75
Gambar 3.15	Penempatan Benda Cor pada Bogie dalam Tanur.....	76
Gambar 3.16	Diagram Pelakuan Panas .....	77
Gambar 3.17	Pengujian Ultrasonik .....	78
Gambar 3.18	Instalasi Uji Hidrostatik.....	79
Gambar 4.1	Desain dan Simulasi Pengecoran Casing TUBP 450 HP .....	81
Gambar 4.2	Desain dan Simulasi Pengecoran Casing TUBP 2 MW.....	82
Gambar 4.3	Desain dan Simulasi Pengecoran Casing TUBP 4 MW.....	83
Gambar 4.4	Perbandingan Hasil Simulasi dan Coran Casing TUBP 450 HP.....	88

Gambar 4.5	Perbandingan Hasil Simulasi dan Coran Casing TUBP 2 MW dan TUBP 4 MW.....	89
Gambar 4.6	Tingkat Kesesuaian Hasil Simulasi Vs Coran Casing TUBP .....	90
Gambar 4.7	Sistem Saluran Casing.....	106
Gambar 4.8	Hasil Coran TUDC 3,5 MW.....	107
Gambar 4.9	Sampel material casing TUDC 3,5 MW.....	108
Gambar 4.10	Hasil Pengujian Struktur Mikro Material Casing TUDC 3,5 MW.....	112
Gambar 4.11	Pengujian Hidrostatik .....	113
Gambar 4.12	Potensial Area untuk Peningkatan Yield Casting.....	119
Gambar 4.13	Hasil Optimalisasi Desain Alternatif #1 .....	120
Gambar 4.14	Hasil Optimalisasi Desain Alternatif #2.....	121
Gambar 4.15	Hasil Optimalisasi Desain Alternatif #3.....	122
Gambar 4.16	Diagram Hasil Optimalisasi Yield Casting Casing TUDC 3,5 MW .....	124
Gambar 4.17	Perbandingan Biaya Pengecoran As Casted Vs Optimalisasi .....	128



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Spesifikasi Material JIS GG 5151 Grade SCPH 2.....	9
Tabel 2.2	Sejarah Singkat Teknik Pengecoran .....	11
Tabel 2.3	Cacat Coran .....	24
Tabel 2.4	Faktor Penyebab dan Prosentase Terjadinya Kegagalan .....	26
Tabel 2.5	Trend Pengembangan Industri Pengecoran .....	27
Tabel 2.6	Temperatur Tuang Logam Coran Ferrous .....	29
Tabel 2.7	Perbandingan Software Simulasi Pengecoran .....	32
Tabel 2.8	Spesifikasi Simulasi Pengecoran Z-Cast .....	34
Tabel 2.9	Tabel Jenis Metode Numerik .....	37
Tabel 2.10	Pengelompokan Unsur Paduan Berdasarkan Fungsinya .....	40
Tabel 2.11	Diameter Bola dan Pengukuran Kekerasan Brinell .....	46
Tabel 2.12	Skala dan Standar Untuk Kekerasan Rockwell .....	47
Tabel 2.13	Radioisotop yang khas untuk Pengujian radiografi .....	50
Tabel 2.14	Standar dan Ruang Lingkupnya.....	52
Tabel 3.1	Nilai p .....	60
Tabel 3.2	Nilai k .....	61
Tabel 3.3	Daerah Efektif dari <i>Riser</i> .....	63
Tabel 3.4	Ukuran Rangka Cetak.....	71
Tabel 3.5	Spesifikasi Pasir Cetak, Pasir Core, dan Coating .....	72
Tabel 3.6	Sasaran Berat Coran.....	73
Tabel 3.7	Sasaran Komposisi Kimia Coran .....	73
Tabel 3.8	Sasaran Temperatur dan Waktu Penuangan .....	73
Tabel 4.1	Data Pengujian Material .....	84
Tabel 4.2	Data Pengujian NDT.....	86
Tabel 4.3	Hasil Simulasi Upper Inlet Casing.....	94
Tabel 4.4	Hasil Simulasi Lower Inlet Casing .....	96
Tabel 4.5	Hasil Simulasi Upper Inlet Casing.....	98
Tabel 4.6	Hasil Simulasi Lower Exhaust Casing.....	100
Tabel 4.7	Analisis Dan Pemilihan Desain Inlet Casing .....	102
Tabel 4.8	Analisis Dan Pemilihan Desain Exhaust Casing .....	104
Tabel 4.9	Ukuran Sistem Saluran Casing .....	106
Tabel 4.10	Data Pengujian Material Casing TUDC 3,5 MW.....	109
Tabel 4.11	Analisis Desain dan Coran Inlet Casing .....	115
Tabel 4.12	Analisis Desain dan Coran Exhaust Casing.....	116
Tabel 4.13	Hasil Perhitungan Sistem Saluran Coran TUDC 3,5 MW.....	118
Tabel 4.14	Hasil Optimalisasi Desain Casing TUDC 3,5 MW .....	123
Tabel 4.15	Perkiraan Biaya Pengecoran Hasil Optimalisasi Desain Coran.....	127

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	SOP Upper Casing TUBP 450 HP .....	135
Lampiran 2	SOP Steam End Casing TUBP 450 HP .....	137
Lampiran 3	SOP Exhaust End Casing TUBP 450 HP .....	139
Lampiran 4	Hasil Pengujian Casing TUBP 450 HP .....	142
Lampiran 5	Hasil Pengujian Material Casing TUBP 450 HP Revisi 1 .....	143
Lampiran 6	SOP Upper Casing TUBP 2 MW .....	144
Lampiran 7	SOP Lower Casing TUBP 2 MW .....	147
Lampiran 8	Hasil Pengujian Material Upper Casing TUBP 2 MW .....	150
Lampiran 9	Hasil Pengujian Material Lower Casing TUBP 2 MW .....	151
Lampiran 10	Hasil UT Lower Casing TUBP 2 MW .....	152
Lampiran 11	SOP Upper Casing TUBP 4 MW .....	153
Lampiran 12	SOP Upper Casing TUBP 4 MW Revisi 1 .....	156
Lampiran 13	SOP Lower Casing TUBP 4 MW .....	159
Lampiran 14	Hasil Pengujian Material Upper Casing TUBP 4 MW .....	162
Lampiran 15	Hasil Pengujian Material Upper Casing TUBP 4 MW Revisi 1 .....	163
Lampiran 16	Hasil Pengujian Material Lower Casing TUBP 4 MW .....	164
Lampiran 17	Hasil UT Upper Casing TUBP 4 MW .....	165
Lampiran 18	Hasil UT Upper Casing TUBP 4 MW Revisi 1 .....	166
Lampiran 19	SOP Upper Inlet Casing TUDC 3,5 MW .....	167
Lampiran 20	SOP Lower Inlet Casing TUDC 3,5 MW .....	170
Lampiran 21	SOP Upper Exhaust Casing TUDC 3,5 MW .....	173
Lampiran 22	SOP Lower Exhaust Casing TUDC 3,5 MW .....	175
Lampiran 23	Hasil Pengujian Material Upper Inlet Casing TUDC 3,5 MW .....	177
Lampiran 24	Hasil Pengujian Material Lower Inlet Casing TUDC 3,5 MW .....	178
Lampiran 25	Hasil Pengujian Material Upper Exhaust Casing TUDC 3,5 MW .....	179
Lampiran 26	Hasil Pengujian Material Lower Exhaust Casing TUDC 3,5 MW .....	180
Lampiran 27	Hasil Pengujian Kekerasan Casing TUDC 3,5 MW .....	181
Lampiran 28	Hasil UT Inlet Casing TUDC 3,5 MW .....	182
Lampiran 29	Hasil UT Upper Exhaust Casing TUDC 3,5 MW .....	183
Lampiran 30	Hasil UT Lower Exhaust Casing TUDC 3,5 MW .....	184
Lampiran 31	Hasil Pengujian Hidrostatik Casing TUDC 3,5 MW .....	185
Lampiran 32	Hasil Optimalisasi Casing TUDC 3,5 MW – <i>Shrinkage</i> .....	187
Lampiran 33	Hasil Optimalisasi Casing TUDC 3,5 MW – <i>Temperature</i> .....	188
Lampiran 34	Hasil Optimalisasi Casing TUDC 3,5 MW – <i>Temperature Gradient</i> ...	189
Lampiran 35	Hasil Optimalisasi Casing TUDC 3,5 MW – <i>Time</i> .....	190
Lampiran 36	Hasil Optimalisasi Casing TUDC 3,5 MW – <i>Niyama</i> .....	191
Lampiran 37	Hasil Perhitungan Biaya Pengecoran Casing TUDC 3,5 MW .....	192

## **BAB I PENDAHULUAN**

Peningkatan konsumsi energi idealnya diimbangi dengan pertumbuhan pembangunan pembangkit listrik. Pembangkit listrik yang ada sekarang belum mampu memenuhi kebutuhan energi listrik nasional. Dampak yang dirasakan masyarakat dari kondisi tersebut diatas yaitu dengan adanya pemadaman listrik secara bergiliran diberbagai daerah terutama di luar pulau Jawa. Turbin uap merupakan salah satu peralatan pembangkit listrik (PLTU, PLTP) yang masih didatangkan secara *Completely Built Up* (CBU). Besaran tingkat kandungan dalam negeri (TKDN) turbin uap pada pembangkit listrik tenaga uap untuk skala kecil sampai dengan 8 MW hanya sebesar kurang dari 25,00 % dan 0,00 % untuk kapasitas 8 MW sampai dengan 25 MW. Sedangkan pada pembangkit listrik tenaga panas bumi tipe back pressure, besaran TKDN turbin uap masih 0,00 % <sup>[1]</sup>.

Disektor lain seperti pada bidang ketahanan pangan, permasalahan produksi gula nasional juga mengalami kecenderungan penurunan tingkat produksinya. Kecenderungan penurunan tersebut disebabkan beberapa faktor baik dari sisi *on farm*, *off farm* maupun *mangement*. Dengan berumur dan rendahnya efisiensi peralatan pabrik gula dapat menyebabkan penurunan efisiensi dan kapasitas produksi gula yang dapat berdampak secara nasional. Sehingga perlu dilakukan revitalisasi dan restrukturisasi pada industri gula nasional, yang salah satunya antara lain melalui penggantian peralatan mesin uap menjadi turbin uap. Turbin uap sebagai peralatan yang digunakan untuk penggerakan gilingan dan kogenerasi pada pabrik gula mempunyai Tingkat Kandungan Dalam Negeri (TKDN) yang sangat rendah dan masih bergantung dari pihak luar.

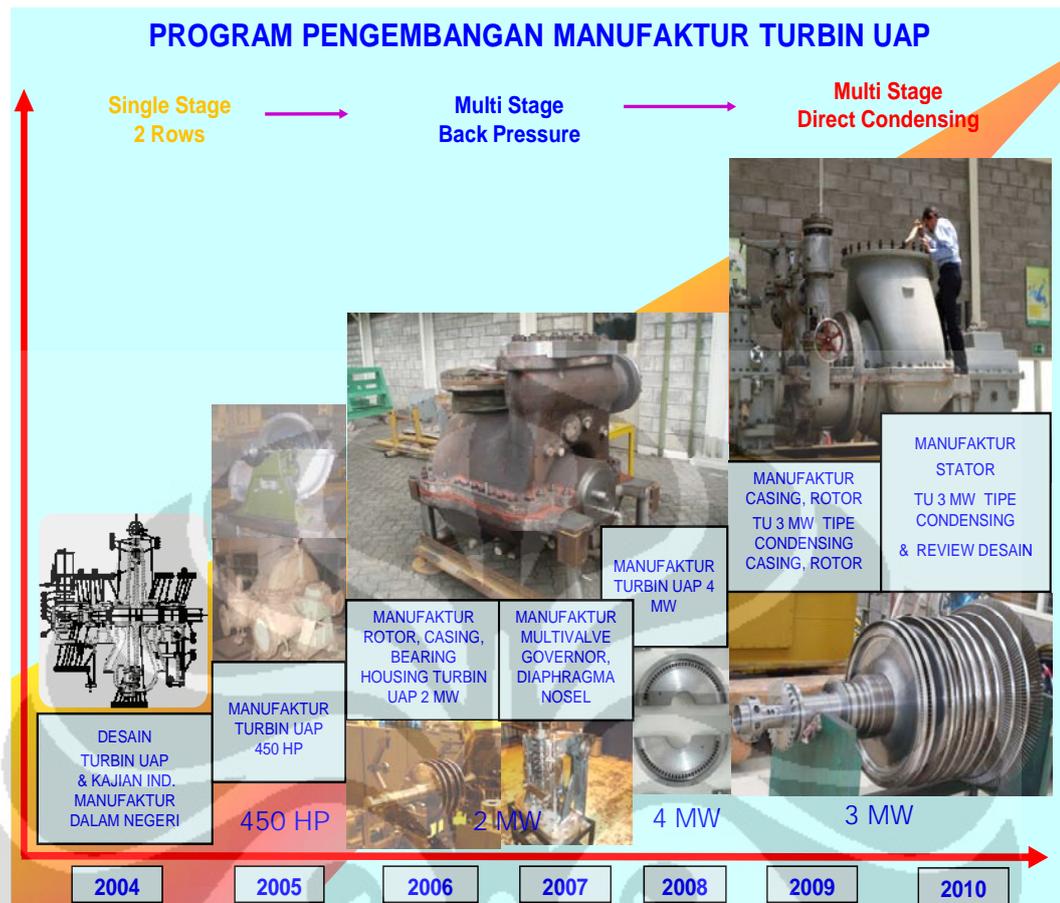
Permasalahan pada sektor energi dan ketahanan pangan tersebut, mendorong pemerintah melaksanakan suatu program nasional yang tertuang dalam program Kabinet Indonesia Bersatu I maupun Kabinet Indonesia Bersatu II, yaitu Program Percepatan Pembangunan Pembangkit Listrik 10.000 MW dan Program Revitalisasi Industri Gula. Dengan adanya program nasional tersebut semakin meningkatkan potensi pasar dan kebutuhan industri akan turbin uap di dalam

negeri. Disisi lain kemampuan industri manufaktur juga sudah cukup siap untuk dikembangkan menuju kearah industri manufaktur turbin uap nasional. Kesiapan industri manufaktur baik industri permesinan maupun industri pengecoran tersebut dapat ditinjau dari fasilitas yang tersedia dan pengalaman industri yang relevan dengan proses manufaktur turbin uap. Dengan kondisi tersebut diatas, pemerintah melakukan suatu aksi sinergi melalui Surat Keputusan Bersama antara Menteri Riset dan Teknologi/Kepala Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Menteri Perindustrian dan Menteri Energi Sumber Daya Mineral mengamatakan kepada Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi untuk mengembangkan turbin uap di Indonesia<sup>[2]</sup>. Dalam mengembangkan turbin uap dalam negeri Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi menerapkan metode *reverse engineering* dan melibatkan beberapa industri manufaktur nasional (konsorsium).

### 1.1 Latar Belakang

Penelitian dan pengembangan turbin uap ini sudah dimulai sejak tahun 2004 tentang desain dan kajian kemampuan industri manufaktur dalam negeri, kemudian dilanjutkan pada tahun 2005 pengembangan turbin uap *back pressure* 450 HP, tahun 2006 sampai dengan 2007 pengembangan turbin uap *back pressure* 2 MW, tahun 2008 pengembangan turbin uap *back pressure* 4 MW dan tahun 2009 sampai dengan 2010 pengembangan turbin uap *direct condensing* 3,5 MW, untuk lebih jelasnya mengenai peta jalan (*roadmap*) dari program pengembangan turbin uap dapat ditunjukkan pada **Gambar 1.1** berikut.

Namun dalam pelaksanaannya permasalahan yang sering muncul dari tahun 2005 sampai dengan 2008 adalah kegagalan pada produk coran casing. Kegagalan tersebut disebabkan terjadinya cacat coran yang tidak dapat diterima code/standart API 6.11. Dalam standar API 6.11 mensyaratkan bahwa produk cor (casing) harus bebas dari cacat (*sound casting*)<sup>[3]</sup>. Sehingga harus dilakukan pengecoran ulang, yang akan mengurangi effesien dari sisi waktu dan biaya.



**Gambar 1.1** Program Pengembangan Turbin Uap <sup>[2]</sup>

Casing turbin uap ini merupakan bagian dari turbin uap yang berfungsi untuk menjaga tekanan dalam turbin uap agar tidak terjadi kebocoran dan sebagai pelindung bagian dalam turbin uap dari benda-benda asing. Material casing dibuat dari baja JIS G5151 Grade SCPH2 yang tahan terhadap tekanan dan temperatur tinggi. Sedangkan proses manufaktur dari casing turbin uap dikerjakan dengan menggunakan metode pengecoran (*sand casting*) dan penyelesaiannya dengan proses permesinan (*machining*)<sup>[4]</sup>.

Era kemajuan teknologi komputasi sekarang ini, banyak dikembangkan perangkat lunak (*software*) yang digunakan untuk membantu proses perancangan mulai dari *Computer Aided Design (CAD)*, *Computer Aided Process Planning (CAPP)* sampai dengan *Computer Aided Engineering (CAE)*. Karena melalui penggunaan *software* tersebut, dapat merealisasikan produk secara komputasi dengan berbagai model dan parameter yang dapat dievaluasi lebih cepat<sup>[5]</sup>. Khusus dalam bidang pengecoran terdapat beberapa *software* simulasi yang dapat digunakan, seperti :

**Universitas Indonesia**

Z-Cast, ProCAST, MAGMASoft, AutoCAST dan lain sebagainya. *Software* simulasi proses pengecoran saat ini sudah diterima secara luas sebagai alat bantu (*tools*) yang penting dalam perancangan dan proses pengembangan produk coran yang dapat meningkatkan *yield casting* dan kualitas coran<sup>[6][7]</sup>. *Yield casting* merupakan perbandingan antara berat coran dengan berat total tuangan<sup>[8]</sup>. Peningkatan *yield casting* ini dapat menurunkan biaya penggunaan material, sehingga terjadi penghematan yang dapat membuat produk coran mampu bersaing dipasaran<sup>[9]</sup>.

Simulasi pengecoran juga mampu memberikan gambaran mengenai proses pengecoran yang merupakan gabungan dari proses pembekuan, perpindahan panas dan aliran fluida<sup>[10]</sup>. Coran yang berkualitas dan bebas cacat (*soundness casting*) dapat dicapai dengan pengaturan ketiga parameter tersebut<sup>[11]</sup>. Sehingga melalui penerapan simulasi pengecoran dapat dihasilkan desain pengecoran yang efektif dan dapat mengidentifikasi lokasi cacat pada geometri coran<sup>[12]</sup>. Selain itu, juga dapat mencapai efisiensi dari sisi biaya dan waktu<sup>[13]</sup>. Karena simulasi pengecoran ini merupakan suatu fenomena yang kompleks, sehingga asumsi dan batasan yang digunakan dalam simulasi pengecoran harus diperhatikan agar dapat menghasilkan hasil yang representatif<sup>[12]</sup>. Disisi lain, simulasi pengecoran merupakan representasi dari suatu proses pemodelan dan kurang dapat merepresentasikan produk coran secara nyata, sehingga hasil dari simulasi perlu dilakukan analisis lebih lanjut<sup>[14]</sup>.

Oleh karena itu dalam studi kasus penelitian ini akan memberikan gambaran dan ulasan ilmiah mengenai proses perancangan dan simulasi pengecoran casing turbin uap *direct condensing* 3,5 MW. Sehingga akan didapatkan suatu desain coran yang optimal sebelum dilakukan proses manufaktur dengan disertai peningkatan *yield casting* dan kualitas coran.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari studi kasus penelitian ini adalah :

- Melakukan review dan analisis kegagalan cacat coran casing turbin uap *back pressure*
- Membuat perancangan pengecoran casing turbin uap *direct condensing*
- Melakukan analisis dan simulasi pengecoran casing turbin uap *direct condensing*
- Melakukan analisis hasil pengujian coran casing turbin uap *direct condensing*
- Melakukan alternatif perbaikan (*improvement*) desain pengecoran casing turbin uap *direct condensing*
- Melakukan kajian tekno ekonomi untuk pengecoran casing turbin uap *direct condensing*

## 1.3 Manfaat Penelitian

Dengan dilaksanakan studi kasus penelitian ini dapat memberikan manfaat antara lain untuk :

- Mengetahui faktor penyebab terjadinya kegagalan dalam proses pengecoran casing turbin uap *back pressure*
- Mendapatkan suatu desain yang optimum untuk proses pengecoran casing turbin uap *direct condensing* sehingga dapat diproduksi dengan lebih efisien
- Mengetahui kualitas coran dan karakteristik material hasil pengecoran
- Mengetahui gambaran proses pengecoran casing turbin uap *direct condensing* dari aspek teknis dan ekonomi

## 1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Pada proses pengecoran casing turbin uap 450 sampai dengan turbin uap 4 MW (*type back pressure*) mengalami kegagalan dan dilakukan pengecoran lebih dari satu kali. Kegagalan tersebut disebabkan terjadinya cacat coran yang tidak dapat diterima code/standart API 6.11 sehingga harus dilakukan pengecoran ulang. Dalam standar API 6.11 mensyaratkan bahwa produk cor (casing) harus bebas dari cacat (*sound casting*)<sup>[3]</sup>.

Ruang lingkup pada penelitian ini adalah dengan melakukan studi kasus pada proses pengecoran casing turbin uap yang sudah dilakukan, analisis kegagalan cacat coran turbin uap *back pressure* serta melakukan perancangan dan simulasi pengecoran casing turbin uap *direct condensing* 3,5 MW dengan menggunakan *software* Z-Cast. Sehingga diharapkan didapatkan suatu desain yang optimal untuk proses manufakturnya. Kemudian dilakukan analisa perbandingan antara hasil simulasi dengan hasil coran secara aktual, berdasarkan hasil pengamatan visual dan data-data pengujian yang dilakukan seperti uji metalografi, uji komposisi kimia, uji tarik, uji kekerasan, uji ultrasonik dan uji hidrostatik.

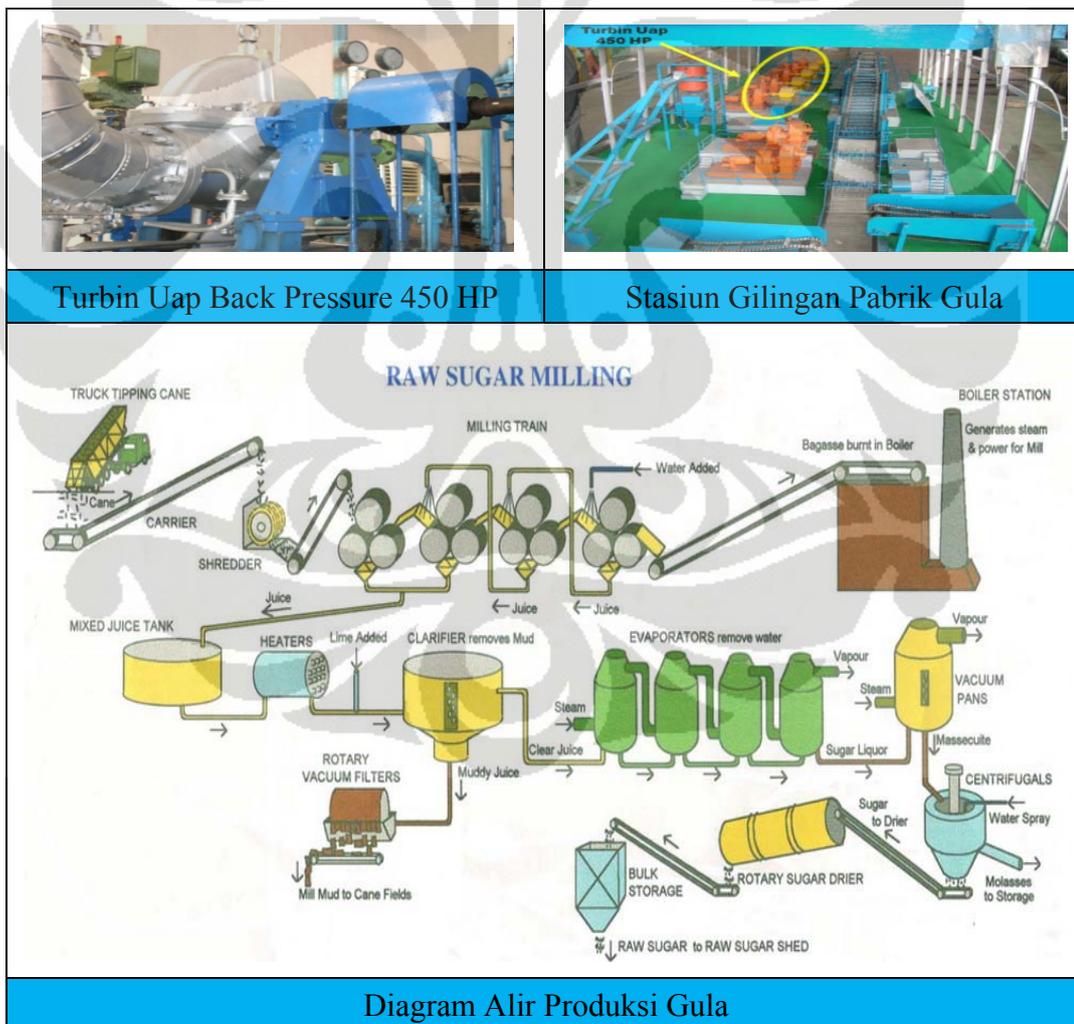
### **1.5 Aspek Teknologi dan Manfaat**

Di era kemajuan teknologi seperti sekarang ini peranan perangkat lunak di dunia teknik (*software engineering*) sangat membantu dan memberikan nilai lebih untuk menghasilkan produk yang berkualitas. Perkembangan software-software CAE (*Computer Aided Engineering*) sangat cepat dan mendekati akurat dengan dilengkapi fitur-fitur yang dapat memudahkan pengguna (*user friendly*). Z-Cast merupakan salah satu software untuk proses simulasi pengecoran yang dikembangkan oleh KITECH dan Cubitek Korea. Z-Cast ini sudah dilengkapi dengan fitur-fitur yang memudahkan pengguna seperti data CAD *interfaces* (STL, IGES), *Automatic mesh generation*, *Material database management* dan sebagainya<sup>[15]</sup>. Penggunaan software Z-Cast dalam proses perancangan manufaktur casing turbin uap yang sangat kompleks ini sangat membantu dalam memprediksikan potensi cacat yang mungkin dapat terjadi, mencapai desain pengecoran yang optimum dan mengurangi resiko kegagalan pada tahap percobaan (prototipe). Manfaat lain dari penerapan teknologi simulasi pengecoran ini adalah untuk membantu menentukan upaya pencegahan yang dapat dilakukan dalam rangka meminimalkan potensi cacat yang akan terjadi, baik pada proses perancangan maupun pengecorannya.

## BAB 2 LANDASAN TEORI

### 2.1 Sistem Penggerak Turbin Uap

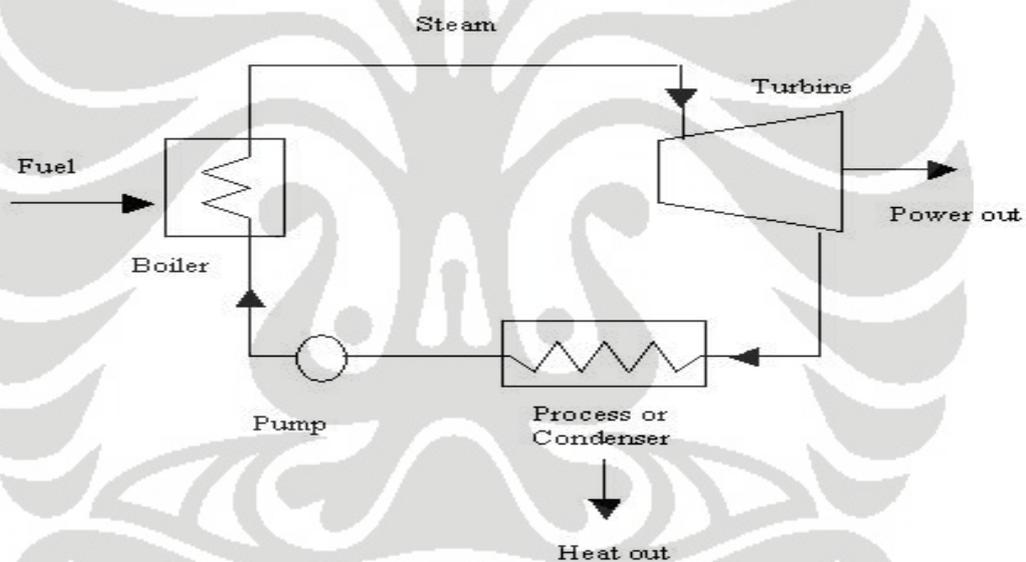
Turbin uap merupakan suatu mekanisme penggerak yang banyak digunakan pada industri, baik untuk industri pembangkit listrik maupun industri proses. Pada industri pembangkit listrik, uap yang dihasilkan boiler akan dialirkan ke turbin uap untuk menggerakkan sudu (*blade*) dan poros turbin uap, yang kemudian putaran tersebut diteruskan untuk menggerakkan generator sehingga dapat menghasilkan listrik. Sedangkan pada industri proses seperti pada industri gula, selain untuk pembangkit listrik pabrik (*power house*), turbin uap juga digunakan untuk menggerakkan gilingan tebu pada stasiun gilingan (*extraction station*).



Gambar 2.1 Turbin Uap Pada Industri Gula <sup>[16]</sup>

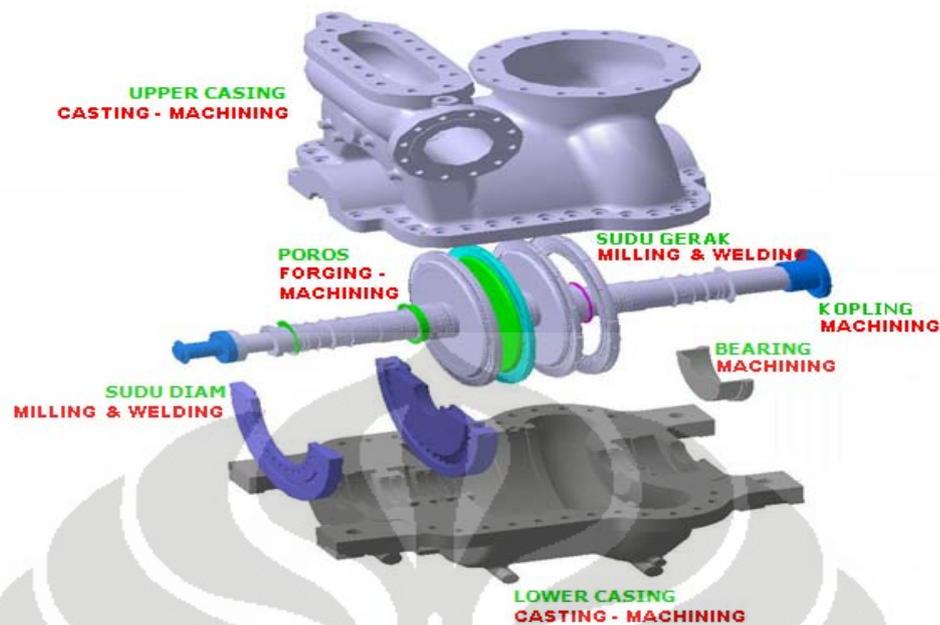
Prinsip kerja turbin uap berdasarkan siklus dan tekanan uap keluar turbin dibagi menjadi dua seperti ditunjukkan pada gambar skematis sistem pembangkit (*siklus rankine*) berikut, yaitu :

- a. Turbin uap *back pressure*, tekanan uap keluar ini masih tinggi (diatas tekanan atmosfer) sehingga masih dapat dimanfaatkan untuk proses seperti pemanasan.
- b. Turbin uap *direct condensing*, tekanan uap keluar turbin ini sangat rendah (vacum atau dibawah tekanan atmosfer) sehingga uap tersebut langsung dialirkan ke kondensor dan kemudian dirubah menjadi air untuk disirkulasikan kembali ke boiler sesuai siklus *rankine* yang dapat ditunjukkan pada **Gambar 2.2** berikut.



**Gambar 2.2** Sistem Pembangkit (Siklus *Rankine*)<sup>[17]</sup>

Komponen utama turbin uap terdiri dari sudu diam, sudu gerak dan poros yang kesemuanya bagian tersebut diselubungi oleh casing. Casing turbin uap ini berfungsi untuk menjaga tekanan dalam turbin uap agar tidak terjadi kebocoran dan sebagai pelindung bagian dalam turbin uap dari benda-benda asing.



**Gambar 2.3** Proses Manufaktur dan Komponen Turbin Uap <sup>[2]</sup>

## 2.2 Material Baja Coran

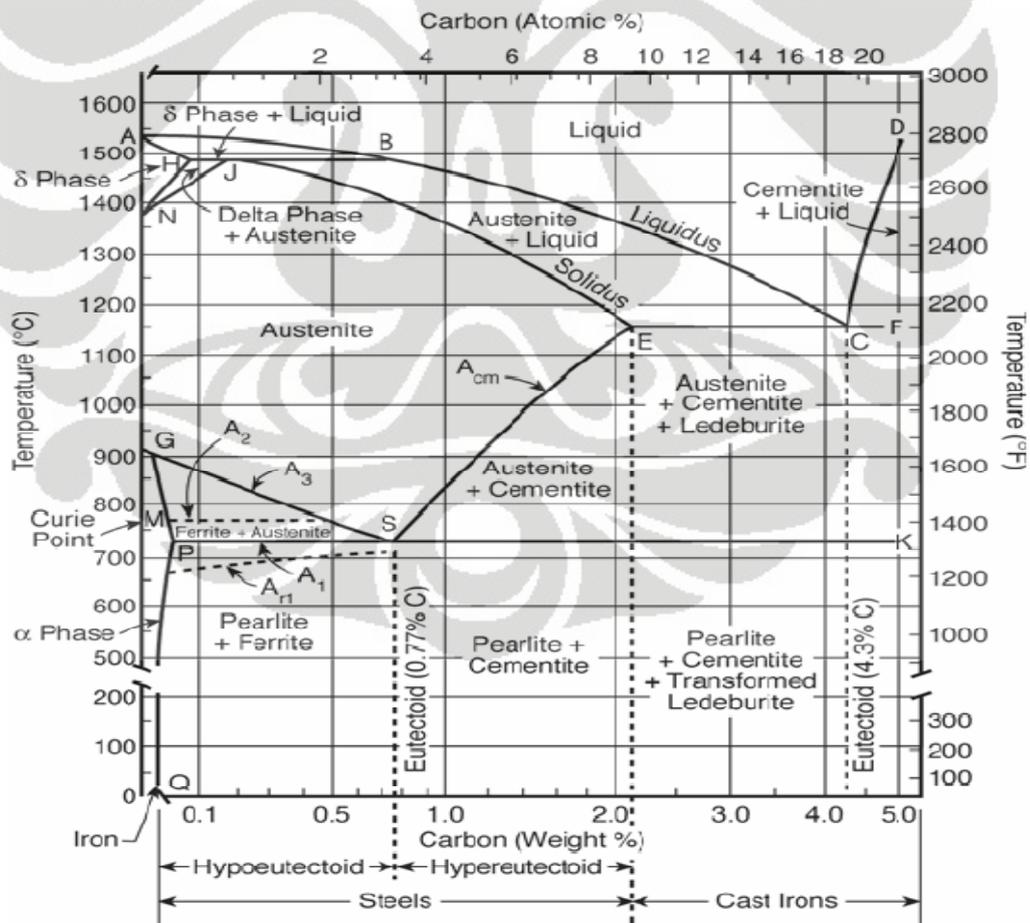
Material casing turbin uap ini dibuat menggunakan baja JIS G5151 Grade SCPH2 yang tahan terhadap tekanan dan temperatur tinggi dengan spesifikasi material seperti ditunjukkan pada **Tabel 2.1**. Sebagai pembandingan dengan standar internasional lainnya dari material JIS G 5151 Grade SCPH2 adalah ASME/ASTM SA-216 WCB, UNS Number J030002 dan CEN (*European Normal*) 10213-2 GP 280GH. Akan tetapi standar material tersebut tidak secara nyata identik, namun dapat ditemukan perbedaaan secara minor baik komposisi kimia ataupun sifat mekanisnya<sup>[18]</sup>.

**Tabel 2.1** Spesifikasi Material JIS GG 5151 Grade SCPH 2 <sup>[2][19]</sup>

STANDART JIS GG 5151 GRADE SCPH 2 (Steel Casting Pressure High Temperature)			SIFAT MEKANIS			
			YIELD POINT (N/mm <sup>2</sup> )	TENSILE STRENGTH (N/mm <sup>2</sup> )	ELONGATION %	REDUCTION AREA %
KOMPOSISI KIMIA	C	0,30 max	245 min	480 min	19 min	35 min
	Si	0,60 max				
	Mn	1,00 max				
	P	0,04 max				
	S	0,04 max				

SCPH 2 merupakan salah satu jenis baja karbon yaitu paduan besi - karbon yang mengandung unsur karbon kurang dari 2.0 % dengan tambahan unsur pengikat seperti Silikon (Si), Mangan (Mn), Fosfor (P) dan Sulfur (S). Berdasarkan kadar karbonnya SCPH 2 termasuk dalam baja karbon sedang karena mempunyai kadar karbon antara 0,2 – 0,5 %<sup>[20]</sup>. Dengan bertambahnya kadar karbon pada baja karbon akan meningkatkan nilai kekuatannya, sedangkan perpanjangan dan pengecilan luas berkurang dan menjadi sukar dilas<sup>[21]</sup>.

Baja cor yang memiliki kandungan karbon lebih dari 0,80 %, merupakan baja hypereutectoid dengan struktur mikronya terdiri dari perlit dan sementit. Sedangkan baja hypoeutektoid mempunyai kadar karbon kurang dari 0,8 %, struktur mikronya terdiri dari ferrit dan perlit. Secara sistematis hal tersebut dapat dijelaskan dari **Gambar 2.4** Diagram Fasa FeC berikut dan kadar karbon yang lebih tinggi akan menambah jumlah perlit.



**Gambar 2.4** Diagram Fasa FeC<sup>[18]</sup>

## 2.3 Teori Dasar Pengecoran

Proses pengecoran (*casting*) adalah salah satu teknik pembuatan produk dimana logam dicairkan dalam tungku peleburan kemudian di tuangkan kedalam rongga cetakan yang serupa dengan bentuk asli dari produk cor yang akan dibuat. Pada pokok bahasan proses pengecoran ini akan di uraian mengenai sejarah pengecoran, *state of the art*, klasifikasi pengecoran, karakteristik logam cair dan proses pembekuan (*solidification*).

### 2.3.1 Sejarah pengecoran

Pengecoran merupakan salah satu teknik pembentukan logam atau material yang tertua yaitu ketika orang mulai mengetahui cara mencairkan logam dan pembuatan cetakan. Hal tersebut terjadi kira-kira 9.000 tahun sebelum Masehi, sedangkan secara tepat memang belum dapat ditentukan tahun ditemukannya teknik pengecoran. Akan tetapi perkiraan tersebut didasarkan dari hasil-hasil penemuan dan kajian para ahli arkeolog. Awal penggunaan logam tersebut digunakan untuk perhiasan, senjata dan lain sebagainya yang menggunakan material yang terdapat di alam dalam keadaan murni seperti tembaga. Sejarah singkat teknik pengecoran dapat ditunjukkan pada **Tabel 2.2** dibawah ini.

**Tabel 2.2** Sejarah Singkat Teknik Pengecoran <sup>[8][22]</sup>

No	WAKTU	KETERANGAN
<b>Periode Sebelum Masehi</b>		
1	9.000 SM	▪ Penggunaan awal logam tembaga murni di Near East
2	5.000-3.000 SM	▪ Chalcolithic period: mampu mencairkan tembaga (smelting) di Near East
3	3.000-1.500 SM	▪ Metode Los Wax untuk produk sederhana, ▪ Masa Perunggu dengan menggunakan cetakan batu ▪ Ditemukan patung Pharaoh Pepi I (Tembaga) di Mesir
4	1.500-200 SM	▪ Masa Besi Cor dan mulai penggunaan wrought iron ▪ Tripod (600 lb – Bes cor) buatan masa besi cor di China, arca-arca Epaminondas dan senjata di Yunani

No	WAKTU	KETERANGAN
<b>Periode Tahun Masehi</b>		
5	÷ 500 M	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tangki pengecoran (Baja) diproduksi di India</li> </ul>
6	500 – 1.500 M	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pengecoran besi kasar dilakukan besar-besaran</li> <li>▪ Patung Great Budha di Jepang</li> <li>▪ Loam/sweep molding untuk pembuatan lonceng di Eropa</li> <li>▪ (1480-1539) Vannoccio Biringuccio, Penemu Industri Pengecoran – Italia</li> <li>▪ Pengenalan metode cetakan pasir</li> </ul>
7	1.600 – 1.700 M	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ (1619) Industri Pertama Besi Cor Falling Creek The James River besi cor – Amerika Utara</li> <li>▪ (1645) “FOUDRY” terdaftar Oxford English Dictionary</li> <li>▪ (1646) Saugus Iron -Industri Besi Cor kedua di Amerika</li> </ul>
8	1.700 -1.800 M	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ (1709) Pengembangan metode cor (cetakan &amp; box Frame) oleh Abraham Darby – Inggris</li> <li>▪ (1722) Pengembangan ilmu metalurgi kimiawi (malleable iron) oleh A.F de Reamur</li> <li>▪ (1740) pengembangan baja cor oleh Benjamin Huntsman – Inggris</li> </ul>
9	1.800 – 1.900 M	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ (1809) Pengembangan Centrifugal Casting oleh A.G. Eckhardt – Inggris</li> <li>▪ (1815) Pengenalan dapur Cupola – US</li> <li>▪ (1818) Industri Baja cor pertama Valley Forge Foundry – US</li> <li>▪ (1847) Baja cor untuk senjata diproduksi oleh Krupp Work – Jerman</li> <li>▪ (1849) Pengoperasian secara manual diecasting machine</li> <li>▪ (1863) Penemuan Metallography oleh Henry C. Sorby – Inggris</li> <li>▪ (1870) Penemuan metode sand blasting oleh Tilghman – US</li> <li>▪ (1876) Produksi Alumunium casting oleh Philadelphia Foundry- US</li> <li>▪ (1897) Penyempurnaan metode lost wax casting</li> <li>▪ (1899) Pengembangan Electric Arc Furnace oleh Paul Heroult</li> </ul>
<b>Abad Ke 19 M</b>		
10	1.900 – 1.910 M	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ (1900) Penemuan Low Pressure Permanent Mold Casting oleh E.H. Lake – Inggris</li> <li>▪ (1903) Cast Al block &amp; Crankshaft untuk pesawat</li> <li>▪ (1905) Penemuan Die Casting Machine oleh H.H. Doehler</li> </ul>

No	WAKTU	KETERANGAN
11	1.910 – 1.920 M	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ (1915) Pengembangan low frequency induction furnace untuk peleburan non ferro</li> <li>▪ (1916) Penemuan Coreless Induction Furnace oleh Edwin Northrup</li> </ul>
12	1.920-1.930 M	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ (1924) Mass Cast Product untuk otomotif - Ford US</li> <li>▪ (1925) X-Ray untuk kualitas coran</li> <li>▪ (1828) Al vehicle wheel – sand cast</li> </ul>
13	1.930 – 1.940 M	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ (1930) High Frequency coreless electric induction furnance – Lebanon</li> <li>▪ (1937) Pengembangan Spectrometer dan austemper cast iron</li> </ul>
14	1.940 – 1.950 M	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ (1940) Teori solidification time – casting geometry oleh Chvorinov</li> <li>▪ (1948) Produksi ductile cast iron – James Town – US</li> </ul>
15	1.950 – 1.960 M	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ (1950) Penelitian high pressure molding dimulai</li> <li>▪ (1952) Penggunaan fine sand untuk shell mold</li> <li>▪ (1954) Pengembangan coremaking process dan resin binder</li> <li>▪ (1955) Pengembangan Squeeze casting di Rusia</li> <li>▪ (1957) The vertically-parted flaskless green sand molding machine oleh Vagn Aage Jeppesen</li> <li>▪ (1958) lost foam casting oleh Harold F. Shroyer</li> <li>▪ (1958) Pengenalan penggunaan Phenolic &amp; Furan acid catalized – Swedia(1959) Pengembangan Transien Heat Transfer Computational menggunakan metode FDM untuk Industri Pengecoran Baja.</li> </ul>
16	1.960 – 1.970 M	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ (1962) Automated Green Sand Molding Machine</li> <li>▪ (1963) Pengenalan Shell Flake Resin untuk mengurangi penggunaan solvent</li> <li>▪ (1968) Cast Metal matrix Composite oleh International Nickel Co – US</li> </ul>
17	1.970 – 1.980 M	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ (1971) Vacuum forming molding method – Jepang</li> <li>▪ (1971) Penelitian Semi solid Metal Casting oleh Prof Mert Flemings (SSM)</li> <li>▪ (1972) Austempered Ductile Iron – as cast</li> <li>▪ (1975) Pengembangan Digital codes untuk simulasi pembekuan dan aliran fluida dan verifikasi menggunakan UT</li> <li>▪ (1978) Pengembangan Furan / SO<sub>2</sub> binder system untuk core atau mold</li> </ul>
18	1.980 – 1.990 M	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ (1982) Pengenalan Warmbox binder system</li> <li>▪ (1984) Implementasi stereolithography untuk proses rapid</li> </ul>

No	WAKTU	KETERANGAN
		prototyping <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ (1985) Komersialisasi software simulasi pengecoran dan pengembangan flux injection technology</li> <li>▪ (1986) Pengembangan teknik 3D Visualization, CaO/CaF<sub>2</sub> untuk proses desulfurisasi pada Cupola</li> <li>▪ (1987) Software simulasi pengecoran dapat diterima industri pengecoran (penyebaran)</li> <li>▪ (1988) Kombinasi rapid prototyping /cast dan machining (CAD/CAM) berkembang pesat</li> </ul>
19	1.990 -2.000 M	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ (1990) Pengenalan peralatan SSC – Buhler, Inc</li> <li>▪ (1990) Pengembangan direct pour system –without risering &amp; studi Precision sand casting.</li> <li>▪ (1995) Pengembangan simulasi mikrostruktur dan prediksi sifat material.</li> <li>▪ (1996) Komersialisasi SSC dan MMC</li> </ul>
<b>Abad Ke 20</b>		
20	2.000 -2.010 M	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pengembangan software simulasi yang lebih akurat dalam memprediksi kualitas coran serta mengutamakan fungsi user-friendly (mudah dioperasikan dan parameter yang dapat disesuaikan dengan kondisi sebenarnya).</li> <li>▪ Pengembangan presurized lost form casting</li> <li>▪ Implementasi continously electric arc furnace (kap. 100 Ton/jam)</li> </ul>

### 2.3.2 Klasifikasi pengecoran

Klasifikasi pengecoran berdasarkan umur dari cetakan, ada pengecoran dengan sekali pakai (*expendable mold*) dan ada pengecoran dengan cetakan permanent (*permanent mold*). Cetakan pasir termasuk dalam *expendable mold*. Karena hanya bisa digunakan satu kali pengecoran saja, setelah itu cetakan tersebut dirusak saat pengambilan benda coran. Dalam pembuatan cetakan, jenis-jenis pasir yang dapat digunakan adalah pasir silika, pasir zircon atau pasir hijau. Sedangkan perekat antar butir-butir pasir dapat digunakan, bentonit, resin, furan atau air gelas.

### 2.3.3 Karakteristik logam cair

Logam cair ini mempunyai karakteristik yang dapat dipengaruhi oleh temperatur, tingkat kekentalan dan jenis aliran. Ketiga parameter tersebut saling berkaitan satu sama lainnya. Logam cair dapat mencair seluruhnya pada temperatur tinggi, sedangkan pada temperatur rendah logam cair akan membentuk inti-inti kristal.

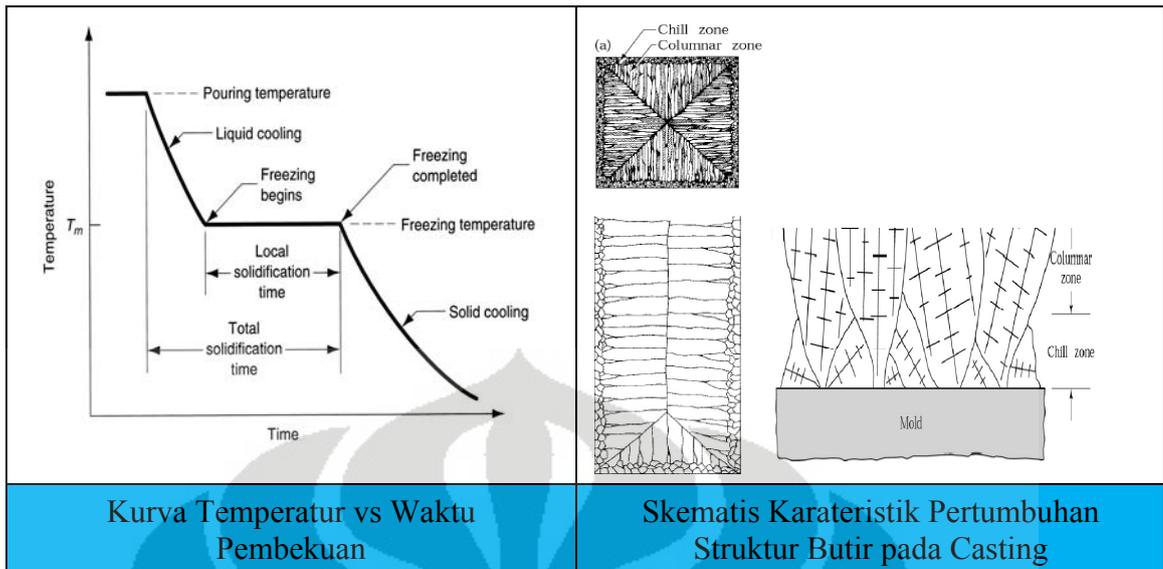
Kekentalan (viskositas) logam cair ini sangat dipengaruhi oleh temperatur, dimana pada temperatur tinggi tingkat kekentalan logam cair menjadi lebih rendah dan begitu juga sebaliknya. Pada saat logam cair didinginkan, maka nilai kekentalannya akan bertambah sangat cepat, tergantung jumlah inti-intinya. Kekentalan logam cair ini dapat mempengaruhi aliran logam cair yang terjadi selain kekasaran permukaan cetakan. Logam cair mempunyai nilai kelembaman dan daya tumbuk yang besar. Semakin tinggi nilai kekentalannya maka sifat mampu alirnya akan semakin menurun<sup>[21]</sup>.

### 2.3.4 Proses Pembekuan

Pembekuan (*solidification*) selama pengecoran mengalami 3 (tiga) jenis penyusutan yaitu<sup>[23]</sup> dan dapat diilustrasikan seperti pada **Gambar 2.5** dibawah :

- ❑ *Liquid cooling*; penyusutan yang terjadi pada logam cair jika logam cair didinginkan dari temperatur tuang menuju temperatur pembekuan (*solidification temperature*).
- ❑ *Solidification*; penyusutan yang terjadi selama logam cair melalui *phasa* pembekuan (perubahan *phasa* cair menjadi *phasa* padat).
- ❑ *Solid cooling*, penyusutan yang terjadi selama periode *solid metal* didinginkan dari temperatur pembekuan menuju temperatur ruang.

*Liquid cooling* dan *solidification* dapat dikontrol dengan merancang sistem *riser* yang baik dan tepat. Kekosongan (*void*) yang ditimbulkan oleh dua jenis penyusutan tersebut diisi cairan logam yang disuplai dari *riser*, karena jika tidak terisi dapat menyebabkan terjadinya cacat *shrinkage*. Sedangkan *solid cooling* dapat diatasi dengan membuat dimensi pola lebih besar daripada dimensi produk cor untuk mengkompensasi penyusutan yang terjadi. *Solid cooling* bila tidak dikontrol dengan baik menyebabkan produk cor.



**Gambar 2.5** Ilustrasi Proses Pembekuan <sup>[23][30]</sup>

Total waktu pembekuan (*Total Solidification Time*) adalah waktu yang dibutuhkan antara penuangan sampai terjadinya pembekuan, yang lamanya ditentukan oleh bentuk dan ukuran coran. Hubungan tersebut dapat ditentukan dengan menggunakan *Chvorinov's Rule* seperti pada **Persamaan (2.1)** <sup>[24]</sup>.

$$TST = C_m \left( \frac{V}{A} \right)^n \quad (2.1)$$

Dimana :

- TST = Total waktu pembekuan
- $C_m$  = Konstanta
- V = Volume coran
- A = luas penampang coran
- n = eksponen (2)

Masing-masing area pada produk cor memiliki laju pendinginan yang berbeda. Hal ini disebabkan adanya variasi luas penampang, perbedaan laju pelepasan panas, dan sebagian area yang cenderung membeku lebih cepat dibandingkan area lainnya. Gejala ini bila tidak ditangani dengan baik akan menimbulkan kekosongan atau *shrinkage* akibat proses *solidification* <sup>[28]</sup>. Sehingga dalam proses pengecoran menggunakan prinsip dasar pembekuan terarah (*directional solidification*) untuk membuat produk cor yang *soundness* dengan cara menambahkan volume logam di bagian produk yang membeku terakhir dan berfungsi sebagai pengumpan (*riser*).

Arah pembekuan berhubungan dengan *casting modulus*. *Casting modulus* menunjukkan perbandingan antara volume cor dengan luas permukaannya. Jika volume cor cetakan meningkat berarti semakin banyak logam cair maka waktu untuk mendinginkan memerlukan waktu lebih lama. Sebaliknya panas yang ada di dalam cor harus dilepaskan melalui permukaan cor, semakin besar luas permukaan cor akan semakin cepat cor tersebut dingin. Jadi *casting modulus* semakin besar maka waktu yang dibutuhkan untuk pembekuan (*solidification*) semakin lama <sup>[25]</sup>.

## 2.4 Proses Pengecoran

### 2.4.1 Model atau pola

Dalam pembuatan model hal pertama yang harus dilakukan adalah merubah gambar perencanaan menjadi gambar untuk pengecoran (*as cast drawing*). Dalam hal ini harus mempertimbangkan unsur teknis dan biaya. Unsur-unsur tersebut antara lain kemudahan dalam pembuatan model, pembongkaran cetakan, posisi permukaan pisah, tambahan penyusutan, tambahan untuk permesinan, dan efisiensi dari sisi biaya.

Model atau pola ini dapat digolongkan menjadi 2 yaitu pola logam dan pola non logam (kayu, plastik). Pola kayu umumnya dipakai untuk cetakan pasir karena mudah, murah, cepat dan mudah diolah. Dalam perkembangannya, penggunaan pola kayu ini dapat diperkuat permukaan dengan menggunakan lapisan plastik. Kayu dengan kadar air lebih dari 14 % tidak dapat dipakai untuk membuat pola karena dapat menyebabkan pelentingan yang disebabkan perubahan kadar air dalam kayu<sup>[8]</sup>. Selain itu juga dapat digunakan resin sistesis, seperti epoksi yang paling banyak dipakai, karena epoksi mempunyai sifat-sifat : penyusutan yang kecil pada waktu mengeras dan mempunyai sifat ketahanan aus yang baik.

Setelah pembuatan model, diperlukan tahapan untuk pemeriksaan model sebelum masuk proses selanjutnya. Pemeriksaan model ini dimulai dari pemahaman mengenai detail gambar, pemeriksanaan secara visual dan pemeriksaan geometri.

### 2.4.2 Cetakan pasir dan pasir cetak

Cetakan pasir dapat dibuat dengan menggunakan tangan atau dapat pula dikerjakan secara mekanis. Kemajuan pembuatan mesin cetak menyebabkan pembuatan cetakan secara mekanis berkembang pesat baik dari yang kecil maupun besar. Akan tetapi apabila jumlah produksinya sedikit, bentuk coran sulit atau besar kecenderungan penggunaan cetakan dengan menggunakan tangan (manual) lebih dipilih. Sehingga dalam produksi massal, pembuatan cetakan mekanis lebih efisien dan dapat menjamin produksi cetakan yang baik. Mesin pembuat cetakan dipilih dengan mempertimbangkan ukuran, bentuk, berat, jumlah produksi dan sebagainya<sup>[21]</sup>. Pembuatan cetakan secara mekanis terdapat bermacam-macam jenisnya antara lain dengan menggunakan mesin guncang, mesin pendesak, guncang-desak, bertekanan tinggi, desak-tiup dan pelempar pasir.

Pasir cetak yang paling banyak digunakan adalah pasir gunung, pasir pantai, pasir sungai dan pasir silika. Pasir gunung umumnya digali dari lapisan tua yang sudah mengandung lempung sebagai pengikatnya. Pasir dengan kadar lempung 10 sampai 20 % dapat langsung digunakan sebagai pasir cetak. Sedangkan untuk pasir pantai, sungai, pasir silika alam maupun pasir silika buatan dicampurkan pengikat khusus agar dapat mengikat butir-butirnya<sup>[8]</sup>. Pasir cetak juga harus dilakukan pengujian baik pengujian kadar air, pengujian permeabilitas, pengujian kekuatan dan pengujian kadar lempung agar sesuai dengan kualitas pasir cetak yang dipersyaratkan.

### 2.4.3 Peleburan dan penuangan

Biasanya dalam proses peleburan baja cor masih banyak menggunakan proses tanur perapian terbuka (*open hearth furnace*). Akan tetapi seiring perkembangan teknologi peleburan, penggunaan tanur listrik juga semakin meningkat karena biaya peleburan yang murah. Peleburan dengan busur api listrik dapat diproses secara asam (untuk baja kualitas tinggi) dan proses basa (untuk baja kualitas biasa) seperti pada **Gambar 2.6** berikut.

Dalam peleburan baja, selain mengatur komposisi kimia dan temperatur, diperlukan juga pengaturan absorpsi gas, jumlah dan macam inklusi bukan logam. Untuk menghilangkan gas, dapat ditambahkan bijih besi atau tepung kerak besi selama proses reduksi.

Bahan tambahan	CaO	CaO Bijih	CaO	Suntikan oksigen	FeMn FeSi	CaO CaF <sub>2</sub> Tepung karbon	FeMn FeSi	Al				
Selama operasi	Mencairkan		Oksidasi ke I	Oksidasi ke II	Reduksi							
waktu (menit)	130		15	25	60							
Voltase (V)	202		127		116							
Temperatur (°C)	1.535		1.600	1.630	1.620							
Kadar	C	0,35 – 0,45	0,30	0,12	0,18	0,22						
	Mn	> 0,30	< 0,20	< 0,18	0,60	0,65						
	P	< 0,40	< 0,010		< 0,025							
	S	< 0,50	< 0,035		< 0,025							
Kebasaan	1,5		2,5 – 3									
Cara operasi	Voltase tinggi, pencairan cepat		Cair seluruhnya	Cukup pemanasan	80% pengambilan buih	Kadar dan temperatur harus diketahui sebelum injeksi oksigen.	Pemurnian mendidih	90% pengambilan buih	Yakin terjadi terak putih	Pengujian penghilangan oksid.	Pengaturan kadar	Penuangan
Keterangan	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Yakin bahwa muatan kering, waktu pemuatan cukup, dan cukup dorongan setelah pemuatan.</li> <li>2. Oksigen harus diinjeksikan pada temperatur di atas 1.580°C dan diakhiri sebelum kadar karbon menjadi 0,15% paling kecil. Sudut semprot 30°, dalamnya 5 cm di bawah permukaan cairan.</li> </ol>											

**Gambar 2.6** Proses Peleburan Baja Cor dengan Tanur Listrik Basa<sup>[21]</sup>

Proses penuangan ini merupakan proses pengeluran cairan baja dari tanur kemudian diterima oleh ladle dan dituangkan ke dalam cetakan. Dalam penuangan yang perlu diperhatikan adalah temperatur penuangan, kecepatan penuangan dan metode penuangan.

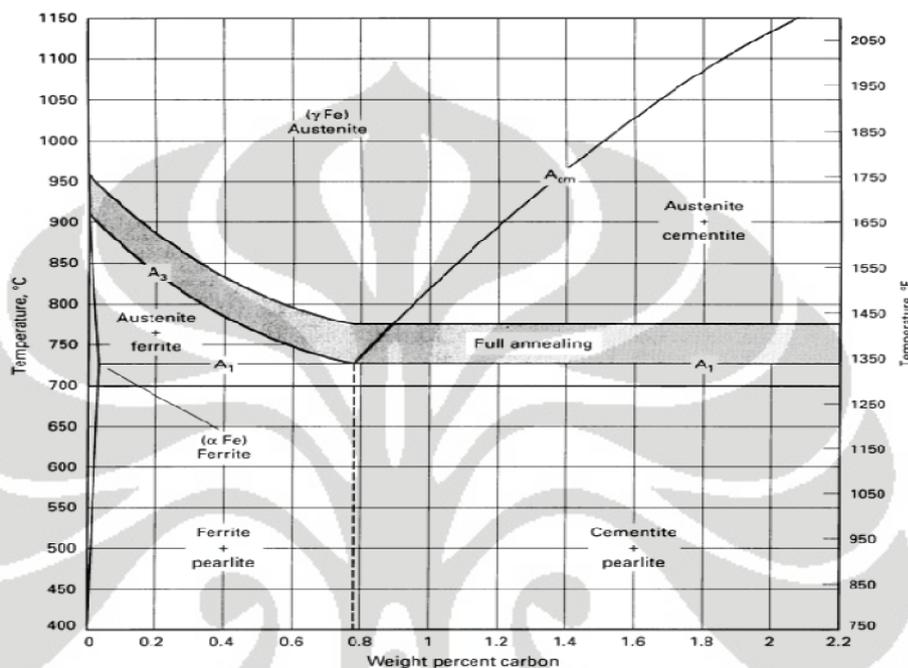
#### 2.4.4 Pengerjaan akhir dan perlakuan panas

Setelah proses pengecoran selesai, pasir harus dikeluarkan dari rangka cetak, sisa pasir pada coran juga harus dibersihkan, sistem saluran dan penambah harus dipisahkan dari coran serta bekas-bekas sirip pada coran juga harus dihaluskan. Selain itu pengerjaan akhir juga meliputi perbaikan coran, misalnya perbaikan cacat-cacat tuangan dengan menggunakan pengelasan.

Coran setelah pengerjaan akhir (*finishing*) biasanya dilakukan proses perlakuan panas (*heat treatment*) untuk memperbaiki sifat-sifat dari logam coran dengan jalan memanaskan coran sampai temperatur tertentu kemudian dibiarkan beberapa waktu dan didinginkan dengan kecepatan pendinginan tertentu sesuai dengan sifat yang diinginkan. Proses pelaksanaan panas yang dapat dilakukan pada coran antara lain :

### □ *Annealing*

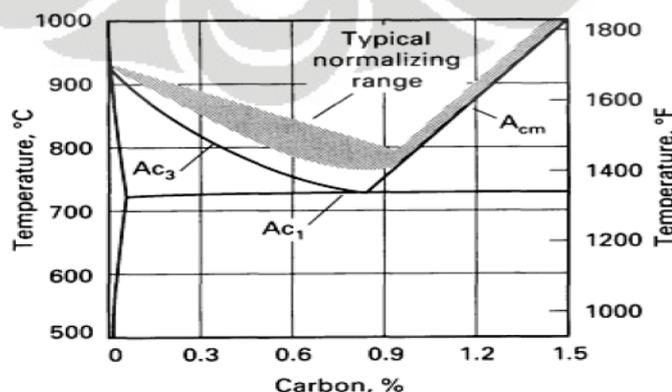
Yaitu suatu proses pelakuan panas untuk menghilangkan tegangan sisa atau tegangan dalam akibat proses pengerjaan sebelumnya, misalkan pengecoran. Dimulai proses austenisasi (diatas  $A_1$ ,  $A_3$ ) dengan kisaran suhu seperti pada **Gambar 2.7**, kemudian dilakukan pendinginan lambat dalam dapur pemanas.



**Gambar 2.7** Kisaran Batas Autenisasi Baja pada Proses *Annealing* [26]

### □ *Normalizing*

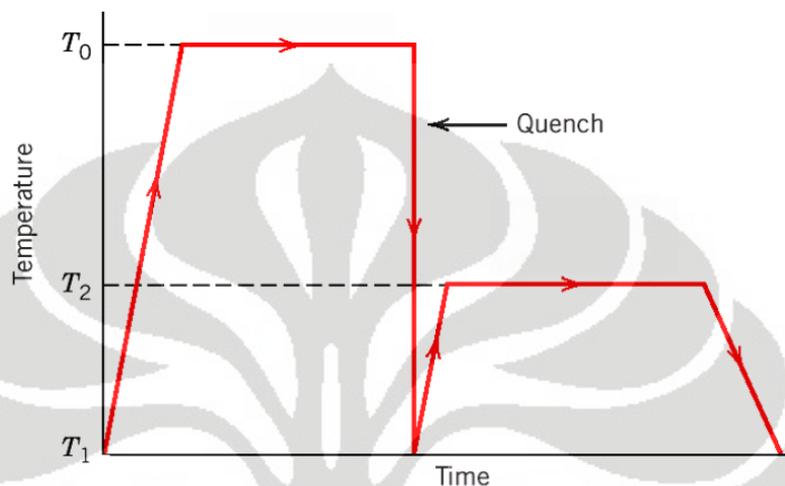
Proses pelakuan panas untuk meningkatkan kembali keuletan agar dapat dideformasi lebih lanjut dengan menggunakan pendinginan udara. Dengan tahapan, setelah austenisasi diatas  $A_3$  atau  $A_{cm}$  pada kisaran suhu seperti pada **Gambar 2.8** kemudian didinginkan secara lambat dengan media udara.



**Gambar 2.8** Kisaran Batas Autenisasi Baja pada Proses *Normalizing* [26]

❑ Pengerasan (*quenching*)

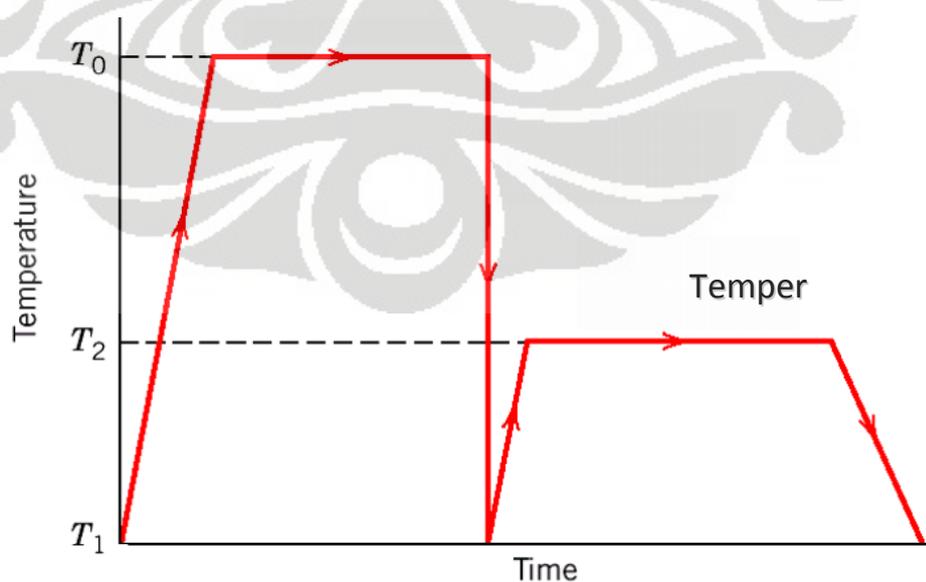
Suatu perlakuan panas untuk meningkatkan kekerasan dan ketahanan aus dengan cara memanaskan sampai temperatur austenit dan didinginkan dengan cepat untuk mendapatkan struktur martensit seperti dapat ditunjukkan pada **Gambar 2.9** dibawah ini.



**Gambar 2.9** Diagram Proses Pengerasan (*quenching*)<sup>[27]</sup>

❑ *Temper*

Pelakuan panas untuk menurunkan tegangan sisa akibat proses quench dan untuk meningkatkan ketangguhannya. Hasil struktur mikro dapat berupa martensit maupun bainit. Dengan digram proses temper dapat diilustrasikan seperti pada **Gambar 2.10** berikut ini.



**Gambar 2.10** Diagram Proses *Temper*<sup>[27]</sup>

## 2.5 Cacat Coran dan Analisa Penyebab Cacat

### 2.5.1 Cacat coran

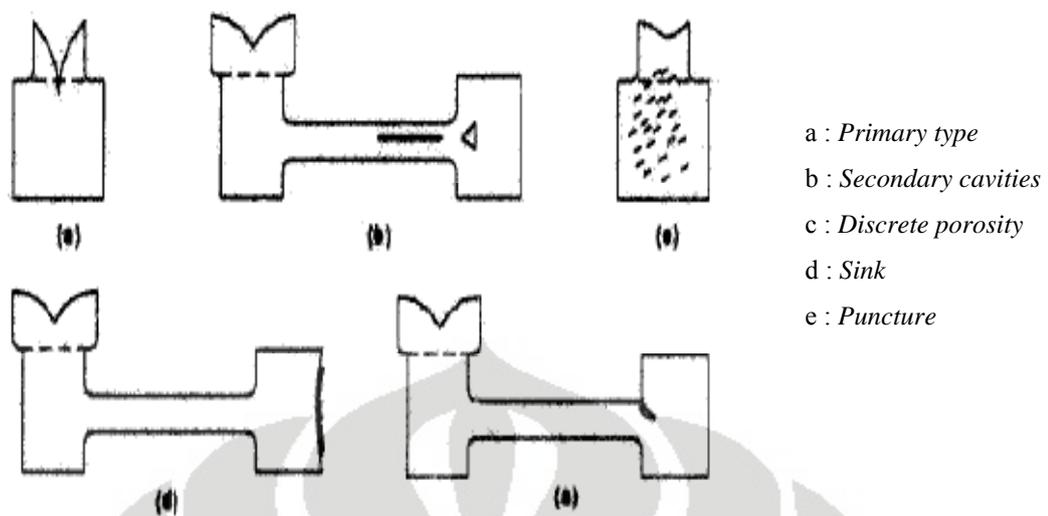
Dalam proses pengecoran terdapat empat faktor yang berpengaruh atau merupakan ciri dari proses pengecoran, yaitu:

- ❑ Adanya aliran logam cair kedalam rongga cetak
- ❑ Terjadi perpindahan panas selama pembekuan dan pendinginan dari logam dalam cetakan
- ❑ Pengaruh material cetakan
- ❑ Pembekuan logam dari kondisi cair

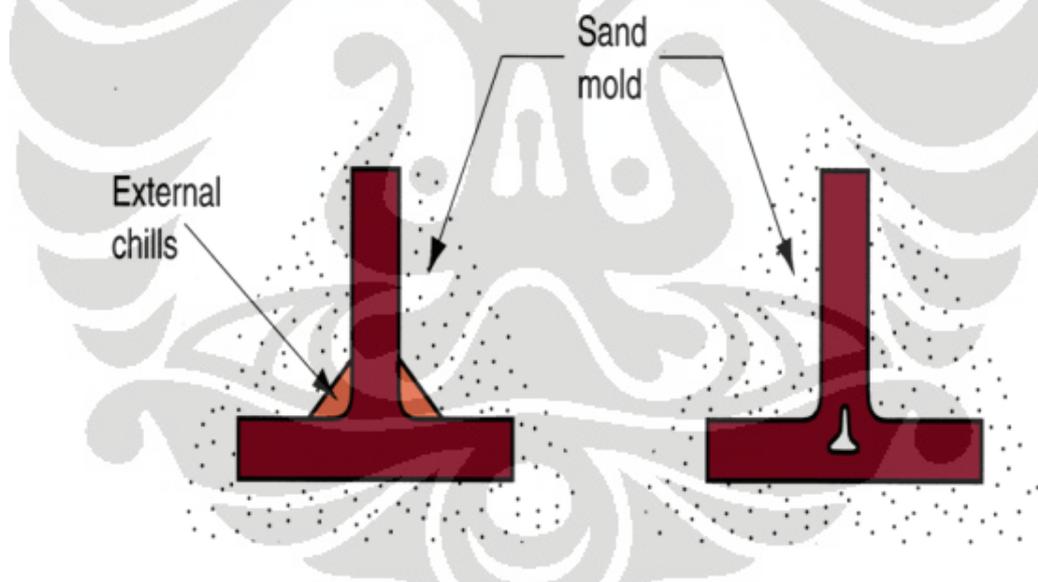
Keempat parameter tersebut sangat berpengaruh terhadap kualitas dari coran. Sehingga memerlukan perhatian khusus untuk mendapatkan produk coran yang bebas cacat (*soundness*).

Cacat pada produk cor secara umum dapat dikategorikan menjadi 3 jenis, yaitu *major defect*, *minor defect* dan cacat yang dapat diperbaiki namun tidak ekonomis. Cacat mayor merupakan cacat yang tidak dapat diperbaiki dan termasuk produk afkir. Sedangkan cacat minor adalah cacat yang masih dapat diperbaiki dengan biaya perbaikan yang ekonomis<sup>[28]</sup>.

Cacat yang biasanya terjadi pada pengecoran baja adalah penyusutan (*shrinkage*). Cacat ini umumnya timbul karena kekurangan suplai cairan logam yang disebabkan adanya proses penyusutan pada waktu pembekuan. Ketidaktepatan sistem saluran (*gating system*) dan teknik pengumpanan (*risering*) yang biasanya menjadi faktor utama penyebab cacat *shrinkage*. Cacat ini juga dapat timbul antara lain jika temperatur tuang yang terlalu rendah. Terdapat beberapa bentuk cacat *shrinkage* yang sering dijumpai seperti pada **Gambar 2.11** dibawah. Cacat ini dapat dieliminir dengan mendesain pembekuan yang terarah atau menggunakan chill, padding dan memperbaiki posisi serta dimensi dari riser<sup>[28]</sup>. Ilustrasi pencegahan *shrinkage* dengan menggunakan chill dapat ditunjukkan pada **Gambar 2.12** berikut.



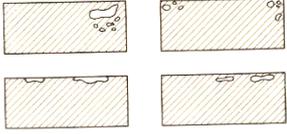
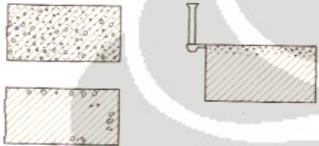
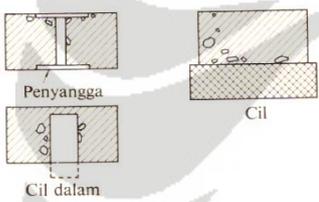
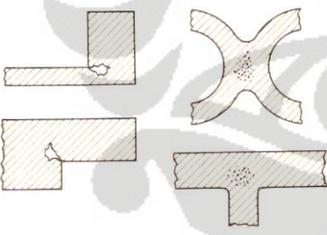
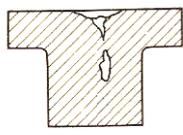
Gambar 2.11 Tipe Cacat *Shrinkage* <sup>[29]</sup>

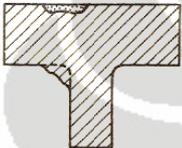


Gambar 2.12 Alternatif Pencegahan Cacat *Shrinkage* <sup>[30]</sup>

Pada proses pengecoran selain cacat *shrinkage*, dapat juga terjadi cacat-cacat coran yang lain seperti dapat ditunjukkan pada **Tabel 2.3** berikut.

Tabel 2.3 Cacat Coran <sup>[21]</sup>

No	Nama Cacat/Skema	Ciri-ciri	Penyebab	Usaha Pencegahan
1	Rongga udara 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rongga bulat sedikit dibawah permukaan coran</li> <li>Warna sesuai dengan sebab cacat dan materialnya</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Adanya oksidasi pada logam cair atau cetakan</li> <li>Temperatur dan kecepatan penuangan rendah</li> <li>Adanya kandungan air pada cetakan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Menjaga agar tidak terjadi turbulen dan membuat lubang angin (<i>vent</i>)</li> <li>Pengaturan temperatur dan kecepatan penuangan logam cair</li> <li>Menjaga tingkat kekeringan cetakan</li> </ul>
2	Lubang jarum 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bentuknya seperti bekas tusukan jarum</li> <li>Permukaan dalamnya berwarna perak / biru karena oksidasi</li> </ul>	Seperti pada cacat rongga udara	Seperti pada cacat rongga udara
3	Rongga gas karena cil 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bentuknya timbul sekitar penyangga atau cil dalam</li> <li>Bagian dalamnya halus dan ukurannya berbeda</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Adanya karat atau bahan yang bisa menguap pada permukaan cil sehingga dapat terbentuk gas karena panas dari logam cair</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Karat pada cil harus dibersihkan (dipolis) dan dicegah (disepuh)</li> <li>Pengaturan temperatur cetakan, inti dan cil pada waktu pemasangan untuk mencegah terjadinya pengembunan</li> </ul>
4	Penyusutan dalam 	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lubang cacat karena adanya penyusutan yang terjadi selama proses pembekuan</li> <li>Bagian dalam dikelilingi oleh kristal-kristal dendrit dan tidak tampak dari permukaan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Adanya perbedaan kecepatan pembekuan pada tiap bagian coran sehingga pada bagian yang paling lambat membeku mudah terjadi cacat</li> <li>Temperatur penuangan yang terlalu rendah</li> <li>Kesalahan dalam perencanaan riser dan sistem saluran</li> <li>Cetakan dengan sudut-sudut yang tajam</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mengusahakan agar terjadi pembekuan yang terarah (<i>directional solidification</i>)</li> <li>Penempatan riser ditempat yang bertemperatur tinggi</li> <li>Penggunaan cil agar terjadi pembekuan terarah dan fungsi riser optimal</li> </ul>
5	Penyusutan luar 	Cacat penyusutan yang terjadi pada permukaan luar coran	Seperti pada penyusutan dalam	Seperti pada penyusutan dalam

No	Nama Cacat/Skema	Ciri-ciri	Penyebab	Usaha Pencegahan
6	Rongga penyusutan 	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sama dengan penyusutan dalam dan luar</li> <li>▪ terjadi pada bagian yang tebal dan membeku terakhir</li> <li>▪ Berupa lubang-lubang kecil dengan permukaan dalam berkristal (dendrie kasar)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Seperti pada penyusutan dalam</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Seperti pada penyusutan dalam</li> </ul>
7	Rontokan Cetakan 	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bentuk bengkakkan yang tak menentu terjadi disebabkan pecahnya cetakan dan pecahan pasir ini menyebabkan inklusi pasir ditempat lain</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Penumbukan yang tidak cukup karena kecerobohan pada pembuatan cetakan dan cara penguatan dengan jarum-jarum adalah tidak baik</li> <li>▪ Kekuatan pasir yang tidak cukup tinggi</li> <li>▪ Memegang cetakan dengan kasar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bekerja dengan hati-hati dalam tiap proses</li> </ul>
8	Inklusi terak 	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Inklusi bukan logam dalam logam cair yang disebabkan oleh reaksi kimia selama peleburan, penuangan, atau pembekuan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Oksidasi logam cair</li> <li>▪ Terlalu banyak inoculan</li> <li>▪ Penyingkiran terak dari permukaan cairan logam dalam ladle tidak cukup</li> <li>▪ Tahanan panas yang rendah dari bahan pelapis ladle</li> <li>▪ Waktu penuangan yang terlalu lama</li> <li>▪ Kurang padat pada permukaan cetakan</li> <li>▪ Pembersihan pada rongga cetakan dan permeabilitas yang kurang</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪</li> </ul>
9	Inklusi Pasir 	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cacat dimana pasir terbawa dalam coran dan cacat terjadi pada permukaan atau didalam coran</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Seperti pada Inklusi terak</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Seperti pada Inklusi terak</li> </ul>

### 2.5.2 Frekuensi penyebab cacat coran

Analisa kegagalan merupakan suatu kajian teknis meliputi gejala, faktor-faktor penyebab dari kerusakan atau kegagalan dengan menggunakan metodologi yang sistematis sehingga dapat ditarik suatu kesimpulan dan rekomendasi agar dapat dilakukan usaha-usaha pencegahannya. Gejala tersebut dapat ditunjukkan dengan adanya ketidakmampuan komponen atau produk untuk berfungsi dengan sebagaimana mestinya. Sedangkan faktor-faktor penyebabnya dan prosentase terjadinya kegagalan dapat ditunjukkan pada tabel berikut.

**Tabel 2.4** Faktor Penyebab dan Prosentase Terjadinya Kegagalan<sup>[31]</sup>

No	Faktor Penyebab Kegagalan	Prosentase (%)
1.	Ketidaktepatan dalam pemilihan material	88
2.	Kesalahan proses pabrikasi	15
3.	Kegagalan proses perlakuan panas	15
4.	Kegagalan proses perancangan	11
5.	Kondisi operasi yang tidak terduga	8
6.	Kurang mengontrol kondisi lingkungan	6
7.	Kesalahan dalam proses inspeksi dan QC	5
8.	Kesalahan menganalisa material	2

Sedangkan pada proses pengecoran terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kualitas dari coran, antara lain desain coran, sistem saluran, riser, kepresisian cetakan, tingkat kekeringan cetakan, komposisi kimia, metode penuangan, ekspansi panas dan penyusutan<sup>[31]</sup>. Baja cor (SCPH 2) mempunyai karakteristik yang relatif sulit untuk mencapai produk coran yang bebas dari cacat (*sound casting*)<sup>[32]</sup>. Hal ini antara lain disebabkan kesalahan dalam desain, proses maupun karena alasan biaya dan dapat juga disebabkan oleh bentuk produk yang memiliki keterbatasan untuk dicor atau *castability*-nya rendah.

### 2.5.3 Arah pengembangan teknologi pengecoran

Kecenderungan pengembangan industri pengecoran yang ada saat ini adalah dengan melakukan inovasi teknologi untuk meningkatkan effisien pabrik. Dalam pengembangan tersebut mengikuti isu-isu yang berkembang saat ini baik untuk effisiensi penggunaan energi, material maupun industri yang ramah lingkungan. Secara singkat parameter-parameter tersebut dapat diilustrasikan pada **Tabel 2.5** berikut ini.

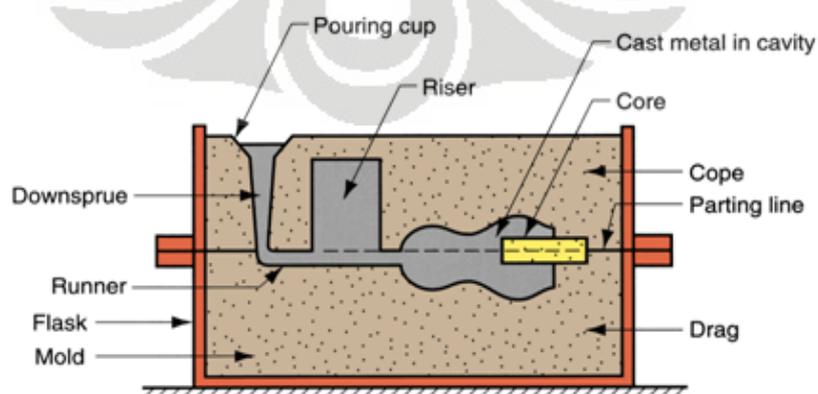
Tabel 2.5 Trend Pengembangan Industri Pengecoran <sup>[33]</sup>

No	ISU	PARAMETER	PENGEMBANGAN
1	Energi	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Energi Peleburan</li> <li>▪ Energi Panas</li> <li>▪ Rugi-rugi</li> <li>▪ Sumber energi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Effisiensi dapur peleburan</li> <li>▪ Pemanfaatan gas buang</li> <li>▪ Minimal rugi-rugi (isolator, elektrik)</li> <li>▪ Bahan bakar vs elektrik</li> </ul>
2	Material	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Desain pola</li> <li>▪ Desain cetakan</li> <li>▪ Engineering</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Optimalisasi penyusutan, permesinan, <i>parting line</i></li> <li>▪ Optimalisasi <i>yield casting</i></li> <li>▪ Simulasi untuk mereduksi <i>trial &amp; error</i></li> </ul>
3	Lingkungan	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Emisi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>Waste Management</i></li> </ul>

## 2.6 Desain Pengecoran

### 2.6.1 Sistem saluran

Sistem saluran merupakan jalan masuknya logam cair kedalam rongga cetakan. Bagian-bagian sistem saluran ini dimulai dari cawan tuang (*pouring cup*), saluran turun (*downsprue*), pengalir (*runner*), saluran masuk (*ingate*) dan kemudian logam cair masuk kedalam rongga cetakan. Selain itu dalam merancang sistem saluran untuk membuat pembekuan yang terarah kadang di perlukan penambah (*riser*) dan cil (*chil*) serta diperlukan juga perangkat penyaring kotoran berupa saringan atau dapat pula perpanjangan pengalir untuk menangkap kotoran yang ikut terbawa logam cair. Secara skematis sistem saluran tersebut dapat ditunjukkan pada **Gambar 2.13**.



**Gambar 2.13** Skematis Sistem Saluran <sup>[14]</sup>

Sedangkan jenis atau penggolongan sistem saluran dapat dibedakan berdasarkan bentuk corannya seperti sistem saluran langsung, saluran pisah, saluran bawah, saluran pensil, saluran bertingkat dan sebagainya. Perbedaan dari masing-masing sistem saluran dapat dijelaskan seperti berikut <sup>[21]</sup> :

- ❑ Saluran langsung, terdapat saluran tegak yang terbuka langsung pada bagian atas rongga. Logam cair yang jatuh ke dalam rongga akan mengganggu logam yang terdahulu dituang, sistem ini lebih ekonomis dan lazim, karena sistem saluran ini mudah dibuat lagi pula pendek.
- ❑ Saluran pisah, mempunyai saluran masuk pada permukaan pisah dari cetakan, dari mana logam cair dijatuhkan ke dalam rongga cetakan.
- ❑ Saluran bawah, mempunyai saluran masuk melalui bagian bawah dari rongga cetakan. Desain ini mempunyai saluran turun tegak yang panjang disambung dengan pengalir horizontal dan saluran masuk sering dibuat membelok ke atas. Kadang-kadang dipakai saluran model cincin dan saluran terompet. Dibanding dengan sistem saluran bawah menyebabkan logam cair naik yang tidak terganggu dalam cetakan. Oleh karena itu sistem tersebut dipakai dimana diperlukan laju penuangan yang cepat, yaitu untuk baja cor atau bahan-bahan yang mudah teroksidasi seperti besi cor bergrafit bulat.
- ❑ Saluran pensil, yang merupakan sistem saluran dimana logam cair dijatuhkan ke bawah melalui beberapa lubang pada dasar dari cawan tuang. Sistem saluran ini cocok untuk coran yang panjang dan tipis seperti pipa. Kalau saluran pensil dipasang di ujung atas dari cetakan pipa tegak dan logam dituang, maka cetakan diisi secara merata dari bawah dan akan didapat pipa yang baik.
- ❑ Saluran bertingkat, mempunyai saluran turun yang dihubungkan dengan beberapa saluran masuk. Logam cair mengalir ke dalam rongga dari saluran masuk yang terbawah, dan kemudian dari saluran masuk kedua berikutnya, dari saluran ketiga dan seterusnya. Oleh karena itu logam cair yang paling panas secara tetap diisikan ke atas logam di dalam rongga. Dalam hal dimana logam mempunyai penyusutan yang besar seperti baja cor, akan terjadi rongga penyusutan yang kecil karena logam cair yang terpanas diberikan diatas dan maju pembekuan dari bawah akan teratur. Tetapi saluran demikian

dapat memberikan aliran logam tidak seperti disebut di atas, kecuali apabila dibuat secara sempurna. Dalam hal itu, logam cair hanya diberikan dari saluran paling bawah saja sampai saat terakhir sehingga hasil yang diharapkan tidak dicapai.

- ❑ Saluran baji, dibuat seperti celah pada bagian atas coran, dipakai untuk coran biasa dengan ketebalan merata. Logam cair diberikan sedikit demi sedikit dengan tidak terganggu melalui celah, dan bagian atas logam lebih panas dari pada bagian bawah sehingga rongga penyusutan kecil.

Dalam merancang sistem saluran hendaknya mempertimbangkan beberapa syarat yang menjadi dasar dalam merancang sistem saluran, antara lain :

- ❑ Cairan logam harus mampu mengalir dalam sistem saluran dengan meminimalkan terjadinya turbulensi dan gas terperangkap pada cetakan untuk mencegah terjadinya cacat coran
- ❑ *Gradien temperature* logam serendah mungkin serta menjaga agar terjadi pembekuan terarah (*directional solidification*)
- ❑ Rongga cetakan harus terisi secara penuh dan dalam waktu sesingkat mungkin sehingga harus diatur kecepatan pemasukan logam cair ke dalam rongga
- ❑ Produk coran harus seminimal mungkin menghasilkan kelebihan logam (sistem saluran dan penambah) sehingga akan meningkatkan nilai *yield casting*

Untuk mencapai persyaratan diatas, maka sangat diperlukan untuk mengontrol penuangan, media penuangan, temperatur penuangan dan rancangan sistem saluran yang tepat. Berikut ini tabel temperatur tuang berbagai logam coran *ferrous*.

**Tabel 2.6** Temperatur Tuang Logam Coran Ferrous <sup>[34]</sup>

Cast metal	Liquidus Temperature (° C)	Pouring Temperature (° C)			
		Small castings		Large castings	
		Thin sections	Thick sections	Thin sections	Thick sections
Grade 20 C.I.	1150	1400	1370	1340	1310

Cast metal	Liquidus Temperature (° C)	Pouring Temperature (° C)			
		Small castings		Large castings	
		Thin sections	Thick sections	Thin sections	Thick sections
Grade 25 C.I.	1180	1425	1400	1310	1340
Grade 30 C.I.	1220	1470	1440	1419	1380
0,8% C steel	1470	1550-1560	1535-1560	1500-1530	1480-1510

### 2.6.2 Sistem penambah

Fungsi utama dari penambah (*riser*) ini adalah untuk mensuplai atau mengumpukan cairan logam kepada produk cor sebagai kompensasi penyusutan yang terjadi pada saat proses pembekuan. Riser tersebut merupakan rongga yang berada pada cetakan bagian atas (*cope*) yang akan diisi oleh cairan logam dan untuk memudahkan mengetahui kondisi penuangan. Selain itu riser juga dapat memfasilitasi untuk mengeluarkan gas dan udara yang terperangkap dalam rongga cetakan. Adapun persyaratan utama agar riser dapat berfungsi efektif adalah <sup>[35]</sup> :

- Volumennya cukup untuk mensuplai produk cor yang akan menyusut
- Mampu mengatasi penampang yang tipis yang membutuhkan pengumpan (*riser*)
- Mampu mempertahankan sifat fluiditas cairan logam dalam keadaan cair
- Mampu mengatasi gradien temperatur sehingga pembekuan terakhir tetap mengarah ke riser
- Riser harus mempunyai ukuran yang optimal, karena jika terlalu besar akan mengurangi yield casting namun apabila kurang dapat menyebabkan rongga penyusutan (*shrinkage*).

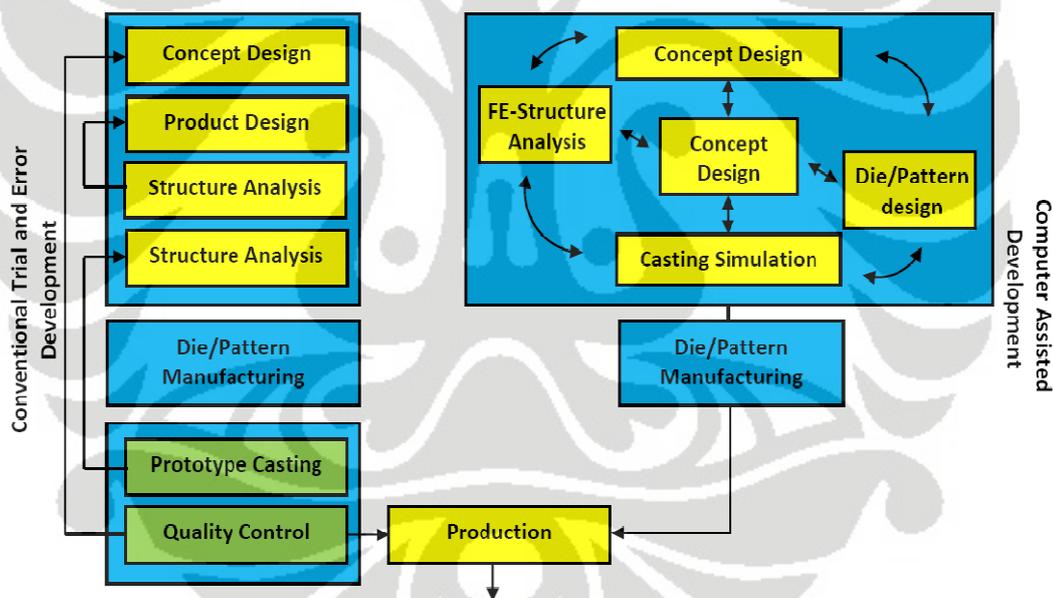
Riser ini dapat diletakan pada atas coran maupun samping coran. Pada riser samping tersebut dipasang pada samping coran dan langsung dihubungkan dengan sistem saluran. Biasanya digunakan untuk produk coran skala kecil dan menengah. Sedangkan riser atas ini biasanya mempunyai ukuran yang besar dan sesuai untuk produk cor yang besar. Secara umum riser dapat diklasifikasikan

menjadi dua yaitu *open riser* dan *blind riser*. *Open riser* adalah riser yang permukaan atasnya berhubungan langsung dengan atmosfer. Sedangkan *blind riser* merupakan jenis *riser* yang tidak berhubungan dengan udara luar dan semua sisinya berhubungan dengan pasir cetak.

## 2.7 Simulasi Pengecoran dan Sistem Numerik

### 2.7.1 Simulasi pengecoran

Penggunaan *software* simulasi pengecoran telah banyak memberikan kontribusi positif dalam pengembangan produk cor baik secara kualitas maupun ekonomis. Hal tersebut dikarena dapat mengurangi resiko kegagalan pada saat tahap percobaan yang mungkin akan terjadi, sehingga dapat mencapai efisiensi baik dari sisi waktu maupun biaya. Sebagai gambaran perbandingan proses pengecoran secara konvensional dan komputasi dapat ditunjukkan pada **Gambar 2.14** berikut.



**Gambar 2.14** Perbandingan Proses Pengecoran Secara Konvensional dan Komputasi<sup>[36]</sup>

Dengan berkembangnya teknologi simulasi pengecoran, banyak para pengembang *software* simulasi pengecoran menciptakan *software* tersebut dengan kemampuan yang sesuai permintaan konsumen. Pada **Tabel 2.7** di bawah ini merupakan perbandingan beberapa *software* pengecoran yang dikembangkan oleh beberapa institusi yang banyak digunakan di dunia pengecoran.

Tabel 2.7 Perbandingan *Software* Simulasi Pengecoran [37]

<b>Software</b>	<b>Developing Organization</b>	<b>Mold Filling Attributes</b>	<b>Solidification Attributes</b>	<b>Hardware Req.</b>
<i>AFSolid</i>	<i>American Foundryman's Society</i>	<i>No capability : not availabel</i>	<i>2-D with variable thickness. Predicts shrinkage. Can input hot spots. Good preand post-processing</i>	<i>PC</i>
<i>MagmaSoft</i>	<i>Magma, Germany</i>	<i>F. D.</i>	<i>Structure formation and hot tears</i>	<i>MINI</i>
<i>FLOCAST</i>	<i>Univ. Of Pittsburgh</i>	<i>Uses SOLA-VOF</i>	<i>Incomplete information</i>	<i>MINI or WS</i>
<i>ProCAST</i>	<i>UES, Inc.</i>	<i>F. E. Full N. S. Solution. VOF approach, PreCast interfaces with PATRAN, IDEAS and ANVIL</i>	<i>Uses enthalpy method. Contains alloy database. Moving-surface radiation view factors</i>	<i>MINI, WS, or SUPER</i>
<i>Duct / Moldflow</i>	<i>Cambridge Univ.</i>	<i>Generates F.E. grid for flow and stress analyses</i>	<i>Incomplete information</i>	<i>Incomplete information</i>
<i>FIDAP</i>		<i>Free surface capability</i>	<i>Incomplete information</i>	<i>Incomplete information</i>
<i>FLOW 3-D</i>	<i>FLOWSCIEN CE / Los Alamos N. L</i>	<i>F. D. Long run times. Not user friendly, but good numerical results. Includes tubulance model.</i>	<i>Incomplete information</i>	<i>Incomplete information</i>
<i>NEKTON</i>	<i>Nektonics / Creare.x</i>	<i>F. E. Uses spectral element method. Full unsteady N.S. Solution. Solves conjugate heat transfer.</i>	<i>No capability: not available</i>	<i>WS or SUPER</i>
<i>Phoenics</i>	<i>CHAM of N. A.</i>	<i>Includes chemical reactions and combustion processes. EasyFlow is PC counterpart.</i>	<i>Incomplete information</i>	<i>WS or SUPER</i>

<b>Software</b>	<b>Developing Organization</b>	<b>Mold Filling Attributes</b>	<b>Solidification Attributes</b>	<b>Hardware Req.</b>
<i>RaPiDcast</i>	<i>Metalworking Technology, Inc.</i>	<i>F.D. Based on SOLA-VOF. Includes turbulence model. Full unsteady N. S. Solution</i>	<i>No natural convection. Uses enthalpy method. Predicts thermal stresses.</i>	<i>Incomplete information</i>
<i>Simulor</i>	<i>Aluminium Pechiney</i>	<i>F. D. Time accurate or use a "false transient approach." Free surface smoothing option.</i>	<i>Uses enthalpy method.</i>	<i>WS</i>
<i>SOLCAST</i>	<i>GM (Proprietary)</i>	<i>No capability : not available</i>	<i>F. E. Tailored to GM use.</i>	<i>Incomplete information</i>
<i>Solstar</i>	<i>Foseco</i>	<i>No capability : not available</i>	<i>F. D. Versatile post processing</i>	<i>PC</i>
<i>SPIDER</i>	<i>Univ. of Illinois</i>	<i>No capability : not available</i>	<i>F. E.</i>	<i>Incomplete information</i>
<i>TOPAZ</i>	<i>Lawrence Livermore Natl. Lab</i>	<i>No capability : not available</i>	<i>Relatively slow, poor pre-processor</i>	<i>Incomplete information</i>

Selain *software* simulasi pengecoran diatas, terdapat juga *software* pengecoran yang dikembangkan oleh KITEC dan CUBITEK – KOREA yaitu Z-Cast yang digunakan pada penelitian simulasi pengecoran turbin uap ini. Z-Cast merupakan salah satu *software* CAE (Computer Aided Engineering) untuk simulasi pengecoran yang dapat diterapkan pada berbagai metode pengecoran seperti *sand mold casting (automatic casting line, green sand, furan), permanent mold, high/low pressure die casting, centrifugal casting, squeeze casting, tilt casting, investment casting, dan single crystal investment* <sup>[15]</sup>.

Model 3D dapat menggunakan file CAD dengan tipe -stl atau -iges dari berbagai *software* CAD seperti Solid Work, CATIA, Pro Engineer dan UniGraphics. Selain keunggulan interface CAD tersebut, Z-Cast juga mempunyai kemampuan untuk melakukan *auto mesh generation* dari file -stl dan mempunyai *database management* yang dapat disesuaikan dengan kondisi pengecoran yang akan dilakukan. Sehingga dapat melakukan pengaturan parameter pengecoran yang mendekati kondisi aktualnya.

Sedangkan pada *solver* khususnya pada proses analisis aliran fluida (*fluid flow analysis*) menerapkan metode SOLA VOF dan metode FDM untuk proses pembekuannya. Dengan kemampuan solver tersebut Z-Cast mampu melakukan simulasi pengecoran untuk memprediksi cacat coran, optimalisasi desain coran, melakukan analisis pengecoran secara terintegral, berdasarkan analisis tersebut dapat dilakukan upaya pencegahan terhadap cacat yang mungkin terwujud dan mengurangi kemungkinan terjadi kegagalan. Persyaratan spesifikasi komputer (*hardware*) untuk mengoperasikan Z-Cast dapat ditunjukkan pada gambar berikut.

System Requirement		
	Basic Spec.	Recommended
CPU	Pentium2 500 Mhz	Pentium3 800 Mhz
OS	Microsoft Windows NT/2000/98	
Memory	128 MB	512 MB
Display	1024 x 768 16 Million Color 32 MB	1024 x 768 16 Million Color 32 MB or more
HDD	500 MB	More than 500 MB

**Gambar 2.15** Spesifikasi *Hardware* untuk Z-Cast <sup>[15]</sup>

Pada tahap *post processing*, Z-Cast mampu melakukan pengamatan selama proses simulasi baik dalam format gambar (BMP) maupun video (AVI) dan memberikan informasi kondisi pengecoran untuk proses analisis aliran fluida, analisis pembekuan maupun analisis siklis. Secara skematis kemampuan dan spesifikasi Z-Cast untuk simulasi pengecoran dapat ditunjukkan pada **Tabel 2.8** berikut.

**Tabel 2.8** Spesifikasi Simulasi Pengecoran Z-Cast <sup>[38]</sup>

<i>PRE PROCESSING</i>	<i>SOLVER</i>	<i>POST PROCESSING</i>
<p><b>Intereface Data CAD</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Desain pengecoran dari CAD data <i>interface</i> (format stl, iges) dari Solid work, CATIA, PRO/E, IDEA, UG</li> </ul>	<p><b>Fluid Flow Analysis Module</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><i>Uncompressible viscous fluid</i></li> <li><i>Transient Analysis Consider inertia</i></li> <li><i>Continuity Equation, Kinematic equation, Energy Equation, SOLA VOF method</i></li> </ul>	<p><b>Fluid Flow Analysis Module</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Menampilkan prosedur pengisian logam cair</li> <li>Menampilkan daerah yang belum terisi</li> <li>Menampilkan sebaran temperatur pengecoran dan cetakan selama pengisian</li> <li>Menampilkan kecepatan pada layar</li> </ul>

<b>PRE PROCESSING</b>	<b>SOLVER</b>	<b>POST PROCESSING</b>
<p><b>Auto Mesh Generation</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cepat dan mudah (4 juta/4 detik)</li> <li>▪ Pembuatan mesh otomatis</li> <li>▪ Pembuatan mesh tak terbatas (100 juta)</li> <li>▪ Mampu menentukan inlet</li> </ul>	<p><b>Solidification Analysis Module</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>3D transient heat transfer &amp; solidification analysis</i></li> <li>▪ <i>Direct Finite Difference Method (DFDM)</i></li> <li>▪ <i>Temperature Recovery Method (latent heat)</i></li> <li>▪ <i>General sand casting &amp; investment casting.</i></li> </ul>	<p><b>Solidification Analysis Module</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Waktu solidifikasi : distribusi waktu solidifikasi pada posisi akhir pembekuan dan cacat shrinkage</li> <li>▪ Suhu solidifikasi : menampilkan sebaran suhu coran dan cetakan</li> <li>▪ Fungsi kriteria : gradient temperature, laju pendinginan, Niyama dan mengetahui secara kuantitatif volume surut.</li> </ul>
<p><b>Database Management</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pemilihan material mudah</li> <li>▪ Cor : Cast steel, Cast iron, Aluminium Copper, Magnesium, Zinc, Cr/Ni Base</li> <li>▪ Cetakan : Green sand, Furan, steel, CR-Sand, Ceramic</li> <li>▪ Lainnya : Sleeve, chill, core, cool</li> </ul>	<p><b>Cycle Analysis Module</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>3D transient heat transfer &amp; solidification analysis</i></li> <li>▪ <i>Direct Finite Difference Method (DFDM)</i></li> <li>▪ <i>Temperature Recovery Method (latent heat)</i></li> <li>▪ <i>Cooling design of casting mold</i></li> <li>▪ <i>Decision of cycle time</i></li> <li>▪ <i>Forecast &amp; control of mold temperature</i></li> </ul>	<p><b>Cycle Analysis Module</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Penentuan waktu siklus</li> <li>▪ Mengetahui suhu cetakan permanen</li> <li>▪ Saluran pendinginan cetakan permanen</li> </ul>

### 2.7.2 Sistem numerik

Penerapan metode simulasi numerik untuk proses analisis pengecoran sangat berkembang pesat dan banyak digunakan untuk metode analisis aliran fluida, tegangan maupun metode analisis pembekuan. Secara prinsip sistem numerik dari proses pengecoran ini memadukan dari tiga persamaan fundamental yaitu hukum kekekalan massa, momentum dan energi<sup>[10]</sup>, seperti ditunjukkan pada **Persamaan (2.2)** sampai dengan **Persamaan (2.5)**.

□ Persamaan kekekalan massa<sup>[10]</sup>

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \nabla \rho \vec{v} = 0 \quad (2.2)$$

Dimana :

$\rho$  : berat jenis,

$\vec{v}$  : vektor kecepatan aliran (u, v, w)

apabila diasumsikan  $\rho$  konstan, maka :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (2.3)$$

□ Persamaan kekekalan momentum <sup>[10]</sup>

$$\rho \left\{ \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla \vec{v} \right\} = -\nabla P + \mu \nabla^2 \vec{v} + \rho \vec{g} \quad (2.4)$$

Dimana :

P : tekanan

$\mu$  : dynamic viscosity

$\vec{g}$  : kecepatan gravitasi

□ Persamaan kekekalan energi <sup>[39]</sup>

$$\rho C_p \left( \frac{\partial T}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla T \right) = \nabla \cdot k \nabla T + \mu \phi + Q \quad (2.5)$$

Dimana :

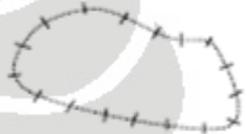
k : konduktivitas panas

V : Volume

T : Temperatur spesifik

Selain ketiga persamaan tersebut, dalam hukum aliran fluida juga mempertimbangkan hukum Bernoulli, Reynold Number dan Navier-Stokes. Sehingga untuk menyelesaikan persamaan tersebut, agar dapat merepresentasikan fenomena proses penuangan dalam pengecoran (*mold filling*) digunakan suatu metode simulasi numerik secara komputasi<sup>[40]</sup>. Jenis metode simulasi numerik yang banyak digunakan antara lain FEM (*Finite Element Method*), FDM (*Finite Difference Method*), BEM (*Boundary Element Method*) dan lain sebagainya, untuk penjelasan seperti pada **Tabel 2.9** dibawah ini.

Tabel 2.9 Tabel Jenis Metode Numerik <sup>[38]</sup>

	<b>FDM (FVM)</b>	<b>FEM</b>	<b>BEM</b>
Aplikasi Utama	Perpindahan panas, Analisis Fluiditas	Analisis struktural (analisis tegangan)	Noise, Mekanika perpatahan
Keuntungan	Pemograman sederhana, tidak memerlukan kalkulus integral	Untuk kegunaan umum	Setup one grade low element network infinite area issue
Kekurangan	Tidak cukup untuk bentuk kompleks	Diperlukan kalkulus integral, Sulit menghitung elemen	Diperlukan kalkulus integral, tidak cocok untuk analisa (benda) tipis
Elemen			

Proses pembekuan pada pengecoran juga merupakan proses kritikal yang harus mendapat perhatian khusus agar mendapatkan produk cor yang berkualitas (*soundness*). Disamping itu kunci utama dari proses pembekuan ini adalah proses perpindahan panas yang terjadi. Proses perpindahan panas (*heat transfer*) ini meliputi proses radiasi, kontak langsung logam cair dengan cetakan, konduksi dengan udara dan konveksi dalam udara yang terperangkap pada cetakan dan logam cair<sup>[23]</sup>. Oleh karena itu pada proses simulasi pengecoran biasanya menggunakan pemodelan atau simulasi numerik yang dapat dibagi menjadi beberapa konsep perhitungan model :

- ❑ Perhitungan aliran fluida (*fluid flow*), digunakan untuk melihat fenomena aliran logam dalam mengisi rongga cetakan dengan memperhatikan faktor-faktor lain seperti kecepatan aliran, berat jenis, material dan persamaan *Navier-Stokes*. Metode yang digunakan antara lain SOLA (*Solution Algorithm*).

- ❑ Perhitungan *free surface*, digunakan untuk melihat kondisi batas antarmuka (*interface boundary condition*) dengan metode yang biasa digunakan VOF (*Volume of Fluid*). VOF merupakan metode yang telah sukses banyak digunakan untuk mengatasi masalah teknis terutama untuk *free surface* dan termasuk pula *mold filling* <sup>[10]</sup>.
- ❑ Perhitungan perpindahan panas (*heat transfer*), digunakan untuk mengetahui fenomena yang terjadi selama proses pembekuan (*solidification*), dapat menggunakan FDM (*Finite Difference Method*).

Dalam perkembangannya sekarang ini, dengan banyaknya metode simulasi numerik yang mempunyai kemampuan beda-beda. Sehingga hal tersebut menjadi lahan penelitian yang cukup luas untuk dikembangkan agar dapat menentukan metode yang terbaik. Terkadang diperlukan kombinasi metode simulasi numerik yang ada, agar mendapatkan keakuratan *software* untuk memprediksi hasil coran dan dalam waktu yang efisien <sup>[41]</sup>. Sebagai contoh metode SOLA-VOF seperti yang digunakan software Z-CAST, PROCAS, FLOCAST, RAPIDCAST dan FLOW3D. SOLA-VOF merupakan metode yang sangat populer belakangan ini sebagai gabungan metode simulasi numerik yang mempunyai kemampuan pada perhitungan *free surface* untuk mensimulasikan aliran logam cair, perpindahan panas dan efek pembekuan <sup>[40]</sup>.

Pada perkembangannya sekarang ini terdapat dua pendekatan mendasar mengenai simulasi numerik untuk aliran fluida, yang pertama ialah metode *Eulerian* atau *grid based* seperti metode yang digunakan diatas. Kemudian metode yang lebih baru yaitu metode dengan pendekatan *Lagrangian* atau *particles based*, yang lebih dikenal dengan *Smoothed Particle Hydrodynamic* (SPH). Metode simulasi numerik ini mempunyai kemampuan yang lebih tangguh dalam menyelesaikan algoritma pada proses pembekuan (*solidification*)<sup>[42]</sup>. Dengan menggunakan pendekatan *Lagrangian* (SPH) yang diikuti penggunaan mesh partikel ini juga dapat membuat perhitungan simulasi lebih akurat, gambar yang dihasilkan lebih tajam dan mampu menyelesaikan simulasi dengan kondisi sistem yang lebih sulit<sup>[43]</sup>.

## 2.8 Pengujian dan Standarisasi

### 2.8.1 Pengamatan visual

Pengamatan visual ini dimaksudkan terutama untuk meneliti cacat yang terjadi pada permukaan produk. Pengamatan secara visual ini dilakukan dengan mengamati permukaan coran dan untuk meyakinkan dalam pengambilan keputusan hasil pengamatan juga dilakukan pukulan dengan menggunakan palu. Hal ini dilakukan untuk memastikan ketidakraturan yang terjadi hanya dipermukaan coran atau menyebar sampai ke bagian dalam benda coran. Berikut ini akan diuraikan bagian produk coran di mana cacat-cacat mudah terjadi, dengan demikian jelas bahwa bagian tersebut harus diperiksa dengan teliti <sup>[21]</sup>.

- ❑ Setelah penuangan, gas dan pecahan cetakan mudah bergerak ke arah kup, karena itu rongga udara dan inklusi biasa terjadi disana. Tekanan statis dari logam cair pada permukaan kup lebih kecil dibandingkan dengan tekanan pada permukaan drag, sehingga deformasi dan rongga penyusutan mudah terjadi disana.
- ❑ Di bagian drag, pengaruh penambah lebih besar dibanding dengan di bagian kup, oleh karena itu penetrasi logam dan permukaan kasar mudah sekali terjadi.
- ❑ Di tempat di mana terjadi perubahan tebal irisan yang menyolok, umpamanya dibagian filet, dibagian saluran masuk, terjadi pemusatan kontraksi logam cair, oleh karena itu rongga penyusutan terjadi dibagian tersebut. Penetrasi logam mudah terjadi pada bagian filet, dan tersapunya atau terpotongnya cetakan mudah terjadi disebabkan karena banyaknya aliran logam cair yang mengalir dibagian saluran masuk.
- ❑ Pada bagian irisan tipis yang mempergunakan penyangga penggabungan logam penyangga mungkin tidak cukup baik sehingga di sekitar penyangga terdapat rongga-rongga.
- ❑ Dalam hal penggunaan inti yang rumit, inti tidak dapat disingkirkan seluruhnya dari dalam coran.

### 2.8.2 Pengujian komposisi kimia

Pengujian ini umumnya dilakukan untuk menjaga kualitas material coran khususnya dari sisi komposisi unsur kimia pembentuk material tersebut. Pengujian komposisi kimia ini merupakan pengujian untuk mengetahui kesesuaian atau ketidaksesuaian unsur-unsur yang ada pada material uji dengan spesifikasi material atau standar material yang dijadikan referensi. Karena komposisi kimia dari suatu material dapat mempengaruhi sifat dari material tersebut dan menentukan tipe atau grade material <sup>[15]</sup>. Pengambilan Sampel material pada proses pengecoran dapat dilakukan pada saat material dalam wujud cair maupun pada saat material sudah menjadi padat. Akan lebih menguntungkan jika ketidaksesuaian komposisi kimia dari coran dapat diketahui lebih dahulu sebelum produk dibentuk.

Pada material baja karbon unsur utama terdiri dari karbon, mangan dan silicon. Namun dapat ditambahkan unsur-unsur paduan lain untuk mendapatkan spesifikasi material yang ingin dicapai. Unsur paduan tersebut dapat dikelompokkan menurut fungsinya seperti pada **Tabel 2.10** berikut.

**Tabel 2.10** Pengelompokan Unsur Paduan Berdasarkan Fungsinya<sup>[44]</sup>

No	FUNGSI	KETERANGAN	UNSUR PADUAN
1	Penstabil Ferrit	membuat ferrit menjadi lebih stabil sampai ke temperatur yang lebih tinggi.	Cr, W, Si, Mo, dan Ti
2	Penstabil Austenit	membuat austenit stabil pada temperatur lebih rendah bahkan sampai temperatur kamar.	Ni dan Mn
3	Pembentuk Karbida	membentuk karbida dalam paduan	Mn, Cr, W, Mo, V, Ti, Nb, Ta, dan Zr
4	Penstabil Karbida	membuat karbida lebih stabil, tidak mudah terurai dan larut dalam suatu fasa	Co, Ni, W, Mo, Mn, Cr, V, Ti, Nb dan Ta
5	Pembentuk Nitrida	Membentuk nitride dalam paduan	Unsur pembentuk karbida dan dilakukan nitriding

### 2.8.3 Pengujian mikrostruktur

Pengujian struktur mikro ini mempunyai tujuan untuk mengetahui fasa-fasa yang terbentuk pada coran serta menganalisa struktur mikro dan sifat-sifatnya. Dalam pengujian ini, kualitas bahan ditentukan dengan mengamati struktur mikro yang terbentuk di bawah mikroskop, disamping itu dapat pula mengamati cacat dan bagian yang tak teratur. Mikroskop yang dipergunakan adalah mikroskop cahaya, akan tetapi dapat dipergunakan juga mikroskop elektron untuk mendapat pembesaran yang tinggi. Dalam hal tertentu dipakai alat khusus yaitu mikroskop pirometri untuk bisa mengamati perubahan-perubahan yang disebabkan oleh perubahan temperatur, atau juga dipakai alat penganalisa mikro dengan mana kotoran kecil dalam struktur dapat dianalisa. Permukaan logam uji dipolis dan diperiksa langsung dibawah mikroskop atau dilakukan lebih dulu bermacam-macam etsa baru diperiksa di bawah mikroskop.

Tahapan proses pengujian struktur mikro ini dapat dikempokan menjadi dua bagian besar yaitu tahap preparasi sampel dan tahap pengamatan struktur mikro, seperti pada penjelasan berikut :

#### (1) Preparasi Sampel

##### (a) *Cutting (Pemotongan)*

Pemilihan sampel yang tepat dari suatu benda uji mikroskopik merupakan hal yang sangat penting. Pemilihan sampel tersebut didasarkan pada tujuan pengamatan yang hendak dilakukan. Pada umumnya bahan komersil tidak homogen, sehingga satu sampel yang diambil dari suatu volume besar tidak dapat dianggap representatif. Pengambilan sampel harus direncanakan sedemikian sehingga menghasilkan sampel yang sesuai dengan kondisi rata-rata bahan atau kondisi di tempat-tempat tertentu (kritis), dengan memperhatikan kemudahan pemotongan pula. Secara garis besar, pengambilan sampel dilakukan pada daerah yang akan diamati mikrostruktur maupun makrostrukturnya. Sebagai contoh, untuk pengamatan mikrostruktur material yang mengalami kegagalan, maka sampel diambil sedekat mungkin pada daerah kegagalan (pada daerah kritis dengan kondisi terparah), untuk kemudian dibandingkan dengan

sampel yang diambil dari daerah yang jauh dari daerah gagal. Perlu diperhatikan juga bahwa dalam proses memotong, harus dicegah kemungkinan deformasi dan panas yang berlebihan. Oleh karena itu, setiap proses pemotongan harus diberi pendinginan yang memadai.

Ada beberapa sistem pemotongan sampel berdasarkan media pemotong yang digunakan, yaitu meliputi proses pematahan, pengguntingan, penggergajian, pemotongan abrasi (*abrasive cutter*), gergaji kawat, dan EDM (*Electric Discharge Machining*). Berdasarkan tingkat deformasi yang dihasilkan, teknik pemotongan terbagi menjadi dua, yaitu :

- Teknik pemotongan dengan deformasi yang besar, menggunakan gerinda
- Teknik pemotongan dengan deformasi kecil, menggunakan *low speed diamond saw*

#### (b) Mounting

Spesimen yang berukuran kecil atau memiliki bentuk yang tidak beraturan akan sulit untuk ditangani khususnya ketika dilakukan pengamplasan dan pemolesan akhir. Sebagai contoh adalah spesimen yang berupa kawat, spesimen lembaran metal tipis, potongan yang tipis, dll. Untuk memudahkan penanganannya, maka spesimen-spesimen tersebut harus ditempatkan pada suatu media (*media mounting*). Secara umum syarat-syarat yang harus dimiliki bahan mounting adalah :

- Bersifat inert (tidak bereaksi dengan material maupun zat etsa)
- Sifat eksoterimis rendah
- Viskositas rendah
- Penyusutan linier rendah
- Sifat adhesi baik
- Memiliki kekerasan yang sama dengan sampel
- Flowabilitas baik, dapat menembus pori, celah dan bentuk ketidakaturan yang terdapat pada sampel
- Khusus untuk etsa elektrolitik dan pengujian SEM, bahan mounting harus konduktif

Media mounting yang dipilih haruslah sesuai dengan material dan jenis reagen etsa yang akan digunakan. Pada umumnya mounting menggunakan material plastik sintetik. Materialnya dapat berupa resin (*castable resin*) yang dicampur dengan hardener, atau bakelit. Penggunaan *castable resin* lebih mudah dan alat yang digunakan lebih sederhana dibandingkan bakelit, karena tidak diperlukan aplikasi panas dan tekanan. Namun bahan *castable resin* ini tidak memiliki sifat mekanis yang baik (lunak) sehingga kurang cocok untuk material-material yang keras. Teknik mounting yang paling baik adalah menggunakan *thermosetting resin* dengan menggunakan material bakelit. Material ini berupa bubuk yang tersedia dengan warna yang beragam. *Thermosetting mounting* membutuhkan alat khusus, karena dibutuhkan aplikasi tekanan ( $4200 \text{ lb/in}^2$ ) dan panas ( $149^\circ\text{C}$ ) pada mold saat mounting.

(c) *Grinding (Pengamplasan)*

Permukaan yang kasar dari sampel ini harus diratakan agar pengamatan struktur mudah untuk dilakukan. Pengamplasan dilakukan dengan menggunakan kertas amplas yang ukuran butir abrasifnya dinyatakan dengan mesh. Urutan pengamplasan harus dilakukan dari nomor mesh yang rendah (hingga 150 mesh) ke nomor mesh yang tinggi (180 hingga 600 mesh), tergantung pada kekasaran permukaan dan kedalaman kerusakan yang ditimbulkan oleh pemotongan.

Pada saat pengamplasan sangat diperlukan pemberian air. Air ini berfungsi sebagai pemindah geram, memperkecil kerusakan akibat panas yang timbul yang dapat merubah struktur mikro sampel dan memperpanjang masa pemakaian kertas amplas. Hal lain yang harus diperhatikan adalah ketika melakukan perubahan arah pengamplasan, maka arah yang baru adalah  $45^\circ$  atau  $90^\circ$  terhadap arah sebelumnya.

(d) *Polishing (Pemolesan)*

Setelah diampelas sampai halus (600#), sampel harus dilakukan pemolesan. Pemolesan bertujuan untuk memperoleh permukaan sampel yang halus bebas goresan dan mengkilap seperti cermin dan menghilangkan

ketidakteraturan sampel hingga orde  $0.01 \mu\text{m}$ . Permukaan sampel yang akan diamati di bawah mikroskop harus benar-benar rata. Apabila permukaan sampel kasar atau bergelombang, maka pengamatan struktur mikro akan sulit untuk dilakukan karena cahaya yang datang dari mikroskop dipantulkan secara acak oleh permukaan sampel.

Tahap pemolesan dimulai dengan pemolesan kasar terlebih dahulu kemudian dilanjutkan dengan pemolesan halus. Ada 3 metode pemolesan, antara lain :

- **Pemolesan Elektrolit Kimia**  
Hubungan rapat arus & tegangan bervariasi untuk larutan elektrolit dan material yang berbeda dimana untuk tegangan, terbentuk lapisan tipis pada permukaan, dan hampir tidak ada arus yang lewat, maka terjadi proses etsa. Sedangkan pada tegangan tinggi terjadi proses pemolesan.
- **Pemolesan Kimia Mekanis**  
Merupakan kombinasi antara etsa kimia dan pemolesan mekanis yang dilakukan serentak di atas piringan halus. Partikel pemoles abrasif dicampur dengan larutan pengetsa yang umum digunakan.
- **Pemolesan Elektro Mekanis (Metode Reinacher)**  
Merupakan kombinasi antara pemolesan elektrolit dan mekanis pada piring pemoles. Metode ini sangat baik untuk logam mulia, tembaga, kuningan, dan perunggu.

*(e) Etching (Etsa)*

Etsa merupakan proses penyerangan atau pengikisan batas butir secara selektif dan terkendali dengan pencelupan ke dalam larutan pengetsa baik menggunakan listrik maupun tidak ke permukaan sampel sehingga detail struktur yang akan diamati akan terlihat dengan jelas dan tajam. Untuk beberapa material, mikrostruktur baru muncul jika diberikan zat etsa. Sehingga perlu pengetahuan yang tepat untuk memilih zat etsa yang tepat.

- **Etsa Kimia**  
Merupakan proses pengetsaan dengan menggunakan larutan kimia dimana zat etsa yang digunakan ini memiliki karakteristik tersendiri sehingga pemilihannya disesuaikan dengan sampel yang akan diamati.

Contohnya antara lain : nitrid acid / nital (asam nitrit + alkohol 95%), picral (asam picric + alkohol), ferric chloride, hydroflouric acid, dll. Perlu diingat bahwa waktu etsa jangan terlalu lam (umumnya sekitar 4 – 30 detik), dan setelah dietsa, segera dicuci dengan air mengalir lalu dengan alkohol kemudian dikeringkan dengan alat pengering.

- Elektro Etsa (Etsa Elektrolitik)

Merupakan proses etsa dengan menggunakan reaksi elektroetsa. Cara ini dilakukan dengan pengaturan tegangan dan kuat arus listrik serta waktu pengetsaan. Etsa jenis ini biasanya khusus untuk stainless steel karena dengan etsa kimia susah untuk medapatkan detil strukturnya

## (2) Pengamatan Mikrostruktur

Baja karbon, merupakan material ferrous dengan  $< 2.14\% \text{ C}$ . Terbagi atas 2 jenis, yaitu baja hypoeutectoid ( $< 0.8\% \text{ C}$ ) dan hypereutectoid ( $> 0.8\% \text{ C}$ ). Pada kadar  $0.8\% \text{ C}$  terbentuk fasa perlit (cementit  $6.67\% \text{ C} + \text{ferit } 0.02\% \text{ C}$ ). Sedangkan pada baja karbon dengan proses *heat* dan *surface treatment*, dimana dasarnya adalah transformasi fasa dan dekomposisi austenite. Proses perlakuan panas yang dapat dilakukan antara lain *annealing*, *spheroidisasi*, *normalisasi*, *tempering* & *quenching*.

### 2.8.4 Pengujian tarik

Pengujian tarik dilakukan dengan jalan memberikan beban tarik pada batang uji secara perlahan-lahan sampai patah. Batas mulur, kekuatan tarik, perpanjangan, pengecilan luas dan sebagainya diukur pada pengujian ini. Pada pengujian ini dipakai mesin uji universal yang dapat juga melakukan pengujian tekan dan lentur. Ukuran dari batang uji tarik untuk yang dicor adalah penting sekali. Untuk kebanyakan bahan coran penuangan, ukuran batang uji setelah dicor dan ukuran setelah selesai dikerjakan dengan mesin, distandardkan. Alasannya adalah untuk menyamakan pengaruh dari keadaan pendinginan dan pembekuan. Kalau kekuatan yang diperlukan kira-kira sama dengan kekuatan tarik dari produk, maka batang uji lebih baik diambil dari produk tersebut, akan tetapi untuk praktisnya kebanyakan batang uji dibuat dengan keadaan pendinginan yang sama.

### 2.8.5 Pengujian kekerasan

Kekerasan adalah sifat yang dapat diandalkan sebagai pengganti kekuatan bahan. Pengukuran kekerasan adalah mudah, sehingga banyak yang dilakukan dalam pemilihan bahan. Ada beberapa macam alat pengujian kekerasan yang dipergunakan sesuai dengan : bahan, kekerasan, ukuran dan hal lain-lainnya dari suatu produk. Macam-macam metode pengujian kekerasan adalah sebagai berikut :

#### (1) Kekerasan Brinell

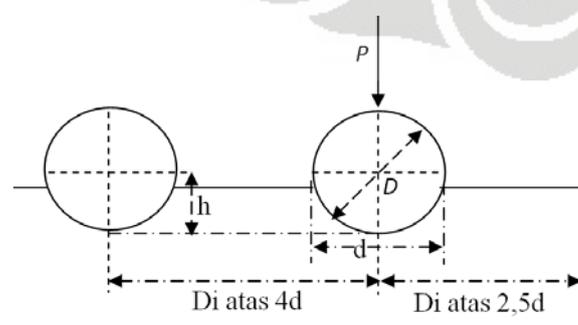
Kekerasan ini diukur dengan mempergunakan alat pengukur kekerasan Brinell. Bola baja keras dengan diameter  $D$  mm, ditekan ke permukaan bagian yang diukur dengan beban  $P$  kg. Kekerasan Brinell adalah  $P$  dibagi luas bidang ( $\text{mm}^2$ ) penekanan yang merupakan deformasi tetap sebagai akibat penekanan. **Tabel 2.11** berikut menunjukkan harga standar untuk diameter bola baja keras dan beban dengan daerah kekerasan yang diukur dan skematis pengukuran kekerasan Brinell.

**Tabel 2.11** Diameter Bola dan Pengukuran Kekerasan Brinell <sup>[21]</sup>

Diameter bola baja $D$ (mm)	Beban (kg)				
	$30 D^2$	$10 D^2$	$5 D^2$	$12,5 D^2$	$D^2$
10	3.000	1.000	500	(125)	(100)
5	750	(250)	(125)	-	-
Daerah kekerasan yang cocok untuk pengukuran	160-450	53-200	26-100	7-25	5-26
Bahan yang diukur	Logam keras baja, besi cor	Paduan tembaga, paduan aluminium keras	Tembaga, paduan aluminium	Logam lunak, timah dan lainnya.	

Skematis Pengukuran Brinell :

( Harga di antara kurung untuk alat khusus)



$$H_B = \frac{P}{\pi Dh} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

## (2) Kekerasan Rockwell

**Tabel 2.12** Skala dan Standar Untuk Kekerasan Rockwell <sup>[21]</sup>

Skala	Kepala penekan	Beban (kg)	Skala Jarum	Rumus Kekerasan	Keterangan
B	Bola baja diameter 1,588 mm (1/16 in)	100	Merah	130-500 <i>h</i>	Untuk bahan dari B 0-100 70
C	Kerucut diaman	150	Hitam	100-500 <i>h</i>	Untuk bahan di atas B 100 dan C 0 sampai 70
A D	Kerucut diaman	60 100	Hitam	100-500 <i>h</i>	Paduan yang sangat keras Dipakai kalau apabila diinginkan Beban lebih ringan dari sekala C Bahan dengan permukaan keras
F G	Bola baja, diameter 1,588 mm (1/8 in)	60 150			Bahan bantalan, bahan lunak bahan lebih keras dari sekala B.
H E K	Bola baja, diameter 3,175 mm (1/8 in)	60 100 150			Bahan sangat lunak, logam bantalan, paduan besi sinter, paduan tembaga sinter.
L M P	Bola baja, diameter 6,35 mm (1/4 in)	60 100 150	Merah	130-500 <i>h</i>	Paduan sinter, plastik
R S V	Bola baja, diameter 12,7 mm (1/2 in)	60 100 150			
15-N 30-N 45-N	Kerucut diaman Bola baja	15 30 45			Logam keras dengan pengerasan permukaan, bahan tipis
15-T 30-T 45-T	Diameter 1,588 mm (1/16 in)	15 30 45		100-1.000 <i>h</i>	Baja berlapis tin, paduan tembaga dst

### (3) Kekerasan Vickers

Kekerasan ini diukur dengan mempergunakan alat penguji Vickers. Dalam pengujian ini dipakai piramid diaman dengan sudut bidang-duanya  $136^\circ$  sebagai penekan. Kekerasan Vickers ditentukan serupa seperti penentuan kekerasan Brinell yaitu beban dibagi luas permukaan bekas penekanan. Ada juga alat penguji kekerasan Vickers khusus, yaitu untuk mengukur segregasi dalam struktur logam dengan pertolongan sebuah mikroskop.

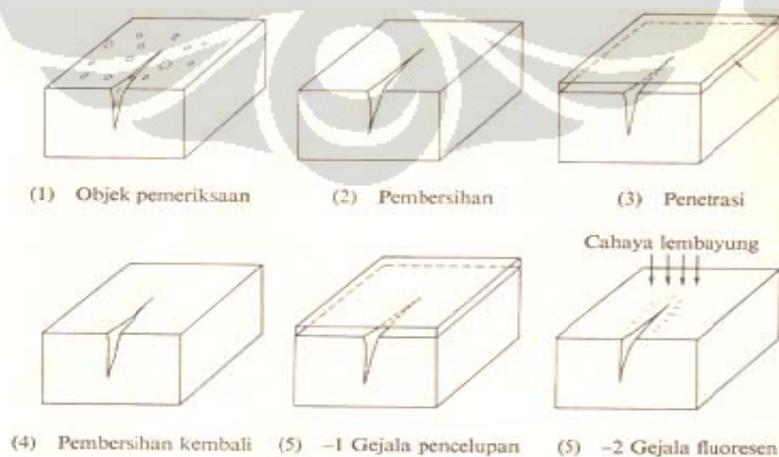
### (4) Kekerasan Shore

Kekerasan ini diukur dengan alat pengukur kekerasan Shore, yaitu dengan jalan menjatuhkan bola diamana pada permukaan bahan yang diukur, kemudian tinggi pantulannya diukur, dimana tinggi tersebut merupakan ukuran kekerasan Shore. Hasil pengukuran kekerasan Shore lebih tidak teratur, sehingga pengukuran harus dilakukan 5 sampai 10 kali yang kemudian diambil harga rata-ratanya.

## 2.8.6 Pengujian tidak merusak (Non Destructive Test)

### (1) Pengujian Penetrasi

Pengujian ini dipergunakan untuk meneliti cacat seperti retak, rongga penyusutan, dan sebagainya yang memberikan lubang kecil pada permukaan produk. Pengujian ini dibagi menjadi penetrasi pencelupan warna yang mempergunakan cairan pencelup warna dan penetrasi fluoresen yang mempergunakan cairan fluoresen, kedua cara tersebut berdasarkan azas yang sama. Pada **Gambar 2.16** berikut ditunjukkan Pengujian penetrasi dan tahapannya.



**Gambar 2.16** Tahapan Pengujian Penetrasi <sup>[21]</sup>

## (2) Pengujian Ultrasonik (Cara pemantulan pulsa)

Pengujian dilakukan dengan mengarahkan gelombang ultrasonik kepada bagian benda diuji dan menangkap ketidaknormalan gelombang yang dipantulkan. Kalau gelombang ultrasonik menjalar di dalam benda, maka kemudian akan dipantulkan oleh permukaan cacat seperti rongga udara, retak, dan kotoran. Pulsa ultrasonik dihasilkan oleh osilator pulsa dan penggetar dalam pencari kemudian diteruskan ke dalam terdapat cacat sebagian dari pulsa ultrasonik dipantulkan oleh cacat kembali ke pencari. Sebagian lain melewati cacat dan dipantulkan oleh bidang sisi sehingga pulsa pantulan yang biasa lebih lambat kembali ke pencari. Gelombang pantulan dirubah ke voltase frekwensi tinggi diperbesar pada penerimaan dan diteruskan ke tabung Braun. Bayangan pada tabung Braun merupakan cacat.

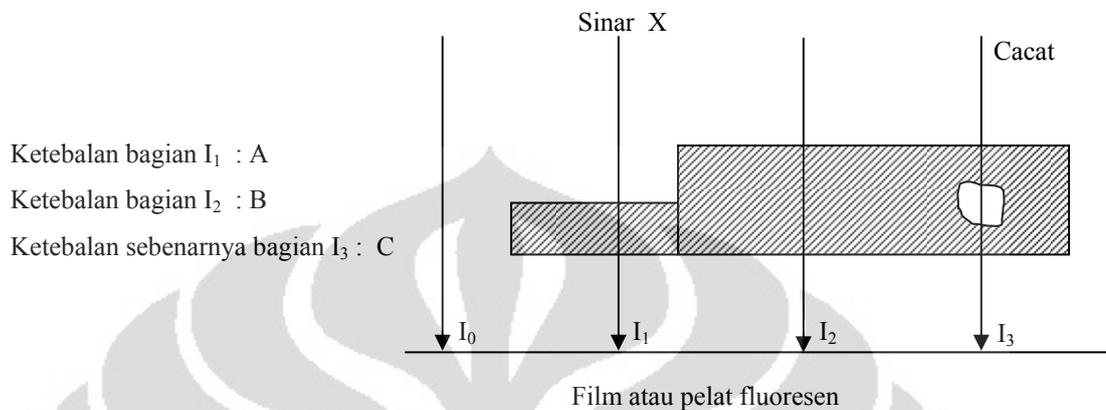


**Gambar 2.17** Pengujian Ultrasonik <sup>[21]</sup>

## (3) Pengujian radiografi

Cahaya radiasi seperti sinar X, sinar  $\gamma$  dan sebagainya adalah gelombang elektromagnet yang berbentuk cahaya, mempunyai panjang gelombang pendek dan mempunyai daya untuk menembus logam. Derajat transmisi dari radiasi berbeda tergantung pada logam, tebal irisan, berat jenis dan energi radiasi. **Gambar 2.18** dibawah ini menunjukkan radiasi yang diteruskan melalui batang uji yang mempunyai cacat dalam dan mempunyai ketebalan yang sama. Makin tipis benda yang ditembus, makin besar intensitas sinar yang diteruskan. Oleh karena itu radiasi yang diteruskan menjadi lemah menurut urutan bagian  $I_0$ ,  $I_1$ , dan  $I_2$ . Kalau terdapat cacat di dalam, intensitas sinar yang diteruskan pada  $I_3$  lebih besar dari pada  $I_2$  walaupun ketebalan di C sama dengan ketebalan di B. Oleh karena itu dengan mengukur intensitas sinar yang diteruskan dari tiap bagian

produk, cacat dalam seperti rongga penyusutan, inklusi dan sebagainya dan tebal sebenarnya dapat diamati. Intensitas sinar yang diteruskan dicatat pada film atau membentuk bayangan pada pelat fluoresen sehingga cacat dapat diteliti di situ.



**Gambar 2.18** Skematis Pengujian Radiografi Sinar X <sup>[21]</sup>

(a) Sinar  $\gamma$

Sumber radioaktif yang khas diantara radioisotop yang dipergunakan untuk radiografi ditunjukkan dalam **Tabel 2.13** berikut.

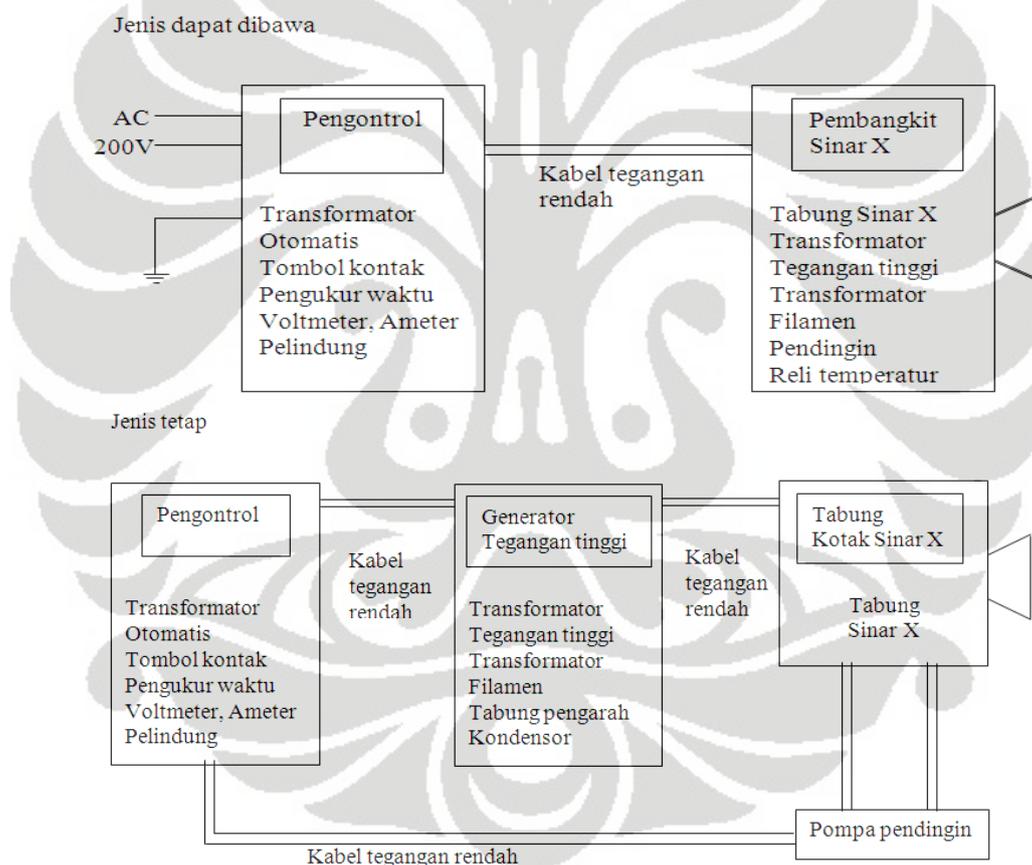
**Tabel 2.13** Radioisotop yang khas untuk Pengujian radiografi <sup>[21]</sup>

Radioisotop	$^{60}\text{Co}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{192}\text{Ir}$	$^{170}\text{Tm}$
Umur tengah	5,2 y.	30y.	74,4 d.	127 d.
Rumus kimia	Co	CsCl	Ir	Tm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Berat jenis (g/cm <sup>3</sup> )	8,9	3,5	22,4	4
Energi sinar- $\gamma$ (MeV)	1,17 ; 1,33 (1,25 rata-rata)	0,662	0,30-0,61 (0,35 rata-rata)	0,084, 0,052

Sinar  $\gamma$  mempunyai beberapa keuntungan, seperti daya tembus yang besar, mudah dibawa, pelindung dari alat radiasinya kecil, harganya murah dan sebagainya. Tetapi mempunyai kekurangannya yaitu, pengontrolan energi radiasi tidak mungkin, waktu penyinaran lama, perlu hati-hati dalam pemakaian dan sebagainya. Alat ini sekarang sudah diperdagangkan sehingga bisa dibeli. Alat ini cocok untuk Pengujian produk berukuran besar dan tebal.

## (b) Instalasi Alat Sinar X

Pada **Gambar 2.19** berikut ini, menunjukkan skema instalasi alat sinar X dari jenis yang dapat dibawa dan jenis tetap. Tegangan tinggi untuk tabung sinar X diberikan oleh pembangkit tegangan tinggi melalui kabel tegangan tinggi. Alat ini dilengkapi dengan pendingin air agar tabung sinar X tidak menjadi terlalu panas. Oleh karena itu alat sinar X yang tetap dapat dipergunakan untuk waktu operasi yang lama dan memungkinkan Pengujian dengan mempergunakan arus besar. Jenis yang dapat dibawa mempunyai beberapa kelemahan dibanding dengan jenis yang tetap, tetapi mempunyai beberapa keuntungan seperti mudah dipakai, mudah dipindah dan sebagainya.



**Gambar 2.19** Skema Instalasi Alat Sinar X <sup>[21]</sup>

### 2.8.7 Standarisasi

Setiap turbin uap yang dibuat dan dimanufaktur harus sesuai dengan standar dan kode yang berlaku di dunia industri dimana turbin uap ini akan beroperasi. Penggunaan standar dan kode yang berlaku secara umum ini dengan tujuan bahwa

turbin uap yang dibuat layak beroperasi dan dijamin akan bekerja secara aman sesuai dengan kaidah keamanan operasi. Adapun standar yang digunakan diantaranya American Petroleum Institute (API), Japan Industrial Standard (JIS), International Standard Organization (ISO), International Electrotechnical Commission (IEC), American National Standards Institute (ANSI), American Standards Mechanical Engineer (ASME), dan American Standards Testing of Material (ASTM). Rincian standar dan kode yang dipergunakan dengan ruang lingkungnya dijelaskan pada **Tabel 2.14** berikut ini.

**Tabel 2.14** Standar dan Ruang Lingkungnya<sup>[2]</sup>

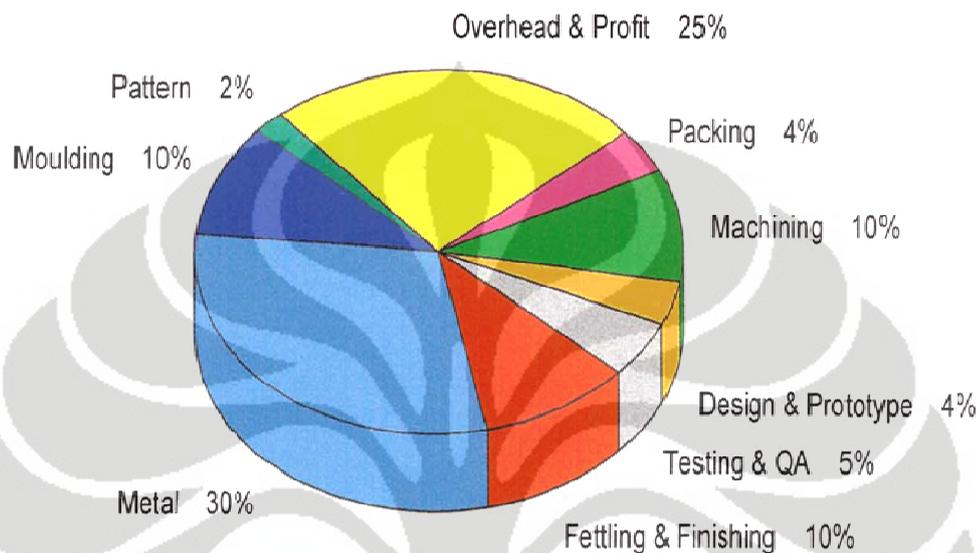
No	STANDAR DAN KODE	RUANG LINGKUP
1.	API Standar 611	<p><i>General Purpose Steam Turbin for Petroleum, Chemical, and Gas Industry Services</i></p> <p>Standarisasi yang dikeluarkan oleh American Petroleum Institute Standards 611 mengatur tentang persyaratan minimum yang harus dipenuhi oleh manufaktur pembuat turbin uap sehingga layak beroperasi dan aman dalam penggunaan sesuai dengan kaidah keselamatan operasi. Persyaratan minimum yang dijelaskan oleh API standards 611 mencakup desain dasar, material yang digunakan, sistem lubrikasi terkait, kontrol peralatan bantu dan aksesoris.</p>
2.	JIS Handbook	<p><i>Ferrous Material and Metallurgy I</i></p> <p>Material turbin uap menggunakan standar material atau spesifikasi material yang mengacu kepada standar yang dimiliki oleh JIS (casing menggunakan JIS G5151 Grade SCPH2).</p>
3.	ASME Boiler and Pressure Code	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>Section II : Material</i></li> <li>▪ <i>Section VIII Division I : Rules for Construction Pressure Vessel</i></li> <li>▪ <i>Section IX : Welding and Brazing</i></li> </ul> <p>ASME Boiler dan Pressure Code Welding digunakan sebagai acuan dalam memprediksi distribusi tegangan pada casing dan proses perbaikan menggunakan pengelasan bilamana terjadi kebocoran casing. Dalam hal ini casing dianggap sebagai bejana bertekanan sehingga ekuivalen dengan boiler. Dengan demikian persyaratan yang dimiliki oleh boiler dapat juga berlaku pada casing</p>

No	STANDAR DAN KODE	RUANG LINGKUP
4.	ASTM A370	<i>Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Product</i> ASTM A 370 mengenai mechanical testing dipakai sebagai acuan untuk menguji sifat mekanik material komponen turbin uap.
5.	ASTM A488	<i>Recommended Practice for Qualification of Procedures and Personnel for the Welding of Steel Casting</i> ASTM A 488 tentang steel casting welding merupakan acuan untuk memperbaiki casing ketika terjadi kebocoran. Standar ini menjelaskan tentang prosedur melakukan welding pada steel casting dan bagaimana menguji hasil pengelasan.
6.	ASTM A609	<i>Specification for Longitudinal Beam Ultrasonic Inspection for Carbon and Low Alloy Steel Casting</i> ASTM A 609 Ultra sonic testing merupakan acuan dalam pemeriksaan kualitas cor dari casing
7.	ASTM E94	<i>Recommended Practice For Radiographic Testing</i> ASTM E 94 digunakan sebagai acuan dalam pelaksanaan pemeriksaan kualitas coran
8.	ASTM E142	<i>Controlling Quality of Radiographic Testing</i> ASTM E 142 digunakan sebagai acuan dalam melakukan pemeriksaan kualitas coran
9.	ASTM E186	<i>Reference Radiographic for Heavy Walled 2 to 4½ inches (51 to 144 mm) Steel Casting</i> ASTM E 186 mengenai Heavy Walled Radiographic sebagai acuan dalam melakukan pemeriksaan kualitas coran untuk tebal coran lebih besar dari 51 mm.

## 2.9 Kajian Tekno Ekonomi

Rincian biaya aktual dari proses pengecoran terdiri beberapa unsur mulai dari pembelian material, desain, produksi, pengujian sampai dengan profit, dimana tergantung dari proses yang diterapkan<sup>[45]</sup>. Hal tersebut dapat diilustrasikan seperti pada **Gambar 2.20** Diagram pie rincian biaya untuk pengecoran. Dari beberapa parameter yang mempengaruhi biaya pengecoran terlihat bahwa biaya untuk pengadaan material paling dominan yaitu sekitar 30 % dari total biaya aktual proses pengecoran. Biaya tersebut sangat besar jika dibandingkan dengan biaya

jasa desain yang hanya sekitar 4 %. Oleh karena itu, penerapan proses simulasi pengecoran diharapkan dapat memberikan kontribusi yang cukup signifikan baik dari sisi teknis maupun ekonomis untuk mencapai optimalisasi desain dan *yield casting* serta efisiensi dari sisi waktu dan biaya.



**Gambar 2.20** Diagram Pie Rincian Biaya Untuk Pengecoran <sup>[45]</sup>

Sedangkan untuk perkiraan biaya penggunaan material tersebut, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut <sup>[46]</sup>.

$$C_{\text{metal}} = C_{\text{unit metal}} \times W_{\text{cast}} \times f_m \times f_p \times f_f \times f_r \quad (2.2)$$

Dimana :

$C_{\text{metal}}$  : Harga metal atau material ( Rp )

$C_{\text{unit metal}}$  : Harga satuan material (Rp /Kg)

$W_{\text{cast}}$  : Berat *casting* (Kg)

$f_m$  : Faktor rugi-rugi material selama peleburan (1,01 – 1,12)

$f_p$  : Faktor rugi-rugi material selama penuangan (1,01 – 1,07)

$f_f$  : Faktor rugi-rugi material selama *finishing* (1,01 – 1,07)

$f_r$  : Faktor *rejection* (Baja : 1,00 – 1,12)

## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian pada studi kasus pengecoran casing turbin uap ini secara garis besar dibagi menjadi 3 tahap penelitian, yaitu :

#### 1 Tahap awal penelitian

Pada tahap ini akan dilakukan review terhadap produk coran casing turbin uap *back pressure*, yang meliputi analisis kegagalan cacat coran, analisis komposisi kimia, analisis hasil *Non Destructive Test* dan gambar desain. Dari gambar desain casing tersebut kemudian dilakukan simulasi pengecoran dan selanjutnya hasil dari simulasi tersebut dikomparasikan dengan produk coran yang secara aktual.

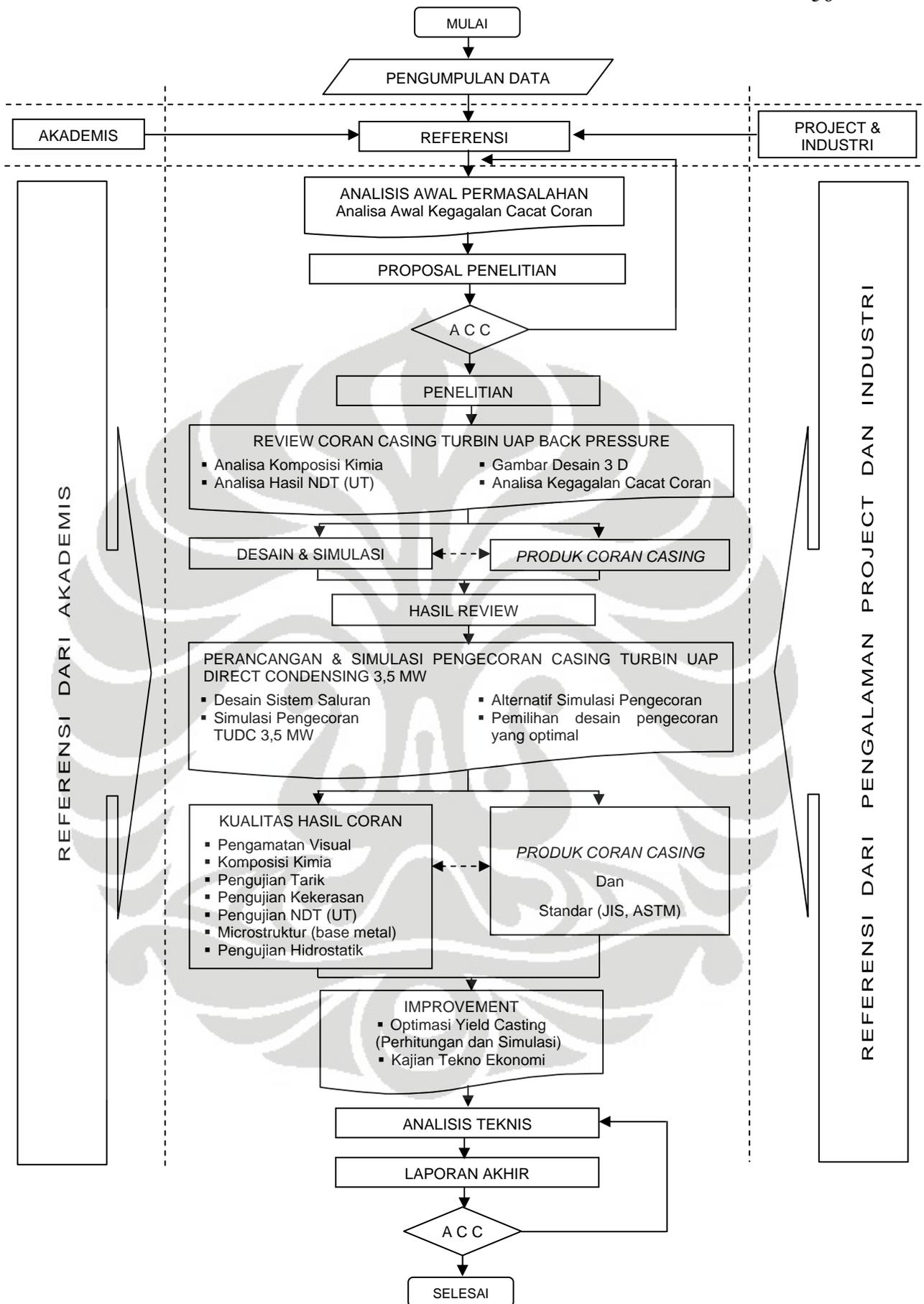
#### 2 Tahap penelitian

Hasil analisis kegagalan cacat coran dan simulasi pengecoran turbin uap *back pressure* digunakan sebagai acuan dalam melakukan perancangan dan simulasi pengecoran casing turbin uap *direct condensing* 3,5 MW. Proses simulasi pengecoran akan dilakukan beberapa kali sebagai alternatif desain dan dilakukan analisa pemilihan desain untuk dilanjutkan ke proses pengecoran. Kemudian produk coran casing yang telah dicor, dilakukan pengamatan secara visual dan serangkaian pengujian, seperti uji komposisi kimia, uji tarik, uji kekerasan, uji NDT (*Ultrasonic Test*), uji metalografi dan uji hidrostatis untuk justifikasi terhadap kualitas hasil coran dengan membandingkan terhadap standar yang ada.

#### 3 Tahap akhir penelitian

Pada tahap akhir akan diteliti kembali kemungkinan alternatif desain pengecoran dengan mempertimbangkan optimalisasi *yield casting* dan efisiensi biaya pengecoran yang dapat dilakukan (tekno-ekonomi). Kemudian dilanjutkan analisis secara menyeluruh dari penelitian studi kasus pengecoran casing turbin uap ini dan pelaporan.

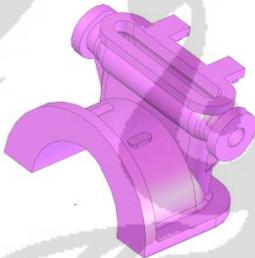
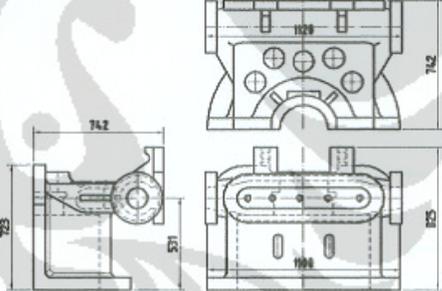
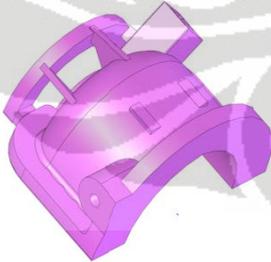
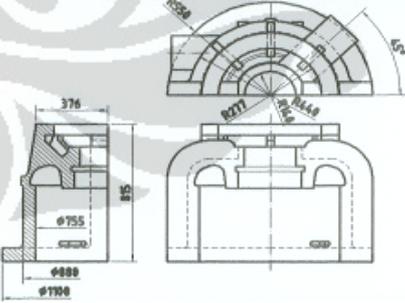
Secara sistematis serangkaian kegiatan penelitian studi kasus pengecoran turbin uap ini dapat ditunjukkan pada **Gambar 3.1** Diagram alir metodologi penelitian.

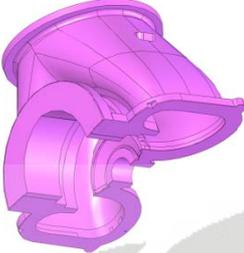
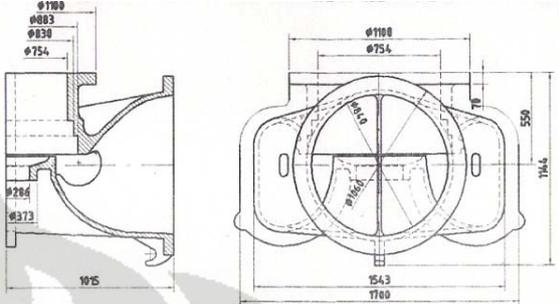
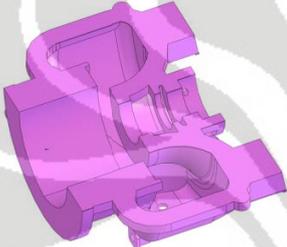
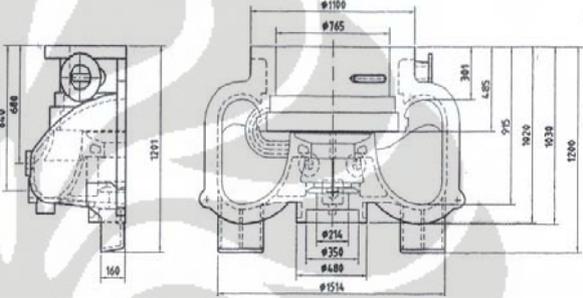
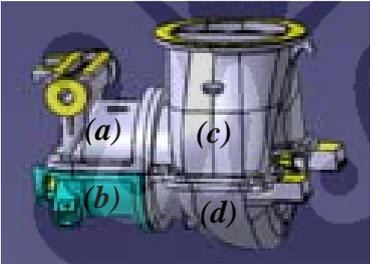
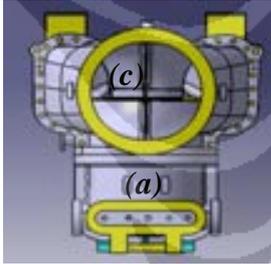


**Gambar 3.1** Diagram Alir Metodologi Penelitian

### 3.2 Perancangan dan Perhitungan Coran Casing TUDC 3,5 MW

Awal gambar desain casing diperoleh dengan menggunakan metode *fotoscanning* yang kemudian diterjemahkan menggunakan *software* CAD menjadi sebuah gambar pengecoran (*as cast drawing*) yang sudah mempertimbangkan berbagai faktor baik teknis maupun ekonomis seperti faktor pembuatan coran yang bagus, baik dari pembuatan model dan cetakan yang mudah, murah dan berkualitas, penentuan posisi permukaan pisah, arah kup dan drag. Selanjutnya menetapkan tambahan penyusutan, tambahan untuk penyelesaian dengan proses permesinan dan kemiringan pola. Fungsi dari gambar coran selain untuk dasar pembuatan model juga sebagai masukan untuk simulasi pengecoran setelah ditambahkan sistem saluran. Untuk gambar coran casing dapat ditunjukkan seperti pada **Gambar 3.2** berikut.

Gambar Casing	3 Dimensi / Isometrik	2 Dimensi
Upper Inlet (a)		
Lower Inlet (b)		

Gambar Casing	3 Dimensi / Isometrik	2 Dimensi
Upper Exhaust (c)		
Lower Exhaust (d)		
Casing Assy	 	

Gambar 3.2 Gambar Coran Casing TUDC 3,5 MW

### 3.2.1 Perancangan sistem saluran

Dalam proses pengecoran diperlukan perancangan sistem saluran (*gating system design*) yang berfungsi untuk merencanakan arah aliran logam cair ke dalam rongga cetakan. Tahapan-tahapan dalam merancang sistem saluran tersebut dapat diuraikan sebagai berikut <sup>[35]</sup> :

- (1) Menghitung volume dan luas permukaan dari produk coran
- (2) Menentukan material coran yang digunakan
- (3) Menghitung berat produk coran
- (4) Mengestimasi ketebalan kritis dari gambar kerja

## (5) Menentukan waktu tuang

Waktu tuang secara teoritis adalah waktu pendinginan yang diperlukan mulai suhu cor sampai dengan suhu liquidus dari material yang bersangkutan. Waktu tuang ini juga didefinisikan secara praktis sebagai waktu yang diperlukan untuk mengisi rongga cetak sampai penuh. Waktu tuang yang digunakan dalam hal praktis harus dibawah waktu tuang teoritis, karena penuangan harus selesai sebelum pengkristalan dimulai pada suhu liquidus. Waktu tuang untuk benda yang tipis lebih singkat daripada untuk benda yang tebal, karena pendinginan lebih cepat. Waktu tuang untuk benda yang besar akan lebih panjang daripada untuk benda yang kecil dan ringan <sup>[47]</sup>.

Dalam perhitungan waktu tuang baja cor dapat menggunakan perumusan empiris seperti ditunjukkan pada **Persamaan (3.1)**, sebagai berikut :

$$\tau = S[\delta \cdot G]^{1/3} \quad (3.1)$$

Dimana :

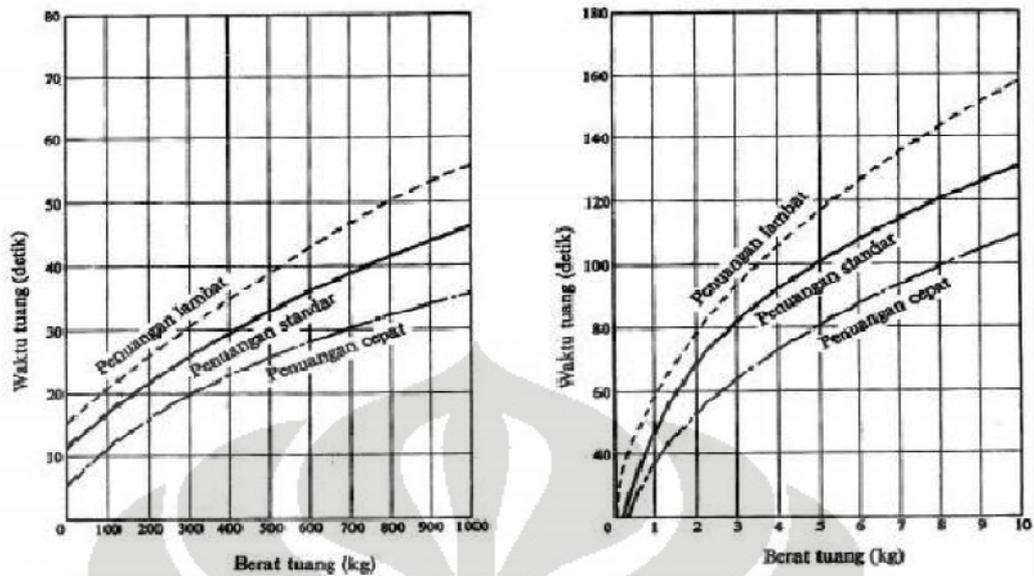
$\tau$  : waktu tuang (detik)

$\delta$  : tebal rata-rata dinding produk cor (mm)

G : berat kasar produk cor (kg)

S : koefisien (1.3 untuk *bottom gating*, 1.4 untuk *side gating*, 1.5-1.6 untuk *top gating*)

Sedangkan pada besi cor, untuk menentukan waktu tuang ( $\tau$ ) dapat mempergunakan diagram empiris atau daftar. Berikut ini, pada **Gambar 3.3** diagram laju penuangan untuk coran besi cor :



**Gambar 3.3** Diagram laju penuangan untuk coran besi cor <sup>[21]</sup>

- (6) Menentukan laju penuangan cairan logam (R).

**Persamaan (3.2)** merupakan rumusan untuk perhitungan Laju penuangan R :

$$R = \frac{W^p}{1.34 + \frac{t}{13.77}} \quad (3.2)$$

Dimana :

- W : produk cor (kg)
- t : tebal kritis produk cor (mm)
- p : koefisien tergantung berat cor

Sedangkan pada **Tabel 3.1** berikut ini merupakan nilai p :

**Tabel 3.1** Nilai p <sup>[34]</sup>

<i>Weight of casting</i>	<i>Value of P</i>
Up to 500 kg	0.50
500-5000 kg	0.67
5000-15000 kg	0.70

- (7) Untuk kasus besi tuang, mengestimasi fluiditas logam k berdasarkan faktor komposisi. Faktor komposisi dirumuskan seperti pada **Persamaan (3.3)** :

$$\text{Faktor komposisi (k)} = \% \text{ total karbon} + \frac{1}{4} \cdot (\% \text{Si}) + \frac{1}{2} \cdot (\% \text{P}) \quad (3.3)$$

Sedangkan untuk nilai  $k$ , dapat menggunakan **Tabel 3.2** berikut ini :

**Tabel 3.2** Nilai  $k$  <sup>[34]</sup>

<i>Composition factor</i>	<i>Metal fluidity (k)</i>
3.2	0.5 to 0.7
3.6	0.6 to 0.9
4.0	0.75 to 1.0
4.2	0.90 to 1.2

- (8) Menghitung laju penuangan yang di-adjust  $R_a$  dari fluiditas logam dan efek gesekan sistem saluran (*factor c*). *Factor c* memiliki nilai 0.85-0.9 untuk *sprue* tirus dan 0.7-0.75 untuk *sprue* lurus. Nilai  $k$  dapat diambil sama dengan 1 untuk logam selain besi tuang.

Laju penuangan yang di-adjust  $R_a$  dirumuskan seperti pada **Persamaan (3.4)**:

$$R_a = \frac{R}{k \cdot c} \quad (3.4)$$

- (9) Menentukan tinggi *sprue* efektif berdasarkan penempatan pola dalam cetakan. Perhitungan tinggi *sprue* efektif dapat dicari dengan menggunakan **Persamaan (3.5)**, dibawah ini :

$$H = h - \frac{a^2}{2c} \quad (3.5)$$

Dimana :

H : tinggi *sprue* efektif

h : tinggi *sprue*

c : total tinggi rongga cetakan

a : tinggi rongga cetakan dalam cope

- (10) Menghitung luas dasar *sprue* ( $A_g$ )

Luas dasar *sprue* ( $A_g$ ) dirumuskan, seperti ditunjukkan pada **Persamaan (3.6)** :

$$A_g = \frac{R_a}{d \sqrt{2gh}} \quad (3.6)$$

Dengan  $d$  adalah massa jenis logam cair.

(11) Kemudian untuk mendapatkan luas *runner* dan luas *total gate* dapat mempergunakan 2 buah cara yaitu :

a. *Menggunakan metode gating ratio.*

Metode *gating ratio* atau perbandingan sistem saluran baru dapat digunakan jika diketahui berapa *gating ratio* yang ingin digunakan. Untuk logam berat dapat mempergunakan *gating ratio* 1 : 2 : 2 atau dapat juga menggunakan 1 : 2 : 1,5.

b. *Menggunakan persamaan analitis*

Untuk mendapatkan luas *runner* dapat menggunakan rumus sesuai dengan **Persamaan (3.7)**, dibawah ini :

$$\frac{\text{Luas dasar sprue}}{\text{runner 1 choke area}} \geq \frac{\text{tinggi cope + tinggi pouring cup}}{\text{tinggi pouring cup}} \quad (3.7)$$

Sedangkan untuk mendapat luas *total gate* (a) dapat menggunakan **Persamaan (3.8)** berikut :

$$a = \frac{G}{\tau \cdot Y \cdot \mu \cdot \sqrt{g \cdot H}} \quad (3.8)$$

Dimana :

Y : massa jenis logam cair, kg/cm<sup>3</sup>

$\mu$  : koefisien gesekan antara cairan logam dengan dinding saluran

g : gravitasi

H : *head* cairan logam di *in-gate*

### 3.2.2 Perancangan sistem penambah (*Riser*)

Penambah (*Riser*) memberi tambahan suplai logam cair untuk mengimbangi penyusutan dalam pembekuan coran, sehingga riser harus membeku lebih lambat dari coran. Kalau riser terlalu besar, maka *yield casting* akan berkurang dan kalau riser terlalu kecil, akan terjadi rongga penyusutan. Oleh karena itu riser harus mempunyai ukuran yang cocok dan sesuai.

Selain itu penempatan penambah (*riser*) juga harus diperhatikan, yaitu ditempatkan pada bagian yang mengalami penyusutan atau pada bagian yang

paling akhir membeku. Riser dapat ditempatkan pada bagian atas *casting* atau sisi *casting*. *Top risering* biasanya untuk logam ringan karena memungkinkan memanfaatkan tekanan metalostatik *riser*. Untuk mendapatkan lokasi penempatan *riser* maka diperlukan seberapa besar jarak pengisiannya.

- ❑ Jarak pengisian 4,5 T untuk tipe *plate casting*
- ❑ Jarak pengisian 2-2,5 T untuk tipe *bar casting*

Dimana T adalah tebal bagian produk cor dimana *riser* harus dipasang.

Berikut ini pada **Table 3.3** adalah daerah efektif dari riser :

**Tabel 3.3** Daerah Efektif dari *Riser*<sup>[21]</sup>

Bahan	Daftar Efektif (T: tebal)	Keterangan
Baja cor	4,5 T	PELLINI
Besi cor liat	6-6,5T	
Besi kelabu	8T	
Brons	6T	20-40 (Tebal) Dengan cil
Brons	10T	
Kuningan	5,5T	
Brons Aluminium	5-6T	
Aluminium	6T	

Pada pengecoran baja<sup>[33]</sup> :

(1) Didalam penghitungan dimensi riser secara umum, terdapat 2 metode untuk mendapatkan dimensi riser 2 metode tersebut yaitu :

a. Metode Chvorinov

Pada metode Chvorinov untuk mendapatkan dimensi riser menggunakan langkah-langkah sebagai berikut :

- ❑ Menghitung waktu pembekuan coran (t).

Waktu pembekuan coran (t) dirumuskan sesuai **Persamaan (3.9)** :

$$t = \frac{1}{q^2} \left( \frac{V}{A} \right)^2 \quad (3.9)$$

Dimana :

t : waktu pembekuan produk cor

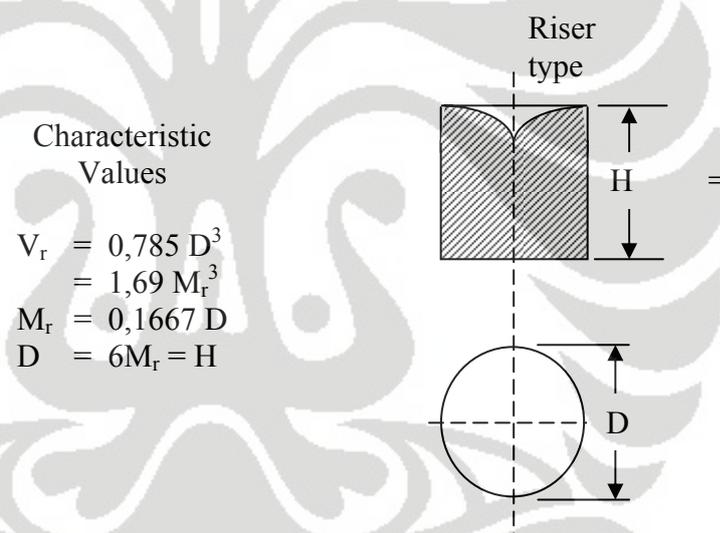
q : konstanta solidifikasi.

Nilai ini bergantung pada komposisi produk cor dan kedudukan rongga cetakan. Untuk baja nilai  $q$  dapat diambil sama dengan 2.09  $\left(\frac{V}{A}\right)$  : rasio volume produk cor terhadap luas permukaan cor. Lebih dikenal dengan nama *casting modulus*.

❑ Menghitung diameter

Untuk mendapatkan diameter *riser* maka dilakukan :

- Menghitung  $\left(\frac{V}{A}\right)$  produk cor.
- Kemudian  $\left(\frac{V}{A}\right)$  *riser* dipilih lebih besar sedikit dari  $\left(\frac{V}{A}\right)$  produk cor, kira-kira 10 – 15 % lebih besar.
- Menentukan Diameter (*optional*), dapat menggunakan **Gambar 3.4** berikut ini.



**Gambar 3.4** Hubungan Modulus Diameter dan Tinggi Riser<sup>[8]</sup>

b. Metode Pellini

Untuk coran baja dengan menggunakan kurva Pellini dan faktor bentuk juga bisa didapatkan nilai rasio minimum dari  $\left(\frac{V_r}{V_c}\right)$ , dengan tahapan sebagai berikut :

- ❑ Menentukan faktor bentuk dengan menggunakan **Persamaan (3.10)**, berikut ini :

$$\text{Faktor bentuk} = \frac{(P+T)}{T} \quad (3.10)$$

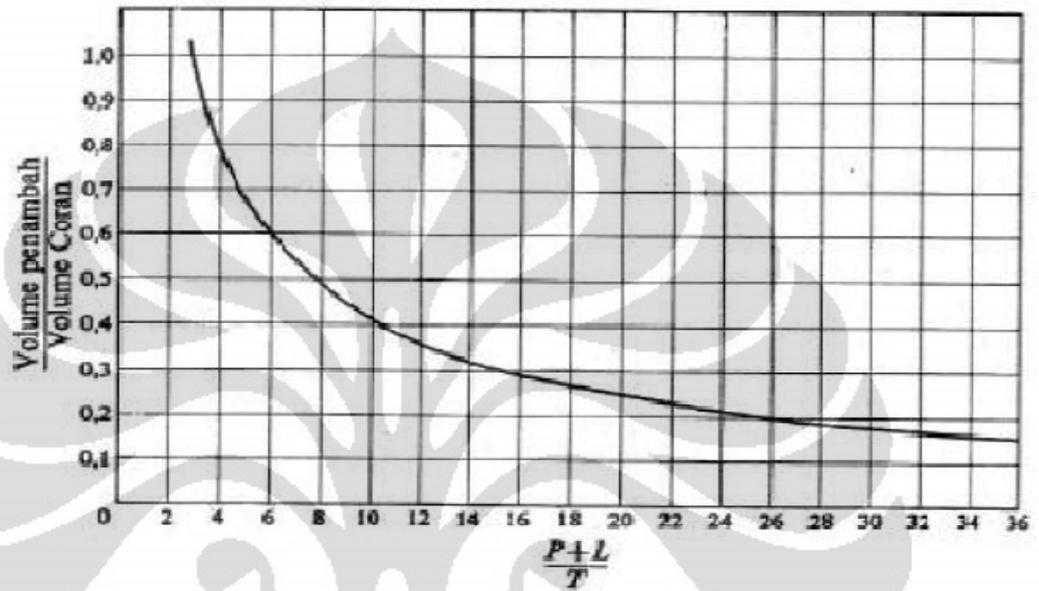
Dimana :

P ; panjang produk cor

L : lebar produk cor

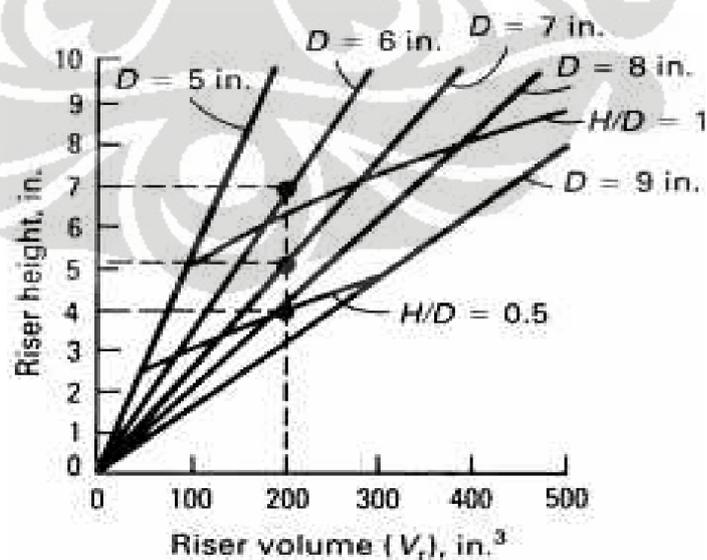
T : tebal produk cor dimana *riser* harus dipasang

Kurva Pellini dapat ditunjukkan pada **Gambar 3.5**, berikut ini :



**Gambar 3.5** Kurva Pellini <sup>[21]</sup>

- Menghitung volume *riser*  $V_c$
- Menghitung diameter dan tinggi *riser*. Untuk mencari diameter dan tinggi *riser* menggunakan **Gambar 3.6** berikut ini :



**Gambar 3.6** Grafik Diameter dan Tinggi *Riser* <sup>[25]</sup>

□ Atau untuk mencari tinggi dan diameter *riser* coran baja dapat menggunakan metode berikut<sup>[35]</sup>:

- Untuk riser berbentuk silinder menggunakan **Persamaan (3.11)** sebagai berikut :

$$H = (1,5 \pm 0,2)D \quad (3.11)$$

- Untuk riser berbentuk elip menggunakan **Persamaan (3.12)** sebagai berikut :

$$H = (2,0 \pm 0,2)\text{jari-jari kecil} \quad (3.12)$$

Dimana :

H : tinggi *riser*

D : diameter *riser* berbentuk silinder

Jari-jari kecil : jari-jari *riser* berbentuk elip

Dalam hal dimana *riser* tidak dapat dipasang sesuai dengan perhitungan, karena bentuk rangka cetakan atau coran, maka akan terjadi kekurangan pengisian antara penambah, untuk itu penambah dibuat elip di mana jari-jari kecilnya sama dengan diameter asal dan jari-jari lebarnya dibuat secukupnya pada arah dari bagian yang tak dapat diisi untuk menjamin pengaruh *riser*. Bila digunakan selubung eksoterm atau isolasi maka diameter *riser* (D) mungkin sama dengan tinggi *riser* (H).

- (2) Menentukan Jarak pengisian (JP)
- (3) Banyaknya riser dapat dicari dengan menggunakan **Persamaan (3.13)** berikut ini :

$$\text{Banyaknya riser} = \frac{W}{2JP} \quad (3.13)$$

Dimana :

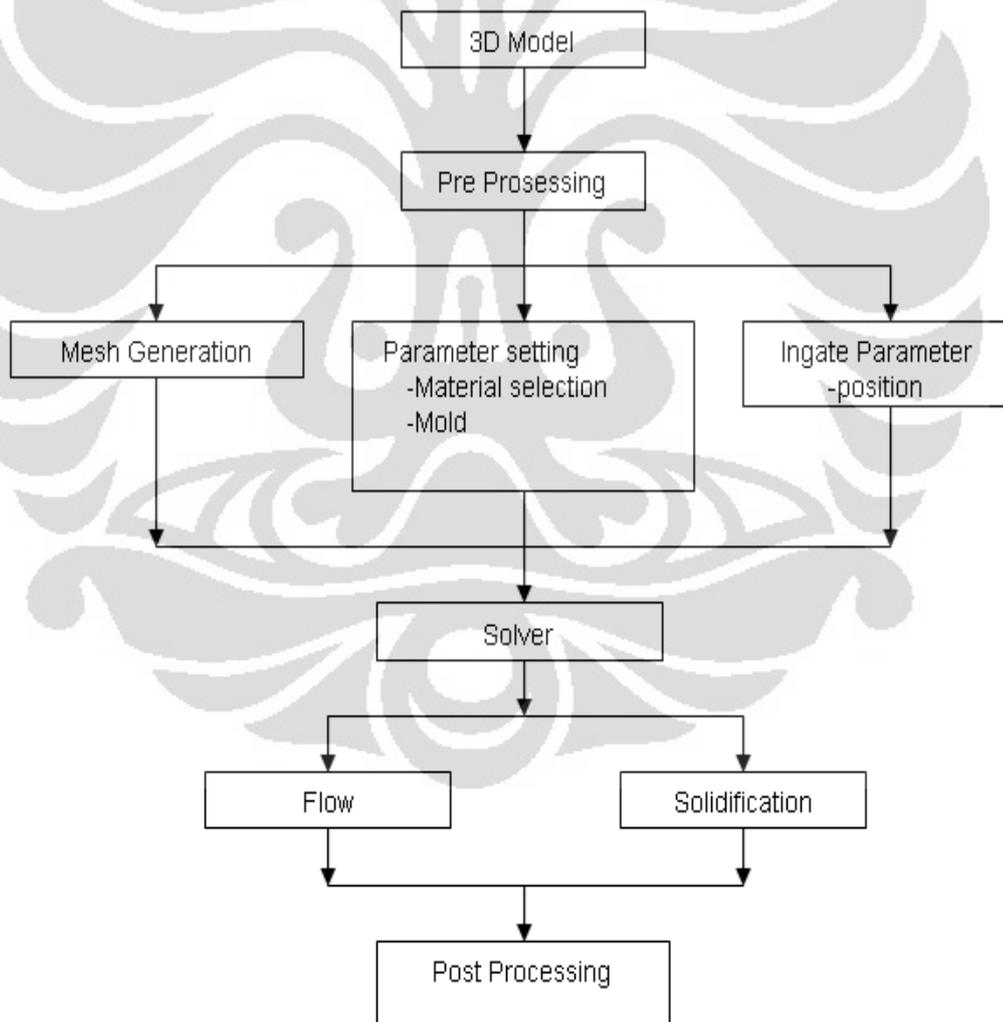
W : jumlah panjang dari bagian dimana *riser* harus disediakan (mm )

JP : jarak pengisian *riser* (mm)

### 3.3 Proses Simulasi Pengecoran

Pada penelitian ini, dilakukan simulasi pengecoran dengan menggunakan software Z-Cast v2.5. Dari hasil gambar 3D CAD yang telah dilengkapi sistem saluran di simpan dalam tipe stl file (*stereolithography*). Kemudian dilakukan simulasi dengan parameter dan pendekatan sesuai dengan kondisi pengecoran casing serta menggunakan analisis pembekuan untuk memprediksi potensi cacat (*shrinkage*). Hasil simulasi dilakukan pengulangan sampai mendapatkan desain pengecoran yang optimum.

Pada umumnya proses simulasi dimulai dari *pre processing*, *solver* dan *post processing*, secara skematis dapat ditunjukkan pada **Gambar 3.7** diagram alir berikut.

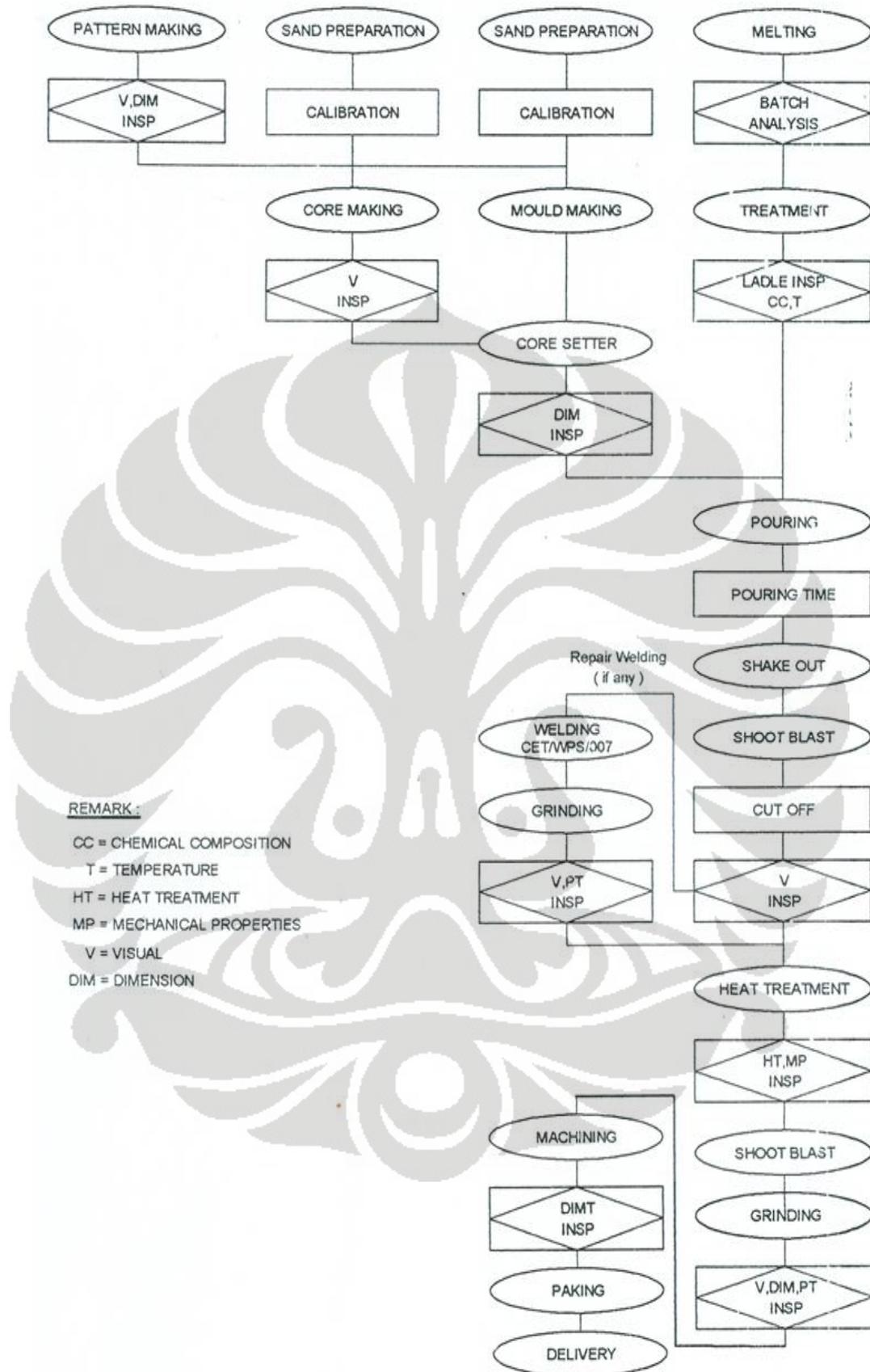


**Gambar 3.7** Diagram Alir Simulasi Pengecoran <sup>[23]</sup>

### 3.4 Proses Pengecoran TUDC 3,5 MW

Casing merupakan bagian integral dari turbin uap dan dimasukkan dalam bagian *stator*, karena bukan bagian dari komponen turbin uap yang berputar. Casing pada turbin uap mempunyai fungsi antara lain untuk menahan tekanan yang dihasilkan oleh uap agar uap tetap terjaga dan tidak mengalami kebocoran serta sebagai pelindung bagian dalam turbin dari benda-benda asing. Selain itu casing juga merupakan komponen utama turbin uap yang termasuk konstruksi berat (*heavy construction*) serta dapat terbelah secara horisontal dan vertikal (*horizontally and vertically split*). Hal tersebut mempunyai pertimbangan teknis antara lain untuk memudahkan perbaikan dan meringankan proses manufaktur.

Proses manufaktur casing meliputi proses pengecoran dan penyelesaiannya (*finishing*) dengan menggunakan proses permesinan (*machining*). Pengecoran merupakan salah satu teknik pembuatan produk dimana logam dicairkan dalam tungku peleburan kemudian di tuangkan kedalam rongga cetakan yang serupa dengan bentuk asli dari produk cor yang akan dibuat. Dimana metode pengecoran yang digunakan untuk casing turbin uap adalah metode cetakan pasir. Diagram alir dari proses manufaktur casing dapat ditunjukkan pada **Gambar 3.8** dan uraian proses manufaktur casing turbin uap *direct condensing* yang dilakukan di PT. Barata Indonesia – Gresik dan PT. Nusantara Turbin Propulsi – Bandung dapat ditunjukkan pada bagian selanjutnya.

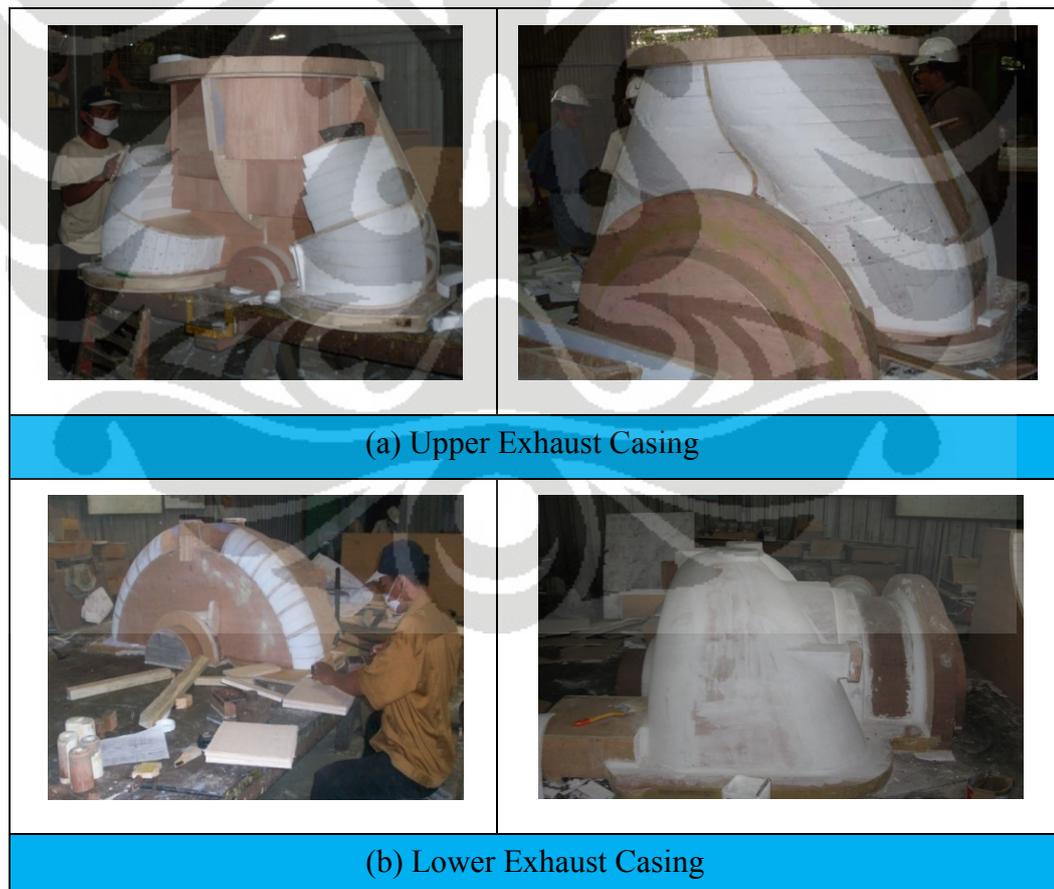


**Gambar 3.8** Diagram Alir Proses Manufaktur Casing <sup>[2]</sup>

### 3.4.1 Proses pembuatan model

Dasar dalam pembuatan model adalah gambar pengecoran yang harus sudah memperhitungkan penyusutan, tambahan untuk penyelesaian dengan mesin dan kemiringan model. Selain pertimbangan diatas, perlu juga mempertimbangkan aspek ekonomis dalam pembuatan model. Model yang digunakan dalam pengecoran casing termasuk kategori model kayu yang dibuat dari kayu lapis. Pertimbangan dalam penggunaan model kayu ini, karena waktu pembuatan yang cepat, mudah diolah dan murah.

Proses pembuatan model seperti ditunjukkan pada **Gambar 3.9** dibawah merupakan pekerjaan membuat bentuk masip dari sebuah gambar pada bidang, dengan memperhitungkan berbagai parameter dalam pengecoran. Oleh karena itu setelah model dibuat, harus dilakukan Pengujian. Pengujian tersebut meliputi pengujian secara visual maupun pengujian dimensional dengan menggunakan alat ukur.



**Gambar 3.9** Pembuatan Model Casing <sup>[2]</sup>

Universitas Indonesia

### 3.4.2 Proses pembuatan cetakan

Pembuatan cetakan menggunakan rangka cetak dan pasir cetakan dengan posisi rongga cetakan dan sistem saluran seperti ditunjukkan pada **Gambar 3.10**. Cetakan untuk lower casing baik inlet maupun exhaust dibagi menjadi 3 tingkat sedangkan untuk upper casing yang ukurannya relatif lebih tinggi dibagi menjadi 4 tingkat. Untuk ukuran rangka cetak tiap tingkatannya dapat ditunjukkan pada **Tabel 3.4**.



**Gambar 3.10** Pembuatan Cetakan <sup>[2]</sup>

**Tabel 3.4** Ukuran Rangka Cetak <sup>[2]</sup>

NO	RANGKA CETAK	UKURAN (mm)			
		INLET		EXHAUST	
		UPPER	LOWER	UPPER	LOWER
1	Bagian Atas	2300X1400X355	1500X1500X350	2000X2000X400	2000X2000X400
2	Bagian Tengah Atas	2300X1400X350	1500X1500X350	2000X2000X450	2000X2000X450
3	Bagian Tengah Bawah	2300X1400X350		2000X2000X450	
4	Bagian Bawah	2300X1400X350	1500X1500X350	2000X2000X450	2000X2000X450

Spesifikasi pasir cetak, pasir core dan coating untuk cetakan inlet dan exhaust casing dapat dilihat pada **Tabel 3.5** berikut. Pasir cetak yang digunakan adalah pasir silika baru dengan proses pep set dan pasir silika bekas yang telah diolah lebih dahulu dengan menggunakan proses semen. Sedangkan untuk coating core digunakan bahan zircon.

**Tabel 3.5** Spesifikasi Pasir Cetak, Pasir Core, dan Coating <sup>[2]</sup>

No	PASIR – COATING	SPESIFIKASI			
		INLET		EXHAUST	
		UPPER	LOWER	UPPER	LOWER
1	Pasir Cetak Isi	Silika Bekas Semen Proses			
2	Pasir Cetak Muka	Silika Baru Pep Set Proses			
3	Berat Pasir Cetak	5350 kg/cet	2850 kg/cet	7650 kg/cet	7050 kg/cet
4	Pasir Core Isi	Pasir Baru Pep Set Proses			
5	Pasir Core Muka	Pasir Chromite Pep Set Proses			
6	Berat Core	635 kg/cet	535 kg/cet	1235 kg/cet	735 kg/cet
7	Coating Core	Zircon Coating			
8	Coating Cetakan	Zircon Coating			
9	Hot Topping	Sekam Padi & Ferraux			

### 3.4.3 Proses peleburan

Peleburan bahan baku material casing untuk menghasilkan baja cor SCPH2 menggunakan tanur induksi listrik dengan kapasitas 10 ton seperti dapat ditunjukkan pada **Gambar 3.11** dibawah ini.

**Gambar 3.11** Tanur Induksi Listrik <sup>[2]</sup>

Target proses peleburan ini untuk menghasilkan berat tuang dan berat coran casing masing-masing, baik pada bagian inlet maupun exhaust seperti ditunjukkan pada **Tabel 3.6** dengan sasaran komposisi kimia coran yang ingin dicapai seperti tercantum pada **Tabel 3.7**.

**Tabel 3.6** Sasaran Berat Coran <sup>[2]</sup>

NO	BERAT CORAN	SPESIFIKASI			
		INLET		EXHAUST	
		UPPER	LOWER	UPPER	LOWER
1	Tuangan	1718 kg/cet	1330 kg/cet	2814 kg/cet	2697 kg/cet
2	Gating Sistem	685 kg/cet	565 kg/cet	850 kg/cet	960 kg/cet
3	Casting	1033 kg/cet	765 kg/cet	1964 kg/cet	1737 kg/cet
4	Casting	1033 kg/buah	765 kg/buah	1964 kg/buah	1737 kg/buah

**Tabel 3.7** Sasaran Komposisi Kimia Coran <sup>[2]</sup>

NO	UNSUR KIMIA	PERSENTASE (%)
1	Carbon (C)	0,25 – 0,30
2	Silikon (Si)	0,40 – 0,60
3	Mangan (Mn)	0,60 – 0,80
4	Fosfor (F)	Maks 0,04
5	Sulphur (S)	Maks 0,04

#### 3.4.4 Proses penuangan

Proses penuangan logam cair dari tanur induksi listrik ke dalam cetakan menggunakan ladle yang memiliki diameter nozzle 70 mm seperti ditunjukkan pada **Gambar 3.12** dan **Gambar 3.13**, dengan sasaran temperatur dan waktu penuangan yang seperti pada **Tabel 3.8** berikut ini.

Pada akhir proses penuangan, untuk menjamin agar proses penurunan temperatur berjalan secara gradual, pada permukaan atas cetakan ditutup dengan hot topping dari sekam padi dan ferraux.

**Tabel 3.8** Sasaran Temperatur dan Waktu Penuangan <sup>[2]</sup>

No	SASARAN	SPESIFIKASI			
		INLET		EXHAUST	
		UPPER	LOWER	UPPER	LOWER
1	Titik Lebur	-	-	1500 °C	1500°C
2	Temp. Tapping	1590°C±10°C	1590°C±10°C	1610°C-1620°C	1610°C-1620°C
3	Temp. Pouring	1540°C-1560°C	1540°C-1560°C	1560°C-1580°C	1560°C-1580°C
4	Waktu Pouring	± 45 detik	± 50 detik	-	± 50 detik



**Gambar 3.12** Penuangan Baja Cair ke dalam Ladle [2]



**Gambar 3.13** Penuangan Baja Cair ke dalam Cetakan [2]

### 3.4.5 Proses pembongkaran

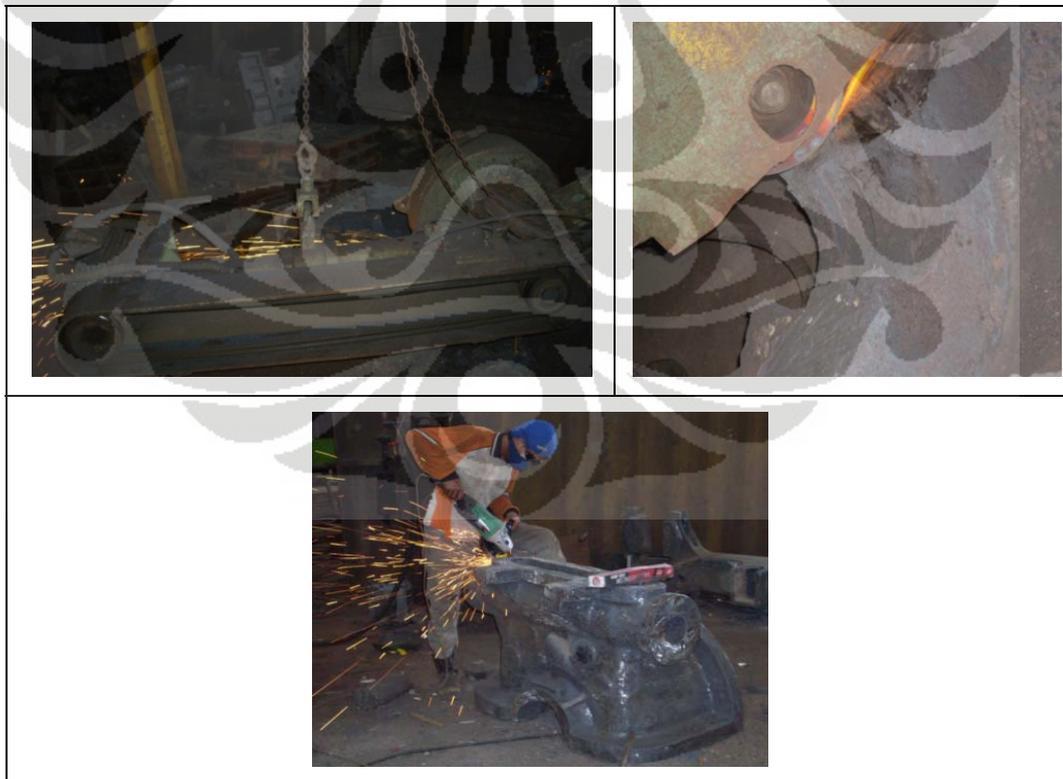
Proses pembongkaran ini bertujuan untuk memisahkan benda cor, pasir cetak dan rangka cetak dengan menggunakan meja getar atau shacker. Pembongkaran ini akan menghasilkan benda cor yang masih lengkap dengan sistem saluran dan bekas pasir cetak yang masih menempel pada benda cor.

### 3.4.6 Proses pembersihan

Setelah proses pembongkaran dilanjutkan proses pembersihan untuk menghilangkan bekas pasir cetak yang masih menempel pada benda cor menggunakan *shoot blast table* sampai dihasilkan coran casing yang bersih.

### 3.4.7 Proses pemotongan

Proses pemotongan seperti pada **Gambar 3.14** berikut ini dimaksudkan untuk memisahkan antara benda coran dengan sistem saluran yang dilakukan dengan cara memotong bekas riser, ingate menggunakan gerinda. Selain itu juga untuk meratakan dan merapikan hasil coran, seperti pada bekas permukaan pisah (*parting lines*).



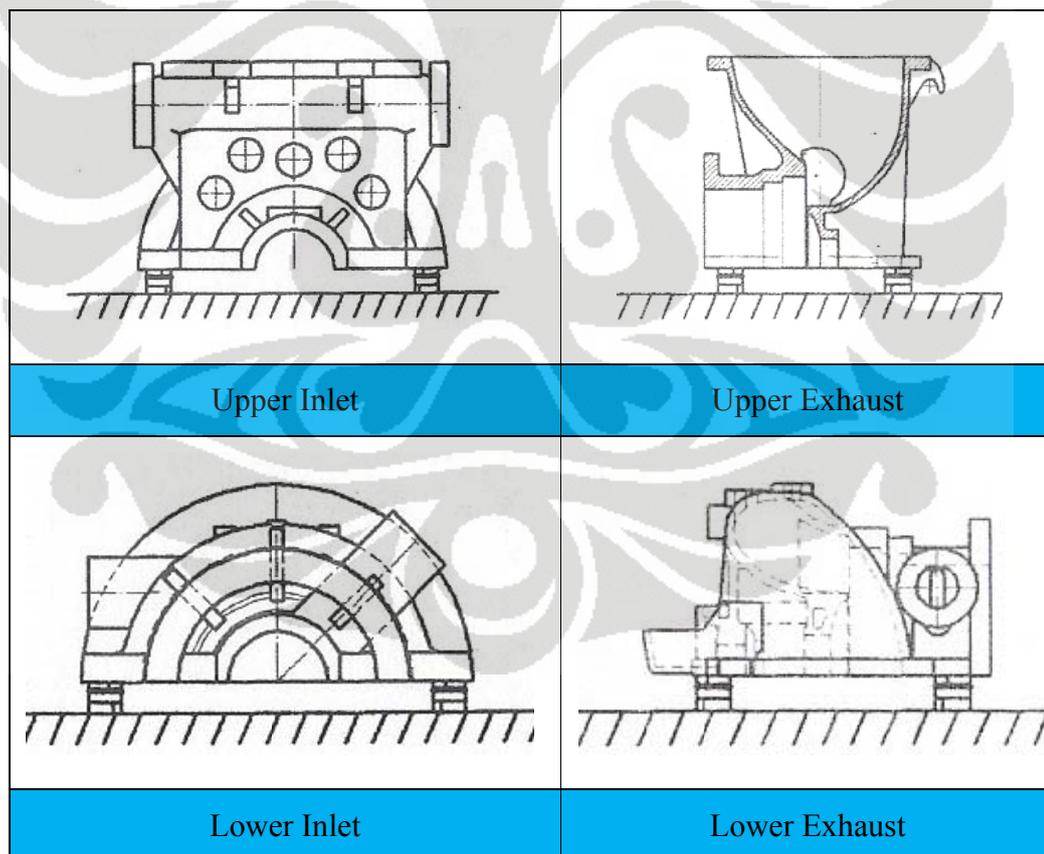
**Gambar 3.14** Proses Pemotongan Benda Cor <sup>[2]</sup>

Universitas Indonesia

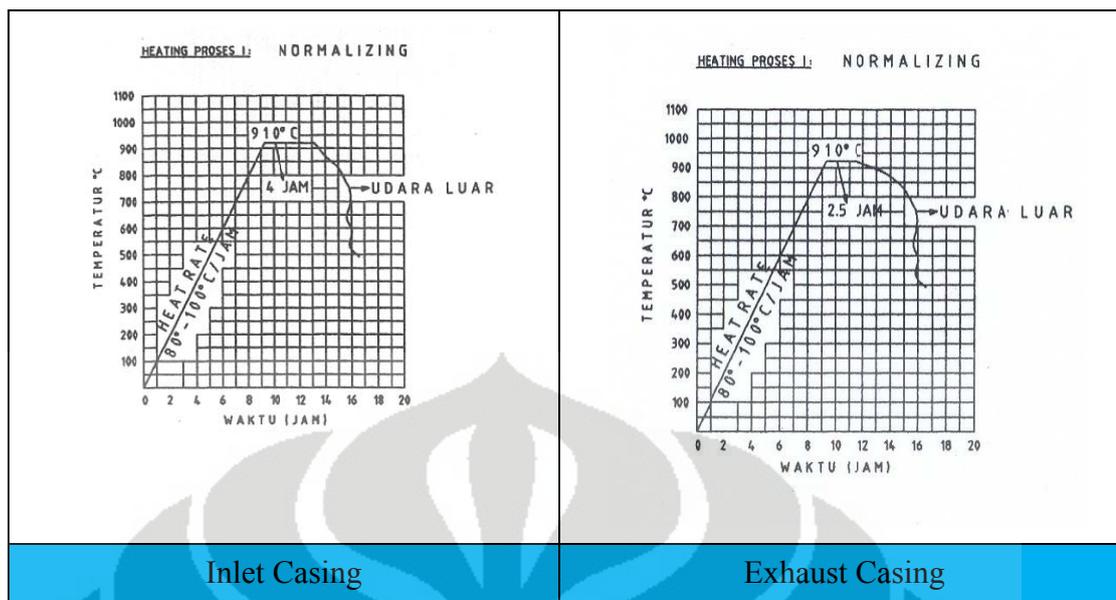
### 3.4.8 Proses perlakuan panas

Pekerjaan pemotongan sistem saluran dari coran casing mengakibatkan perubahan sifat fisik dan mekanik coran casing. Oleh karena itu untuk memperbaiki sifat tersebut, maka dilakukan proses perlakuan panas (*heat treatment*).

Proses perlakuan panas pada coran casing adalah dengan proses pelunakan (*softening*) dan metode pendinginan yang digunakan adalah *normalizing*. Proses ini dilakukan dengan menempatkan coran casing diatas bogie di dalam tanur (*furnace*) seperti pada **Gambar 3.15**. Kemudian coran casing dipanaskan dengan laju pemanasan  $80^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{C} / \text{jam}$  setelah mencapai temperatur  $910^{\circ}\text{C}$  dan dipertahankan pada temperatur tersebut selama 2,5 – 4 jam (*holding time*). Selanjutnya dilakukan proses pendinginan dengan menggunakan media (*cooling media*) udara luar. Proses perlakuan panas dilaksanakan dengan mengikuti diagram perlakuan panas seperti ditunjukkan pada **Gambar 3.16**.



**Gambar 3.15** Penempatan Benda Cor pada Bogie dalam Tanur <sup>[2]</sup>



Gambar 3.16 Diagram Pelakuan Panas [2]

### 3.4.9 Proses NDT dan perbaikan

Proses NDT (*Non Destructive Test*) merupakan evaluasi atau pengujian tidak merusak untuk mendeteksi adanya cacat atau kebocoran pada coran agar kualitas benda cor terjaga. Pada proses NDT casing ini dilakukan dengan menggunakan metode pengujian ultrasonik dan dilakukan pada seluruh permukaan benda cor seperti ditunjukkan pada **Gambar 3.17**. Dalam pengujian ultrasonik seluruh permukaan yang akan diuji harus dilakukan penghalusan (gerinda) dan dilumasi dengan menggunakan *grease*.

Pengujian ini dilakukan oleh pihak ketiga sehingga didapatkan hasil yang netral. Untuk Pengujian ultrasonic menggunakan alat Krauftkramer USK75 dengan probe tipe GB SCHF 1 – 2 MHz, Ukuran BIS diameter 24mm dan reference Reflector Carbon Steel ITW V1 dan V2. Sedangkan untuk acuan penilaian menggunakan standart ASTM A 609 Quality Level 2.

Jika dalam pengujian ultrasonik ditemukan adanya indikasi kebocoran atau cacat maka akan dilakukan tindakan untuk memastikan adanya cacat dengan cara membuka daerah cacat (*gouging*) dan dilanjutkan usaha perbaikan dengan menggunakan las. Setelah dilakukan perbaikan maka coran dapat diteruskan ke proses permesinan.



**Gambar 3.17** Pengujian Ultrasonik <sup>[2]</sup>

#### 3.4.10 Proses pemesinan

Proses pemesinan pada casing dimaksudkan untuk persiapan pelaksanaan uji hidrostatis. Lingkup proses pemesinan ini mencakup pemesinan untuk pemakanan *padding* pada sisi dalam dinding casing, pemesinan untuk permukaan kontak (*mating surface*) baik *vertical* maupun *horizontal split* menggunakan mesin *plano mill*, pembuatan lubang untuk baut pengikat menggunakan mesin *radial drilling* dan pembuatan perlengkapan alat bantu untuk uji hidrostatis.

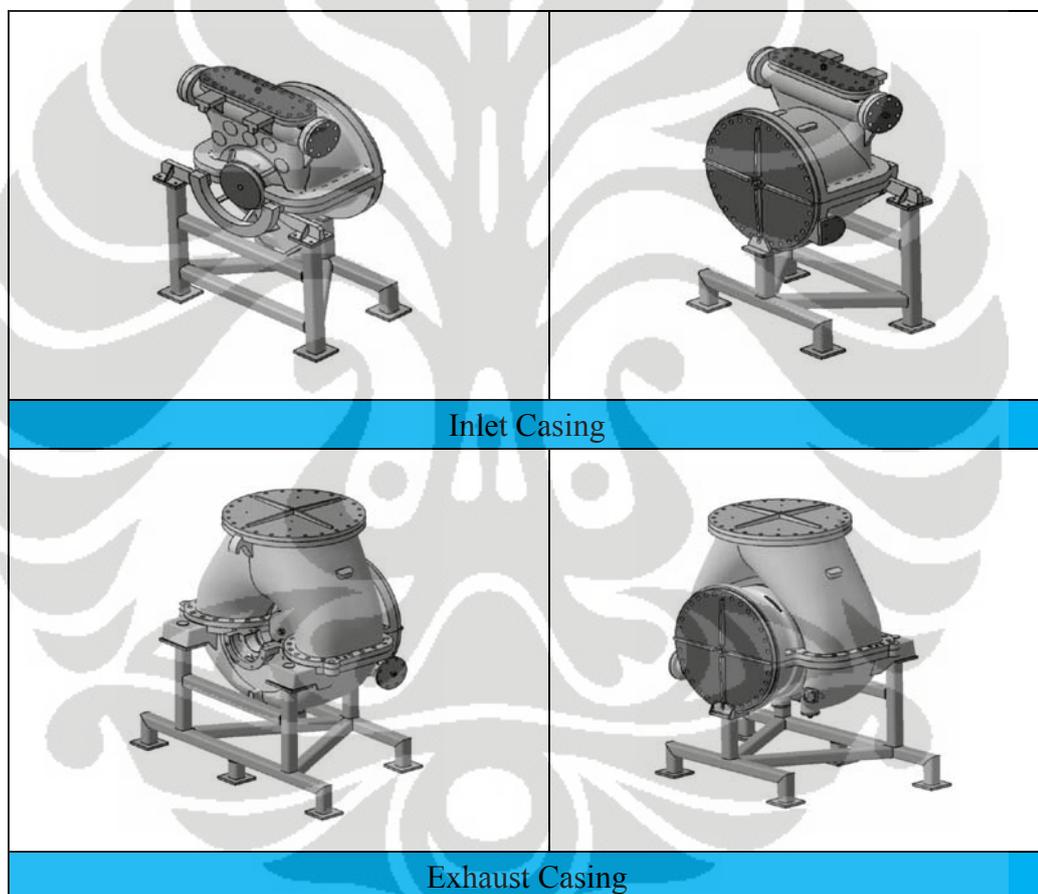
Dalam pembuatan casing, pekerjaan proses pengecoran casing sampai dihasilkan coran casing (*as casted*) dilaksanakan oleh PT Barata Indonesia di Gresik, Jawa Timur. Sedangkan pekerjaan pemesinan casing lainnya mulai dari persiapan dan perlengkapan alat bantu uji hidrostatis sampai dengan bentuk akhir dilaksanakan oleh PT NTP di Bandung.

#### 3.4.11 Uji hidrostatis

Sesuai dengan ketentuan API *standard* 611 mengenai *General Purpose Steam Turbines for Petroleum, Chemical and Gas Industry Services* paragraf 6.3.2 tentang *Hydrostatic Test* disyaratkan bahwa komponen yang mengalami tekanan harus diuji secara hidrostatis dengan menggunakan cairan dengan tekanan minimum 1,5 kali dari tekanan kerja maksimum. Pengujian harus dipertahankan dalam periode waktu yang cukup. Untuk melakukan pengamatan maka minimum waktu ditahannya sekitar 15 menit.

Casing turbin uap direct condensing 3 MW akan mengalami tekanan kerja sebesar  $23,5 \text{ kg/cm}^2$ . Oleh karena itu casing turbin uap *direct condensing* 3 MW ini harus diuji secara hidrostatik sesuai dengan persyaratan API Standar 611 paragraf 6.3.2.

Untuk mempersiapkan pengujian hidrostatik, maka *casing assembly* harus ditutup dengan menggunakan *plate* dan dipasang katup untuk memasukkan air. Dengan adanya penutup dan katup ini akan memudahkan untuk mengatur pemasukan air dan mempertahankan tekanan air pada periode tertentu. Sistem pemasukan air tersebut menggunakan pompa bertekanan. Untuk instalasi pada uji hidrostatik dapat ditunjukkan pada **Gambar 3.18** dibawah ini.



**Gambar 3.18** Instalasi Uji Hidrostatik <sup>[2]</sup>

Sesuai dengan persyaratan API standar 611 paragraf 6.3.2 bahwa tekanan uji hidrostatik sebesar 1,5 kali tekanan kerja maksimum. Jika tekanan kerja turbin uap direct condensing 3 MW sebesar  $23,5 \text{ kg/cm}^2$ , maka casing harus diuji secara hidrostatik sebesar  $35,25 \text{ kg/cm}^2$ .

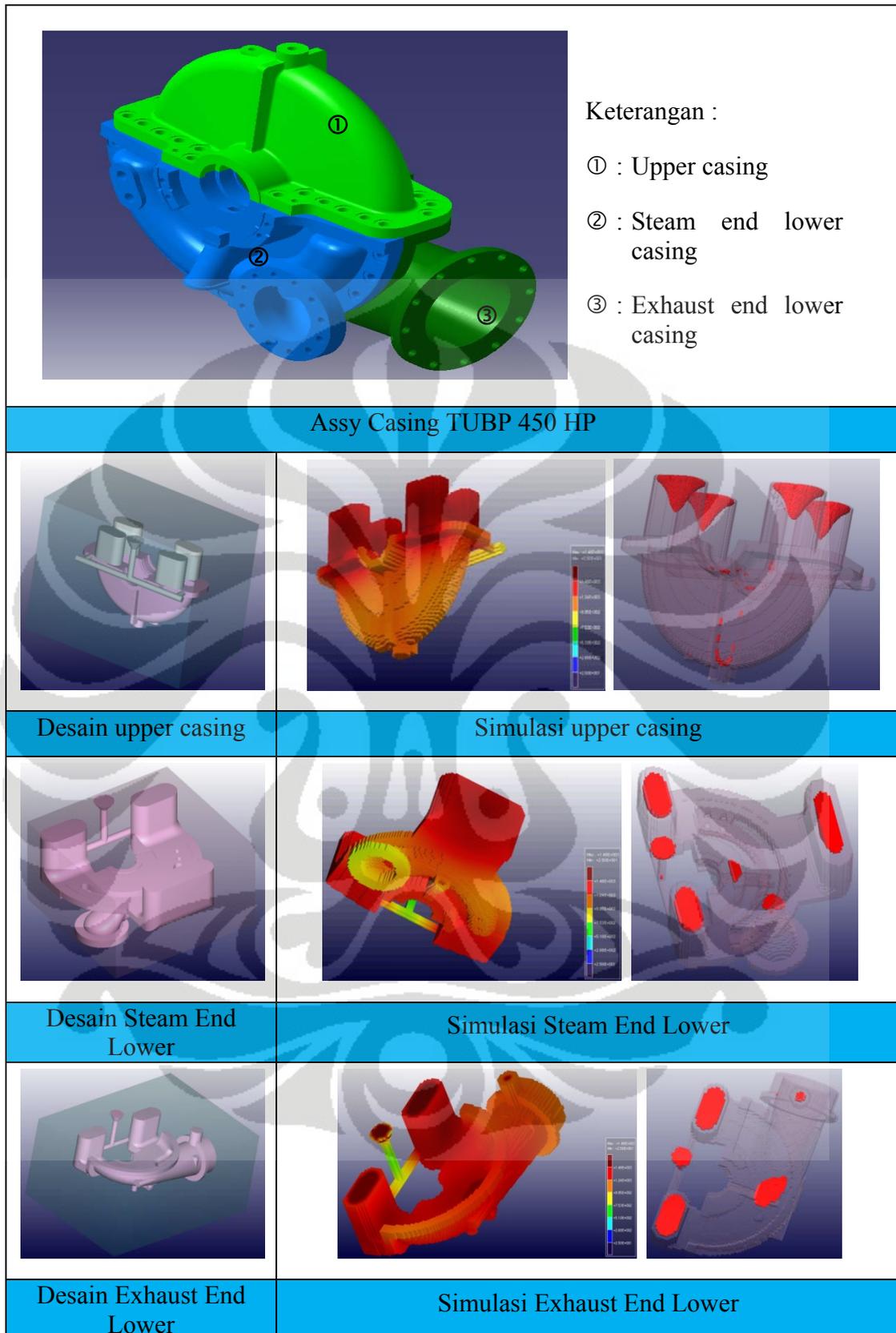
## BAB 4 HASIL ANALISA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Desain dan Simulasi Casing TUBP

Hasil gambar desain dari masing-masing Turbin Uap *Back Pressure* (TUBP) dapat ditunjukkan pada bagian bahasan ini. Desain casing turbin uap ini merupakan *reverse engineering* dari teknologi turbin uap *Shin Nippon Machinery*, melalui metode *fotoscanning* dan kemudian diterjemahkan ke dalam format 3D dengan menggunakan *software* CATIA. Pada desain casing turbin uap *back pressure* 2 MW dan turbin uap *back pressure* 4 MW mempunyai kesamaan desain dan dimensi, karena perbedaannya hanya terletak pada bagian *nozzle* yang berfungsi untuk mengatur jumlah uap masuk.

#### 4.1.1 TUBP 450 HP

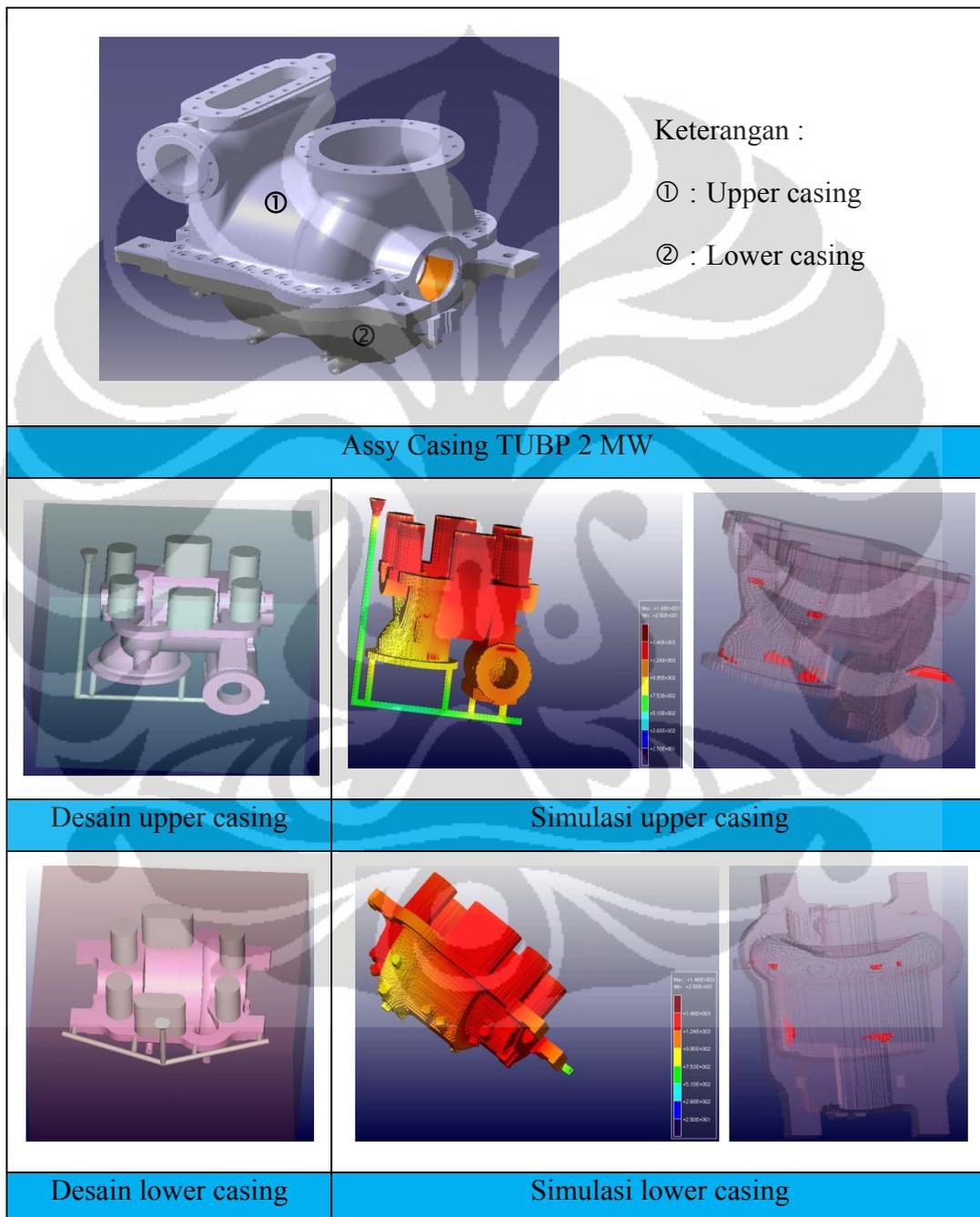
Casing turbin uap *back pressure* 450 HP ini secara konstruksinya terpisah menjadi 3 bagian yaitu upper casing, steam end lower casing dan exhaust end lower casing. Lower dan upper casing dipisahkan secara horisontal. Sedangkan bagian lower casing dipisah secara vertikal menjadi 2 yaitu steam end lower casing dan exhaust end lower casing. Steam end lower casing ini merupakan sisi masuknya uap dari boiler ke turbin sedangkan exhaust end lower casing pada turbin uap *back pressure* 450 HP merupakan bagian sisi keluar uap dari turbin uap. Desain dan simulasi pengecoran casing turbin uap *back pressure* 450 HP dapat ditunjukkan pada **Gambar 4.1** berikut. Sedangkan gambar desain 2D dan dimensi casing TUBP 450 HP sesuai pada **Lampiran 1** sampai dengan **Lampiran 3**



**Gambar 4.1** Desain dan Simulasi Pengecoran Casing TUBP 450 HP

#### 4.1.2 TUBP 2 MW

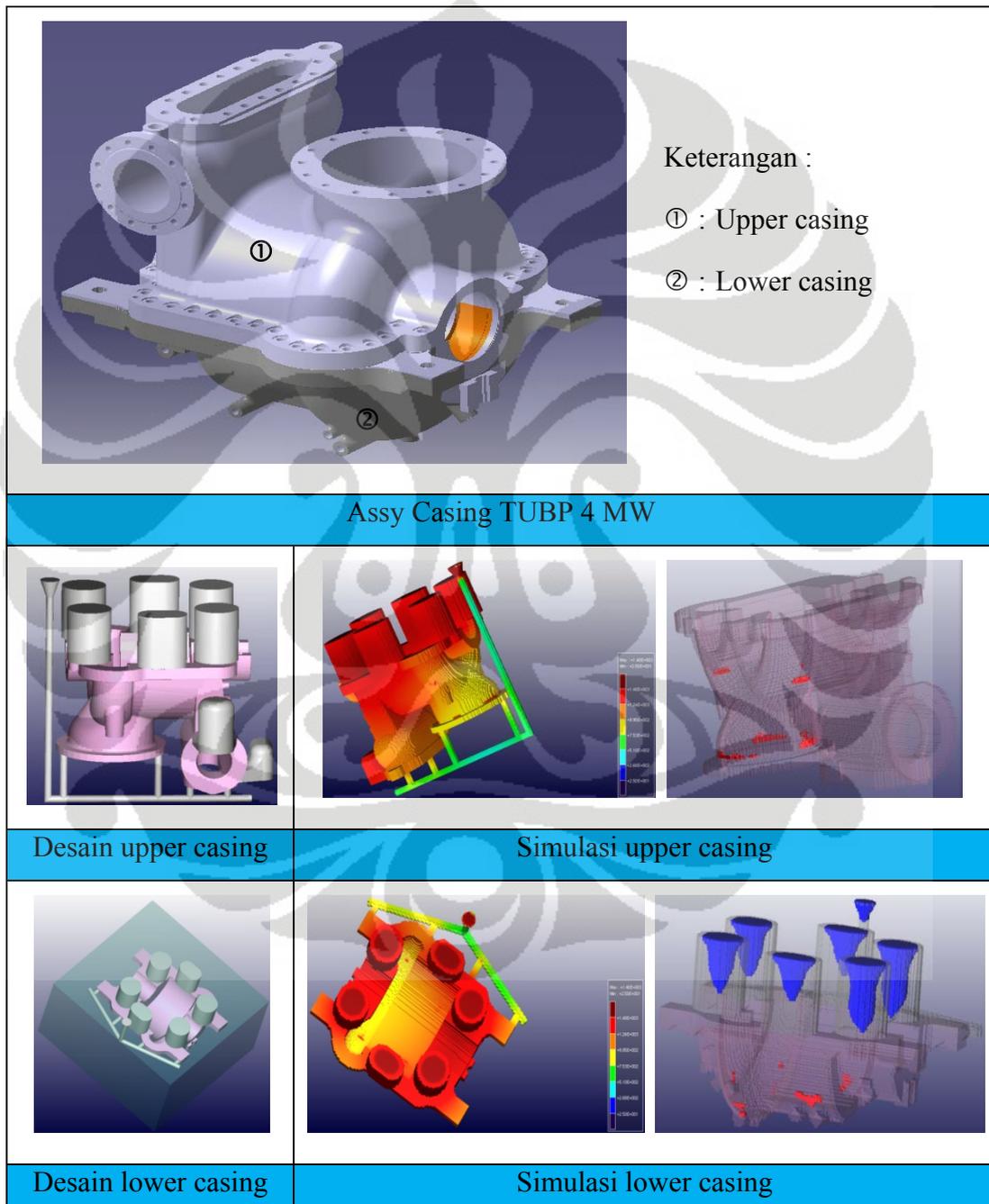
Konstruksi dari casing TUBP 2 MW ini terpisah secara horisontal menjadi 2 bagian, yaitu : upper casing dan lower casing sesuai dengan **Lampiran 6** dan **Lampiran 7**. Untuk desain dan simulasi pengecoran casing TUBP 2 MW seperti ditunjukkan pada **Gambar 4.2** berikut ini.



**Gambar 4.2** Desain dan Simulasi Pengecoran Casing TUBP 2 MW

### 4.1.3 TUBP 4 MW

Casing TUBP 4 MW ini mempunyai desain (*as cast*) dan konstruksi yang sama dengan casing TUBP 2 MW, yaitu terbelah menjadi dua secara horisontal yaitu upper casing dan lower casing sesuai dengan **Lampiran 11** sampai dengan **lampiran 13**. Desain dan simulasi pengecoran TUBP 4 MW dapat ditunjukkan pada **Gambar 4.3** berikut.



**Gambar 4.3** Desain dan Simulasi Pengecoran Casing TUBP 4 MW

Universitas Indonesia

## 4.2 Analisa Kualitas Coran Casing TUBP

### 4.2.1 Pengujian material

Seperti telah disebutkan diatas bahwa untuk pengujian material ini meliputi pengujian komposisi kimia dan pengujian mekanis (pengujian tarik). Data pengujian material casing turbin uap *back pressure* seperti ditunjukkan pada **Tabel 4.1** berikut ini diambil dari laporan pemeriksaan (*Inspection Report*) TUBP 450 HP sesuai **Lampiran 4 dan 5**, TUBP 2 MW dapat ditunjukkan pada **Lampiran 8 dan 9** serta untuk TUBP 4 MW sesuai dengan **Lampiran 14-16**.

**Tabel 4.1** Data Pengujian Material

No	OBJEK / CASING	KOMPOSISI KIMIA					SIFAT MEKANIS			
		C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Yield Point (Kg/mm <sup>2</sup> )	Tensile Strength (Kg/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)	Reduction (%)
STANDAR JIS G5151 Grade SCPH2		MAX 0,30	MAX 0,60	MAX 1,00	MAX 0,04	MAX 0,04	MIN 25	MIN 49	MIN 19	MIN 35
1	TUBP 450 HP - Upper	0,24	0,37	0,98	-	0,02	-	-	-	-
	TUBP 450 HP - Lower	0,24	0,42	0,94	-	0,03	-	-	-	-
	TUBP 450 HP - All **	0,25	0,58	0,77	0,03	0,01	40,03	68,61	27,6	50,88
2	TU BP 2 MW - Upper	0,25	0,40	0,73	0,02	0,02	43,07	65,14	25,60	51,00
	TU BP 2 MW - Lower	0,26	0,40	0,77	0,02	0,02	43,07	60,77	24,40	36,00
3	TU BP 4 MW - Upper	0,24	0,51	1,07	0,02	0,01	48,16	68,20	24,00	39,50
	TU BP 4 MW - Upper *	0,29	0,31	0,82	0,02	0,01	44,98	67,47	24,00	37,60
	TU BP 4 MW - Lower	0,20	0,51	1,11	0,03	0,03	32,61	49,88	27,20	43,40

\* ; \*\* : dicor ulang

Turbin Uap *Back Pressure* 450 HP ini merupakan prototipe turbin uap yang pertama dibuat, untuk pengecoran casing dilakukan di PT. PINDAD. Casing ini dicor menjadi 2 bagian untuk upper dan lower casing. Dari hasil pengujian komposisi kimia yang dilakukan bahwa komposisi kimia yang dipersyaratkan dalam standar material JIS G5151 Grade SCPH2 telah terpenuhi baik untuk unsur C, Si, Mn, P maupun S. Namun karena hasil pengujian NDT merekomendasikan bahwa produk tersebut *reject* sehingga harus dilakukan pengecoran ulang. Untuk pengecoran ulang TUBP 450 HP dan selanjutnya dilakukan di PT Barata

Indonesia yang telah mempunyai pengalaman sebagai industri baja cor dan hasil pengujian material casing TUBP 450 HP yang telah dilakukan baik untuk komposisi kimia maupun hasil pengujian tarik masih sesuai dengan standar material JIS G5151 Grade SCPH2. Demikian pula untuk hasil pengujian material casing TUBP 2MW juga masih sesuai dengan standar yang telah dipersyaratkan.

Sedangkan pada pengecoran TUBP 4 MW dilakukan pengecoran secara terpisah antara upper dan lower casing, secara garis besar komposisi kimia dan kekuatan tariknya sudah sesuai dengan yang dipersyaratkan. Namun pada unsur Mangan (Mn) mengalami peningkatan diatas kondisi yang dipersyaratkan yaitu menjadi 1,07 % untuk upper dan 1,11 % pada bagian lower casing yang seharusnya maksimal 1,00 %. Hal ini terjadi karena pertimbangan nilai ekonomis (effisiensi) disisi penggunaan energi bagi industri pengecoran. Effisiensi ini dilakukan dengan menggabungkan order peleburan material baja yang mempunyai spesifikasi hampir sama untuk mengoptimalkan kapasitas dapur peleburan dan penggunaan energi dengan pertimbangan tanpa mengurandai sifat material secara signifikan. Peningkatan kandungan unsur Mangan (Mn) pada dasarnya tidak merugikan sifat mekanis dari material baja tersebut karena unsur Mangan (Mn) dapat membantu pembentukan karbida sehingga dapat meningkatkan nilai kekerasan material tersebut. Namun dari hasil pengujian NDT upper casing bahwa upper casing yang ditandai (\*) mengalami *reject* karena adanya cacat coran berupa *shrinkage* yang tidak dapat diterima oleh kode ASTM A 609 (*Quality Level 2*). Sehingga harus dicor ulang dan hasil pengujian material hasil coran ini telah sesuai dengan standar yang dijadikan referensi.

#### **4.2.2 Pengujian Non Destructive Test (Pengujian tidak merusak)**

Jenis pengujian NDT yang dilakukan meliputi pengamatan visual, penetrant, radiography (*X-Ray*), dan *Ultrasonic* tergantung sumber daya fasilitas, kemampuan pendanaan dan kebutuhan. Dimulai dengan pemeriksaan secara visual dan menggunakan *penetrant*, jika di indikasikan adanya cacat coran maka akan dilakukan pengujian NDT lanjutan dengan menggunakan *radiography* atau *ultrasonic* pada bagian yang terindikasi adanya cacat tersebut (*parsial*). Secara ringkas hasil pengujian NDT untuk casing turbin uap back pressure ini dapat ditunjukkan pada **Tabel 4.2** berikut.

**Tabel 4.2** Data Pengujian NDT

No	OBJEK / CASING	JENIS NDT	KODE	HASIL	KETERANGAN
1	TUBP 450 HP - Upper (Pindad)	Radiography	API 6.11, Security Level (SL) 2	SL 1 ÷ SL 5, Defect	Reject, cor ulang (Lampiran 4)
	TUBP 450 HP - Lower (Pindad)	Radiography	API 6.11, Security Level 2	SL 1 & SL 2; Defect	Repair, tidak perlu dicor ulang (Lampiran 4)
	TUBP 450 HP #2 (Repair, Cor Ulang Barata)	Penetrant / Visual		Baik	Dilanjutkan pengujian hidrostatik
2	TUBP 2 MW - All	Penetrant / Visual		Indikasi cacat pada bagian lower & bagian upper diterima	Lower casing cek dengan pengujian ultrasonic
	TUBP 2 MW - Lower	Ultrasonic	ASTM A609 (Quality Level 2)	Terdapat 7 area terindikasi adanya poros	max discontinuity L x W : 1160 x 65 – over 600 mm <sup>2</sup> (standar), Reject dan direpair. (Lampiran 10)
	TUBP 2 MW - Lower (Repair)	Penetrant / Visual		Baik	Diteruskan pengujian hidrostatik
3	TUBP 4 MW - All	Penetrant / Visual		Indikasi cacat pada bagian upper & bagian lower diterima	Upper casing repair (welded) & cek dengan pengujian ultrasonic
	TUBP 4 MW - Upper	Ultrasonic	ASTM A609 (Quality Level 2)	Masih ditemukan indikasi cacat (shrinkage) pada 8 lokasi cacat bekas pengelasan	Kedelapan lokasi yang terindikasi cacat discontinuitynya masih melebihi 600 mm <sup>2</sup> (over), sehingga harus dicor ulang (tidak layak untuk dipakai kembali) (Lampiran 17)
	TUBP 4 MW - Upper #2 (cor ulang)	Ultrasonic	ASTM A609 (Quality Level 2)	Ada 2 lokasi cacat (planar) memanjang pada sisi inlet L 35 mm	Discontinuity nya masih melebihi 600 mm <sup>2</sup> namun L tidak melebihi 55 mm, sehingga cukup dilakukan repair (gouging & welded) dan cek NDT (Lampiran 18)
	TUBP 4 MW - Upper #2 (cor ulang setelah repair)	Penetrant		Baik	Dilanjutkan pengujian hidrostatik

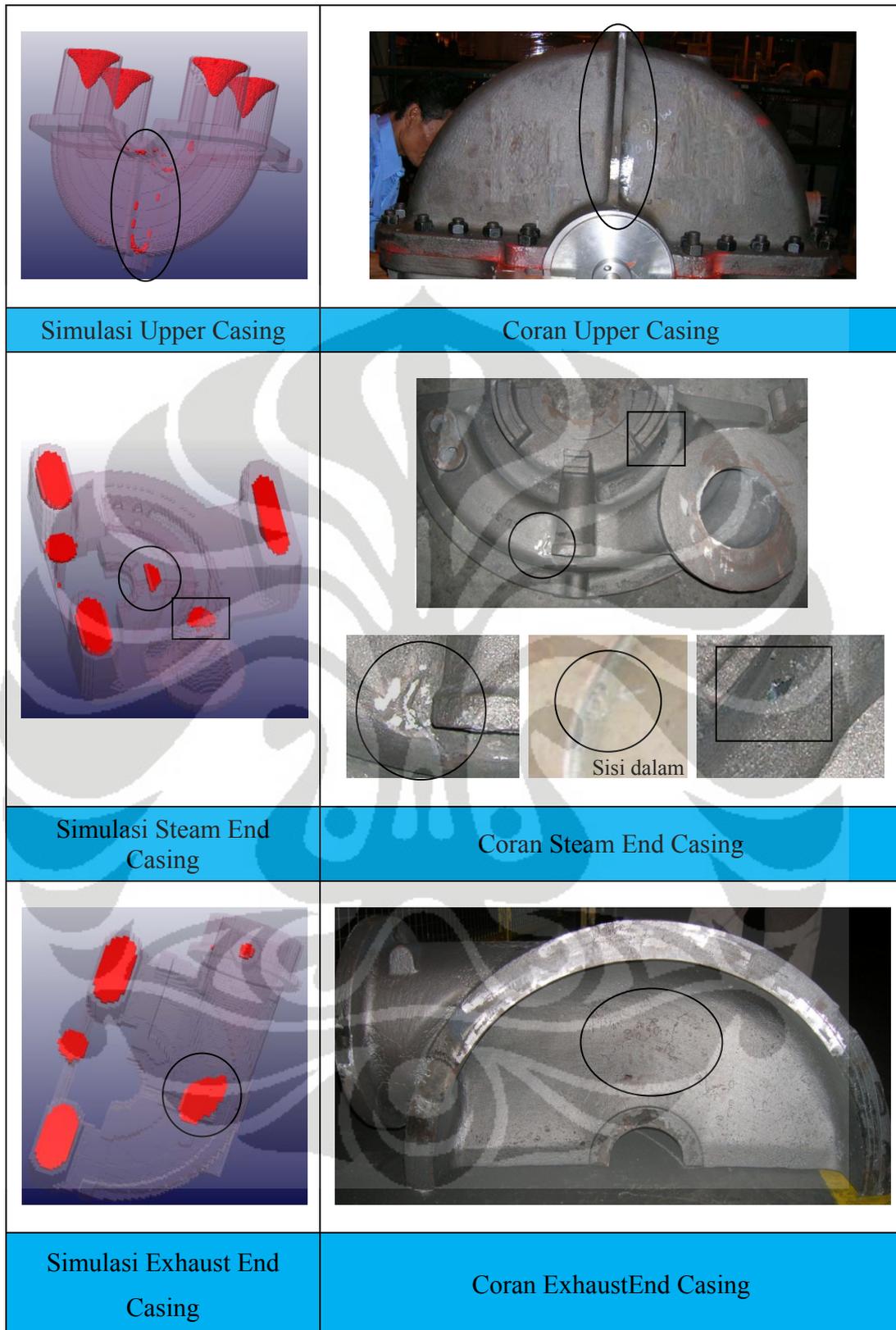
Dari data hasil pengujian NDT yang telah dilakukan seperti **Tabel 4.2** diatas (data pengujian terlampir), casing TUBP 450 HP dan Upper casing turbin uap *back pressure* 4 MW merupakan casing yang mengalami kegagalan setelah dilakukan pengujian NDT karena masih adanya ditemukan cacat (indikasi *shrinkage*) yang masih belum dapat diterima oleh standar yang dipersyaratkan. Pengujian NDT ini dapat memvalidasi kondisi kualitas coran sehingga dapat dilakukan usaha perbaikan sebelum masuk ke tahap selanjutnya.

#### 4.2.3 Analisa desain dan coran casing TUBP

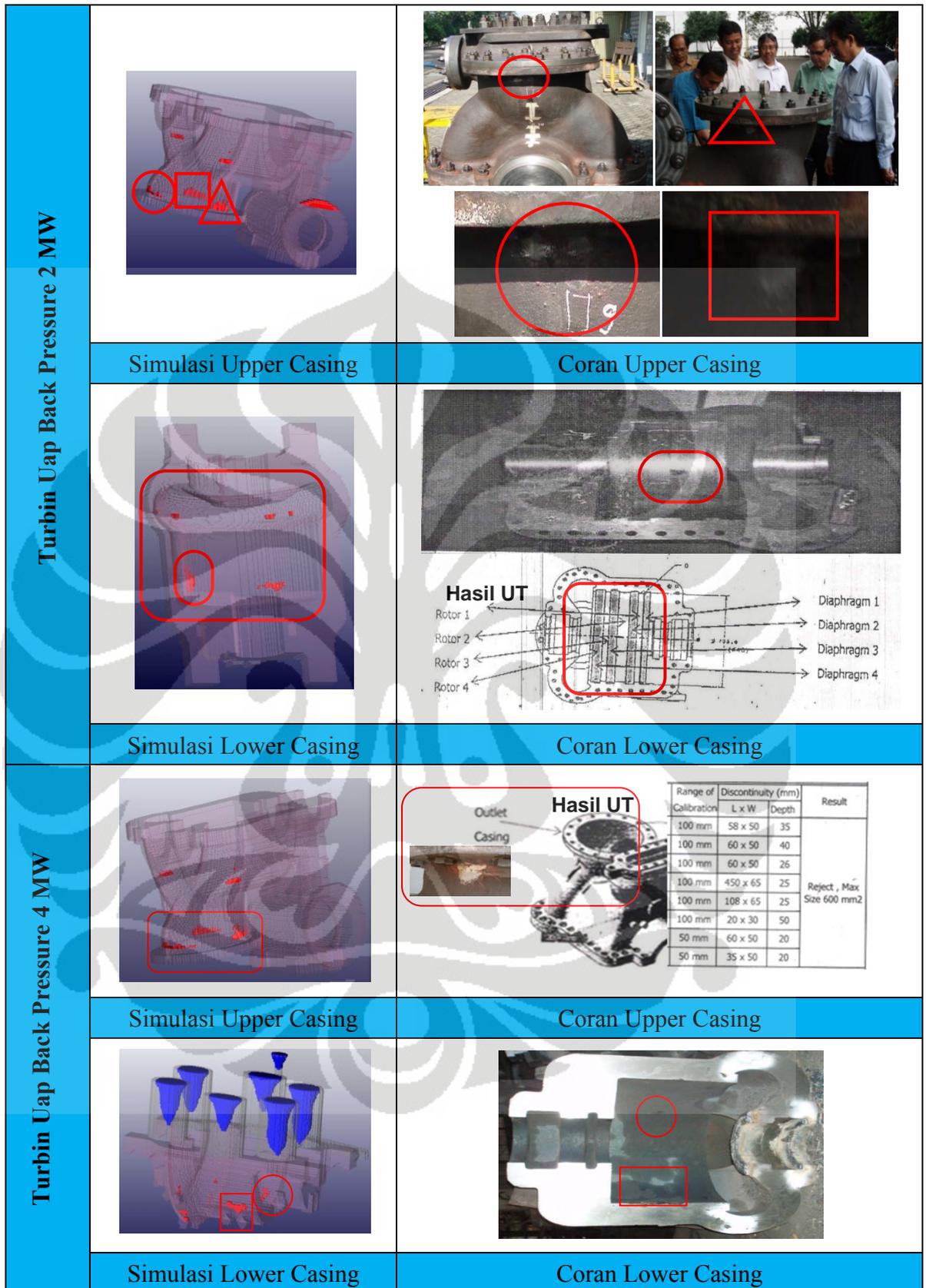
Dari hasil simulasi pengecoran TUBP 450 HP ditunjukkan bahwa masih terdapat daerah-daerah yang berpotensi terjadi cacat cor *shrinkage*. Daerah tersebut ditunjukkan dengan adanya warna merah yang terdapat pada benda cor (ditandai).

Pada **Gambar 4.4** berikut dapat ditunjukkan perbandingan hasil simulasi dan coran casing TUBP 450 HP. Dari hasil simulasi dibawah ini dapat dilihat bahwa daerah-daerah yang berwarna merah merupakan lokasi yang berpotensi terjadi cacat *shrinkage*. Namun daerah warna merah yang ada diluar coran atau pada sistem saluran atau riser bukan merupakan cacat yang berpengaruh pada coran karena daerah ini nantinya akan dipotong. Sedangkan daerah warna merah yang ada pada coran (ditandai) merupakan daerah yang berpotensi timbul cacat *shrinkage*. Dari hasil perbandingan antara proses simulasi dan pengecoran yang terjadi bahwa pada daerah yang diindikasikan timbul cacat pada saat simulasi, setelah dilakukan pengecoran memang daerah-daerah tersebut muncul cacat *shrinkage* seperti ditunjukkan pada gambar tersebut.

Kecenderungan terjadinya cacat *shrinkage* tersebut disebabkan karena adanya perbedaan ketebalan antara daerah sekitar cacat, sehingga mempengaruhi laju pendinginan yang terjadi. Hal tersebut dapat menyebabkan terjadinya *shrinkage* karena tidak terjadi pembekuan yang terarah (*unidirectional solidification*). Filosofi dalam mendesain sistem saluran pada proses pengecoran diharapkan terjadi pembekuan yang terarah (*directional solidification*). Dimana daerah riser merupakan daerah yang terakhir membeku sehingga dapat mensuplai daerah-daerah yang kekurangan logam cair.

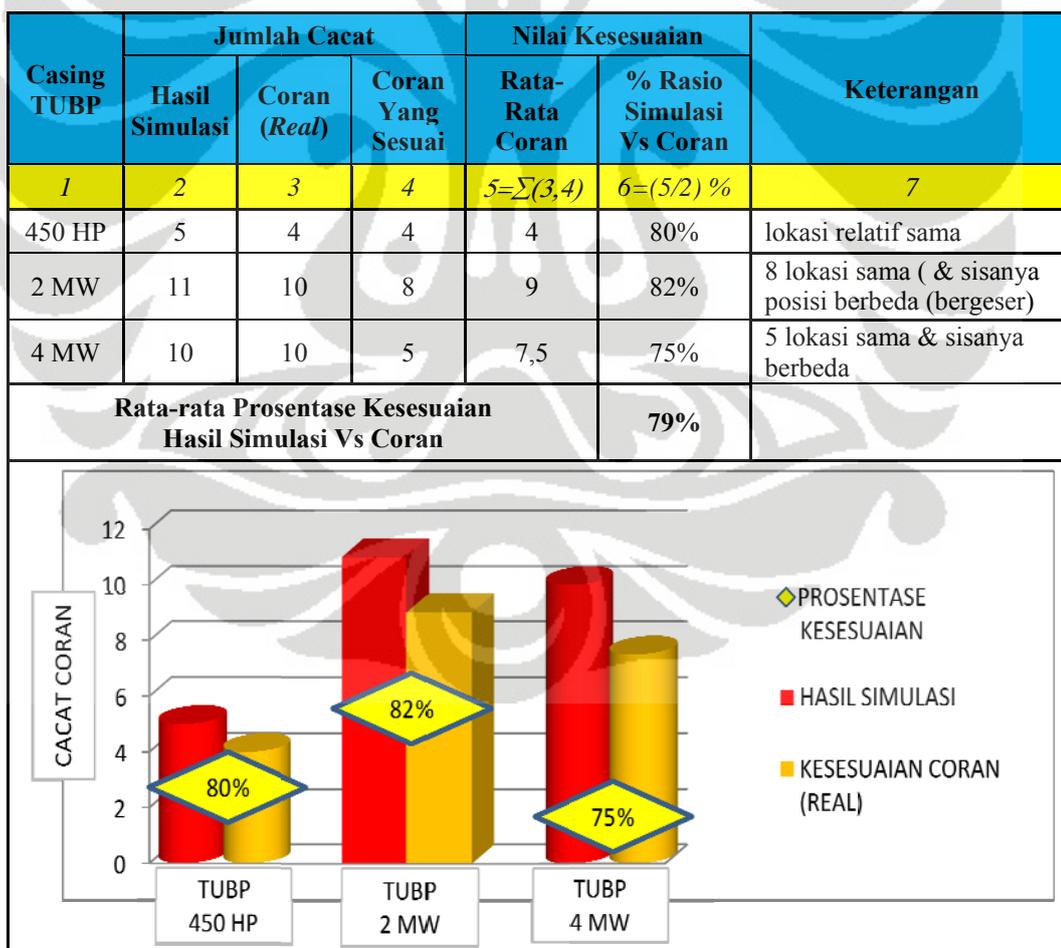


**Gambar 4.4** Perbandingan Hasil Simulasi dan Coran Casing TUBP 450 HP



**Gambar 4.5** Perbandingan Hasil Simulasi dan Coran Casing TUBP 2 MW dan TUBP 4 MW

Pada **Gambar 4.5** pada halaman sebelumnya, dapat ditunjukkan perbandingan antara hasil simulasi dan coran pada casing turbin uap back pressure 2 MW dan turbin uap back pressure 4 MW. Proses simulasi yang dilakukan ini dapat memberikan ilustrasi lokasi-lokasi yang diindikasikan berpotensi terjadi cacat, yang pada kenyataan daerah-daerah tersebut setelah dilakukan pengecoran secara garis besar mempunyai korelasi terutama untuk lokasi cacat. Namun dari sisi perbandingan luas penampang cacat terdapat perbedaan dan perlu dilakukan analisis lebih lanjut terhadap profil cacat coran. Akan tetapi hal tersebut tidak dapat dilaksanakan karena coran casing yang di-*reject* sudah dilebur ulang. Hal tersebut dapat ditunjukkan dari analisis pada **Gambar 4.6** berikut yang merupakan perbandingan tingkat kesesuaian hasil simulasi dengan hasil coran casing TUBP. Tingkat kesesuaian dari hasil simulasi dan hasil coran casing TUBP khususnya pada lokasi cacat yaitu sebesar 79 %.



**Gambar 4.6** Tingkat Kesesuaian Hasil Simulasi Vs Coran Casing TUBP

### 4.3 Analisa Kegagalan Coran Casing TUBP

Berdasarkan data pengujian material casing turbin uap back pressure yang ada bahwa hasil pengujian komposisi kimia maupun pengujian tarik yang telah dilakukan sebagian besar telah sesuai dengan standar atau spesifikasi material JIS G5151 Grade SCPH2. Hanya pada komposisi kimia material casing turbin uap *back pressure* 4MW khususnya unsur Mangan (Mn) melebihi standar. Seharusnya sesuai dengan standar kandungan unsur Mangan (Mn) adalah kurang dari 1 % , namun pada upper casing 1,07 % dan lower casing 1,11 %. Hal ini terjadi karena pengabungan *order* di industri pengecoran untuk material yang mempunyai sifat dan komposisi kimia yang hampir sama sehingga diharapkan dapat mengoptimalkan kapasitas dapur peleburan dan efisiensi penggunaan energi. Penambahan unsur Mangan (Mn) dapat menguntungkan karena unsur Mangan (Mn) dapat membantu dalam pembentukan karbida sehingga dapat meningkatkan kekerasan dari material yang terbentuk. Seperti pada upper casing turbin uap *back pressure* 4 MW sebelum dilakukan perbaikan (dicor ulang) kandungan Mn 1,07% dengan UTS 68,20 kg/mm<sup>2</sup>, kemudian setelah dicor ulang kandungan Mn dapat diperbaiki menjadi 0,82 % Mn dengan UTS 67,47 kg/mm<sup>2</sup> sesuai kondisi yang dipersyaratkan. Sehingga walaupun kandungan Mn untuk lower casing turbin uap *back pressure* 4 MW masih diatas standar JIS untuk material G5151 Grade SCPH2 tidak dilakukan pengecoran ulang dikarenakan kondisi tersebut tidak mengurangi propertis material secara signifikan dan karena keterbatasan pendanaan.

Dari hasil pengujian NDT seperti yang telah dibahas sebelumnya bahwa casing turbin uap *back pressure* 450 HP dan Upper casing turbin uap *back pressure* 4 MW merupakan produk coran yang mengalami kegagalan setelah dilakukan pengujian NDT, karena masih ditemukannya cacat (*shrinkage*) pada coran yang tidak dapat diterima oleh standar yang dipersyaratkan (ASTM A609 - *Quality Level 2*). Berdasarkan standar ASTM A609 - *Quality Level 2* bahwa kondisi batas cacat coran yang dapat diterima oleh kode ini adalah tidak melebihi 600 mm<sup>2</sup> (*max area discontinuity*) dan panjang cacat yang terbentuk tidak melebihi 55 mm (*max lenght*). Pada upper casing turbin uap *back pressure* 4 MW awalnya dilakukan pemeriksaan dengan menggunakan cairan penetrant dan ditemukan

beberapa (delapan) lokasi indikasi cacat kemudian dilakukan perbaikan dengan cara *gouging* dan pengelasan. Selanjutnya setelah dilakukan usaha perbaikan, coran tersebut diuji NDT menggunakan ultrasonik secara parsial (lokasi tertentu yang terindikasi cacat). Berdasarkan hasil pengujian ultrasonik tersebut bahwa pada lokasi bekas pengelasan masih ditemukan tujuh lokasi (semula delapan) lubang-lubang akibat *shrinkage* dan kotoran casting yang terpendam. Selain itu kondisi cacat tersebut sudah melebihi batas yang diijinkan (*max area discontinuity*  $600 \text{ mm}^2$  dan *max length* 55 mm) dan lokasi cacat yang terjadi juga di area uap masuk (*steam inlet*). *Steam inlet* ini merupakan daerah yang paling kritis karena menerima tekanan uap yang paling besar, sehingga diputuskan bahwa upper casing turbin uap *back pressure* 4 MW mengalami kegagalan dan harus dicor ulang.

Sedangkan pada casing turbin uap *back pressure* 450 HP, pengujian NDT yang dilakukan menggunakan radiography (X-Ray) oleh PT. PINDAD. Secara desain sebenarnya casing turbin uap *back pressure* 450 HP ini relatif lebih sederhana, dimensi lebih kecil dan ketebalannya relatif sama. Standar yang dijadikan referensi adalah API 6.11, *Security Level 2*. Namun dari hasil pengujian NDT yang dilakukan masih banyak ditemukan cacat coran yang disebabkan *shrinkage* terutama pada bagian upper casing dengan *range security level* 1 bahkan sampai *level 5*. Setelah dilakukan analisis bahwa kompetensi dan pengalaman utama industri pengecoran di PT. PINDAD ini pada besi cor (*cast iron*). Oleh karena itu, untuk pengecoran ulang dialihkan ke PT. Barata Indonesia yang mempunyai pengalaman untuk baja cor.

Dari pengalaman pengecoran casing turbin uap *back pressure* yang telah dilakukan banyak terjadi kegagalan yang diindikasikan dengan harus dilakukannya perbaikan coran maupun bahkan sampai dilakukan pengecoran ulang. Baja cor (SCPH 2) memang mempunyai karakteristik yang relatif sulit untuk mencapai produk coran yang bebas dari cacat (*sound casting*)<sup>[9]</sup>. Kegagalan tersebut antara lain disebabkan adanya kesalahan dalam desain, proses maupun karena alasan biaya dan dapat juga disebabkan oleh bentuk produk yang memiliki keterbatasan untuk dicor atau *castability*-nya rendah. Tingkat kegagalan pengecoran casing turbin uap *back pressure* ini akan semakin tinggi, jika dalam

pelaksanaan pekerjaan tersebut dilakukan dengan kode dan standar yang ketat. Maka sebageian besar casing turbin uap *back pressure* ini dapat dinyatakan mengalami kegagalan. Karena seperti pada kasus casing turbin uap *back pressure* 2 MW maupun 4 MW yang seharusnya coran tersebut sudah mengalami *reject* (melebihi kondisi batas yang dipersyaratkan), namun karena pertimbangan prototipe dan biaya (sumber DIPA), maka diputuskan diambil langkah *repair* (*perbaikan*).

#### 4.4 Desain dan Simulasi Casing TUDC 3,5 MW

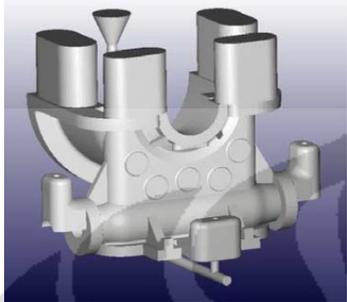
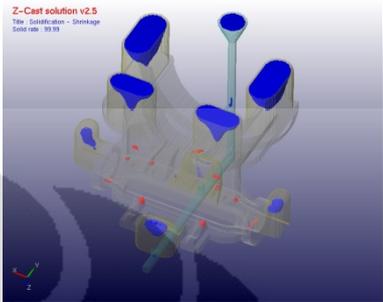
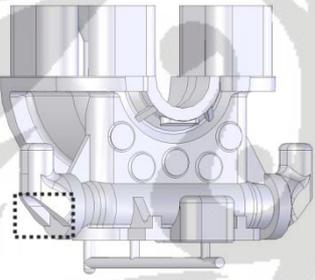
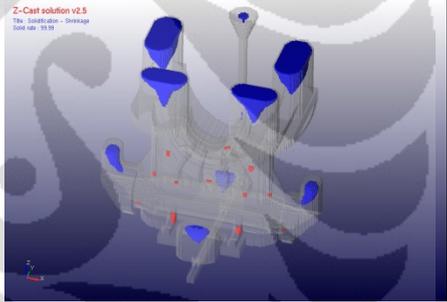
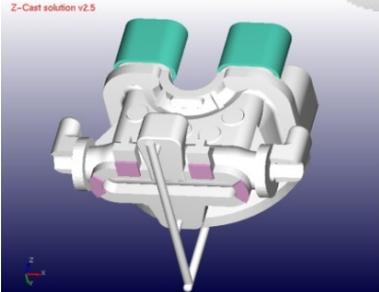
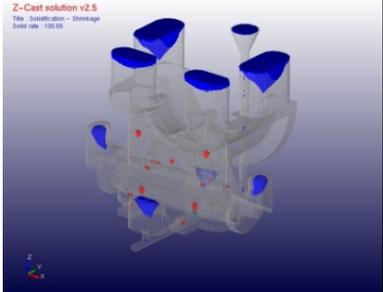
##### 4.4.1 Alternatif desain pengecoran

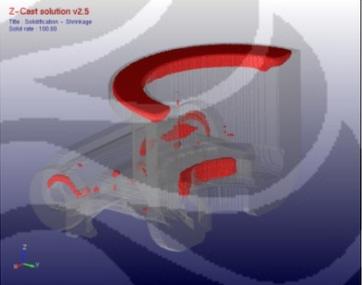
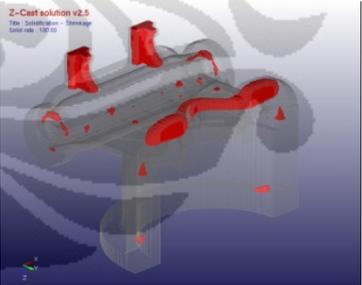
Pada tahapan awal simulasi casing TUDC 3,5 MW ini dilakukan untuk mengetahui kecenderungan cacat yang terbentuk dengan berbagai alternatif desain sistem saluran yang ada. Simulasi dilakukan untuk pola pembekuan (*solidifikasi*). Hal ini dilakukan karena ukuran benda aslinya yang cukup besar (berat benda cor lebih dari 1.000 kg), maka cacat – cacat yang umumnya terjadi pada proses pengisian seperti turbulensi atau gas terperangkap dapat dikurangi. Selain itu, ukuran benda yang besar memiliki kecenderungan pola panas yang sama (tidak terdapat *heat zone* yang mencolok) pada benda kerja atau cetaknya. Input parameter yang diberikan pada proses simulasi antara lain :

- ❑ Metode : *Gravity casting*
- ❑ Jenis material : ASTM A216 (*max 0,25 C & max 0,70 Mn*)
- ❑ Mold : *Green sand*
- ❑ Temperatur tuang : 1.550°C
- ❑ Penyusutan : 8%
- ❑ Solid fraction : 70%

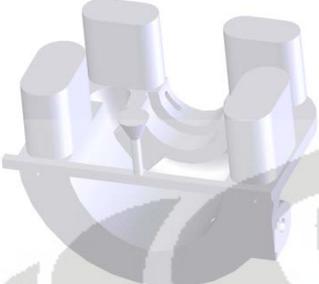
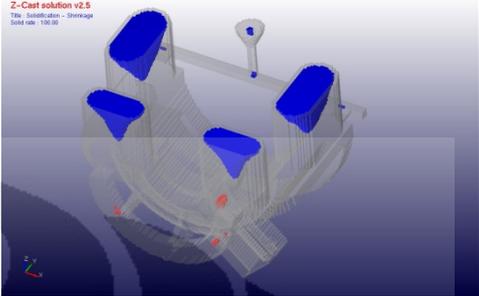
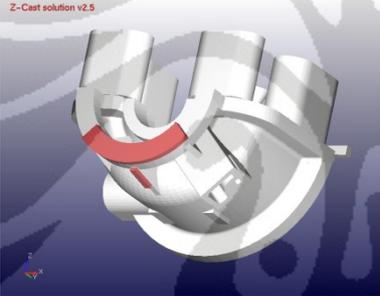
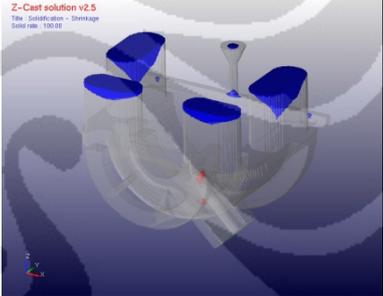
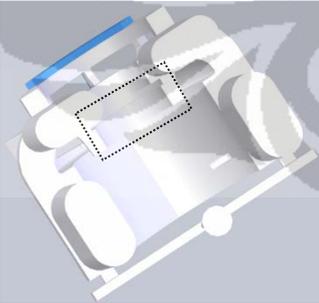
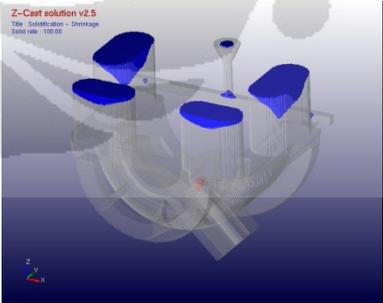
Hasil alternatif desain dan simulasi pengecoran casing TUDC 3,5 MW dapat ditunjukkan seperti pada **Tabel 4.3** sampai dengan **Tabel 4.6** berikut ini.

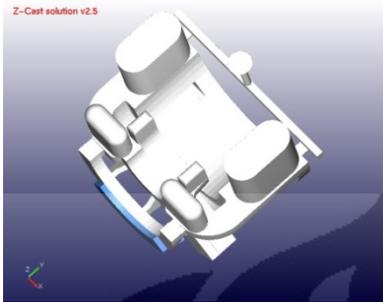
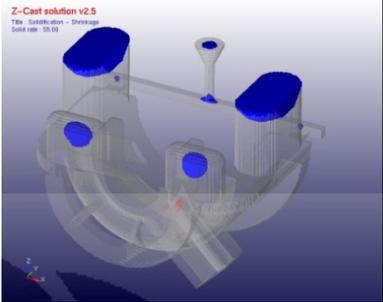
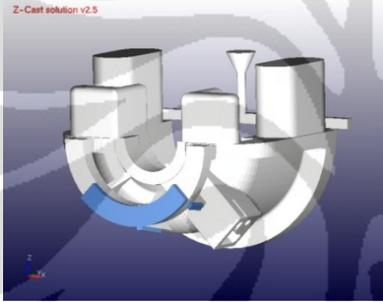
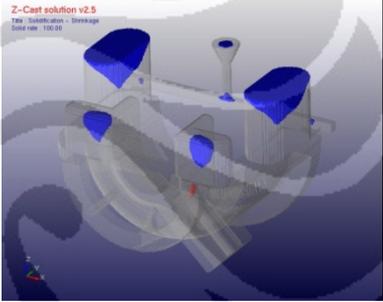
Tabel 4.3 Hasil Simulasi Upper Inlet Casing

No	GAMBAR dan KETERANGAN DESAIN	HASIL dan ANALISA SIMULASI
1	<p>Design awal</p>  <p>Gating sistem dengan dilengkapi 4 buah open riser dan 3 buah blind riser yang diletakan seperti pada gambar.</p>	 <p>Terjadi <i>shrinkage</i> di area sekitar rib (<i>emergency stop valve</i>), flange, dan ribs (inner casing). Disebabkan karena proses pembekuan yang tidak terarah (<i>unidirectional solidification</i>).</p>
2	<p>Revisi 1</p>  <p>Menambahkan <i>padding</i> dengan tujuan untuk membantu mengarahkan pembekuan pada sisi yang ditandai agar menuju ke riser</p>	 <p>Masih terjadi <i>shrinkage</i> tetapi secara visual volume cacat pada lokasi tersebut berkurang. Diperlukan penambahan <i>chill</i> dibawah flange dudukan <i>emergency stop valve</i> untuk membantu proses pembekuan.</p>
3	<p>Revisi 2</p> 	

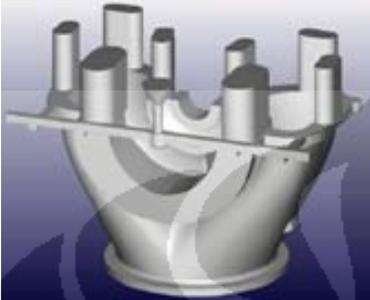
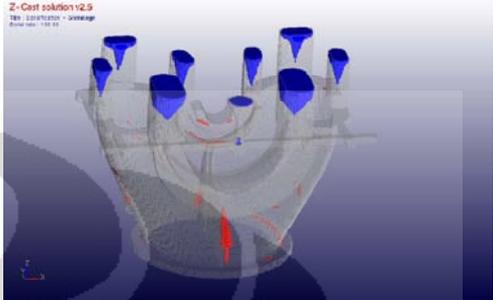
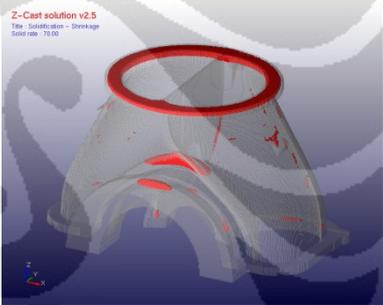
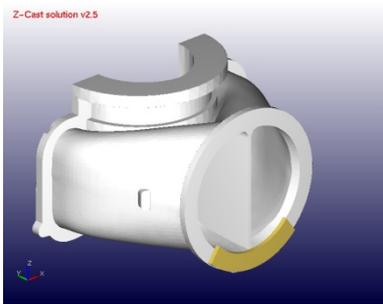
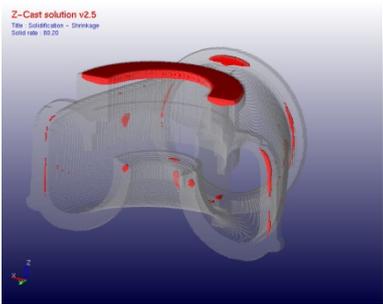
No	GAMBAR dan KETERANGAN DESAIN	HASIL dan ANALISA SIMULASI
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Menambahkan chill untuk memperbaiki <i>shrinkage</i> pada daerah rib dan flange, diharapkan <i>shrinkage</i> bergeser kearah riser.</li> <li>▪ Menambahkan <i>Sleeve</i> pada riser, untuk menjaga tempertur riser agar tetap tinggi diharapkan mampu mensuplai daerah <i>shrinkage</i> pada rib (di inner casing).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sebaran <i>shrinkage</i> masih hampir sama seperti revisi 1 hanya terjadi pergeseran lokasi <i>shrinkage</i> dan masih berada di benda cor</li> <li>▪ <i>Shrinkage</i> di daerah rib (inner casing) masih terjadi, karena pada daerah tersebut relatif lebih tipis dibandingkan daerah sekitar (<i>castability</i> rendah).</li> </ul>
4	<p>Revisi 3</p>  <p>Merubah desain <i>gating system</i>, untuk mengatasi <i>shrinkage</i> didaerah rib (inner casing) yang memiliki <i>castability</i> rendah.</p>	 <p>Dengan <i>gating system</i> yang sudah diubah (diputar) ternyata pada daerah tersebut (rib pada inner casing) masih sangat potensial terjadi <i>shrinkage</i> karena profil benda cor memiliki tingkat kesulitan tinggi.</p>
5	<p>Revisi 4</p>  <p>Merubah desain <i>gating system</i> dengan posisi seperti gambar disamping, untuk mengatasi <i>shrinkage</i> didaerah rib (inner casing) yang memiliki <i>castability</i> rendah.</p>	 <p>Konsentrasi <i>shrinkage</i> didaerah rib (inner casing) masih sulit untuk dihindari.</p>

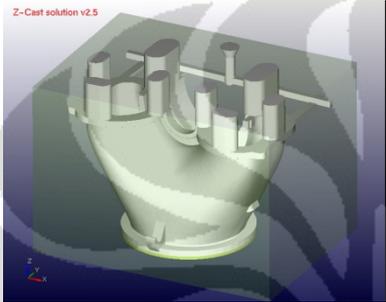
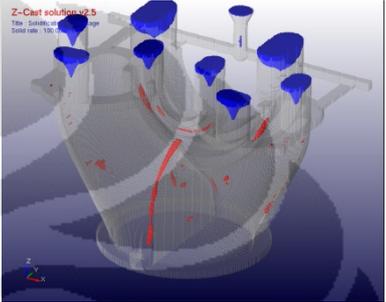
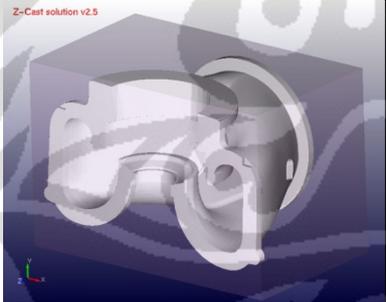
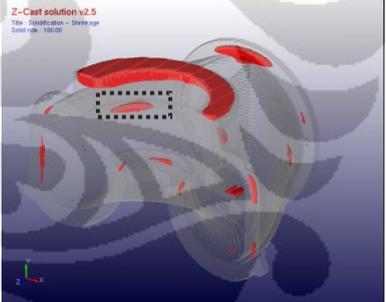
Tabel 4.4 Hasil Simulasi Lower Inlet Casing

No	GAMBAR dan KETERANGAN DESAIN	HASIL dan ANALISA SIMULASI
1	<p>Design awal</p>  <p>Dalam mendesain sistem saluran dilengkapi dengan penambah / riser 4 buah yang diletakan seperti pada gambar</p>	 <p>Terjadi <i>shrinkage</i> di area yang berwarna merah. Sedangkan daerah warna biru bukan merupakan cacat</p>
2	<p>Revisi 1</p>  <p>Ditambahkan chill pada sisi luar flange.</p>	 <p>Dengan penggunaan chill tersebut mampu menghilangkan <i>shrinkage</i> yang terjadi di daerah flange.</p>
3	<p>Revisi 2</p>  <p>Merubah desain produk coran (<i>castable</i>), dengan menutup lubang disamping titik <i>shrinkage</i> menjadi solid dan menutup groove.</p>	 <p><i>Shrinkage</i> yang terjadi dapat dikurangi (dua menjadi satu lokasi).</p>

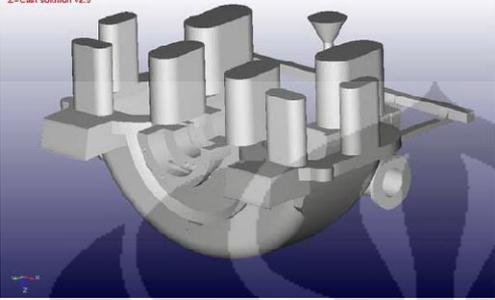
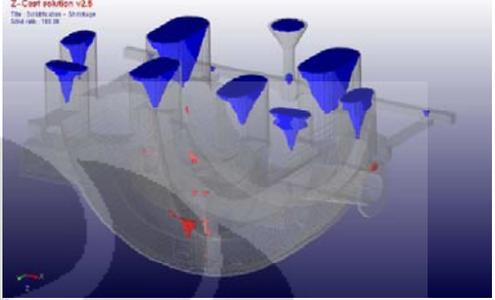
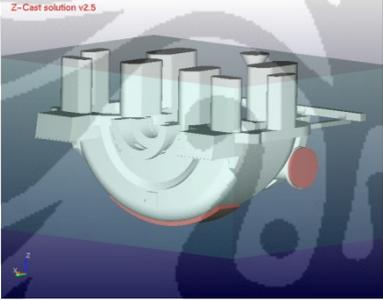
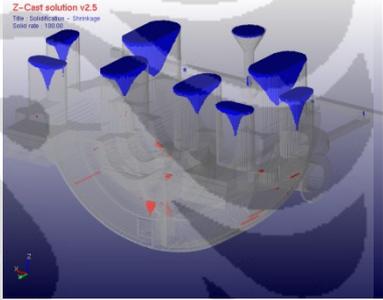
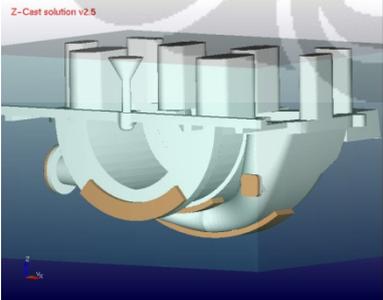
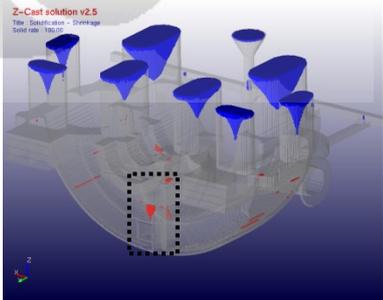
No	GAMBAR dan KETERANGAN DESAIN	HASIL dan ANALISA SIMULASI
4	<p>Revisi 3</p>  <p>Merubah open riser (kecil) menjadi blind riser dan menambah blind riser baru.</p>	 <p><i>Shrinkage</i> masih terjadi tetapi letaknya bergeser sedikit keatas tetapi masih berada pada produk coran.</p>
5	<p>Revisi 4</p>  <p>Menggabung blind riser agar dalam proses produksinya lebih mudah. Menambah chill pada rib.</p>	 <p><i>Shrinkage</i> masih terjadi pada produk coran.</p>

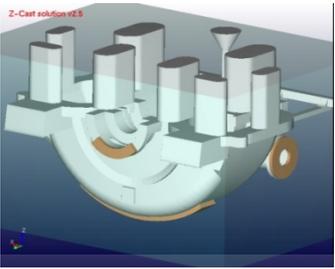
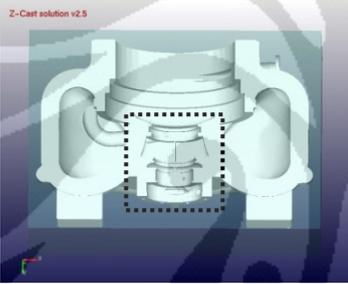
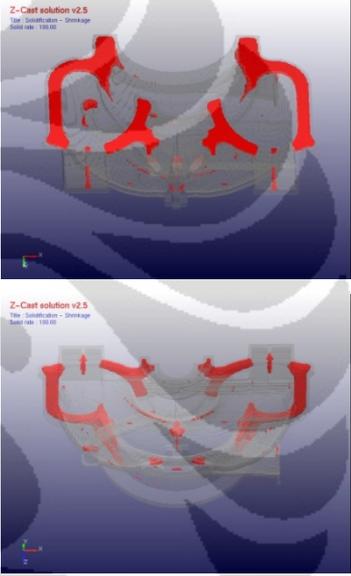
Tabel 4.5 Hasil Simulasi Upper Inlet Casing

No	GAMBAR dan KETERANGAN DESAIN	HASIL dan ANALISA SIMULASI
1	Design awal 	 <p>Terjadi <i>shrinkage</i> di area yang berwarna merah, dominan di posisi sekat (rib) pembatas</p>
2	Revisi 1  <p>Merubah posisi benda cor (dibalik 180°)</p>	 <p><i>Shrinkage</i> pada desain awal masih tetap terjadi di area yang sama setelah dilakukan perubahan posisi benda cor (dibalik 180°), <i>shrinkage</i> yang terjadi secara teknis lebih susah dihilangkan dibanding desain awal.</p>
3	Revisi 2 	

No	GAMBAR dan KETERANGAN DESAIN	HASIL dan ANALISA SIMULASI
	<p>Merubah posisi benda cor (diputar 90° / ditidurkan) dengan pertimbangan untuk mengoptimalkan fungsi riser (memperpendek jarak) dan diberi chill pada flange</p>	<p>Shrinkage yang terjadi pada beberapa titik hilang dan sebagian berkurang tetapi juga didapat titik <i>shrinkage</i> yang baru</p>
4	<p>Revisi 3</p>  <p>Memperkecil nilai R pada sekat (rib) pembatas (mencoba mencari nilai R yang optimum <math>R' = 35\text{mm}</math>)</p>	 <p><i>Shrinkage</i> masih terjadi di area yang relatif sama tetapi profil <i>shrinkage</i> yang di daerah rib berubah menjadi memanjang</p>
5	<p>Revisi 4</p>  <p>Memperkecil nilai R dan posisi benda cor diubah seperti pada revisi 2</p>	 <p><i>Shrinkage</i> yang terjadi pada daerah yang ditandai lebih besar dibanding simulasi pada revisi 2</p>

Tabel 4.6 Hasil Simulasi Lower Exhaust Casing

No	GAMBAR dan KETERANGAN DESAIN	HASIL dan ANALISA SIMULASI
1	<p>Design awal</p> 	 <p>Terjadi <i>shrinkage</i> di area yang berwarna merah.</p>
2	<p>Revisi 1</p>  <p>Melakukan penambahan chill pada beberapa titik (terlihat digambar)</p>	 <p>Volume <i>shrinkage</i> yang terjadi pada pipa sirkulasi pelumas menjadi lebih kecil dibanding hasil simulasi pertama, namun semakin menyebar.</p>
3	<p>Revisi 2</p> 	

No	GAMBAR dan KETERANGAN DESAIN	HASIL dan ANALISA SIMULASI
	 <p data-bbox="352 622 863 696">Menambah chill pada beberapa titik (lebih banyak)</p>	<p data-bbox="884 622 1385 725"><i>Shrinkage</i> pada daerah yang ditandai masih terjadi dan volumenya relative sama</p>
4	<p data-bbox="352 763 464 797">Revisi 3</p>  <p data-bbox="352 1352 863 1458">Melakukan modifikasi desain dengan menambah pipa seperti terlihat pada gambar</p>	 <p data-bbox="884 1352 1385 1426">Disekitar area modifikasi terjadi shrinkage</p>

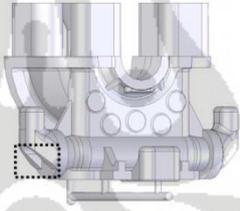
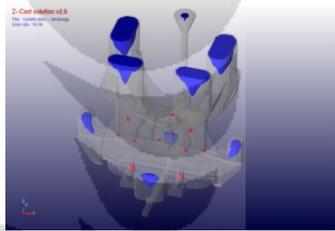
Simulasi pengecoran ini dapat memprediksi potensi cacat yang akan terjadi dan dapat juga dipakai untuk memverifikasi desain sistem saluran yang digunakan. Sehingga dengan dilakukan pengulangan desain dan simulasi menggunakan metode simulasi komputasi ini dapat meminimalkan resiko kegagalan. Pengulang tersebut dengan melakukan modifikasi terhadap desain sistem saluran sebelum dilakukannya proses pengecoran sampai mendapatkan desain yang paling optimum dan selain itu juga dapat melakukan upaya-upaya pencegahan lainnya yang dapat diterapkan dalam pelaksanaan proses pengecoran dengan tujuan untuk menghilangkan atau mengurangi cacat yang mungkin akan terjadi.

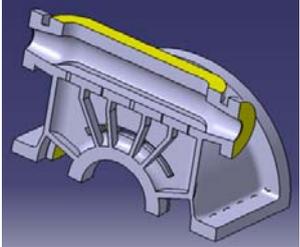
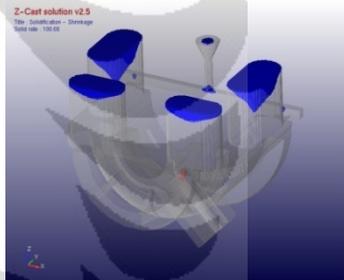
**Universitas Indonesia**

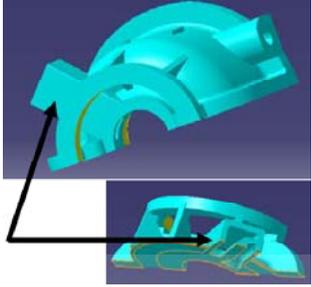
#### 4.4.2 Analisis dan pemilihan desain pengecoran

Pemilihan desain pengecoran yang optimal ini didasarkan pada hasil simulasi pengecoran yang dapat meminimalkan terjadinya cacat (*shrinkage*) dan kelayakan dari sisi industri (proses pengecoran). Kelayakan dari sisi industri tersebut dilihat dari aspek ekonomis dan kemampuan serta kemudahan dalam produksinya. Sehingga diharapkan hasil simulasi ini dapat memberikan rekomendasi untuk desain pengecoran yang paling optimal. Dari simulasi yang telah dilakukan dengan berbagai alternatif desain pengecoran yang mungkin diterapkan seperti data sebelumnya, maka dapat dipilih satu desain yang paling optimum dengan mungkin beberapa rekomendasi dalam proses produksinya sebagai usaha pencegahan atau untuk meminimalisir cacat yang masih mungkin dapat terbentuk. Data analisis tersebut dapat ditunjukkan pada **Tabel 4.7** dan **Tabel 4.8** berikut.

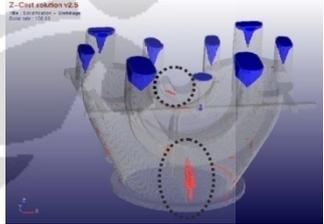
**Tabel 4.7** Analisis Dan Pemilihan Desain Inlet Casing

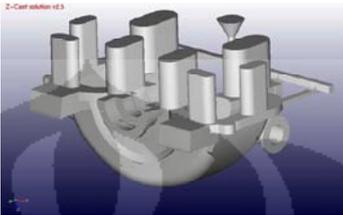
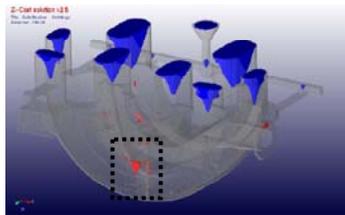
No	Uraian Hasil Simulasi	Desain Yang Dipilih	Hasil Simulasi
1	<p><b>Upper Inlet casing</b> Sulit untuk menghilangkan <i>shrinkage</i> terutama pada daerah rib (inner casing), daerah ini memiliki profil yang sangat kompleks. Profil daerah ini memiliki variasi ketebalan yang berbeda sehingga laju pembekuan yang terjadi tidak seragam. Oleh karena itu pada daerah yang tebal diperlukan penggunaan pasir yang mempunyai nilai konduktifitas panas yang lebih tinggi dari pasir silica (dengan menggunakan pasir chromite).</p>	<p>Revisi 1</p>  <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Hasil revisi 1 dan 2 relatif hampir sama, penggunaan sleeve atau isolator pada riser akan menambah biaya produksi.</li> <li>▪ Sehingga lebih dipilih desain revisi 1 yaitu dengan menambahkan padding dengan tujuan untuk membantu suplai cairan logam selama proses solidifikasi (seperti pada bagian yang ditandai)</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Shrinkage pada daerah flange hilang tetapi <i>shrinkage</i> pada daerah rib hanya bergeser sedikit dan masih berada di benda cor.</li> <li>▪ <i>Shrinkage</i> di daerah rib (inner casing) masih terjadi, karena pada daerah tersebut relatif lebih tipis dibandingkan daerah sekitar (<i>castability</i> rendah).</li> <li>▪ <i>Shrinkage</i> yang</li> </ul>

No	Uraian Hasil Simulasi	Desain Yang Dipilih	Hasil Simulasi
			<p>diprediksi terbentuk kecil-kecil dan menyebar, hal ini tidak terlalu signifikan dampaknya.</p>
	<p><b>Rekomendasi desain untuk upper inlet casing:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Memberikan padding pada blind riser (samping) untuk memaksimalkan fungsi riser</li> <li>▪ Penggunaan pasir chromite pada seluruh permukaan dinding daerah rib posisi inner casing untuk membantu proses solidifikasi</li> <li>▪ Penggunaan chill (paku), dapat digunakan untuk membantu meminimalisir terjadinya <i>shrinkage</i> pada rib penguat (<i>stiffner</i>)</li> </ul>		
2	<p><b>Lower Inlet casing</b>  <i>Shrinkage</i> yang terjadi di sekitar lubang sirkulasi sistem pelumasan sulit untuk dihilangkan karena terjadi hot spot pada daerah tersebut. Selain itu riser juga tidak mampu mensuplai fluida pada lokasi tersebut hal ini dikarenakan bentuknya yang tipis sehingga mengalami pembekuan terlebih dulu. Lokasi potensi terjadinya <i>shrinkage</i> tersebut secara desain sangat tidak <i>castable</i> dan jika ditutup (menjadi solid) juga sulit untuk di machining.</p> <p>Oleh karena itu dalam proses cor perlu digunakan pasir yang memiliki nilai konduktivitas panas yang lebih tinggi (pasir chromite) agar daerah-daerah yang relatif lebih tebal dapat membeku lebih cepat.</p>	<p>Dari hasil simulasi yang sudah dilakukan design yang paling optimum didapat pada simulasi No 3 Revisi 2</p>  <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Menutup lubang sirkulasi sistem pelumasan pada bagian atas</li> <li>▪ Menambah chill pada rib pada bagian dudukan bearing.</li> </ul>	<p><i>Shrinkage</i> masih terjadi pada produk coran khususnya pada saluran oil (pelumas)</p> 

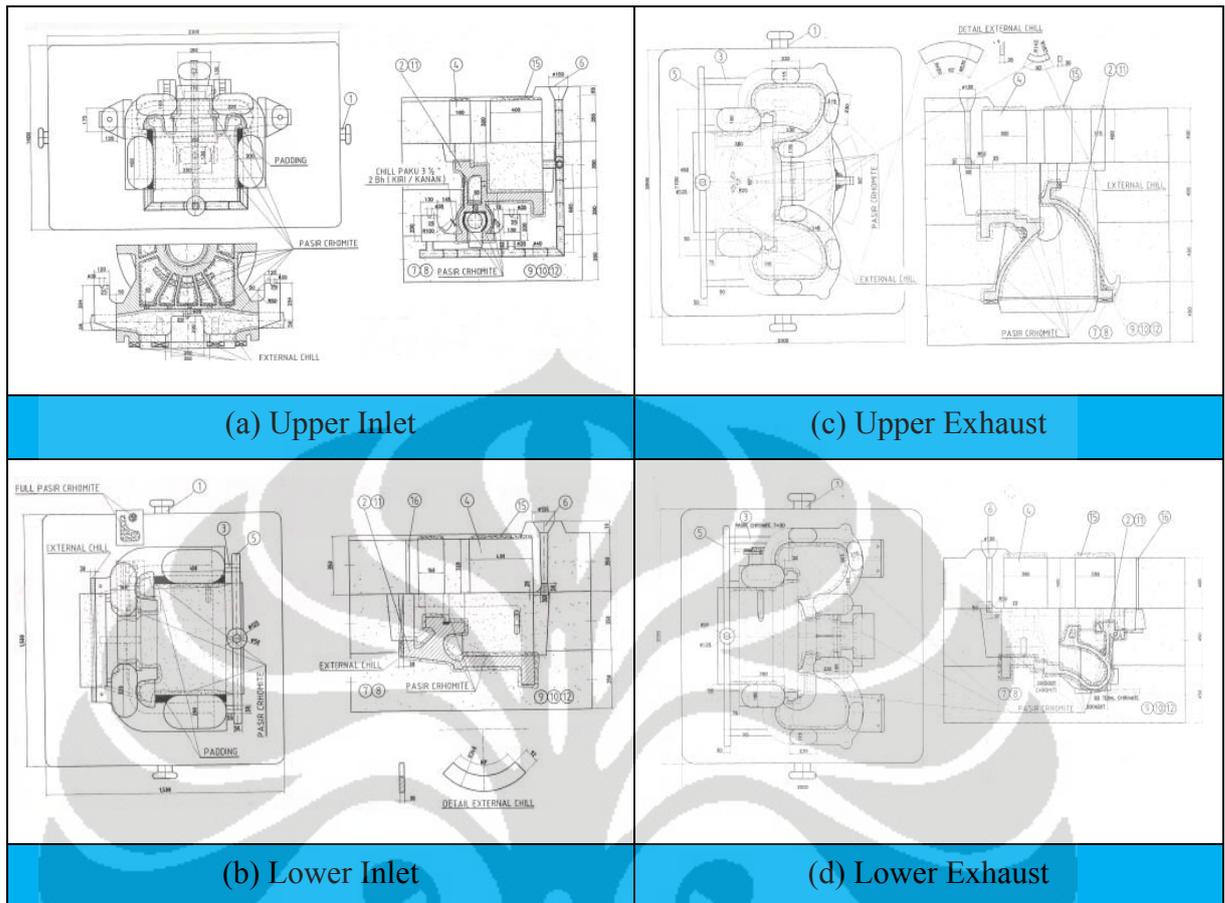
No	Uraian Hasil Simulasi	Desain Yang Dipilih	Hasil Simulasi
			
	<p><b>Rekomendasi desain untuk lower inlet casing:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Menutup lubang sirkulasi sistem pelumasan pada bagian atas, agar lebih mempunyai sifat mampu cor</li> <li>▪ Penggunaan pasir chromite secara penuh pada dinding-dinding bagian saluran oil (pelumas)</li> <li>▪ Penggunaan chill pada stifner dudukan bearing untuk membantu proses solidifikasi</li> </ul>		

**Tabel 4.8** Analisis Dan Pemilihan Desain Exhaust Casing

No	Uraian Hasil Simulasi	Desain Yang Dipilih	Hasil Simulasi
1	<p><b>Upper Exhaust Casing</b></p> <p>Simulasi upper exhaust casing ini desain yang paling optimum adalah desain awal, cacat yang masih timbul terutama pada daerah Rib atau pembatas tersebut diatas disebabkan oleh perbedaan ketebalan dengan daerah sekitarnya yang terlalu besar sehingga laju pendinginannya sulit untuk diarahkan.</p>	<p>Dari pertimbangan hasil simulasi dan analisis manufaktur, design yang diterapkan adalah desain awal dengan :</p> 	<p>Terjadi <i>shrinkage</i> di area yang berwarna merah, dominan di posisi sekat (rib) pembatas, baik di dinding luar maupun dudukan rotor.</p> 
	<p><b>Rekomendasi desain untuk upper exhaust casing:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pada daerah sekat rib, untuk menguranginya dapat digunakan pasir chromite.</li> <li>▪ Untuk cacat lainnya relatif kecil, bisa dikurangi dengan penggunaan pasir chromite.</li> </ul>		

No	Uraian Hasil Simulasi	Desain Yang Dipilih	Hasil Simulasi
2	<p><b>Lower Exhaust casing</b></p> <p>Masih terbentuk cacat (<i>shrinkage</i>) pada pipa saluran pembuangan oil dibawah dudukan bearing (<i>rotor</i>), seperti daerah yang ditandai pada hasil simulasi. Pipa ini dapat dibuat menggukon inti pasir didesain seperti chill dengan diisi pasir chromite.</p>	<p>Dari pertimbangan hasil simulasi dan analisis manufaktur, design yang diterapkan adalah desain awal, dengan :</p> 	 <p><i>Shrinkage</i> pada daerah pipa saluran pembuangan oil dibawah dudukan bearing (<i>rotor</i>) seperti yang ditandai sulit dihindari karena faktor bentuk.</p>
<p><b>Rekomendasi desain untuk lower exhaust casing:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pipa saluran pembuangan oil dibuat inti yang diisikan pasir chromite secara penuh agar dapat berfungsi sebagai chill</li> <li>▪ Untuk cacat lainnya relatif kecil, bisa dikurangi dengan penggunaan pasir chromite karena menyebar dan ukurannya relatif kecil.</li> </ul>			

Berdasarkan data hasil analisis dan pemilihan desain pengecoran dari proses simulasi pengecoran yang telah dilaksanakan tersebut, dijadikan dasar dalam perencanaan pengecoran serta pembuatan gambar produksi dengan mempertimbangkan hasil simulasi, rekomendasi dan kemudahan dalam proses produksi (pengecoran). Gambar produksi tersebut dibuat sebagai acuan untuk pembuatan pola dan cetakan, sehingga harus dilengkapi dengan sistem saluran, ukuran dan keterangan-keterangan pendukung lainnya yang merupakan bagian dari dokumen SOP dalam proses pengecoran seperti ditunjukkan pada **Lampiran 19** sampai dengan **Lampiran 22**. Sedangkan gambar dan ukuran dari sistem saluran dapat dilihat pada **Gambar 4.7** dan **Tabel 4.9** dibawah ini.



Gambar 4.7 Sistem Saluran Casing <sup>[2]</sup>

Tabel 4.9 Ukuran Sistem Saluran Casing

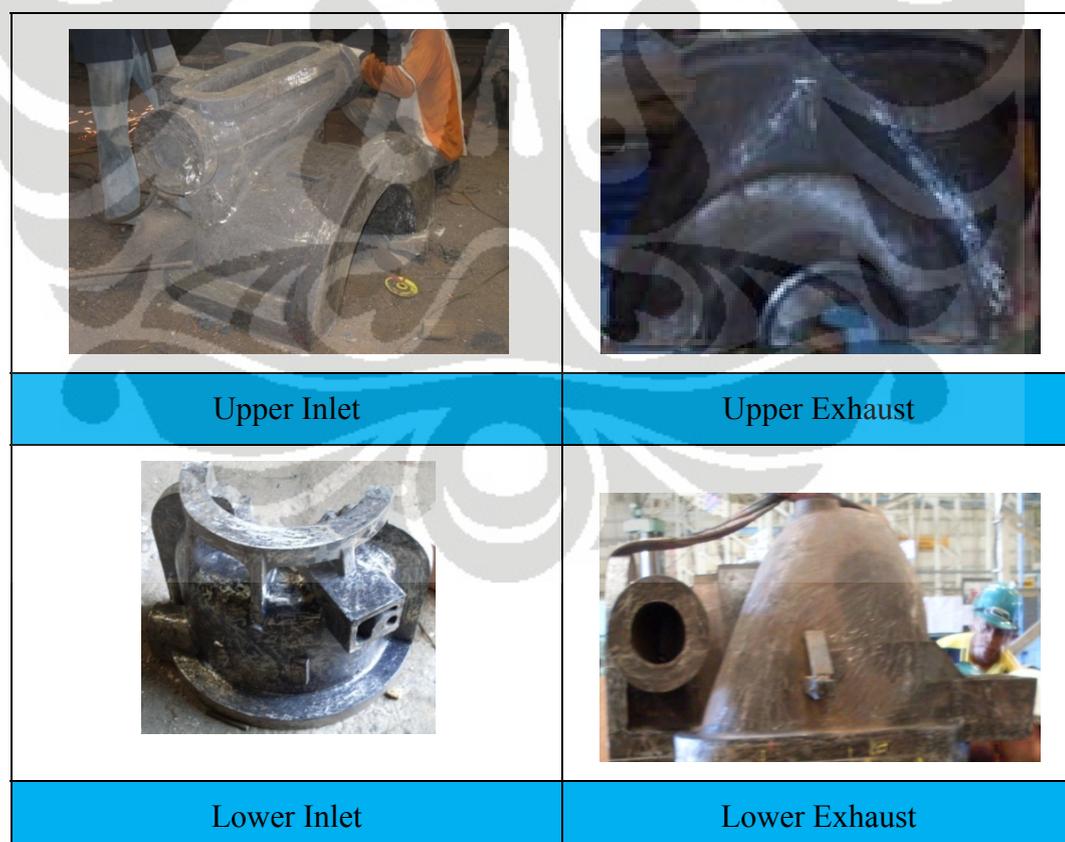
No	SISTEM SALURAN	UKURAN CASING (mm)			
		INLET		EXHAUST	
		UPPER	LOWER	UPPER	LOWER
1	Sprue	Ø 40x1285(BTA)	Ø 40x420	Ø 40x1575	Ø 50x450
2	Runner	Ø 40x1380(BTA)	Ø 50x50x1018	Ø 50x50x1735	Ø 50x50x1735
3	Riser	130x260x200 & 200x400x320	130x260x200 & 200x400x320	115x230x400,& 180x360x400	115x230x400, 165x330x400 & 180x360x400
4	Ingate	Ø 35x63	Ø 20x45x50	Ø 20x50x75	Ø 20x50x75
5	Venting	Ø 25	Ø 25	Ø 25	Ø 25
5	Flask	2300x1400x350	1500x1500x350	2000x2000x400 2000x2000x450	2000x2000x400 2000x2000x450

#### 4.5 Analisa Kualitas Coran Casing TUDC 3,5 MW

Untuk proses pemeriksaan kualitas coran casing turbin uap direct condensing 3,5 MW, telah dilakukan serangkaian pengujian yang meliputi : pengujian visual, pengujian material (pengujian komposisi kimia, pengujian tarik dan kekerasan), pengujian mikrostruktur serta pengujian hidrostatis (*data hasil pengujian terlampir*).

##### 4.5.1 Pengamatan visual

Secara visual coran casing turbin uap direct condensing 3,5 MW dari sisi ukuran lebih besar dan mempunyai aspek kemampucorannya (*castability*) yang lebih rendah jika dibandingkan dengan coran casing turbin uap back pressure. Akan tetapi hasil coran casing turbin uap direct condensing 3,5 MW secara visual lebih bagus daripada coran casing turbin uap back pressure. Perbedaan tersebut ditunjukkan dengan kontur permukaan coran yang lebih bagus, halus dan teratur. Hasil coran tersebut dapat ditunjukkan pada **Gambar 4.8** Hasil Coran TUDC 3,5 MW.



**Gambar 4.8** Hasil Coran TUDC 3,5 MW

Universitas Indonesia

Pengamatan secara visual ini dilakukan tanpa menggunakan alat ukur atau peralatan pengujian dan dilakukan pengamatan secara menyeluruh pada permukaan coran. Bila terdapat permukaan coran yang mencurigakan dan pada daerah-daerah kritikal seperti daerah dengan perbedaan ketebalan yang mencolok atau daerah hasil simulasi yang diprediksi terjadi cacat (*shrinkage*) maka dilakukan pemukulan dengan palu untuk meyakinkan kualitas coran pada bagian dalam. Akan tetapi untuk lebih memastikan kualitas coran casing tersebut perlu dilakukan serangkaian pengujian baik pengujian material maupun pengujian tidak merusak lainnya seperti pengujian ultrasonik. Agar kualitas coran casing dapat benar-benar teruji dan dipertanggungjawabkan.

#### 4.5.2 Pengujian material

Pada pengujian material berikut meliputi pengujian komposisi kimia, pengujian tarik dan pengujian kekerasan yang dilakukan pada keempat sampel material casing seperti **Gambar 4.9**, yaitu upper inlet casing, lower inlet casing, upper exhaust casing dan lower exhaust casing. Rekapitulasi hasil pengujian tersebut dapat ditunjukkan seperti pada **Tabel 4.10** berikut sedangkan data hasil pengujiannya dapat dilihat pada **Lampiran 23** sampai dengan **Lampiran 27**.



**Gambar 4.9** Sampel material casing TUDC 3,5 MW

**Tabel 4.10** Data Pengujian Material Casing TUDC 3,5 MW

No	OBJEK / CASING TUDC 3,5 MW	KOMPOSISI KIMIA					SIFAT MEKANIS				
		C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Yield Point (Kg/mm <sup>2</sup> )	Tensile Strength (Kg/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)	Reduction (%)	Hardness (HB)
<b>STANDAR JIS G5151 Grade SCPH2</b>		<b>MAX 0,30</b>	<b>MAX 0,60</b>	<b>MAX 1,00</b>	<b>MAX 0,04</b>	<b>MAX 0,04</b>	<b>MIN 25</b>	<b>MIN 49</b>	<b>MIN 19</b>	<b>MIN 35</b>	<b>MIN 137</b>
1	Upper Inlet Casing	0,27	0,53	0,67	0,02	0,01	40,88	64,61	19,6	39,2	157
2	Lower Inlet Casing	0,27	0,41	0,78	0,01	0,005	44,79	69,57	19,7	42,4	168
3	Upper Exhaust Casing	0,241	0,571	0,877	0,023	0,013	43,44	66,34	24	36,6	167
4	Lower Exhaust casing	0,296	0,509	0,702	0,034	0,017	42,94	66,52	26	39,1	162

Standar material yang ditetapkan adalah JIS G5151 Grade SCPH2 oleh karena itu komposisi kimia maupun sifat mekanis dari material yang diuji harus masuk dalam spesifikasi yang dipersyaratkan. Seperti pada komposisi kimia bahwa kandungan dari Karbon (C), Silikon (Si), Mangan (Mn), Phospor (P) dan Sulfur (S) harus kurang dari 0,30 %C; 0,60 %Si; 1,00 %Mn; 0,04 %P dan 0,04 % S. Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa komposisi kimia keempat bagian casing TUDC 3,5 MW dapat diterima sesuai dengan spesifikasi material JIS G5151 Grade SCPH2.

Demikian juga untuk hasil pengujian tarik dan kekerasan (sifat mekanik) spesimen casing TUDC 3,5 MW baik upper inlet casing, lower inlet casing, upper exhaust casing maupun lower exhaust casing telah memenuhi standar material JIS G5151 Grade SCPH2. Kesemua parameter hasil pengujian tarik baik tegangan luluh, kekuatan tarik, perpanjangan maupun pengecilan luas dan komposisi kimia dari material casing ini telah sesuai dengan spesifikasi material casing TUDC 3,5 MW. Sedangkan hasil pengujian kekerasan juga masih diatas 137 HB nilai minimum yang dipersyaratkan.

### 4.5.3 Pengujian Non Destructive Test (*Ultrasonic Test*)

Pengujian tidak merusak (Non Destructive Test) yang dilakukan untuk casing turbin uap direct condensing 3,5 MW adalah pengujian ultrasonik secara pemeriksaan menyeluruh. Pemeriksaan menyeluruh (*total inspection*) ini merupakan pemeriksaan NDT yang dilakukan pada seluruh permukaan casing, jadi tidak hanya dipusatkan pada bagian yang kritikal saja melainkan ke semua permukaan casing. Oleh karena itu sebelum dilakukan pengujian ultrasonik seluruh permukaan casing sudah harus dalam kondisi halus (*smooth after grinding*) dan kemudian dilapisi *grease* sebagai *couplant*. Peralatan pengujian ultrasonik yang digunakan adalah Kraukamer USK7S dan menggunakan standar pengujian ASTM A609 (*Quality Level 2*). Dalam kriteria penerimaan (*Acceptance Criteria*) untuk ASTM A609 (*Quality Level 2*) adalah benda uji akan mengalami *reject* jika diskontinyu secara individu tidak melebihi  $600 \text{ mm}^2$  atau jika terbentuk kluster diskontinyu tidak melebihi  $1300 \text{ mm}^2$ .

Secara umum coran casing TUDC 3,5 MW mempunyai desain yang kompleks karena adanya variasi ketebalan, bentuk yang berprofil dan mempunyai dimensi yang cukup besar. Akan tetapi hasil pengujian ultrasonik yang telah dilaksanakan menunjukkan hasil yang sangat bagus. Dari keempat casing TUDC 3,5 MW hanya terdapat 2 lokasi cacat di bagian upper dan lower exhaust casing, dengan diskontinyu yang masih diizinkan untuk dilakukan perbaikan tanpa *reject* (max. *Individual discontinuity*  $600 \text{ mm}^2$ ). Pada lower exhaust casing terjadi diskontinyu  $L \times W = (7 \times 80) \text{ mm}^2$  di bagian sekitar pipa sistem pelumasan pada dudukan bearing dan rotor dengan kedalaman sekitar 40 – 45 mm dari permukaan casing dan berprofil *planar*. Sedangkan untuk upper exhaust casing, terdapat cacat di bagian yang sama yaitu dudukan bearing (sisi atas). Diskontinyu pada bagian ini lebih mendekati permukaan casing pada kedalaman 20-25 mm dengan  $L \times W = (30 \times 20) \text{ mm}^2$  dan berprofil *spherical*.

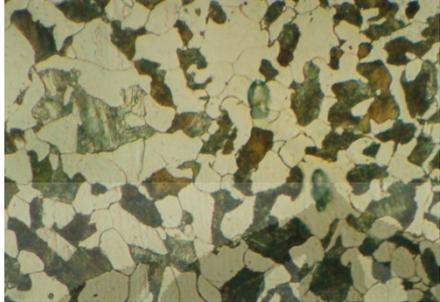
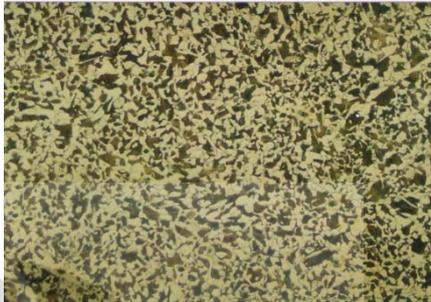
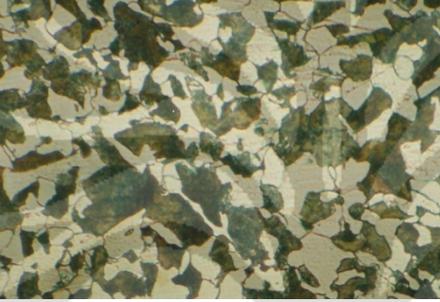
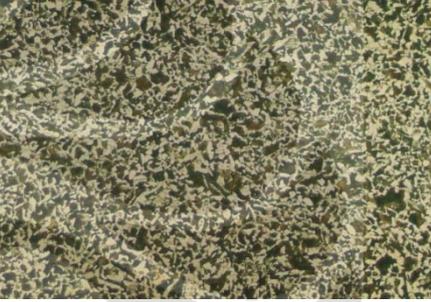
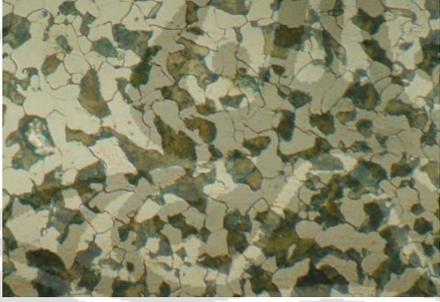
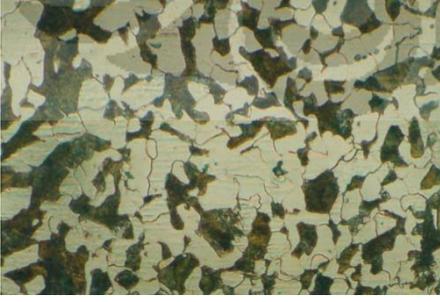
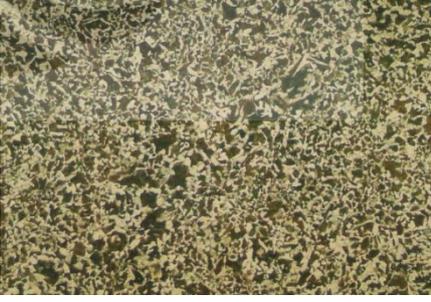
Berdasarkan hasil pengujian ultrasonik tersebut, untuk bagian inlet casing dapat dilakukan tahap pengujian hidrostatis. Sedangkan untuk exhaust casing harus dilakukan perbaikan dahulu sebelum dilanjutkan pengujian hidrostatis. Tahap perbaikan tersebut dilakukan dengan cara dibuka pada bagian cacat (*gouging*) dan

kemudian di lakukan pengelasan (*welding*). Secara lengkap data hasil pengujian ultrasonik untuk TUDC 3,5 MW dapat ditunjukkan pada **Lampiran 28** sampai dengan **Lampiran 30**.

#### 4.5.4 Pengujian mikrostruktur

Pengujian struktur mikro ini dilakukan pada keempat sampel bagian casing TUDC 3,5 MW, yaitu upper inlet, lower inlet, upper exhaust dan lower exhaust casing dengan tujuan untuk mengetahui fasa -fasa yang terbentuk pada material coran. Material SCPH 2 ini memiliki kadar karbon kurang dari 0,8 %C sehingga termasuk baja *hypoeutektoid* dengan struktur mikronya terdiri dari fasa ferrit dan pearlit. Hal tersebut dapat ditunjukkan dari hasil pengujian mikro struktur pada **Gambar 4.10**. Masing-masing sampel uji akan ditunjukkan 2 buah perbesaran (*magnification*) yaitu 500 x dan 100 x.

Fasa ferrit dapat ditunjukkan pada bagian foto struktur mikro yang berwarna terang, sedangkan yang berwarna gelap merupakan fasa pearlit. Seperti dijelaskan diatas bahwa pada baja hypoeutektoid kadar fasa yang menonjol adala ferrit dan pearlit. Fasa pearlit ini mempunyai sifat lebih keras daripada ferrit. Pada bagian lower inlet casing yang mempunyai kerapatan struktur pearlit lebih tinggi jika dibandingkan dengan bagian yang sampel casing yang lain, sehingga bagian ini mempunyai nilai kekerasan yang lebih tinggi pula yaitu 168 HB.

CASING	PERBESARAN 500 X	PERBESARAN 100 X
Upper Inlet		
Lower Inlet		
Upper Exhaust		
Lower Exhaust		

**Gambar 4.10** Hasil Pengujian Struktur Mikro Material Casing TUDC 3,5 MW

#### 4.5.5 Pengujian hidrostatik

Pengujian hidrostatik dilakukan berdasarkan standar API 611 (American Petroleum Institute 611), dengan cara memberikan tekanan sebesar 1,5 kali MAWP (*Maximum Allowable Working Pressure*) dan diobservasi pada tekanan uji selama 15 menit. Pengujian ini bertujuan untuk mendeteksi kebocoran (*leak test*) dengan memberikan air bertekanan diatas tekanan kerja maksimum pada objek pengujian.

Pada pelaksanaan pengujian hidrostatik ini, semua lubang pada casing turbin uap ditutup dan dipompakan air bertekanan sampai 1,5 kali tekanan kerja maksimum. Turbin uap *direct condensing* 3,5 MW ini bekerja pada tekanan 23,5 kg/cm<sup>2</sup> sehingga tekanan yang diberikan untuk pengujian hidrostatik ini sebesar 35 kg/cm<sup>2</sup>. Setiap kenaikan tekanan dilakukan pemeriksaan terhadap kebocoran casing dan setelah mencapai tekanan 35 kg/cm<sup>2</sup> dilakukan observasi selama 15 menit.



**Gambar 4.11** Pengujian Hidrostatik

Dari hasil pelaksanaan pengujian hidrostatik yang dilaksanakan di PT. NTP Bandung, bahwa pada tekanan sampai dengan 1,5 kali dari tekanan kerja maksimum yaitu 35 kg/cm<sup>2</sup> absolut dan ditahan selama 15 menit untuk dilakukan observasi (sesuai standar API 6.11), casing TUDC 3,5 MW tidak mengalami kebocoran sesuai dengan **Lampiran 31**.

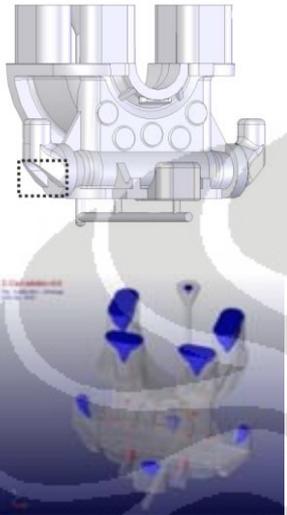
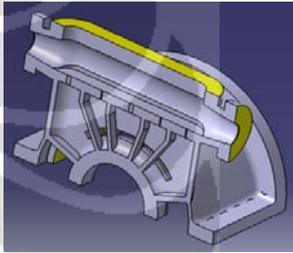
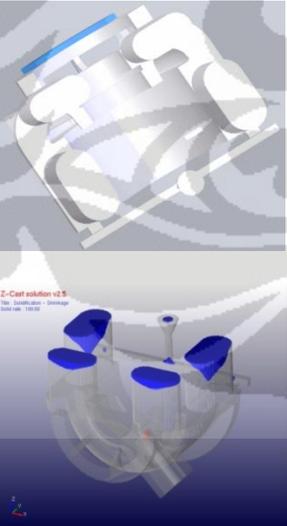
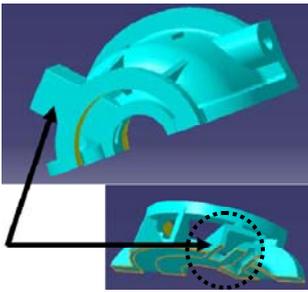
**Universitas Indonesia**

#### 4.5.6 Analisis desain dan coran casing TUDC 3,5 MW

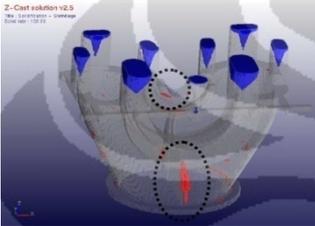
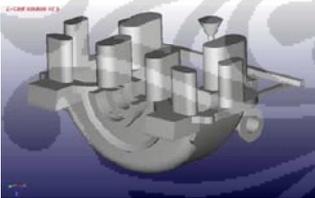
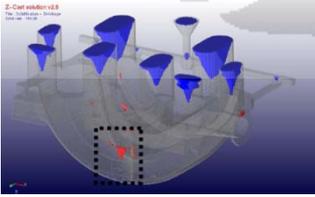
Casing turbin uap direct condensing 3,5 MW ini secara konstruksi secara vertikal dan horisontal menjadi 4 bagian yaitu upper inlet casing, lower inlet casing, upper exhaust casing dan lower exhaust casing. Seperti dijelaskan di atas bahwa secara desain, coran casing TUDC 3,5 MW ini memiliki desain yang relatif kompleks karena adanya variasi ketebalan, bentuk yang berprofil dan mempunyai dimensi yang cukup besar jika dibandingkan dengan casing turbin uap *back pressure*. Namun dengan berkembangnya teknologi simulasi pengecoran, proses percobaan rancangan dapat dilakukan melalui simulasi komputasi. Simulasi ini dapat dilakukan sampai mendapatkan desain yang paling optimal dan memungkinkan untuk lanjutkan ke proses pengecoran. Pencarian desain optimal tersebut dapat dilakukan dengan cara merubah posisi produk coran, sistem saluran, penempatan riser serta melalui diskusi teknis untuk mendapatkan proses pembekuan terarah (*directional solidification*) dan meminimalkan cacat. Jika dalam proses simulasi masih ditemukan indikasi cacat maka dapat dilakukan upaya-upaya untuk pencegahan cacat tersebut pada proses pengecorannya, misalkan dengan penambahan chill atau pemakaian pasir chromite untuk membantu proses solidifikasi.

Pada **Tabel 4.11** berikut ini akan ditunjukkan perbandingan antara desain dan coran pada inlet casing sedangkan untuk exhaust casing seperti ditunjukkan pada **Tabel 4.12**.

Tabel 4.11 Analisis Desain dan Coran Inlet Casing

No	Desain dan Hasil Simulasi	Hasil NDT / Coran Casing	Keterangan
1		 <p>Hasil NDT cacat hanya ditemukan pada daerah steam end, namun masih dibawah dan dapat diterima code/standar ASTM A609 (<i>Quality Level 2</i>).  <i>Discontinuity</i> L x W = (15 x 15) mm<sup>2</sup> dan diposisinya mendekati permukaan sehingga tidak terlalu kritis.</p>	<p>Pada tahap simulasi masih ditemukan potensi cacat-cacat yang tersebar karena faktor bentuk (<i>castability</i> rendah), namun cacat-cacat dapat dicegah dengan pemakaian pasir chromite disekitar dinding casing untuk membantu proses solidifikasi</p> 
2		 <p>Hasil NDT pada lower inlet casing ini masih ditemukan 1 lokasi cacat di dinding saluran oli (sistem pelumasan) seperti hasil simulasi. Akan tetapi cacat tersebut masih dapat diterima code/standar ASTM A609 (<i>Quality Level 2</i>). Karena <i>Discontinuity</i> yang terjadi tidak sampai 600 mm<sup>2</sup>, L x W = (15 x 20) mm<sup>2</sup> dan diposisinya mendekati permukaan.</p>	<p>Potensi cacat yang diperkirakan terjadi pada tahap simulasi memang terjadi pada produk coran lower inlet casing ini.</p> <p>Profil dari saluran oli ini mempunyai perbedaan ketebalan dengan dinding casing (lebih tipis). Sehingga akan membeku lebih dahulu dan mengakibatkan terjadinya <i>shrinkage</i>.</p> 

Tabel 4.12 Analisis Desain dan Coran Exhaust Casing

No	Desain dan Hasil Simulasi	Hasil NDT / Coran Casing	Keterangan
1	<p><b>Upper Exhaust Casing</b></p>  	<p>Hasil NDT untuk upper exhaust casing ini masih muncul cacat (<i>shrinkage</i>) pada kedudukan rotor, dengan Diskontinu yang terjadi relatif besar yaitu <math>L \times W = (30 \times 20) \text{ mm}^2</math> sehingga harus dilakukan perbaikan.</p> <p>Sedangkan cacat (<i>pada lingkaran besar</i>) dapat dicegah dengan memakai pasir chromite yang mempunyai konduktifitas panas yang baik sehingga mampu membantu proses solidifikasi.</p> 	<p>Cacat (<i>shrinkage</i>) pada posisi kedudukan bearing (<i>lingkaran kecil pada gambar hasil simulasi</i>), karena adanya penambahan ketebalan untuk pekerjaan permesinan. Sehingga terdapat perbedaan ketebalan dengan sekitar dan menyebabkan laju pembekuan yang berbeda dan sangat potensial terjadi <i>shrinkage</i>.</p> <p>Hal ini tidak berdampak signifikan karena posisinya mendekati permukaan dan merupakan daerah pemakanan proses permesinan.</p>
2	<p><b>Lower Exhaust Casing</b></p>  	<p>Dari hasil NDT untuk lower exhaust casing ditemukan 1 lokasi cacat yang relatif besar yaitu pada saluran sirkulasi sistem pelumas, dengan diskontinu <math>L \times W = (7 \times 80) \text{ mm}^2</math>. Sehingga harus dilakukan perbaikan.</p>  <p>Sedangkan cacat yang lainya dapat dicegah dengan pemakaian pasir chromite.</p>	<p>Cacat pada saluran sirkulasi oli ini sudah terdeteksi pada proses simulasi seperti ditandai “persegi panjang vertikal” pada gambar hasil simulasi. Cacat tersebut dikarenakan faktor bentuk yang relatif sulit dicor dengan profil saluran yang melengkung dan tidak dimungkinkan untuk pekerjaan machining.</p> 

## 4.6 Optimalisasi Desain Coran Casing TUDC 3,5 MW

Pada tahap optimalisasi desain coran casing Turbin Uap Direct Condensing (TUDC) 3,5 MW, ini akan dilakukan perhitungan desain coran casing secara manual dengan dititik beratkan untuk meningkatkan nilai *yield casting*. Selain itu upaya peningkatan nilai *yield casting* juga dilakukan melalui metode pengurangan tinggi riser sekitar 20 % dan 30 %. Sehingga volume serta berat riser akan berkurang dan secara otomatis akan meningkatkan nilai *yield casting*.

Kedua metode optimalisasi desain tersebut dilaksanakan karena dengan pertimbangan produk coran yang ada telah memenuhi spesifikasi kualitas coran yang dipersyaratkan. Dari desain hasil optimalisasi atau peningkatan *yield casting* ini nantinya juga akan dilakukan simulasi pengecoran sebagai usaha untuk memverifikasi desain yang telah dibuat dan dapat dijadikan rekomendasi desain coran casing TUDC 3,5 MW untuk tahap pengembangan selanjutnya.

### 4.6.1 Perhitungan desain coran

Proses perhitungan desain coran ini dilakukan untuk perhitungan desain secara manual pada sistem saluran dan sistem penambah (riser) coran casing TUDC 3,5 MW dengan pendekatan data pengecoran yang ada.

#### (1) Perhitungan desain sistem saluran dan sistem penambah

Metode perhitungan desain coran casing secara manual ini menggunakan tahapan seperti pada sub bahasan 3.2 Perancangan dan Perhitungan Coran Casing TUDC 3,5 MW, adapun hasilnya dapat ditunjukkan pada **Tabel 4.13** berikut.

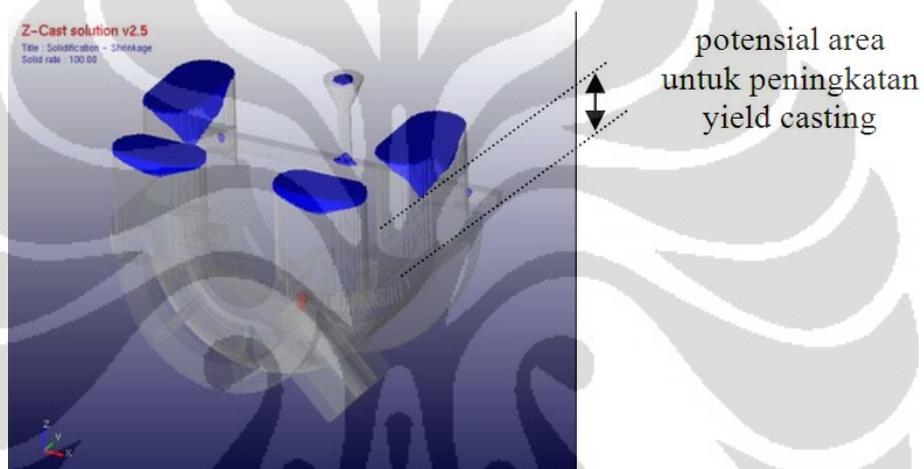
Dari hasil perhitungan ini digunakan dasar untuk pembuatan desain coran casing. Sedangkan model 3D desain coran dan hasil simulasi dapat ditunjukkan bahasan selanjutnya 4.6.2 Desain dan simulasi pengecoran.

**Tabel 4.13** Hasil Perhitungan Sistem Saluran Coran TUDC 3,5 MW

No	PARAMETER (UNIT)	INLET		EXHAUST	
		UPPER	LOWER	UPPER	LOWER
1	Volume (m <sup>3</sup> )	0,133	0,102	0,209	0,179
2	Luas Permukaan (m <sup>2</sup> )	5,960	4,003	11,306	9,958
3	Density (kg/m <sup>3</sup> )	7260	7260	7260	7260
4	Berat (kg)	965,58	740,52	1517,34	1300
5	Ketebalan rata-rata (mm)	62,626	62,689	30,132	30,015
6	Koefisien (S)	1,3	1,6	1,6	1,6
7	Waktu tuang optimal ( $\tau$ : detik)	61,83	69,90	70,29	69,21
8	Koefisien (Value of p)	0,67	0,67	0,67	0,67
9	Laju penuangan (R : (kg/s))	16,976	14,200	38,350	34,652
10	Koefisien fluiditas logam & efek gesekan (faktor c)	0,75	0,75	0,75	0,75
11	Laju penuangan yang di-adjust (R <sub>a</sub> : kg/s)	22,635	18,933	51,134	46,203
12	Tinggi sprue efektif (H : mm)	0,875	0,875	1,525	1,075
13	Luas dasar sprue (A <sub>s</sub> : mm <sup>2</sup> )	752,853	629,730	1288,271	1386,432
14	Gating ratio (A <sub>s</sub> : A <sub>r</sub> : A <sub>g</sub> )	1 : 2 : 1,5	1 : 2 : 1,5	1 : 2 : 1,5	1 : 2 : 1,5
15	Luas dasar runner (A <sub>r</sub> : mm <sup>2</sup> )	1505,71	1259,46	2576,54	2772,86
16	Luas dasar gate (A <sub>g</sub> : mm <sup>2</sup> )	1129,28	944,59	1932,41	2079,65
17	Diameter sprue (D <sub>s</sub> : mm)	30,97	28,32	40,51	42,03
18	Pembulatan Diameter sprue (D <sub>s</sub> : mm)	30,00	30,00	40,00	40,00
19	Diameter runner (D <sub>r</sub> : mm)	43,80	40,06	57,29	59,43
20	Pembulatan Diameter runner (D <sub>s</sub> : mm)	40,00	40,00	60,00	60,00
21	Diameter gate (D <sub>g</sub> : mm)	37,93	34,69	49,62	51,47
22	Pembulatan Diameter gate (D <sub>s</sub> : mm)	40,00	40,00	50,00	50,00
23	Casting Modulus cor ( V/A <sub>cor</sub> : m )	0,02	0,03	0,02	0,02
24	Casting Modulus Riser ( V/A <sub>riser</sub> : m )	0,03	0,03	0,02	0,02
25	Diameter Riser (mm)	160,67	183,46	133,10	129,42
26	Tinggi Riser (mm)	241,01	275,19	199,65	194,14
27	Volume / riser (m <sup>3</sup> )	0,00488	0,00727	0,00278	0,00255
28	Volume riser yang dibutuhkan (m <sup>3</sup> )	0,06650	0,05492	0,08957	0,08262
29	Jumlah riser	14	8	16	16
30	Jarak Pengisian (mm)	281,82	282,10	135,59	135,07

(2) Pengurangan tinggi riser (sistem penambah)

Metode pendekatan ini dilakukan dengan mengurangi tinggi riser 20 % dan 30 % dari tinggi riser semula (*as casted*) karena hasil coran produk casing turbin uap 3,5 MW ini telah sesuai dengan spesifikasi yang dipersyaratkan. Selain itu, hasil simulasi yang telah dilakukan juga menunjukkan bahwa masih ada daerah pada riser yang tidak terkena efek penyusutan sehingga masih mungkin untuk dilakukan efisiensi penggunaan material cor dan peningkatan *yield casting* seperti ditunjukkan pada **Gambar 4.13** berikut .

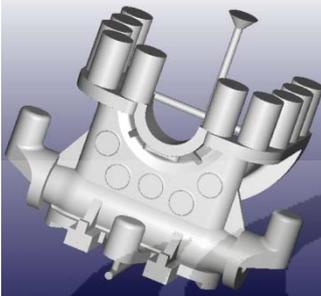
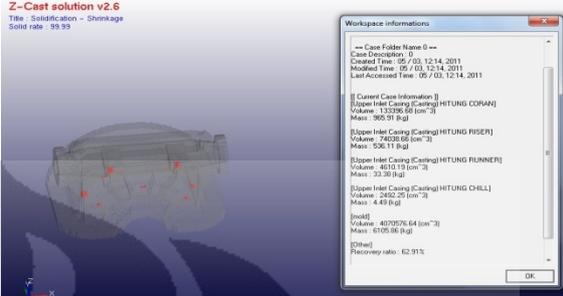
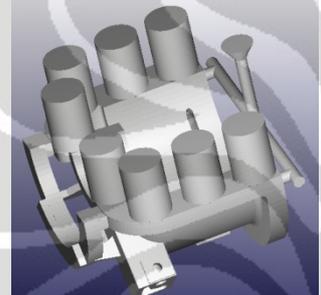
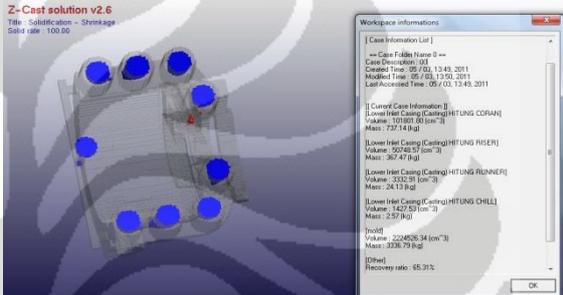
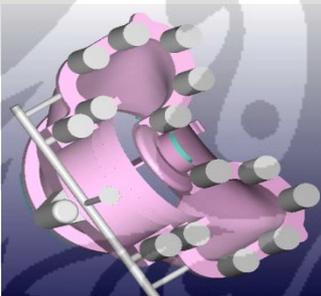
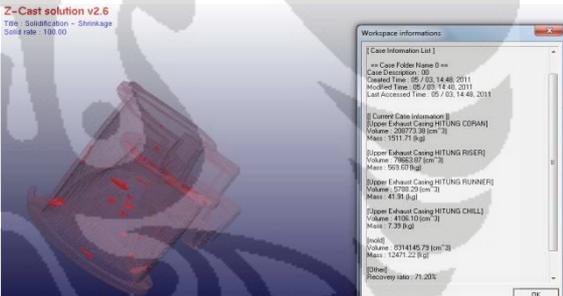
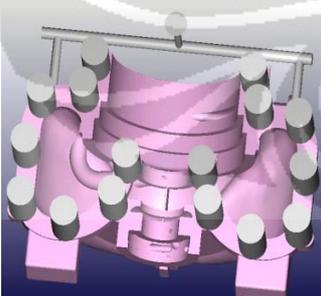
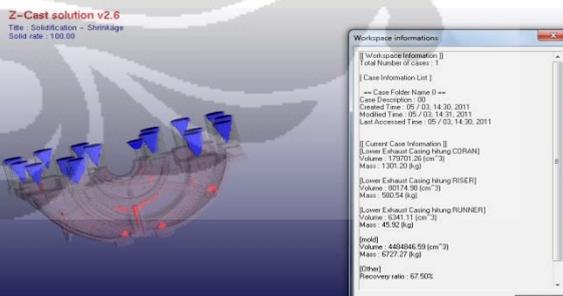


**Gambar 4.12** Potensial Area untuk Peningkatan *Yield Casting*

#### 4.6.2 Desain dan simulasi pengecoran

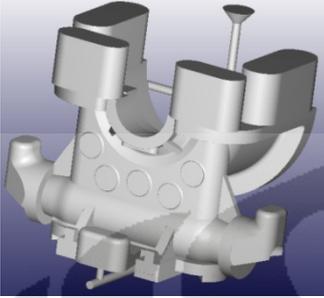
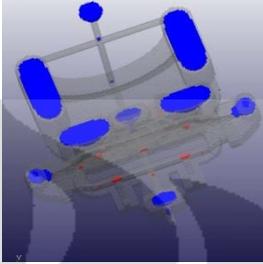
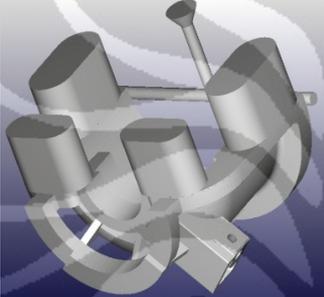
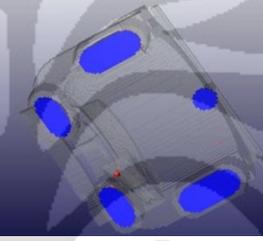
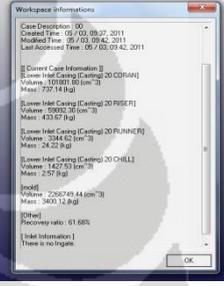
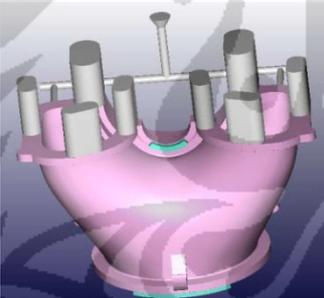
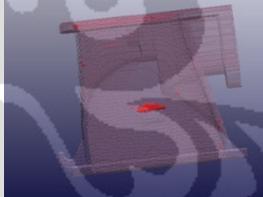
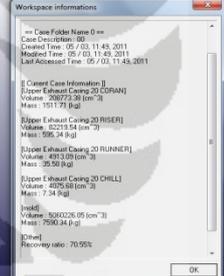
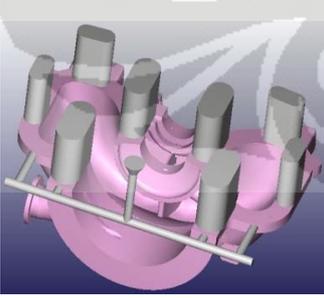
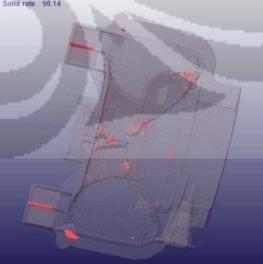
Hasil desain dan simulasi pengecoran setelah dilakukan optimalisasi peningkatan nilai *yield casting*, baik untuk hasil perhitungan maupun pengurangan tinggi riser dapat ditunjukkan sebagai berikut. Hasil simulasi casing TUDC 3,5 MW swcara lengkap dapat ditunjukkan pada bagian lampiran, yaitu pada **Lampiran 32** sampai dengan **Lampiran 36**.

□ Alternatif #1 : hasil perhitungan

Casing	Desain Coran	Hasil Simulasi (Solidifikasi)
Upper Inlet		<p>Z-Cast solution v2.6 Title: Solidification - Shrinkage Solid rate: 99.99</p>  <pre> [Workspace informations] --- Case Folder Name 0 --- Case Description: 0 Created Time: 05/03/12:14, 2011 Modified Time: 05/03/12:14, 2011 Last Accessed Time: 05/03/12:14, 2011  [Current Case Information] Upper Inlet Casing (Casting) HTUNG COPAN Volume: 133296.56 (cm<sup>3</sup>) Mass: 905.91 (kg)  Upper Inlet Casing (Casting) HTUNG RISER Volume: 74039.68 (cm<sup>3</sup>) Mass: 526.11 (kg)  Upper Inlet Casing (Casting) HTUNG RUNNER Volume: 4612.19 (cm<sup>3</sup>) Mass: 33.39 (kg)  Upper Inlet Casing (Casting) HTUNG CHILL Volume: 2482.20 (cm<sup>3</sup>) Mass: 4.49 (kg)  Incid Volume: 4070576.64 (cm<sup>3</sup>) Mass: 6105.96 (kg)  [Other] Recovery rate: 62.91%                     </pre>
Lower Inlet		<p>Z-Cast solution v2.6 Title: Solidification - Shrinkage Solid rate: 100.00</p>  <pre> [Workspace informations] [Case Information List] --- Case Folder Name 0 --- Case Description: 01 Created Time: 05/03/13:43, 2011 Modified Time: 05/03/13:52, 2011 Last Accessed Time: 05/03/13:43, 2011  [Current Case Information] Lower Inlet Casing (Casting) HTUNG COPAN Volume: 101801.80 (cm<sup>3</sup>) Mass: 737.14 (kg)  Lower Inlet Casing (Casting) HTUNG RISER Volume: 25746.57 (cm<sup>3</sup>) Mass: 367.47 (kg)  Lower Inlet Casing (Casting) HTUNG RUNNER Volume: 2323.95 (cm<sup>3</sup>) Mass: 24.13 (kg)  Lower Inlet Casing (Casting) HTUNG CHILL Volume: 1427.53 (cm<sup>3</sup>) Mass: 2.92 (kg)  Incid Volume: 224026.34 (cm<sup>3</sup>) Mass: 3336.79 (kg)  [Other] Recovery rate: 65.91%                     </pre>
Upper Exhaust		<p>Z-Cast solution v2.6 Title: Solidification - Shrinkage Solid rate: 100.00</p>  <pre> [Workspace informations] [Case Information List] --- Case Folder Name 0 --- Case Description: 00 Created Time: 05/03/14:48, 2011 Modified Time: 05/03/14:48, 2011 Last Accessed Time: 05/03/14:48, 2011  [Current Case Information] Upper Exhaust Casing (Casting) HTUNG COPAN Volume: 230775.36 (cm<sup>3</sup>) Mass: 1711.71 (kg)  Upper Exhaust Casing (Casting) HTUNG RISER Volume: 78828.07 (cm<sup>3</sup>) Mass: 593.69 (kg)  Upper Exhaust Casing (Casting) HTUNG RUNNER Volume: 2709.20 (cm<sup>3</sup>) Mass: 41.91 (kg)  Upper Exhaust Casing (Casting) HTUNG CHILL Volume: 4106.10 (cm<sup>3</sup>) Mass: 7.39 (kg)  Incid Volume: 691445.79 (cm<sup>3</sup>) Mass: 12471.22 (kg)  [Other] Recovery rate: 71.20%                     </pre>
Lower Exhaust		<p>Z-Cast solution v2.6 Title: Solidification - Shrinkage Solid rate: 100.00</p>  <pre> [Workspace informations] [Workspace Information] Total Number of Cases: 1  [Case Information List] --- Case Folder Name 0 --- Case Description: 00 Created Time: 05/03/14:30, 2011 Modified Time: 05/03/14:31, 2011 Last Accessed Time: 05/03/14:30, 2011  [Current Case Information] Lower Exhaust Casing (Casting) HTUNG COPAN Volume: 179701.20 (cm<sup>3</sup>) Mass: 1301.20 (kg)  Lower Exhaust Casing (Casting) HTUNG RISER Volume: 80174.98 (cm<sup>3</sup>) Mass: 600.74 (kg)  Lower Exhaust Casing (Casting) HTUNG RUNNER Volume: 8241.11 (cm<sup>3</sup>) Mass: 60.56 (kg)  Incid Volume: 448464.59 (cm<sup>3</sup>) Mass: 6727.27 (kg)  [Other] Recovery rate: 67.50%                     </pre>

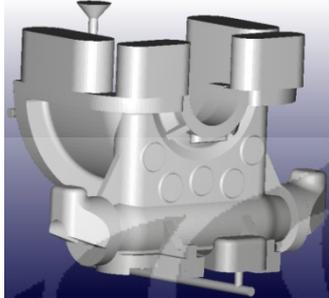
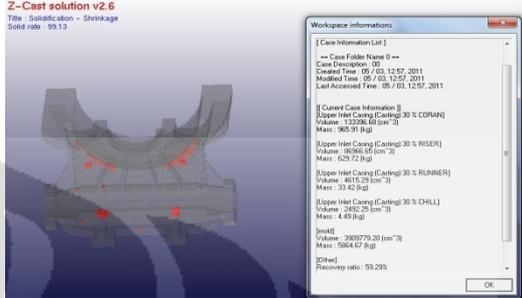
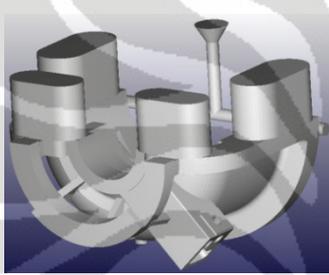
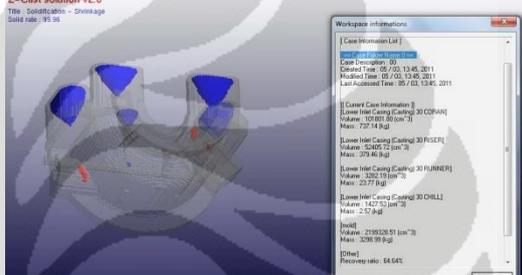
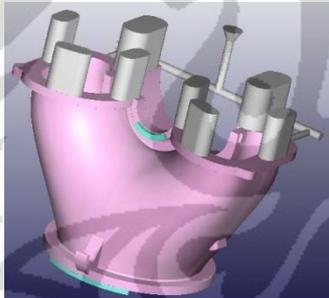
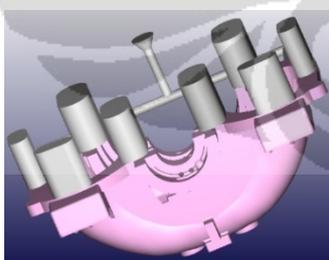
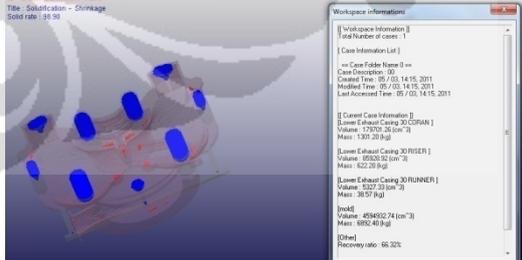
Gambar 4.13 Hasil Optimalisasi Desain Alternatif #1

- Alternatif #2 : pengurangan 20 % tinggi riser

Casing	Desain Coran	Hasil Simulasi (Solidifikasi)
Upper Inlet		<p>Z-Cast solution v2.6 Title: Solidification - Shrinkage Solid rate: 57.6%</p>  
Lower Inlet		<p>Z-Cast solution v2.6 Title: Solidification - Shrinkage Solid rate: 59.8%</p>  
Upper Exhaust		<p>Z-Cast solution v2.6 Title: Solidification - Shrinkage Solid rate: 57.7%</p>  
Lower Exhaust		<p>Z-Cast solution v2.6 Title: Solidification - Shrinkage Solid rate: 59.1%</p>  

Gambar 4.14 Hasil Optimalisasi Desain Alternatif #2

❑ Alternatif #3 : pengurangan 30 % tinggi riser

Casing	Desain Coran	Hasil Simulasi (Solidifikasi)
Upper Inlet		 <p><b>Z-Cast solution v2.6</b> Title: Solidification - Shrinkage Solid rate : 95.13</p> <p>Workspace Information</p> <p>[ Case Information List ]</p> <p>Case Description: 03 Created Time: 05/03/12 57:2011 Modified Time: 05/03/12 57:2011 Last Accessed Time: 05/03/12 57:2011</p> <p>[ Current Case Information ]</p> <p>[ Upper Inlet Casing [Cast] 30 % COPAN ] Volume: 23.726 (cm<sup>3</sup>) Mass: 365.91 (kg)</p> <p>[ Upper Inlet Casing [Cast] 30 % RISER ] Volume: 18.826 (cm<sup>3</sup>) Mass: 128.72 (kg)</p> <p>[ Upper Inlet Casing [Cast] 30 % RUNNER ] Volume: 4815.29 (cm<sup>3</sup>) Mass: 33.42 (kg)</p> <p>[ Upper Inlet Casing [Cast] 30 % CHILL ] Volume: 2482.25 (cm<sup>3</sup>) Mass: 4.49 (kg)</p> <p>[ Inlet ] Volume: 3909779.20 (cm<sup>3</sup>) Mass: 5984.67 (kg)</p> <p>[ DIME ] Recovery ratio: 93.23%</p>
Lower Inlet		 <p><b>Z-Cast solution v2.6</b> Title: Solidification - Shrinkage Solid rate : 95.56</p> <p>Workspace Information</p> <p>[ Case Information List ]</p> <p>Case Description: 03 Created Time: 05/03/12 48:2011 Modified Time: 05/03/12 48:2011 Last Accessed Time: 05/03/12 48:2011</p> <p>[ Current Case Information ]</p> <p>[ Lower Inlet Casing [Cast] 30 COPAN ] Volume: 103.81 (cm<sup>3</sup>) Mass: 77.74 (kg)</p> <p>[ Lower Inlet Casing [Cast] 30 RISER ] Volume: 5245.72 (cm<sup>3</sup>) Mass: 37.46 (kg)</p> <p>[ Lower Inlet Casing [Cast] 30 RUNNER ] Volume: 1822.11 (cm<sup>3</sup>) Mass: 23.77 (kg)</p> <p>[ Lower Inlet Casing [Cast] 30 CHILL ] Volume: 1423.51 (cm<sup>3</sup>) Mass: 2.57 (kg)</p> <p>[ Inlet ] Volume: 2198328.51 (cm<sup>3</sup>) Mass: 3298.99 (kg)</p> <p>[ DIME ] Recovery ratio: 64.64%</p>
Upper Exhaust		 <p><b>Z-Cast solution v2.6</b> Title: Solidification - Shrinkage Solid rate : 95.62</p> <p>Workspace Information</p> <p>[ Case Information List ]</p> <p>Case Description: 03 Created Time: 05/03/12 44:2011 Modified Time: 05/03/12 44:2011 Last Accessed Time: 05/03/12 44:2011</p> <p>[ Current Case Information ]</p> <p>[ Upper Exhaust Casing [Cast] 30 COPAN ] Volume: 2893.1 (cm<sup>3</sup>) Mass: 1918.21 (kg)</p> <p>[ Upper Exhaust Casing [Cast] 30 RISER ] Volume: 7192.21 (cm<sup>3</sup>) Mass: 520.93 (kg)</p> <p>[ Upper Exhaust Casing [Cast] 30 RUNNER ] Volume: 4825.95 (cm<sup>3</sup>) Mass: 35.01 (kg)</p> <p>[ Upper Exhaust Casing [Cast] 30 CHILL ] Volume: 4078.88 (cm<sup>3</sup>) Mass: 7.34 (kg)</p> <p>[ Inlet ] Volume: 888177.09 (cm<sup>3</sup>) Mass: 13232.77 (kg)</p> <p>[ DIME ] Recovery ratio: 73.11%</p>
Lower Exhaust		 <p><b>Z-Cast solution v2.6</b> Title: Solidification - Shrinkage Solid rate : 95.56</p> <p>Workspace Information</p> <p>[ Case Information List ]</p> <p>Case Description: 03 Created Time: 05/03/12 15:2011 Modified Time: 05/03/12 15:2011 Last Accessed Time: 05/03/12 15:2011</p> <p>[ Current Case Information ]</p> <p>[ Lower Exhaust Casing [Cast] 30 COPAN ] Volume: 17202.25 (cm<sup>3</sup>) Mass: 128.20 (kg)</p> <p>[ Lower Exhaust Casing [Cast] 30 RISER ] Volume: 6926.32 (cm<sup>3</sup>) Mass: 62.29 (kg)</p> <p>[ Lower Exhaust Casing [Cast] 30 RUNNER ] Volume: 1027.31 (cm<sup>3</sup>) Mass: 84.37 (kg)</p> <p>[ Inlet ] Volume: 4546202.74 (cm<sup>3</sup>) Mass: 6952.49 (kg)</p> <p>[ DIME ] Recovery ratio: 66.52%</p>

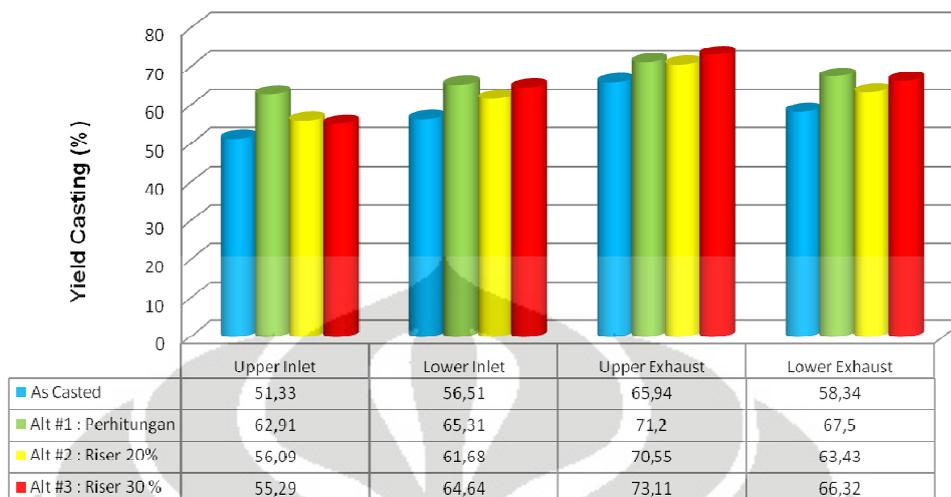
Gambar 4.15 Hasil Optimalisasi Desain Alternatif #3

Dengan menggunakan software z-cast, juga dapat digunakan untuk menghitung volume, berat dan *yield casting* dari masing-masing sistem pengecoran. Rekapitulasi hasil perhitungan tersebut dapat ditunjukkan seperti pada **Tabel 4.14** berikut ini.

**Tabel 4.14** Hasil Optimalisasi Desain Casing TUDC 3,5 MW

NO	PARAMETER/UNIT	INLET		EXHAUST	
		UPPER	LOWER	UPPER	LOWER
<b>As- Casted</b>					
1	Volume Coran ( $V_c$ : m3)	0,1334	0,1018	0,2088	0,1797
2	Berat Coran ( $W_c$ : kg)	965,91	737,14	1511,71	1301,2
3	Volume Riser ( $V_p$ : m3)	0,1218	0,0749	0,1028	0,1228
4	Berat Riser ( $W_p$ : kg)	881,63	542,09	744,18	888,86
5	Volume Runner ( $V_r$ : m3)	0,0047	0,0035	0,0051	0,0056
6	Berat Runner ( $W_r$ : kg)	34,29	25,12	36,71	40,27
7	Volume Gating ( $V_g$ : m3)	0,1265	0,0783	0,1078	0,1283
8	Berat Gating ( $W_g$ : kg)	915,92	567,21	780,89	929,13
9	Yield Casting (%)	51,33	56,51	65,94	58,34
<b>Alternatif # 1 : Hasil Perhitungan</b>					
1	Volume Coran ( $V_c$ : m3)	0,1334	0,1018	0,2088	0,1797
2	Berat Coran ( $W_c$ : kg)	965,91	737,14	1511,71	1301,2
3	Volume Riser ( $V_p$ : m3)	0,0740	0,0507	0,0787	0,0802
4	Berat Riser ( $W_p$ : kg)	536,11	367,47	569,6	580,54
5	Volume Runner ( $V_r$ : m3)	0,0046	0,0033	0,0058	0,0063
6	Berat Runner ( $W_r$ : kg)	33,38	24,13	41,91	45,92
7	Volume Gating ( $V_g$ : m3)	0,0786	0,0541	0,0845	0,0865
8	Berat Gating ( $W_g$ : kg)	569,49	391,6	611,51	626,46
9	Yield Casting (%)	62,91	65,31	71,2	67,5
<b>Alternatif # 2 : Hasil Pengurangan Tinggi Riser 20 %</b>					
1	Volume Coran ( $V_c$ : m3)	0,1334	0,1018	0,2088	0,1797
2	Berat Coran ( $W_c$ : kg)	965,91	737,14	1511,71	1301,2
3	Volume Riser ( $V_p$ : m3)	0,0998	0,0599	0,0822	0,0982
4	Berat Riser ( $W_p$ : kg)	722,43	433,67	595,34	711,09
5	Volume Runner ( $V_r$ : m3)	0,0047	0,0033	0,0049	0,0054
6	Berat Runner ( $W_r$ : kg)	33,71	24,22	35,58	39,14
7	Volume Gating ( $V_g$ : m3)	0,1044	0,0632	0,0871	0,1036
8	Berat Gating ( $W_g$ : kg)	756,14	457,89	630,92	750,23
9	Yield Casting (%)	56,09	61,68	70,55	63,43
<b>Alternatif # 3 : Hasil Pengurangan Tinggi Riser 30 %</b>					
1	Volume Coran ( $V_c$ : m3)	0,1334	0,1018	0,2088	0,1797
2	Berat Coran ( $W_c$ : kg)	965,91	737,14	1511,71	1301,2
3	Volume Riser ( $V_p$ : m3)	0,0870	0,0524	0,0719	0,0859
4	Berat Riser ( $W_p$ : kg)	629,72	379,46	520,93	622,2
5	Volume Runner ( $V_r$ : m3)	0,0046	0,0033	0,0048	0,0053
6	Berat Runner ( $W_r$ : kg)	33,42	23,77	35,01	38,57
7	Volume Gating ( $V_g$ : m3)	0,0916	0,0557	0,0768	0,0913
8	Berat Gating ( $W_g$ : kg)	663,14	403,23	555,94	660,77
9	Yield Casting (%)	55,29	64,64	73,11	66,32

### 4.6.3 Analisis optimalisasi desain



**Gambar 4.16** Diagram Hasil Optimalisasi *Yield Casting* Casing TUDC 3,5 MW

Perbandingan untuk hasil optimalisasi peningkatan *yield casting* dari masing-masing bagian casing pada setiap percobaan dapat ditunjukkan pada **Gambar 4.16** diatas. Terlihat bahwa optimalisasi peningkatan *yield casting* tersebut dapat dicapai pada kisaran 5 -10 % dari nilai *yield casting* semula (*as casted*) dengan nilai *yield casting* sekitar 60 % (terendah 51,33 % dan tertinggi 73,11).

Nilai rata-rata *yield casting* tertinggi terdapat pada upper exhaust casting hal ini dikarenakan faktor bentuk dari exhaust casting yang relatif mempunyai ketebalan yang hampir sama diseluruh dinding casing. Sedangkan yang terendah ada pada upper inlet casing karena upper inlet casing ini mempunyai variasi tingkat ketebalan yang berbeda-beda, sehingga menyebabkan laju pendinginan yang berbeda pula. Dengan laju pendinginan yang bervariasi tersebut, untuk mengkompensasi penyusutan dan untuk mengusahakan agar terjadi pembekuan yang terarah (*directional solidification*) menuntut adanya sistem penambah (riser) yang memadai.

Menurut Beckermann (Professor – The University of Iowa), hasil survey yang dilakukan pada industri pengecoran Amerika bahwa nilai *yield casting* untuk coran baja dengan massa yang berat sekitar 55 % dan nilai tersebut dapat ditingkatkan untuk proses peleburan baja yang lebih ringan<sup>[48]</sup>. Sehingga nilai *yield casting* untuk casing TUDC 3,5 ini, masih relevan untuk proses pengecoran.

Universitas Indonesia

Berdasarkan aspek kualitas coran dalam hal ini potensi terbentuknya cacat coran (*shrinkage*), ke empat bagian casing ini memang sulit untuk mendapatkan hasil simulasi yang bebas dari cacat (*soundness*) dikarenakan faktor profil dan bentuk dari coran yang mempunyai sifat *castability* rendah. Sehingga diupayakan seminimal mungkin terbentuk potensi cacat coran. Dengan kemampuan software simulasi pengecoran (Z-Cast) untuk memprediksi potensi cacat ini, dapat digunakan sebagai usaha pencegahan cacat yang dapat diterapkan pada saat proses pengecoran, misalkan dengan penggunaan pasir chromite pada dinding-dinding casing yang kritikal untuk membantu proses pembekuan. Hasil simulasi pengecoran keempat bagian casing TUDC 3,5 MW tersebut, dapat dianalisa sebagai berikut :

❑ *Upper inlet casing*

*Yield casting* tertinggi dicapai dengan menggunakan alternatif #1 (hasil perhitungan) yaitu 62,91 %. Sedangkan dari sisi kualitas coran (prediksi cacat *shrinkage*), minimal potensi cacat didapatkan dengan menggunakan desain alternatif #2 (pengurangan tinggi riser 20 %) dengan pencapaian *yield casting* 56,09 % meningkat sekitar 5 %. Selain pertimbangan diatas, upper inlet casing ini merupakan bagian casing yang paling kritikal karena menerima beban (tekanan uap) tertinggi sehingga lebih memprioritaskan kualitas coran. Oleh karena itu dipilih desain alternatif #2 sebagai desain coran yang optimal (*improvement*).

❑ *Lower inlet casing*

Potensi cacat (*shrinkage*) yang terbentuk antara *as casted*, alternatif #1 dan alternatif #2 relatif hampir sama. Akan tetapi *yield casting* tertinggi dicapai dengan menggunakan desain alternatif #1, yang mengalami peningkatan sekitar 10 % yaitu menjadi 65,31 %. Sehingga desain alternatif #1 (hasil perhitungan) merupakan desain yang paling optimal dari sisi peningkatan *yield casting* dan kualitas coran.

❑ *Upper exhaust casing*

Dengan pertimbangan *yield casting* dan kualitas coran, desain alternatif #2 lebih optimal jika dibandingkan dengan desain coran yang lain. Karena desain

coran ini mampu meningkatkan *yield casting* sekitar 5 % dengan kualitas coran yang relatif lebih bersih daripada lainnya.

❑ *Lower exhasut casing*

Desain yang digunakan pada saat pengecoran (*as casted*), merupakan desain yang paling optimal jika dibandingkan dengan beberapa alternatif desain coran yang telah dilakukan dan nilai *yield casting* juga sudah mencapai diatas nilai rata-rata yaitu 58,34 %.

Dalam penentuan desain coran yang optimal tidak hanya ditentukan oleh nilai *yield casting* yang tinggi. Dengan kemampuan software simulasi pengecoran (Z-Cast), dapat dilihat atau diprediksi mengenai kualitas coran yang akan diproduksi. Sehingga proses percobaan rancangan coran dan penentuan usaha pencegahan cacat bisa dilakukan secara maksimal melalui metode simulasi komputasi. Oleh karena itu penentuan desain pengecoran yang optimal, dipilih desain yang mempunyai nilai peningkatan *yield casting* dan meminimalkan potensi terjadinya cacat.

#### 4.7 Analisa Kajian Tekno Ekonomi

Analisa pada bahasan ini didasarkan pada peningkatan *yield casting*, penggunaan material (*metal*) dan prosentase perkiraan biaya proses pengecoran seperti dapat ditunjukkan pada **Gambar 2.20** Diagram Pie Rincian Biaya Untuk Pengecoran <sup>[28]</sup>. Dari **Gambar 2.20** tersebut, dapat dilihat bahwa biaya untuk pengadaan material (metal) paling dominan yaitu sekitar 30 % dari estimasi total biaya aktual proses pengecoran. Biaya tersebut sangat besar jika dibandingkan dengan biaya desain yang hanya sekitar 4 %. Sedangkan biaya untuk material, dipengaruhi oleh berat material, harga per satuan berat material, dan faktor rugi-rugi selama proses peleburan, penuangan, pengerjaan akhir maupun faktor kegagalan.

Berdasarkan hasil perhitungan biaya untuk pengecoran casing TUDC 3,5 MW pada desain awal (*as casted*), dengan total beratnya mencapai 7.709 Kg dibutuhkan biaya sebesar Rp 229.002.000,-. Sedangkan biaya yang dibutuhkan untuk material sebesar Rp 68.700.000,- dan untuk desain Rp 9.160.000. Akan tetapi dengan biaya disain yang hanya 4 % tersebut dapat membantu memberikan

kontribusi yang positif dalam upaya meminimalkan resiko potensi kegagalan coran casing TUDC 3,5 MW.

Hasil perhitungan perkiraan biaya pengecoran secara lengkap dapat ditunjukkan pada bagian lampiran 37. Sedangkan pada **Tabel 4.15** berikut, merupakan perkiraan biaya pengecoran untuk optimalisasi desain coran yang telah dipilih. Selanjutnya pada **Gambar 4.17** adalah perbandingan biaya pengecoran untuk desain awal (*as casted*) dengan biaya pengecoran setelah dilakukan optimalisasi desain coran.

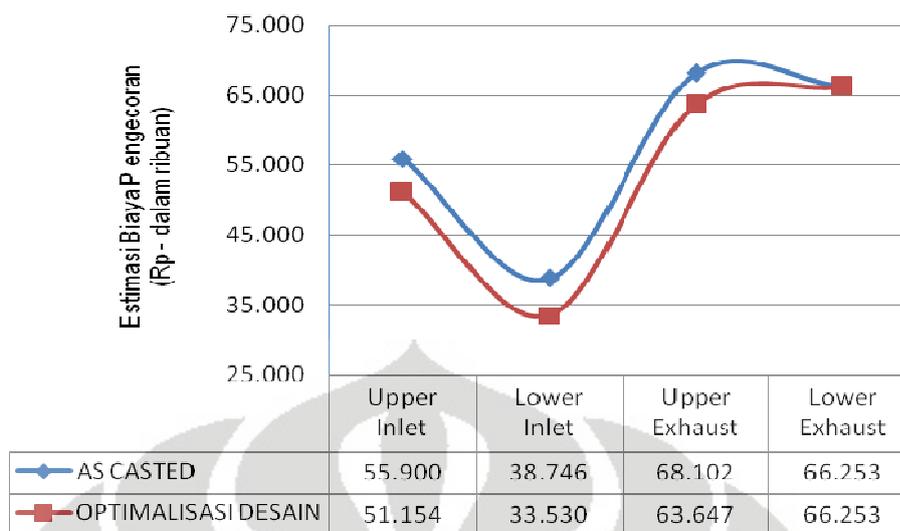
**Tabel 4.15** Perkiraan Biaya Pengecoran Hasil Optimalisasi Desain Coran

NO	PARAMETER/UNIT	INLET		EXHAUST	
		UPPER	LOWER	UPPER	LOWER
1	Desain Coran Optimal	Alternatif #2	Alternatif #1	Alternatif #2	As casted
2	Yield Casting (%)	56,09	65,31	70,55	58,34
3	Berat metal ( $W_{cast}$ - Kg)	1.722	1.129	2.143	2.230
4	Faktor melting ( $f_m$ ) *	1,04	1,04	1,04	1,04
5	Faktor pouring ( $f_p$ ) *	1,01	1,01	1,01	1,01
6	Faktor finishing ( $f_f$ ) *	1,01	1,01	1,01	1,01
7	Faktor rejection ( $f_r$ ) *	1,05	1,05	1,05	1,05
8	Harga metal unit ( $C_{unit\ metal}$ - Rp ) *	8	8	8	8
9	Biaya metal ( $C_{metal}$ - Rp )	15.346	10.059	19.094	19.876
10	Biaya moulding ( $C_{moulding}$ - Rp )	5.115	3.353	6.365	6.625
11	Biaya pattern ( $C_{pattern}$ - Rp )	1.023	671	1.273	1.325
12	Biaya overhead ( $C_{overhead}$ - Rp )	12.789	8.382	15.912	16.563
13	Biaya packing ( $C_{packing}$ - Rp )	2.046	1.341	2.546	2.650
14	Biaya machining ( $C_{machining}$ - Rp )	5.115	3.353	6.365	6.625
15	Biaya design ( $C_{design}$ - Rp )	2.046	1.341	2.546	2.650
16	Biaya testing ( $C_{testing}$ - Rp )	2.558	1.676	3.182	3.313
17	Biaya finishing ( $C_{finishing}$ - Rp )	5.115	3.353	6.365	6.625
<b>JUMLAH BIAYA</b>		<b>51.154</b>	<b>33.530</b>	<b>63.647</b>	<b>66.253</b>
<b>TOTAL BIAYA PENGECORAN</b>		<b>214.584</b>			

\* Diasumsikan

(Rp - Biaya dalam ribuan)

Universitas Indonesia



**Gambar 4.17** Perbandingan Biaya Pengecoran As Casted Vs Optimalisasi

Optimalisasi desain coran casing ini mampu meningkatkan nilai *yield casting* pada proses pengecoran casing TUDC 3,5 MW. Secara otomatis peningkatan *yield casting* tersebut dapat menekan penggunaan material (*metal*) dan efisien dari sisi biaya pengecoran.

Berdasarkan data-data diatas dapat dijelaskan bahwa, optimalisasi ini mampu menekan penggunaan material sampai 485 kg, sehingga total beratnya menjadi 7.224 kg. Sedangkan pada **Gambar 4.17** diatas, dapat dilihat adanya area diantara 2 garis dalam diagram perbandingan biaya pengecoran semula (*as casted*) dan setelah dilakukan optimalisasi desain coran. Luasan area tersebut merepresentasikan adanya penurunan biaya produksi sebesar Rp 14.417.000,- atau sekitar 6,3 %. Sehingga dari analisa ini, dapat memberikan gambaran sudut pandang optimalisasi desain coran casing turbin uap *direct condensing* 3,5 MW dari sisi teknis maupun ekonomis. Secara lengkap data hasil perhitungan biaya pengecoran casing TUDC 3,5 MW dapat ditunjukkan pada **Lampiran 37**.

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

1. Hasil review coran casing TUBP, dapat disimpulkan sebagai berikut :
  - a. Hasil pengujian NDT, masih ditemukannya cacat pada coran casing TUBP 450 HP produksi PT. PINDAD serta casing TUBP 2 MW dan TUBP 4 MW hasil produksi PT. Barata Indonesia yang tidak dapat diterima standar ASTM A 609 *Quality Level 2* yang dipersyaratkan. Sedangkan hasil pengujian komposisi kimia dan pengujian tarik yang telah dilaksanakan, sebagian besar material casing TUBP telah sesuai spesifikasi material JIS SCPH2. Kecuali pada casing TUBP 4 MW, terjadi peningkatan kadar Mangan sebesar 0,07% (upper casing) dan 0,11% (lower casing) yang melebihi standar JIS SCPH2 (max 1,00% Mn) karena adanya efisiensi proses peleburan industri pengecoran dan tidak merugikan secara signifikan terhadap kekuatan tarik material coran casing.
  - b. Hasil simulasi yang dilakukan pada casing TUBP, menunjukkan adanya korelasi 79 % antara lokasi prediksi cacat coran hasil simulasi dengan lokasi cacat pada produk coran. Namun dari sisi luas area cacat coran terdapat perbedaan dan tidak bisa dibandingkan secara aktual karena produk coran telah dilebur ulang.
  - c. Lokasi cacat coran sebagian besar muncul di daerah yang terdapat perbedaan ketebalan secara signifikan, karena daerah ini akan terjadi perbedaan laju pendinginan yang mengakibatkan proses pembekuan sulit untuk diarahkan dan menjadi sangat potensial terbentuk cacat. Sehingga faktor penyebab kegagalan coran casing TUBP ini karena kesalahan desain coran dan riser kurang berfungsi secara optimal untuk mengkompensasi penyusutan yang terjadi.
2. Tahap perancangan dan simulasi pengecoran casing TUDC 3,5 MW, dilakukan dengan menerapkan proses perancangan dan simulasi pengecoran (Z-Cast) secara optimal sampai didapatkan hasil simulasi yang mampu meminimalkan potensi cacat sebelum dilaksanakan proses pengecoran. Hasil kualitas coran casing TUDC 3,5 MW berdasarkan data pengujian komposisi kimia, tarik, kekerasan, NDT (ultrasonik) dan mikrostruktur telah sesuai dengan spesifikasi dan dapat diterima oleh standar atau code yang dijadikan referensi (JIS G 5151 SCPH2 dan ASTM A 609 *Quality Level 2*). Sehingga penerapan metode simulasi pengecoran ini mampu mengurangi terjadinya resiko kegagalan.

3. Pada tahap akhir penelitian dilakukan optimalisasi desain yang ada (*improvement*) dengan orientasi untuk peningkatan *yield casting*, dengan 3 alternatif desain yaitu melalui metode perhitungan manual serta pengurangan tinggi riser 20% dan 30%. Hasil optimalisasi desain coran casing TUDC 3,5 MW (*improvement*) yang telah dilaksanakan, bahwa desain coran yang ada (*as casted*) masih mampu untuk di optimalkan baik dari *yield casting* dan/atau kualitas coran, dengan menggunakan desain coran sebagai berikut :

a. *Upper inlet casing*

Desain alternatif #2 (mengurangi tinggi riser 20%), *yield casting* akan meningkat sekitar 5% menjadi 56,09% dan kualitas coran paling minimal potensi cacat.

b. *Lower inlet casing*

Desain alternatif #1 (hasil perhitungan), kualitas coran yang relatif sama dengan desain *as-casted* maupun desain alternatif #2, tetapi desain ini mampu meningkatkan *yield casting* paling tinggi yaitu sekitar 10% menjadi 65,31%.

c. *Upper exhaust casing*

Dengan pertimbangan *yield casting* dan kualitas coran, desain alternatif #2 lebih optimal jika dibandingkan dengan yang lain. Karena desain coran ini mampu meningkatkan *yield casting* dari 65,94% menjadi 70,55% dengan kualitas coran yang relatif lebih bersih daripada lainnya.

d. *Lower exhasut casing*

Dari kualitas coran, desain *as casted* merupakan desain coran yang paling mampu meminimalkan potensi terbentuknya cacat coran dibandingkan alternatif desain coran yang lain dan nilai *yield casting*-nya sudah diatas rata-rata yaitu 58,34%.

4. Desain hasil optimalisasi (*improvement*) yang dipilih tersebut mampu mengurangi penggunaan material sampai 485 kg dan menurunkan biaya produksi sebesar Rp 14.417.000,- atau sekitar 6,3%.

## 5.2 Saran

*Software* simulasi pengecoran ini merupakan suatu alat bantu (*tools*) dalam memprediksi kemungkinan potensi cacat, sehingga agar hasilnya dapat representatif maka dalam penggunaannya harus disesuaikan dengan kondisi dan parameter pengecoran yang akan dilaksanakan.

## DAFTAR REFERENSI

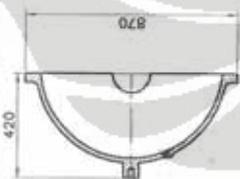
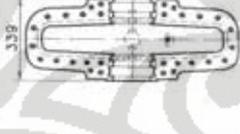
1. Kementerian Perindustrian , Lampiran 1 PERMEN Perindustrian RI, No : 4/M-IND/PER/1/2009, *Tingkat Komponen Dalam Negeri PLTU Batubara*, Jakarta, 15 Januari 2009
2. Pusat Teknologi Industri manufaktur–BPPT, *Program Dokumen Program Pengembangan Turbin Uap*, Jakarta, 2009
3. API Standard 611, *General Purpose Steam Turbines for Petroleum, Chemical and Gas Industry Services*, 4<sup>th</sup> edition, API, USA, 1997
4. Bloch, Heinz P., *A Practical Guide To Steam Turbine Technology*, McGraw-Hill, New York, USA, 1996
5. Andresini, A., et all., *Computer Aided Foundry Models Design*, DAAAM International, Austria, 2007
6. Guo, Z., et all., *Modelling of Materials Properties and Behaviour Critical to Casting Simulation*, Elsevier-Materials Science and Engineering A 413-414, 2005
7. Barzilai Philippe, et all., *Simulating Foundry Operation To Increase Speed And Accuracy*, *Advanced Manufacturing Technology*, Vol.25, No.02, 2004
8. ASM Handbook Vol 15, *Casting*, ASM International, 9<sup>th</sup> Edition, 1992
9. Sirvo, M., et all., *Casting Directly From a Computer Model By Using Advanced Simulation Software Flow-3D Cast*, *Archives of Foundry Engineering*, Vol.9, 79-82, Issue 1/2009
10. Pariona, Moises M., et all., *Numerical Simulation for Prediction of Filling Process In a Sand Mould*, *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 28 (2), 99-110, 2008
11. Vayrynen, P., et all., *Modelling and Removal of Inclusions in Continuous Casting*, *Material Science and Technology*, Pittsburgh, Pennsylvania, October 25-29, 2009
12. Vijayaram, T.R., et all., *Numerical Simulation of Casting Solidification in Permanent Metallic Molds*, *Journal of Materials Processing Technology* 29-33, 178, 2006
13. Frei, J., *Casting Simulation Speed Up Development*, Buhler AG, Switzerland, 2005
14. Krack, R., *Using Solidification Simulations For Optimising Die Cooling Systems*, Dortmund University, Germany, 2007
15. Cubitec, co., *Z-Cast Casting Process Simulation System*, Cubitec Co. Ltd. Korea, 2007. (diakses : 01 Juni 2010)  
<<http://www.cubitec.com>>

16. Pusat Teknologi Industri Manufaktur-BPPT, *Program Dokumen Peran BPPT dalam Program Revitalisasi Industri Gula Nasional*, Jakarta, 2010
17. Remic, D, et al, *Microturbines for Distributed Power Generation*, wikidot 2007 (diakses : 01 Maret 2010)  
<<http://me1065.wikidot.com/microturbines>>
18. Gandy, D. *Carbon Steel Handbook*, Electric Power Research Institute, California USA, 2007
19. Bringas, J.E., *Handbook of Comparative World Steel Standards*, 3th Edition, ASTM, USA, 2004
20. Steel Founders Society of America, *Steel Casting Handbook Supplement 5 General Properties of Steel Casting*, 5<sup>th</sup> edition, SFSA, USA, 2001
21. Surdia, T., *Teknik Pengecoran Logam*, PT.Pradnya Paramita, Jakarta, 1976
22. Lessiter, M.J., *Timeline of Casting Technology*, Modern Casting, AFS Technical Department, 2002
23. Deni F, *Casting Simulation dan Casting Desain*, Bahan Ajar DMM-Universitas Indonesia, 2009
24. Kalpakjian, S., *Manufacturing Engineering and Technology*, 7<sup>th</sup> Pearson Prentice Hall, 2006
25. Kotschi R.M., *Metals Handbook: Casting Design*, 9<sup>th</sup> edition, ASM, 1988
26. ASM Handbook Vol 14, *Heat Treating*, ASM International, 1991
27. Department of Materials Science and Engineering, *Introduction to Materials Science*, University of Virginia, 2003
28. Tjitro, S., *Pengaruh Bentuk Riser Terhadap Cacat Penyusutan Produk Cor Aluminium Cetakan Pasir*, Jurnal Teknik Mesin Vol.3, No.2 Hal.41-46, 2001
29. Beeley P.R., *Foundry Technology*, London, Butterworth Scientific, 1972
30. Groover, M. P., *Fundamentals of Modern Manufacturing*, 2<sup>nd</sup> edition, John Wiley & Sons, Inc. 2002
31. Team, TCR Engineering, *Investigation Material and Component Failure (Failure and Root Cause Analysis)*, Technical white paper, India, July 2004
32. Hardin, R and Beckermann, *Simulation of the Mechanical Performance of Cast Steel with Porosity*, American Metalcasting Consortium-USA, 2004
33. Timothy, G., *Casting*, Massachusetts Institute of Technology, USA, 2007. (diakses : 21 Maret 2011)  
< <http://web.mit.edu/2.810/www/lecture/Casting.pdf>>
34. Jain, P.L., *Foundry Paterns Design ang Manufacture*. New Delhi : Tata McGraw-Hill Publishing Company, 1989

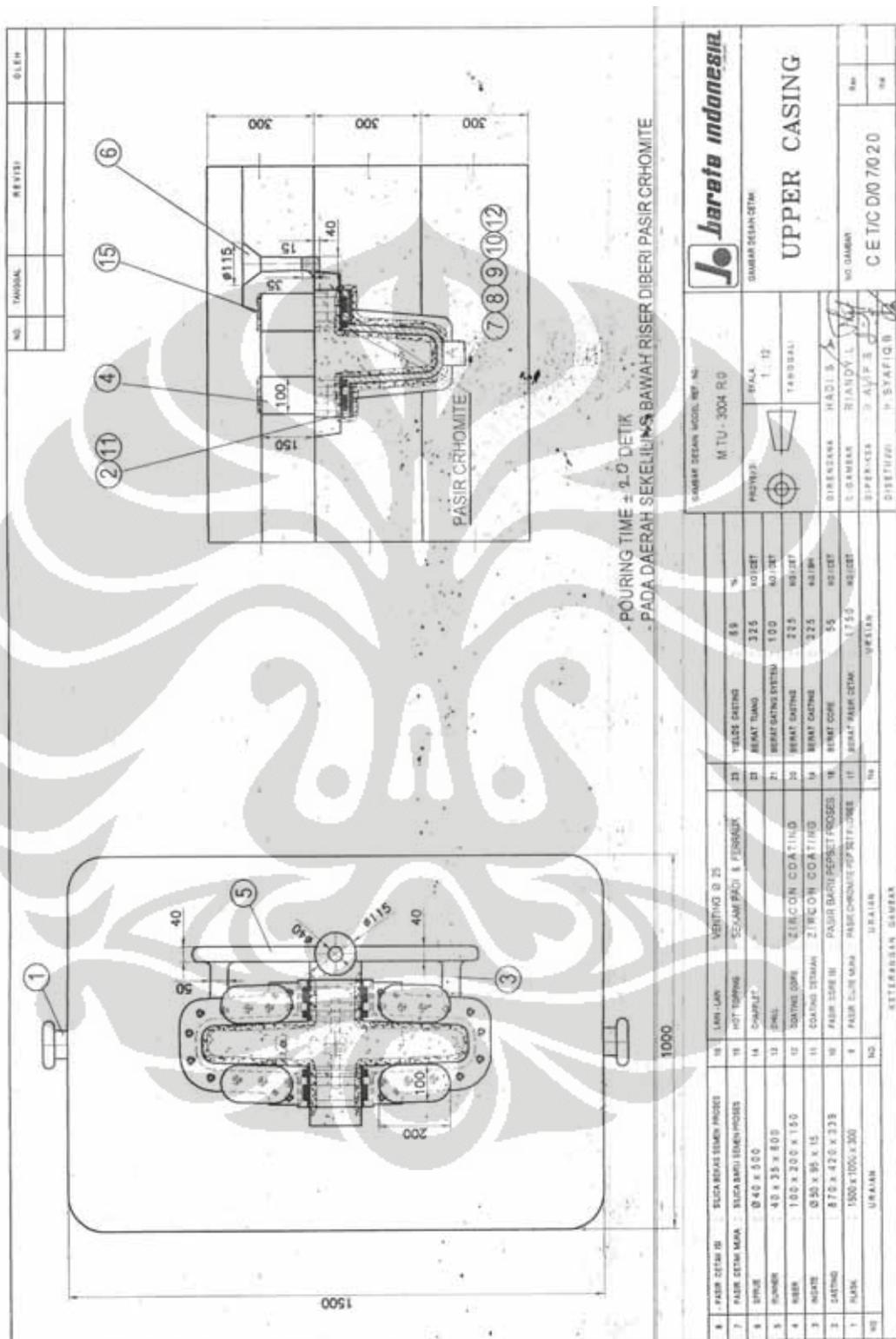
35. Stefanus, D.T., *Pemilihan Sistem Saluran Pada Proses Pengecoran Dengan Menggunakan Program Delphi*, Universitas Kristen Petra, 2003
36. Gaumann, M., *Investment Casting Simulation*, Calcom, USA, 2002
37. Murph, J.E., *Development of a CFD code for casting Simulation*, Interim Report NASA/MSFC
38. KICC, *Modul Training Z-Cast Software*, KICC, Indonesia, 2010
39. Joshi, Durgesh., et all., *Application of Transient Thermal Analysis for the Assessment of Cooling Potential of Moulding Sands during Casting Solidification*, International Journal of Applied Engineering Research, ISSN 0973-4562, Vol.4, No.10, 2009
40. Esparza.C.E., *Optimal Design of Gating Systems by Gradient Search Methods*, Flow Science.Inc, 2005
41. Jolly, M., *Casting Simulation : State of the Art Review*, University of Birmingham, UK, 2007
42. Monaghan, J.J., et all., *Solidification using Smoothed Particle Hydrodynamics*, Elsevier-Journal of Computation Physics 684-705, 206, 2005
43. Vertanen, Keith D., *A Paralel Implementation of a Fluid Flow Simulation using Smoothed Particle Hydrodynamics*, Department of Computer Science, Oregon State University, Corvallis, OR 97331
44. Mubarak, F., *Tool Steel*, Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya, Indonesia, 2008
45. Baddoo, N.R., *Casting in Constructions*, The Steel Construction Institute Publication, UK, 2008
46. Chougule, R.G., Ravi, B., *Casting Cost Estimation in an Integreted Product and Process Design Environment*, IJCIM, India, 2005
47. Widodo, R., *Perhitungan Sistem Saluran*, HAPLI, Jakarta, 2010. (Diakses : 17 April 2011)  
<<http://hapli.wordpress.com/foundry/teknik-perancangan-pengecoran/perhitungan-sistem-saluran>>
48. Beckermann, C., *Discovering Solid Effesiciencies for the Steel Casting Industry*, IOWA Energy Center, USA, 2008

Lampiran 1 : SOP Upper Casing TUBP 450 HP

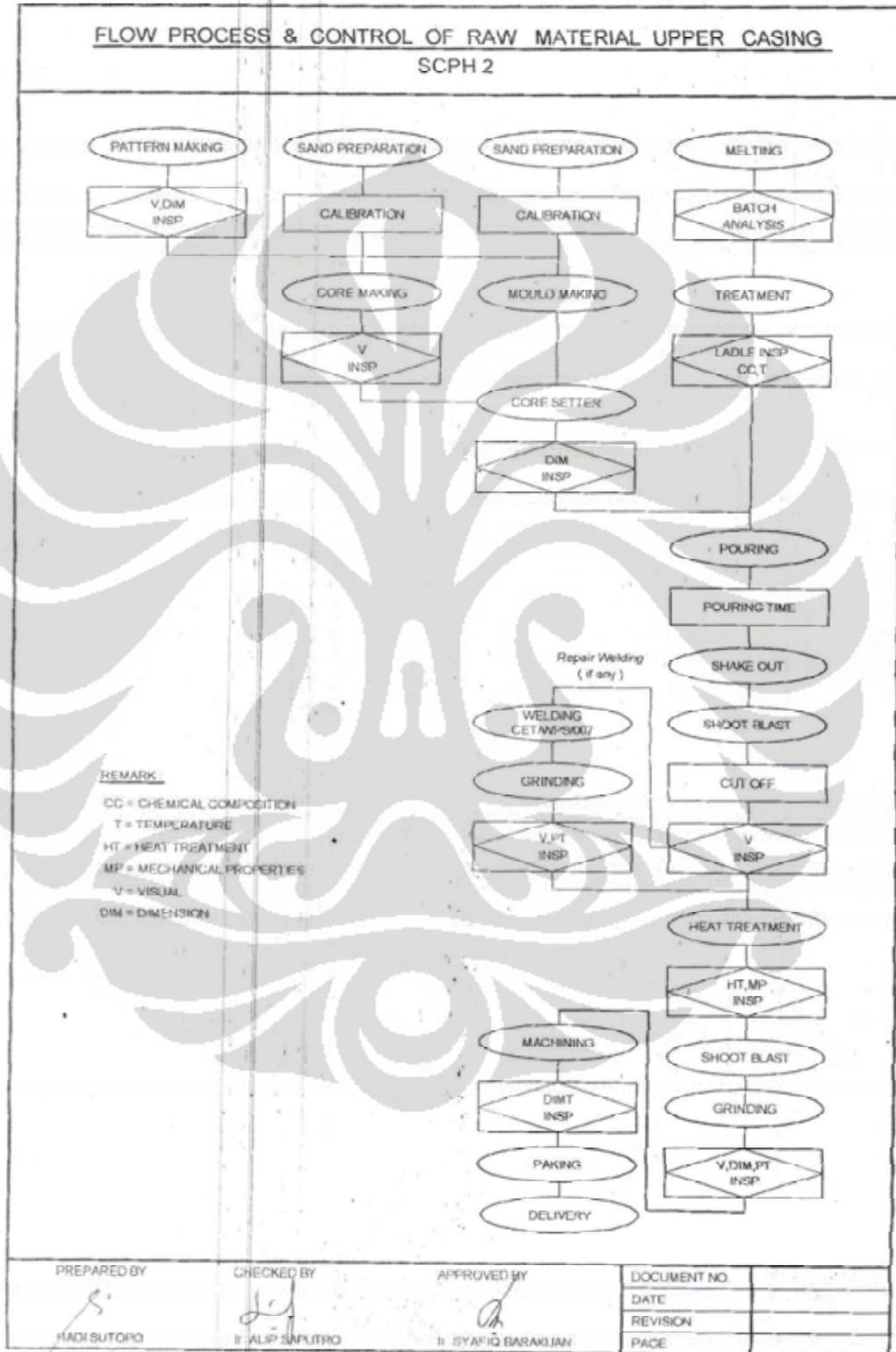
**LEMBAR DESAIN CASTING UPPER CASING**

	<b>LEMBAR DESAIN CASTING UPPER CASING</b>	NO DOC REVISI	CETAC: 0076/20 8	HALAMAN 8
		<b>HEAT TREATMENT</b>		
<b>SPEKIFIKASI TEKNIS</b> CUSTOMER REQUIREMENT ASTM A135		HEAT TREATMENT METODE PEMANASAN BAKAR		
<b>MECH. PROP. VIGAL. DIMENS. / MP/IT</b>		FURNACE CONTROLLER BOILER V		
<b>FLOW PROSES</b>		HOLDING TEMP 910°C 2 JAM		
MOLDING MOLDING REF DOC NO : CETAC F 02 06 R3 MOLDING REF DOC NO : CETAC F 02 06 R3 CORE MOLDING REF DOC NO : CETAC F 02 11 R2 CORE MOLDING REF DOC NO : CETAC F 02 11 R2		COOLING WAKTU ANTARA PROSES 1 DAN 2 : 1 JAM		
MELTING MELTING REF DOC NO : CETAC F 03 01 R4 TARGET KOMPOSISI : CETAC F 03 01 R4 ATENSI : TEMP TAPPING 1580±10°C TEMP POURING 1510±150°C		HEATING MODEL NORMALIZING 810°C 2 JAM UDARA LUAR		
FINISHING FINISHING REF DOC NO : CETAC F 02 06 R3 FINISHING REF DOC NO : CETAC F 02 06 R3 FINISHING REF DOC NO : CETAC F 02 11 R2 FINISHING REF DOC NO : CETAC F 02 11 R2		HEATING MODEL NA		
COOLING DALAM CETAKAN > 8 JAM (500°C)		WAKTU (JAM) 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12		
DEKORASI DEKORASI REF DOC NO : CETAC F 02 06 R3 DEKORASI REF DOC NO : CETAC F 02 06 R3 DEKORASI REF DOC NO : CETAC F 02 11 R2 DEKORASI REF DOC NO : CETAC F 02 11 R2		WAKTU (JAM) 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12		
APPROVAL DESAIN : N. HADIS CHECK : V. N. APIS APPROVAL : V. PANG R		APPROVAL DESAIN : N. HADIS CHECK : V. N. APIS APPROVAL : V. PANG R		

Lampiran 1 : SOP Upper Casing TUBP 450 HP (Lanjutan)



Lampiran 1 : SOP Upper Casing TUBP 450 HP (Lanjutan)



Lampiran 2 : SOP Steam End Casing TUBP 450 HP

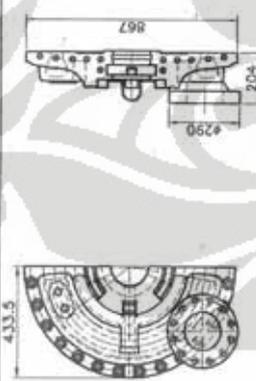


**J. Jaranata Indonesia**  
ENGINEERING DIVISI PENGOLAHAN

**LEMBAR DESAIN CASTING  
STEAM END CASING**

NO. DOC. CET/C 00 70 1 9  
REVISI 0  
TAMBAH

HALAMAN



**HEAT TREATMENT**

TEMPERATUR	1100	1000	900	800	700	600	500	400	300	200	100
WAKTU (JAM)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

**HEAT TREATMENT**

TEMPERATUR	1100	1000	900	800	700	600	500	400	300	200	100
WAKTU (JAM)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

DESKRIPSI

HADI B

DIPERIKSA

DIBELI

**SPESIFIKASI TEKNIK**

BAHAN	Spesifikasi	Standar
SCPH2	ASTM A 12 S	ASTM A 12 S

**FLOW PROSES**

MODE	US	MELTING	SPINDLING	DRILLING	GRINDING	HEAT TREATING	FINISHING
Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y

**MODEL**

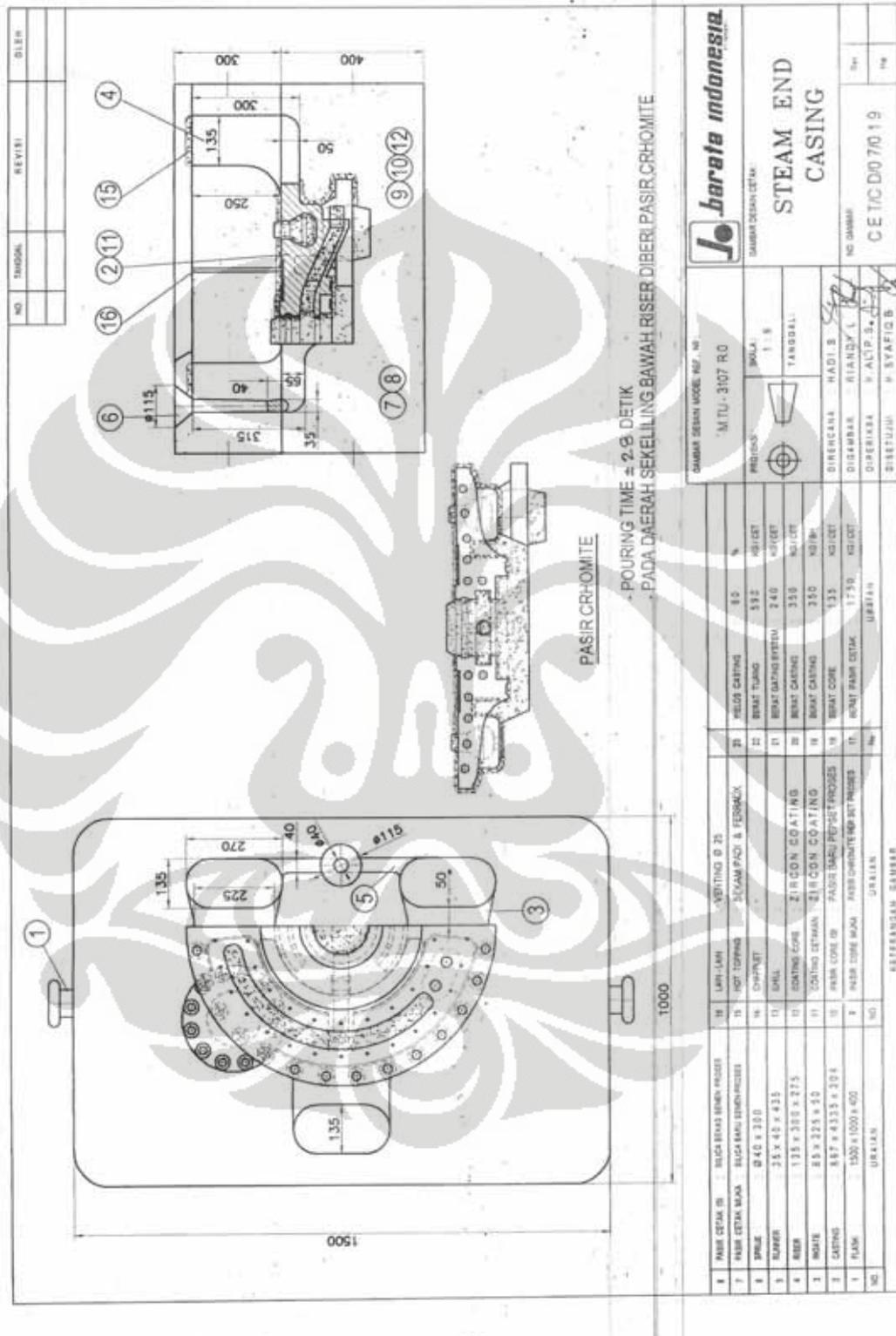
MODEL	M. TU. 101 R3
PROSEDUR	CET F. 01. ST. R0
PROSEDUR MELTING	CET F. 01. 01. 00

**MOLDING**

PROSEDUR	CET F. 01. 01. 00
PROSEDUR MELTING	CET F. 01. 01. 00
PROSEDUR FINISHING	CET F. 01. 01. 00

**COOLING DALAM CETAKAN > 8 JAM | 500° C**

Lampiran 2 : SOP Steam End Casing TUBP 450 HP (Lanjutan)



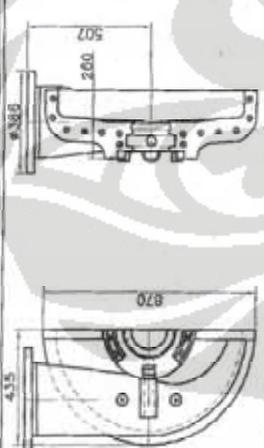
Lampiran 3 : SOP Exhaust End Casing TUBP 450 HP



## LEMBAR DESAIN CASTING EXHAUST END CASING

NO. DOK. CETIC/DIV 70117  
REVISI 0  
TANGGAL



SIFAT MEKANIS		SIFAT TEKNIK		CUSTOMER REQUIREMENT		KETERANGAN	
BEBAN	Ty	F	RA	HA			
BCPM 2	48	75	11	35	MECH PROP. VISUAL MPA/PT. DINENSI		
	MIN	MIN	MIN	MIN	ASTM A125		

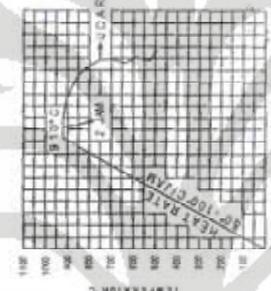
HEAT TREATMENT

PUNJUK	DOMINANS	V
HOLDING TEMP	ROBE	
HOLDING TIME	815°C	
COOLING MODE	2 JAM	
SELANG WAKTU ANTARA PROSES (PAH II)	UDARA LUAR	
	- JAM	

HEAT TREATMENT

HEAT RATE	910°C
WAKTU (JAM)	2 JAM
WAKTU (JAM)	10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20



HEAT RATE 910°C  
WAKTU (JAM) 2 JAM  
WAKTU (JAM) 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

HEAT TREATMENT

HEAT RATE	910°C
WAKTU (JAM)	2 JAM
WAKTU (JAM)	10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

MOULDING

MOULDING							
MOULDING							

MOULDING

MOULDING							
MOULDING							

MOULDING

MOULDING							
MOULDING							

FINISHING

FINISHING							
FINISHING							

FINISHING

FINISHING							
FINISHING							

FINISHING

FINISHING							
FINISHING							

COOLING

COOLING							
COOLING							

COOLING

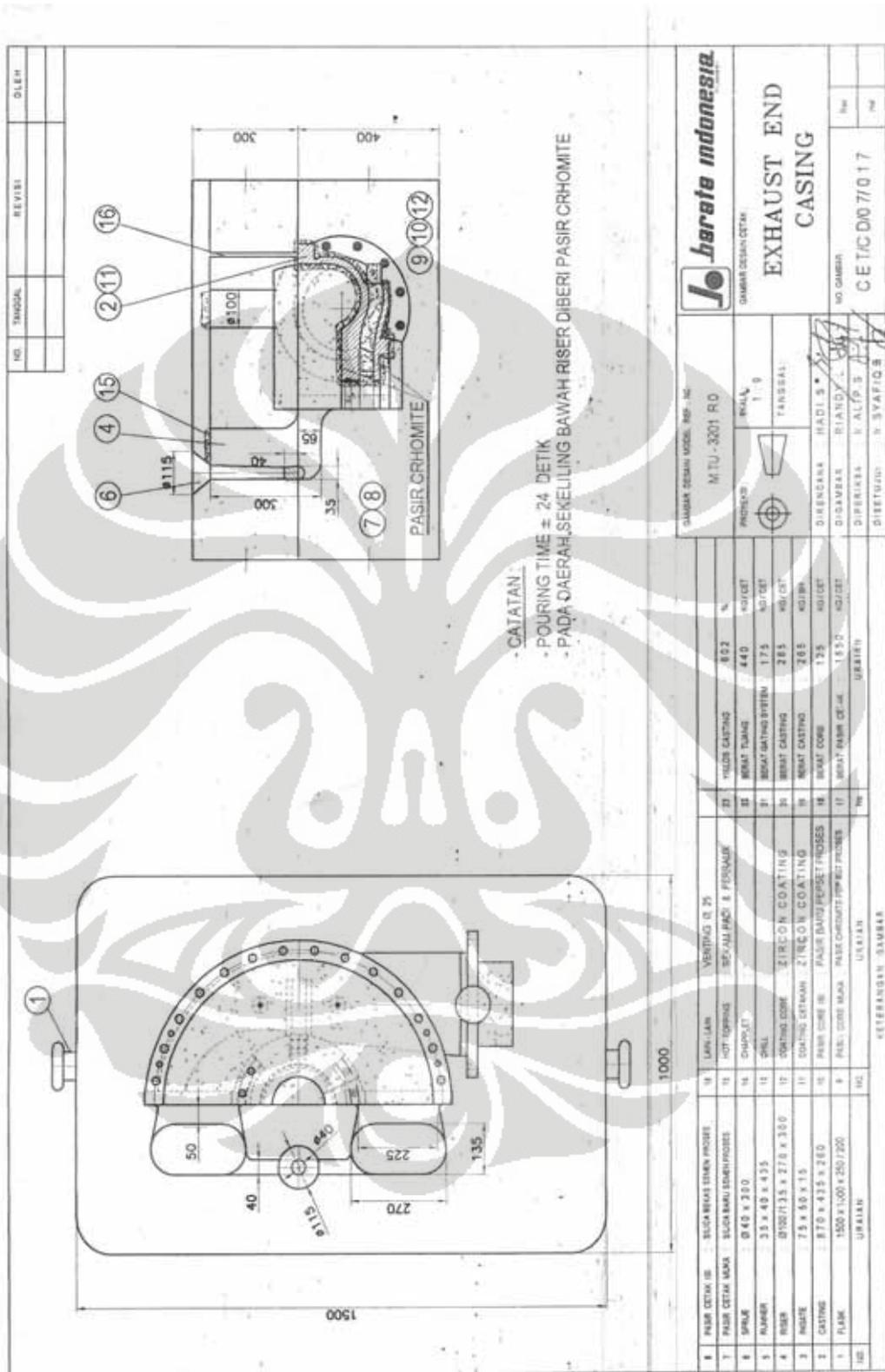
COOLING							
COOLING							

COOLING

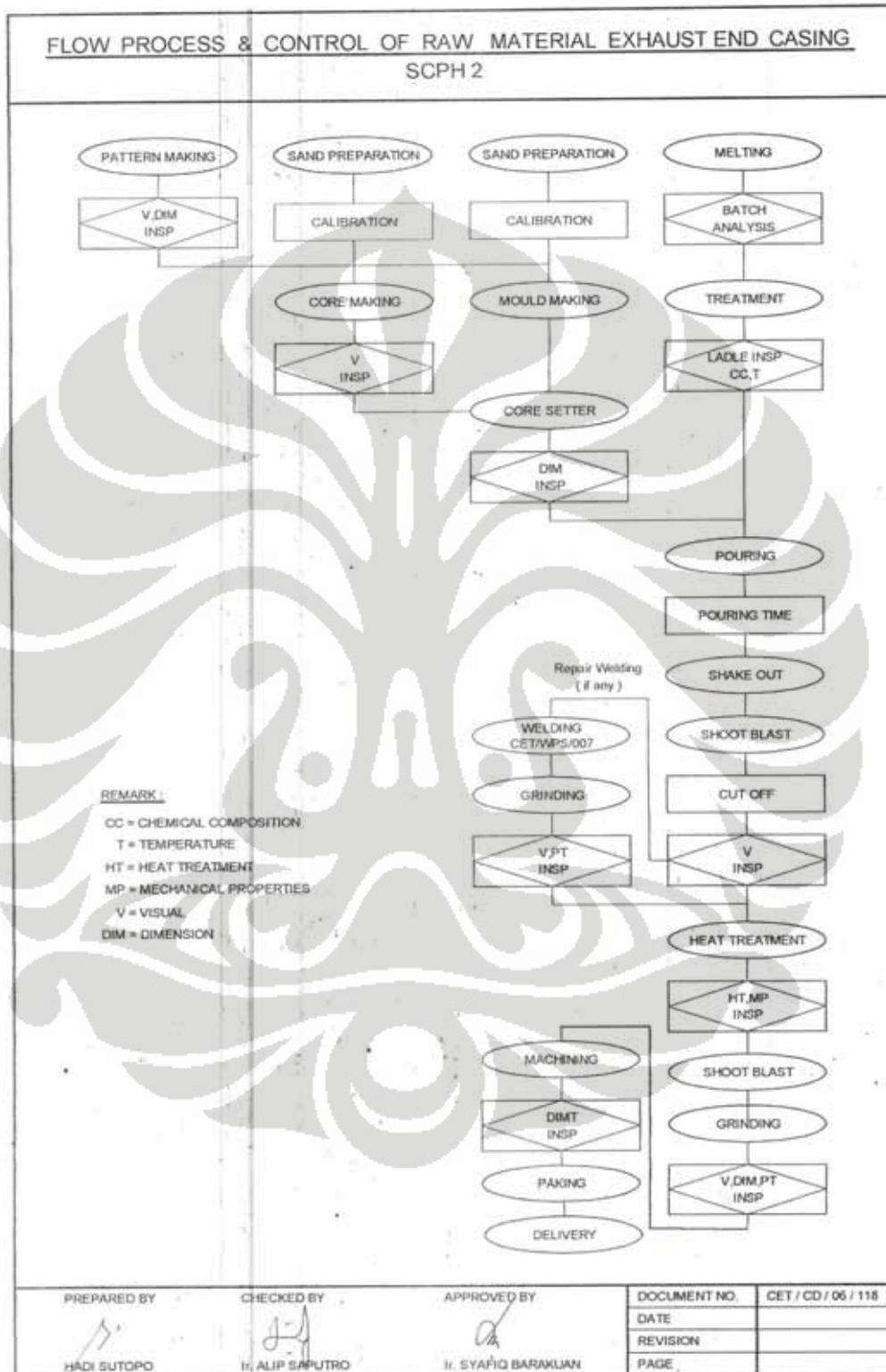
COOLING							
COOLING							

DESIKASIAN: HADI S  
DIPERIKSA: V. ALI S  
DETERMINASI: V. SYAFIQ B

Lampiran 3 : SOP Exhaust End Casing TUBP 450 HP (lanjutan)



Lampiran 3 : SOP Exhaust End Casing TUBP 450 HP (lanjutan)



Lampiran 4 : Hasil Pengujian Casing TUBP 450 HP

**HASIL UJI MEKANIK & X Ray**



**SCPH 2 JIS G5151, Komposisi(%) :**

	UP	LOW	UP	LOW
C	: 0,24	: 0,24	S : 0,02	: 0,003
Si	: 0,37	: 0,42	P :-	
Mn	: 0,98	: 0,94		



**UPPER CASING**



**STEAM END CASING CASING**



**EXHAUST END CASING CASING**

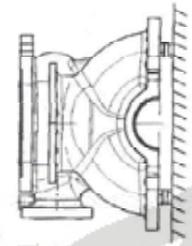
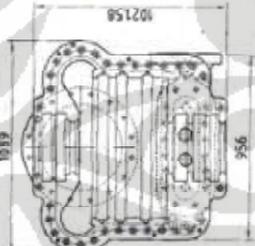
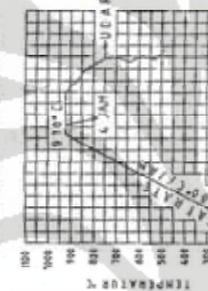
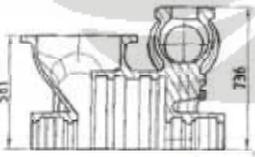
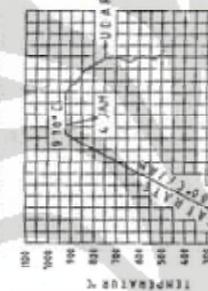
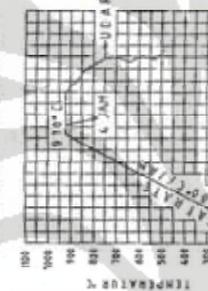
BPPT BADAN PENELITIAN DAN PENGUJIAN		RADIOGRAPHY TESTING REPORT		Revisi / Page No.	Date / or No.
Objek : Komponen Casing pada Struktur Turbin Uap 450 HP					
No.	FILM IDENTIFICATION	Category	DEFECT		Keterangan
			Severity Level / Length / diameter (mm)		
<b>UPPER CASING</b>					
1	A1	A	Severity Level 2		
2	A2	A	Severity Level 1		
3	A3	A	Severity Level 2		
4	A4	A	Severity Level 4		
5	B1	A	Severity Level 4		
6	B2	A	Severity Level 4		
7	B3	A	Severity Level 4		
8	B4	A	Severity Level 5		
9	C1	A	Severity Level 1		
10	C2	A	Severity Level 1		
<b>STEAM END LOWER CASING</b>					
11	D3A	B	Severity Level 1	Accepted API 611	
12	D3B	A	Severity Level 1	Accepted API 611	
13	D4	ND	-	Accepted API 611	
<b>EXHAUST END LOWER CASING</b>					
14	E1	D	Severity Level 1	Accepted API 611	
15	E3	B	Severity Level 2	Accepted API 611	
<b>VALVE BODY</b>					
16	F1	B	Severity Level 1	Accepted API 611	
17	F3	B	Severity Level 1	Accepted API 611	
18	F4	A	Severity Level 1	Accepted API 611	
Note : Defect Type Identification: Category    Type of Defects ND            : No Defect A             : Gas Porosity, Severity Level 1-5 B             : Sand and Slag Inclusion, Severity Level 1-5 C             : Shrinkage, 4 type : CA, CB, CC, CD D             : Crack E             : Hot Tear F             : Insert G             : Mottling					
Disiapkan oleh Prepared by	<i>[Signature]</i>	Direksi Date	10-05-2006	Dibaca/validasi Checked by	<i>[Signature]</i> DWA S
				Dibaca/validasi Date	10/05/2006

Lampiran 5 : Hasil Pengujian Material Casing TUBP 450 HP Revisi 1

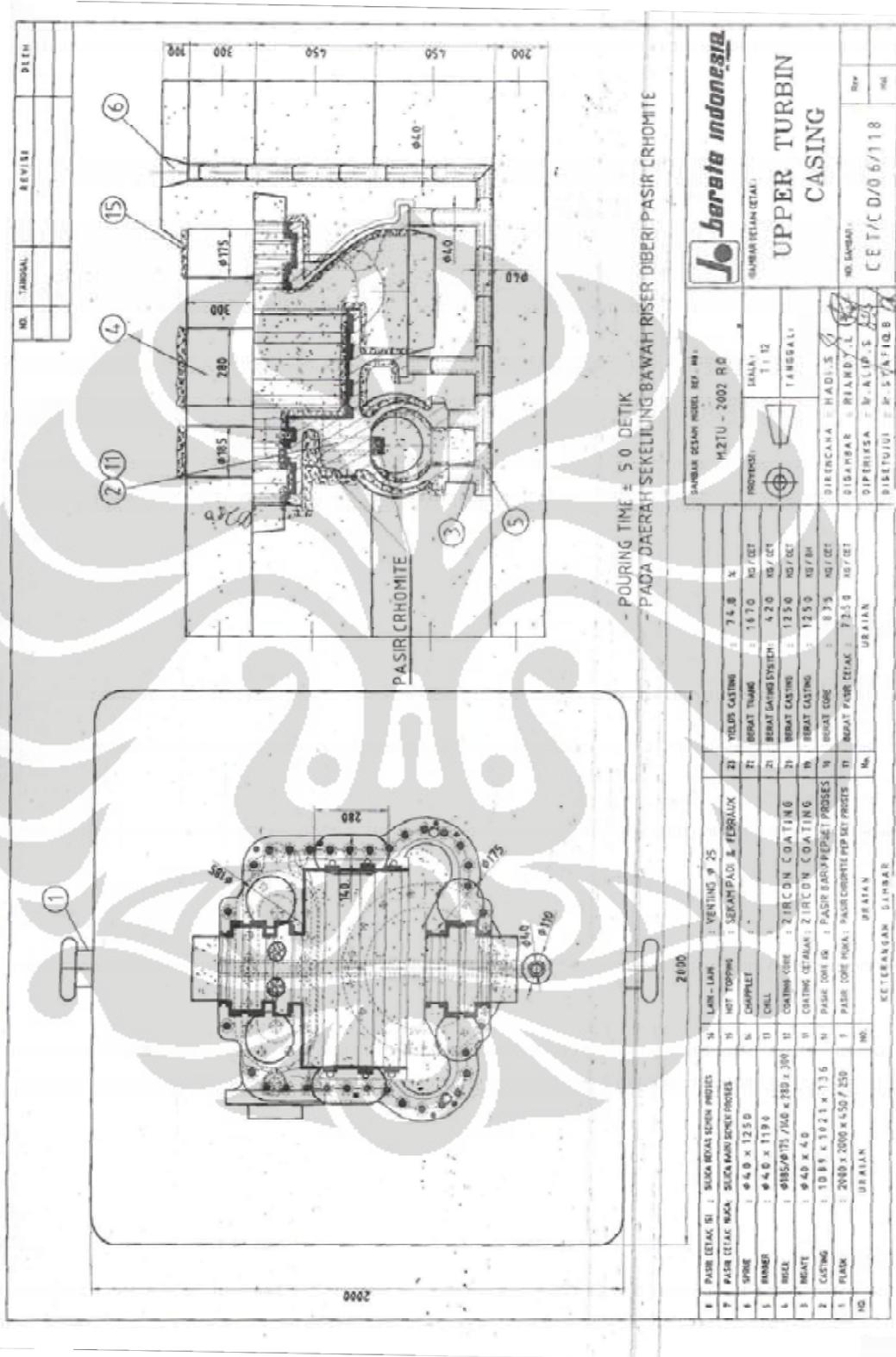
		PARTS TEST REPORT															
NAME OF EQUIPMENT : UPPER CASTING JOB NO : PLG. 9.07.043		DWG NO. : TU - 3034 MATERIAL : SCPH2		DOC. NO. : 9.07.049-04MILFM PAGE : 1/1													
HEAT NO.	SERIAL NO.	CHEMICAL COMPOSITION (%)								MECHANICAL TEST				REMARKS			
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mg	Cu	YIELD POINT (kg/cm <sup>2</sup> )	TENSILE STRENGTH (kg/cm <sup>2</sup> )	ELONGATION (%)	DWELL - REDUCTION (%)				
	STANDARD	0.25 0.30	0.40 0.60	0.50 0.80	0.04 Max.	0.04 Max.				25 Min.	49 Min.	13 Min.	35 Min.				
5940	01	0.26	0.58	0.77	0.03	0.01				40.03	53.61	21.6	50.93	OK			
Note : Heat treatment by Normalizing Geval		APPROVED BY  BUSTOMEK QC MANAGER										PREPARED BY  SUMOTO INSPECTOR					

Lampiran 6 : SOP Upper Casing TUBP 2 MW

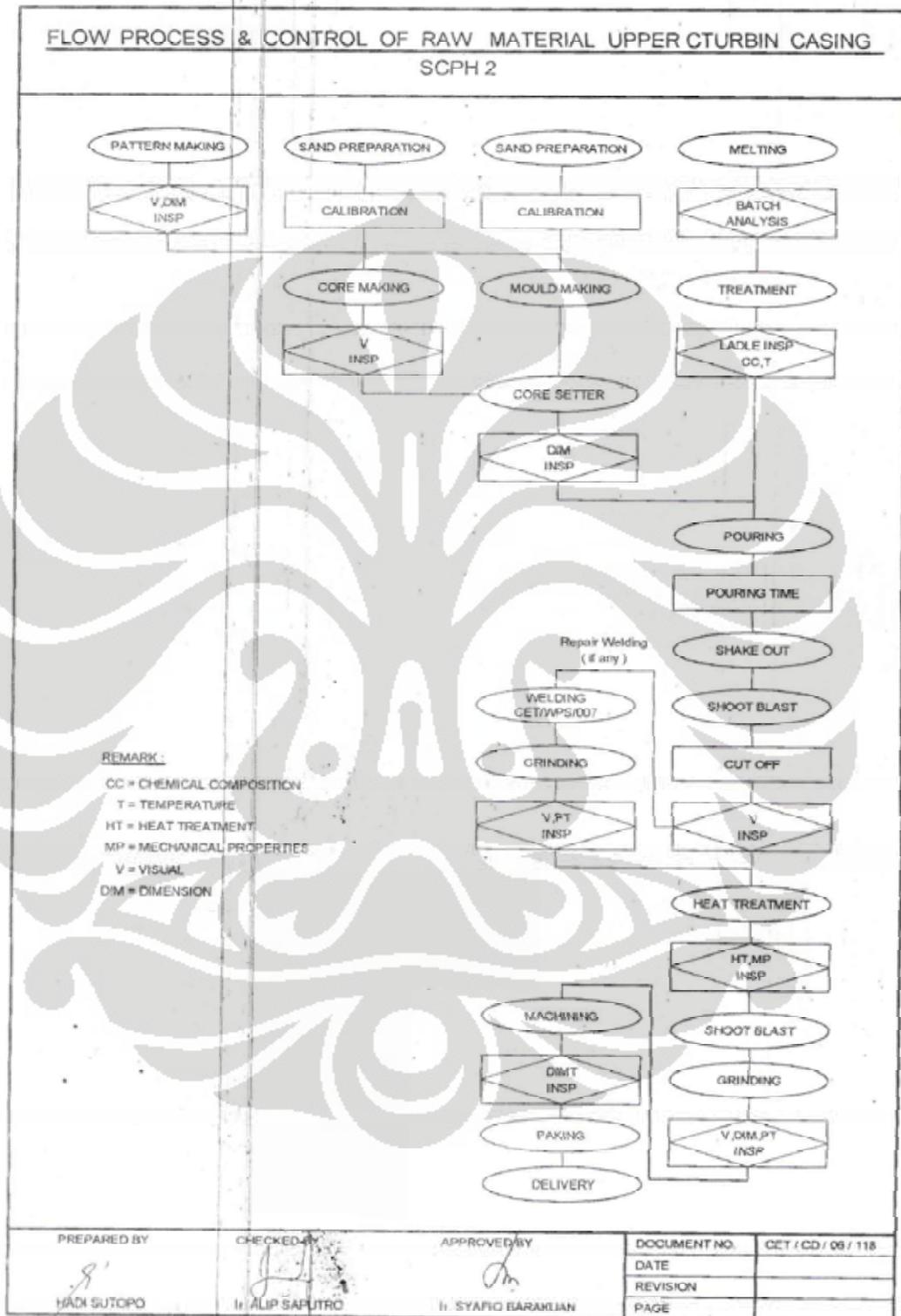
**LEMBAR DESAIN CASTING  
UPPER TURBIN CASING**

<b>barata indonesia</b> PT PERUSAHAAN ENGINEERING DIVISI PEMBANGKITAN		MILIKAN
NO. DOC : CET/C D/0 6/11 B REVISI : TANGGAL :		NO. DOC : REVISI : TANGGAL :
<b>UPPER TURBIN CASING</b>		
FURNACE : MODE : HEATING TIME : COOLING TIME : COOLING MEDIA : DELANG WAKTU ALTAIRIA PROSES :		SKEMA PRODUKSI BAHAN : 
HEAT TREATMENT : TEMPERATUR : WAKTU (JAM) :		HEAT TREATMENT : TEMPERATUR : WAKTU (JAM) :
1939 		1939 
581 		581 
736 		736 
<b>SPEKIFIKASI TEKNIS</b>		
BAHAN : SIFAT MEKANIS : SIFAT FISIKA : SIFAT KIMIA : SIFAT Mekanis : SIFAT Fisika : SIFAT Kimia :		
<b>FLOW PROSES</b>		
MODEL : MODEL : MODEL : MODEL : MODEL :		
<b>MOLDING</b>		
MOLDING : MOLDING : MOLDING : MOLDING : MOLDING :		
<b>FINISHING</b>		
FINISHING : FINISHING : FINISHING : FINISHING : FINISHING :		
<b>COOLING DALAM CETAKAN</b>		
COOLING DALAM CETAKAN : COOLING DALAM CETAKAN : COOLING DALAM CETAKAN : COOLING DALAM CETAKAN : COOLING DALAM CETAKAN :		

Lampiran 6 : SOP Upper Casing TUBP 2 MW (Lanjutan)



Lampiran 6 : SOP Upper Casing TUBP 2 MW (Lanjutan)



Lampiran 7 : SOP Lower Casing TUBP 2 MW

**barata indonesia** PT BARATA ENGINEERING DIVISI PENDECERAN

### LEMBAR DESAIN CASTING LOWER TURBIN CASING

NO DOK (CET/C D/0 6/117) NOMOR

REVISI

TAMBAH

**1009**

**956**

**1337**

HEAT TREATMENT

CONTROLLER	Y
BAHAM	V
HEATING TIME	STEP
HEATING TYPE	1. 7 JAM
COOLING MEDIA	UDARA LUAR
SELANG WAKTU ANTARA PROSES / DAM 1	1 JAM

HEATING MODEL: NORMALIZING

MARTU LUAR

MARTU LUAR

MARTU LUAR

KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN DAN PERDAGANGAN REPUBLIK INDONESIA

**SPESIFIKASI TEKNIK**

BAHAM	TS	Ty	F	RA	NR
SCPH2	4.9	25	19	25	
	MIN	MIN	MIN	MIN	

CUSTOMER REQUIREMENT: NA

REKAMISAN: NA

**FLOW PROSES**

HEAT TREAT: MELLING

TARGET KOMPOSISI: CET/SD/ESTRI

REKAMISAN: TEMP TAPPING: 1500 ± 10 °C  
TEMP POURING: 1550 ± 150 ± 1561 °C  
NOZZLE: LALUE #79

**MOULDING**

LAND IMPR. REF. DOK. NO	CET / F. 02. 04. 02
CEKAM REF. DOK. NO	CET / F. 02. 08. 02
CEKAM REF. DOK. NO	CET / F. 02. 11. 02
CEKAM REF. DOK. NO	CET / SD/AS2 B1
CEKAM REF. DOK. NO	CET / SD/AS2 B2

COOLING DALAM CETAKAN : 18 JAM ( 500° C )

DISAPKAN: *[Signature]*

REVISI: NA. D. S.

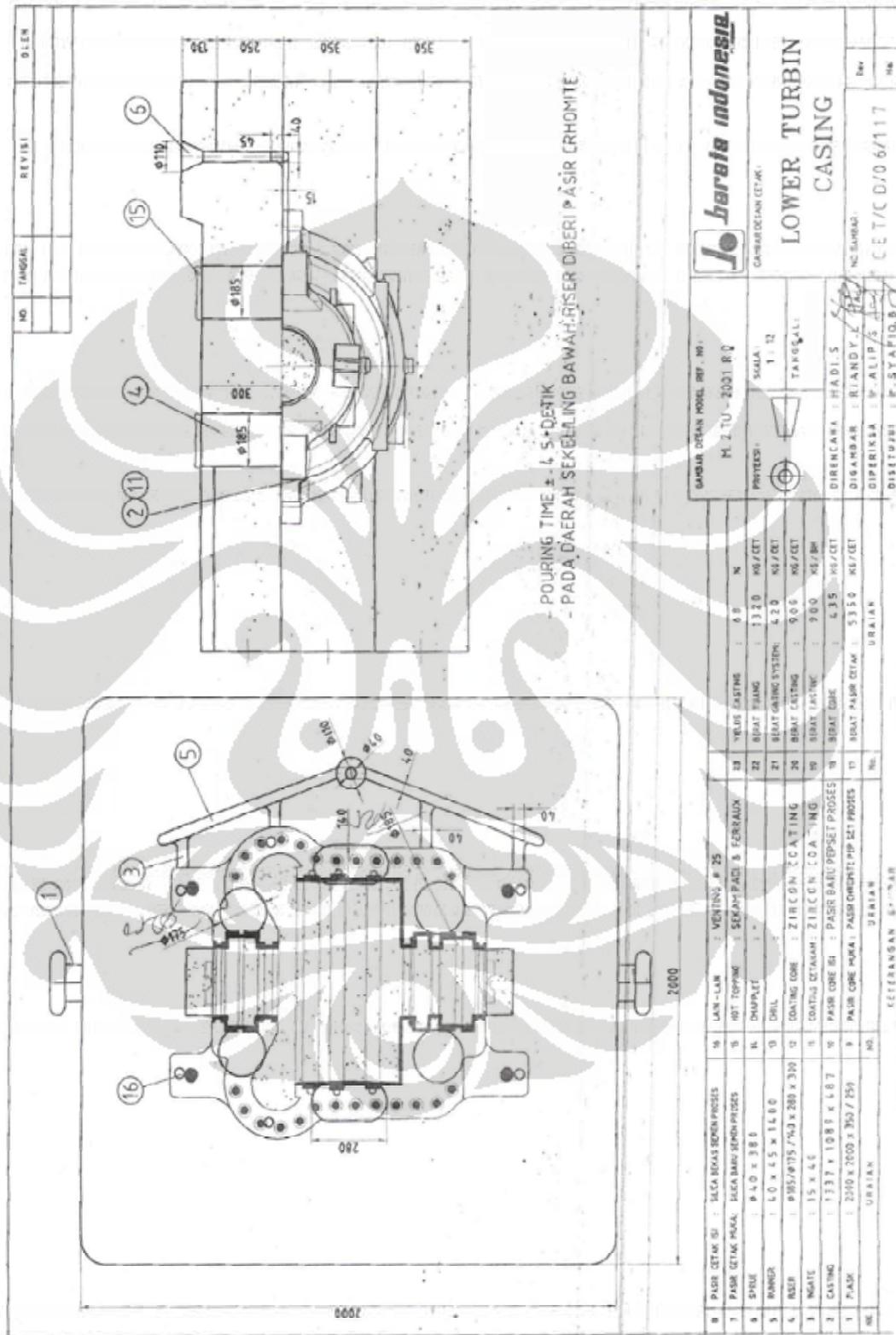
DIREKSI: *[Signature]*

REVISI: P. ALIP. S.

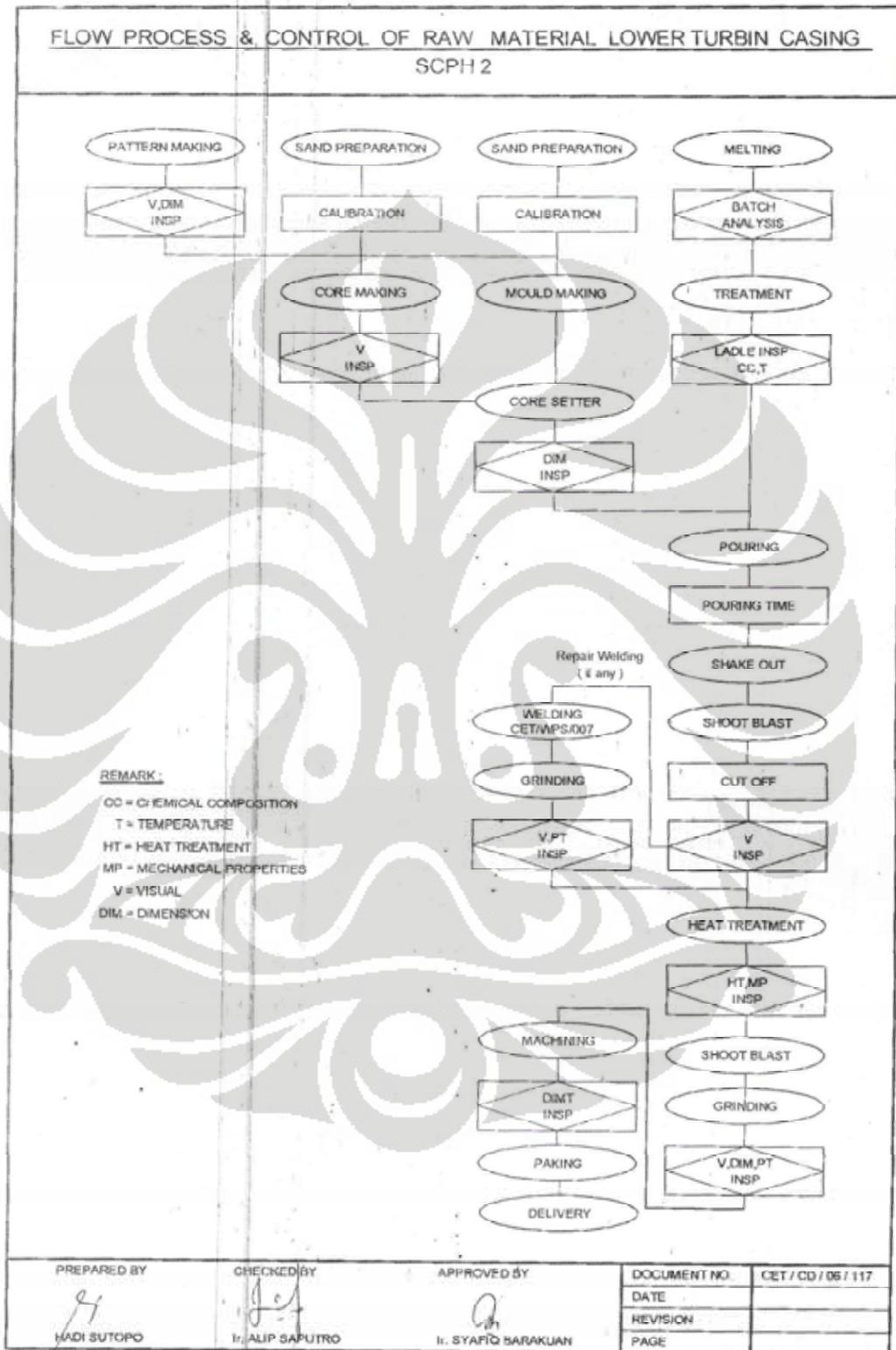
METODAH: *[Signature]*

REVISI: P. SYARID. B.

Lampiran 7 : SOP Lower Casing TUBP 2 MW ( Lanjutan )



Lampiran 7 : SOP Lower Casing TUBP 2 MW ( Lanjutan )



Lampiran 8 : Hasil Pengujian Material Upper Casing TUBP 2 MW

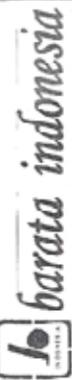
HEAT NO.		SERIAL NO.	CHEMICAL COMPOSITION (%)										MECHANICAL TEST				REMARKS
			C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Cu	YIELD POINT 2 (kg/mm <sup>2</sup> )	TENSILE STRENGTH (kg/mm <sup>2</sup> )	ELONG (mm)	REDUCT (%)	CHARPY IMPACT (J)	POSITION	
			0.25 0.30	0.40 0.50	0.60 0.80	0.04 Max.	0.04 Max.				25 Min.	49 Min.	15 Min.	35 Min.			
5771		-01	0.25	0.40	0.73	0.02	0.02				43.07	65.14	25.6	51.00		OK	

NAME OF EQUIPMENT : UPPER CASTING JCB NO : FLG. 9.06.055 DWG NO. : 2.TU-2002 MATERIAL : SCPH2 DOC. NO. : 9.06.C55-01/ML/FM PAGE : 1/1	APPROVED BY  BLUSTOMEX QC MANAGER	PREPARED BY  SUWOTO INSPECTOR
--	---	---

Note : Heat treatment by Normalizing.  
Global

Lampiran 9 : Hasil Pengujian Material Lower Casing TUBP 2 MW



## PARTS TEST REPORT

DOC. NO : 9.06.055-01MLUFV  
PAGE : 1/1

NAME OF EQUIPMENT : LOWER CASTING  
JOB NO : PLG. 9.07.055

DWG NO. : 2 TU - 2001  
MATERIAL : SCPH2

PREPARED BY : 

HEAT NO.	SERIAL NO.	CHEMICAL COMPOSITION (%)										MECHANICAL TEST				REMARKS	
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Cu	YIELD POINT (kg/mm <sup>2</sup> )	TENSILE STRENGTH (kg/mm <sup>2</sup> )	ELONG. (%)	REDUCT. (%)	CHARPY IMPACT (J)			
	STANDARD	0.25 0.30	0.40 0.60	0.60 0.80	0.04 Max.	0.04 Max.						25 Min.	49 Min.	19 Min.	35 Min.	20 Min.	
2787	01	0.26	0.43	0.77	0.02	0.02					43.07	60.77	24.4	36		OK	

APPROVED BY : 

BUSTOMEK  
QC MANAGER

PREPARED BY : 

SUNOTC  
INSPECTOR

Notes : Heat treatment by Normalizing.  
Global

Lampiran 10 : Hasil UT Lower Casing TUBP 2 MW



**PT. TANLA TESCOR WELINDO**

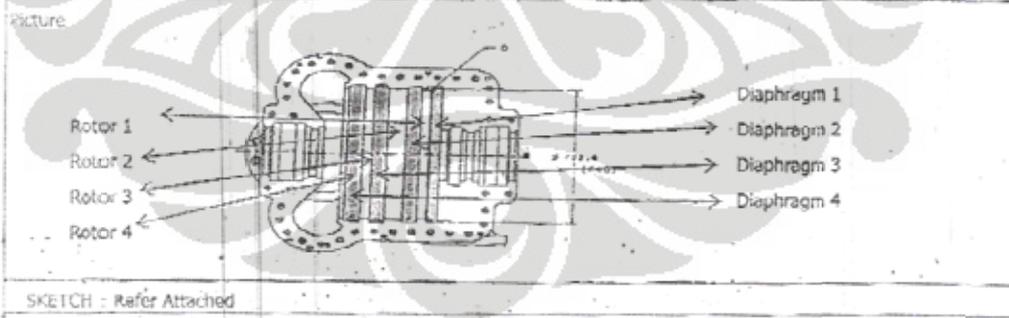
NDT Training, Man Power Supply, Technical Consultant  
Oil Field Inspection And Certification

Office : Jl. Taman Tropika Blok B2 No. 29, Sektor Tropikana  
Cikarang Baru 17550, Bekasi - Indonesia  
Workshop : Jl. Industri Selatan Blok EE No. iii, Cikarang Baru 17550  
Ph No. +62-21-89832846, Fax No. : 8934577 E-mail : sugian@indo.net.id

**ULTRASONIC TEST REPORT**

Project Name : Steam Turbine Casing	Report No. : 01/VII/NTP/2007
Client Name : PT. Nusantara Turbin Dan Propulsi-Bandung	Test Location : Cikarang-Bekasi
Type of Material : Carbon Steel (Casting)	Date & Time : 03 July 2007 & 13.30
Surface Condition : Smooth As Casting	Acceptance Criteria : ASTM A609 (Quality Level 2)
Test Temperature : Ambient	Reference Reflector : Carbon Steel - IIW V1, V2
Type of Couplant : Gel	Probe Type & Size : Integrated GB SMTC 5-5 MHz, S/N 65497
UT Procedure : ASTM A609	
Equipment & S/N : Krautkramer USK7S : & 31442-7256	

No.	Component Name	Size of Test Specimen			Reference Level at 80% FSH (dB)	Scanning Level (dB)	Range of Calibration	Discontinuity (mm)		Result
		T(mm)	W(mm)	L(mm)				L x W	Depth	
D1	Diaphragm 1	30	65	126	48	54	50 mm	960 x 65	2-6	Reject, Max Size 600 mm <sup>2</sup>
R1	Rotor 1	40	36	126	48	54	50 mm	1070 x 36	2-15	
D2	Diaphragm 2	30	65	126	48	54	50 mm	1160 x 65	2-6	
R2	Rotor 2	40	70	126	48	54	50 mm	1020 x 70	2-15	
D3	Diaphragm 3	30	65	126	48	54	50 mm	1020 x 65	2-6	
R3	Rotor 3	40	36	126	48	54	50 mm	1020 x 36	2-15	
D4	Diaphragm 4	30	65	126	48	54	50 mm	1020 x 65	2-6	
R4	Rotor 4	40	36	126	48	54	50 mm	-	-	



Inspected by  WIRYA WIJAYA	Reviewed By  SUGIANTO	Approved by
----------------------------------	-----------------------------	-------------

Lampiran 11 : SOP Upper Casing TUBP 4 MW



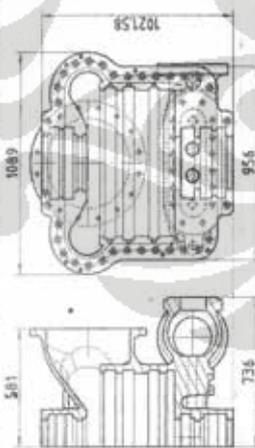
**PT RISAJINDO DIVISI PENCEKAMAN**

## UPPER TURBIN CASI.G

REVISI

TAMBAH	
--------	--

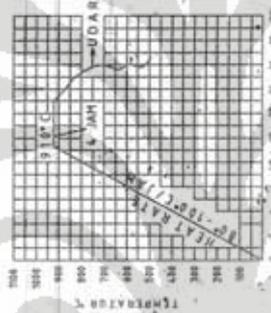
  



**HEAT TREATMENT**

CONTINUOUS	V
COOLING	V
HOLDING TEMP	910°C
HOLDING TIME	4 JAM
COOLING MEDIA	UDARA LUAR
TITIKAWAKTU AWYARA PROSESI DAN II	- JAM

HEAT TREATMENT: NORMALIZING



**SIFAT PERAKIS**

Sp	Tr	E	Pa	Hb
4.9	2.5	1.9	3.5	-
MIN	MIN	MIN	MIN	MIN

**MECH PROP VISUAL DIMENSI**

NA

**FLOW PROSES**

MODEL	MOULDING	SHAKE	SHOOT	HEAT TREAT	HEAT TREAT	MACH	ASSEMBLY	PAINTING	PACKING	DELIVERY
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

**MODEL**

SUMBUH DESAIN MODEL REF NO : R.2.TU-2842.89  
 PROSEDUR MERIA MODEL REF DOC NO : CET.F.01.01.R0  
 RETERANGAN : NA

**MELTING**

PROSEDUR MELTING REF DOC NO : CET.F.03.01.R0

TARGET KOMPOSISI: CET/STD/00TRI

C	Si	Mn	S	P	Fe	Ca	Mg	V	Na
0.250	0.008	0.040	0.04	-	-	-	-	-	-
0.33	0.010	0.050	0.05	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX

RETERANGAN: TEMP. TAPPING: 1580±10°C  
 TEMP. POURING: 1560-1560°C

**MOULDING**

SAND PREP. REF. DOC. NO : NA  
 CETAM. REF. DOC. NO : CET.F.02.05.R0  
 CORE REF. DOC. NO : CET.F.02.08.R0  
 SHAKE REF. REF. DOC. NO : CET.F.02.11.R0  
 CETAM. REF. DOC. NO : CET/STD/003.R0  
 CORE REF. DOC. NO : CET/STD/003.R0  
 RETERANGAN : NA

**FINISHING**

STD. PROCES. REF. DOC. NO : NA  
 SHOOT BLAST : TABLE  
 CUT OFF : BLANDER  
 PRODUKSI / EX RISER : GATE  
 GEMBA : DOME  
 TANJUK : EXPASTING LINE  
 RETERANGAN : NA

**COOLING DALAM CETAKAN = 8 JAM (500°C)**

**DESKRIPSI**

DESKRIPSI	DISERIKSI	DISETUJUI
H.A.D.I.S	V. AGUS.S	V. AGUS.S

REVISI

TAMBAH	
--------	--

HEAT TREATMENT

TEMPERATUR °C

WAKTU (JAM)

REVISI

TAMBAH	
--------	--

REVISI

TAMBAH	
--------	--

HEAT TREATMENT

TEMPERATUR °C

WAKTU (JAM)

REVISI

TAMBAH	
--------	--

REVISI

TAMBAH	
--------	--

HEAT TREATMENT

TEMPERATUR °C

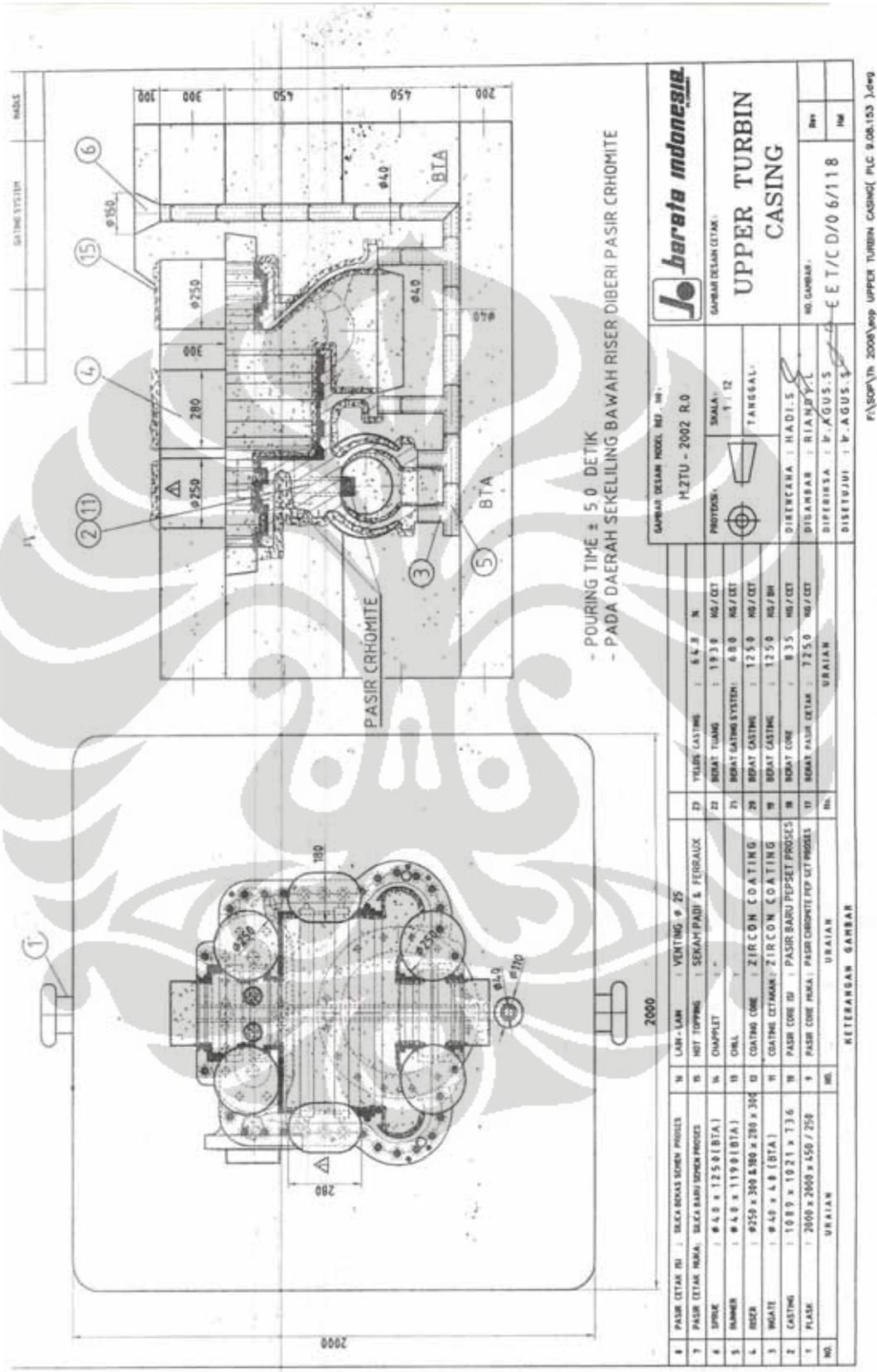
WAKTU (JAM)

REVISI

TAMBAH	
--------	--

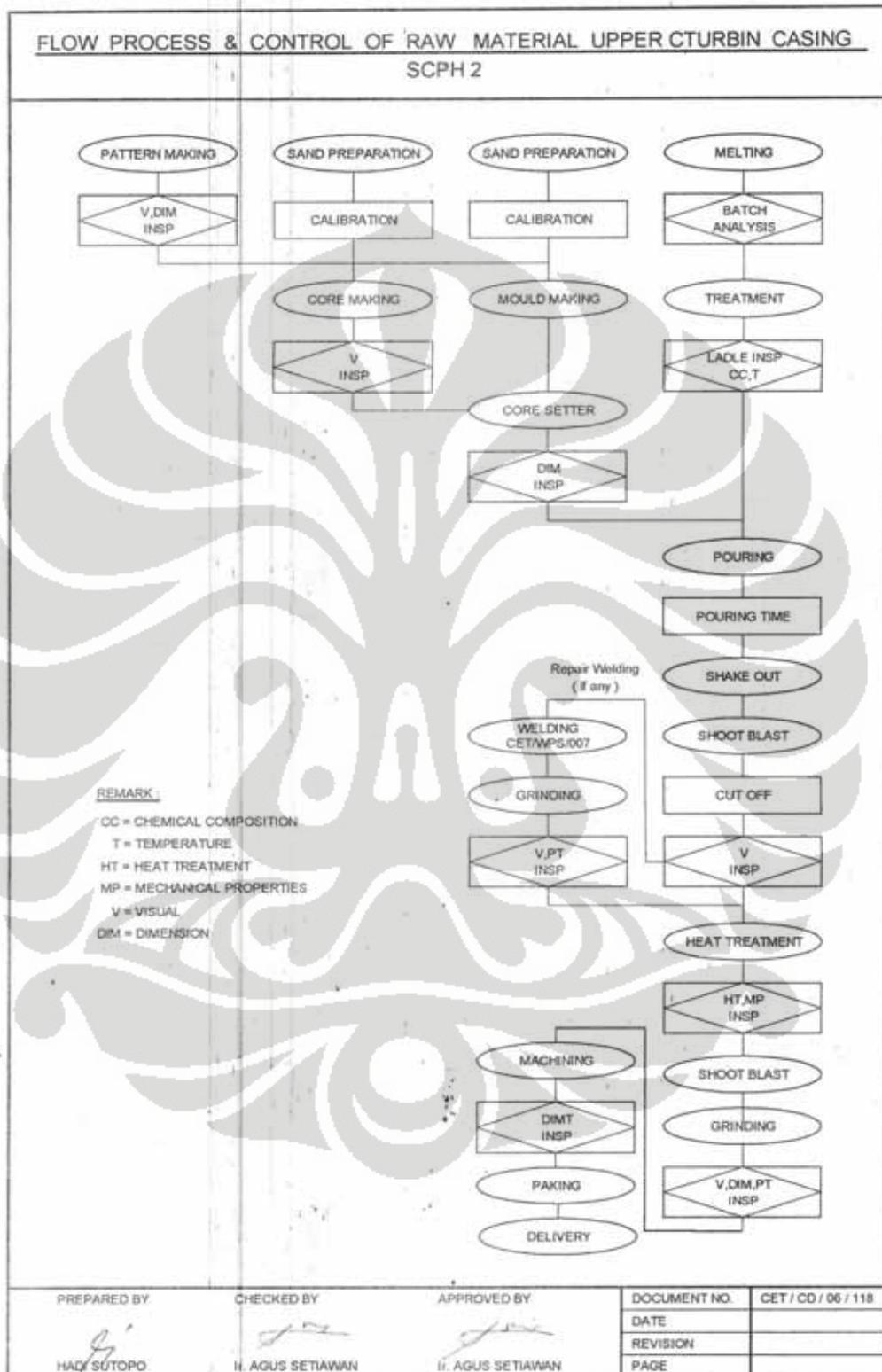
F:\1000\10\_2008\1001\1001\_upper\_turbine\_casing\PLC\_9.08.153.jpg

Lampiran 11 : SOP Upper Casing TUBP 4 MW ( Lanjutan )



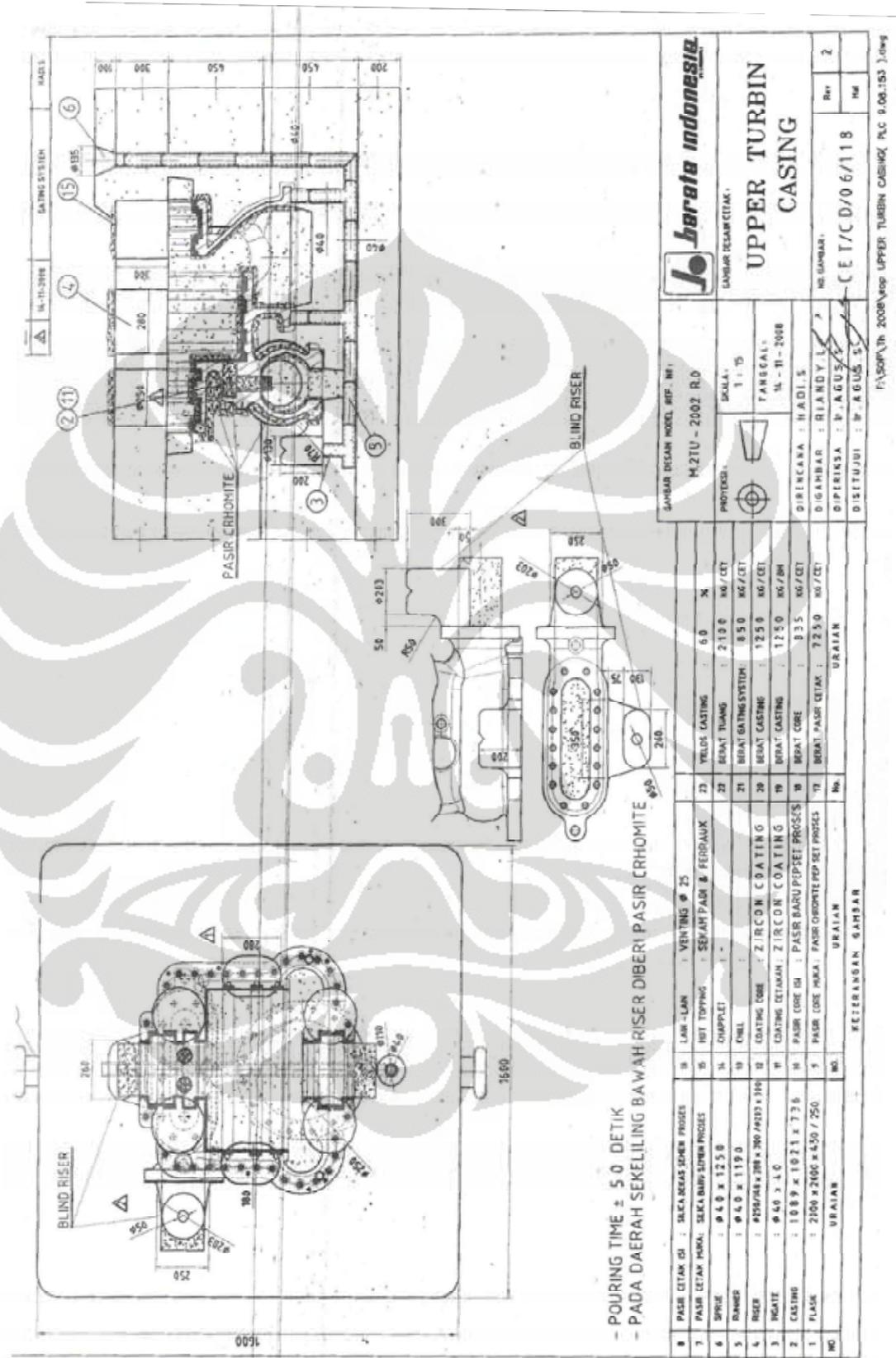
Universitas Indonesia

Lampiran 11 : SOP Upper Casing TUBP 4 MW ( Lanjutan )

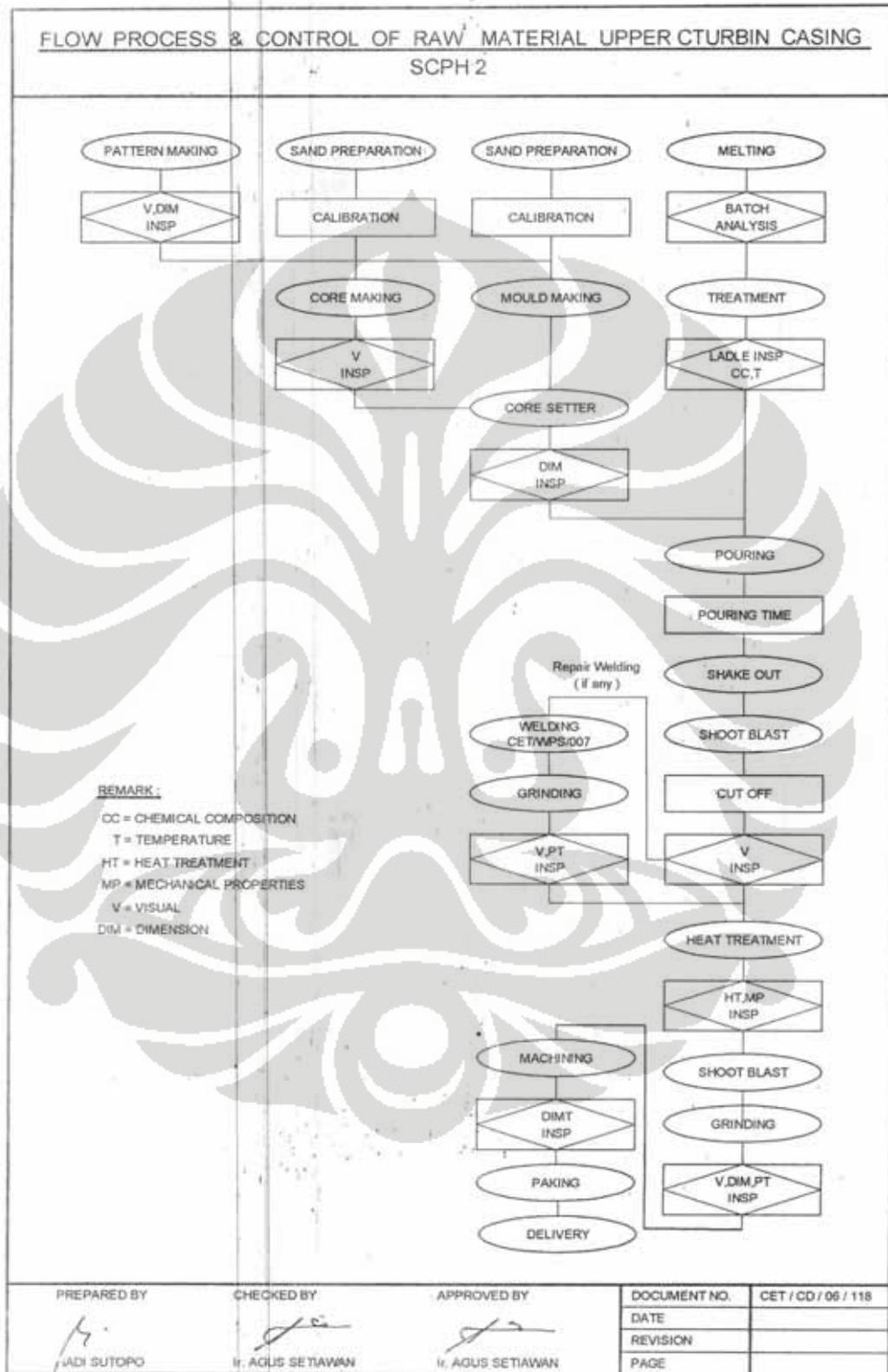




Lampiran 12 : SOP Upper Casing TUBP 4 MW Revisi 1 ( Lanjutan )

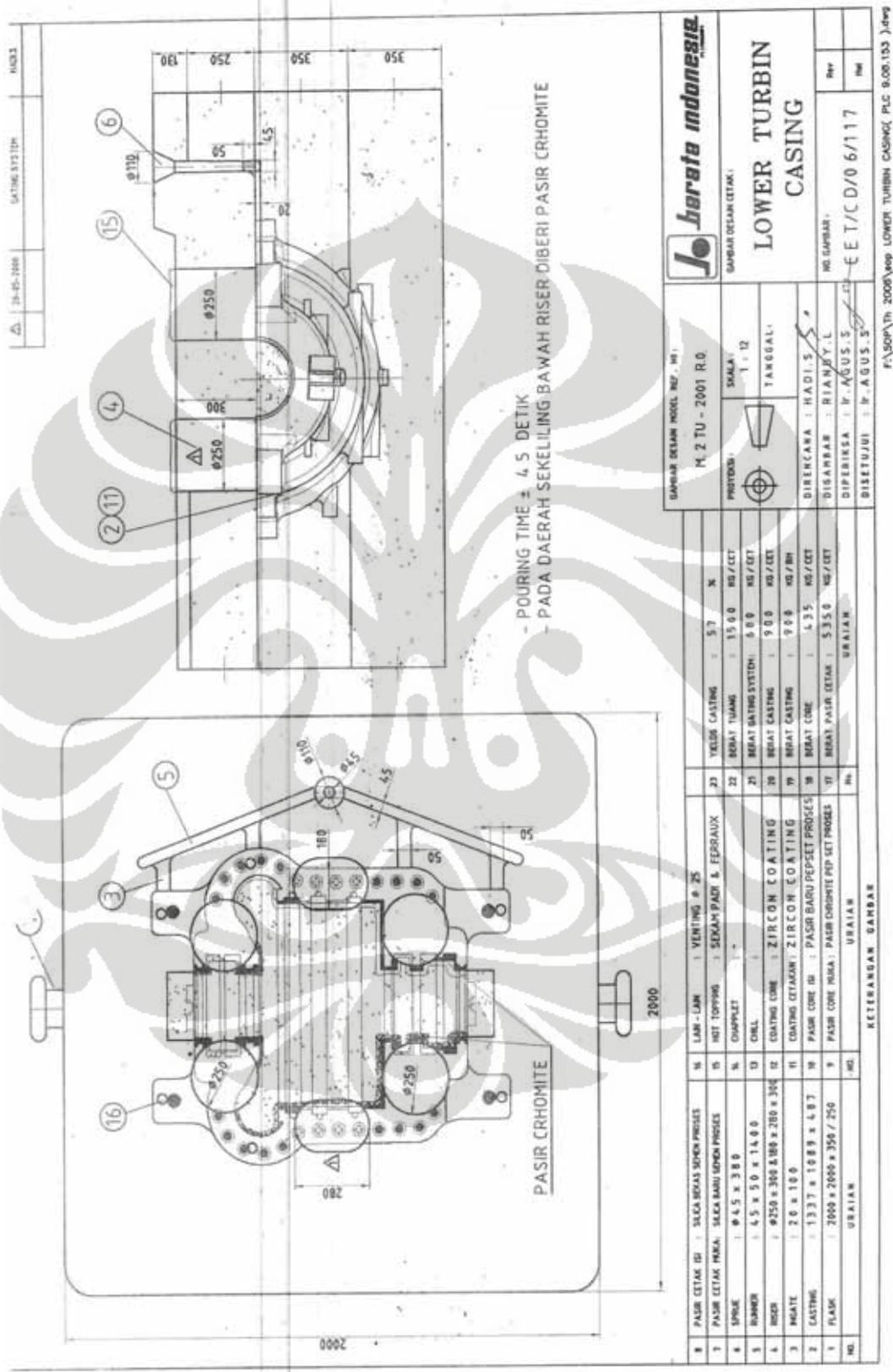


Lampiran 12 : SOP Upper Casing TUBP 4 MW Revisi 1 ( Lanjutan )

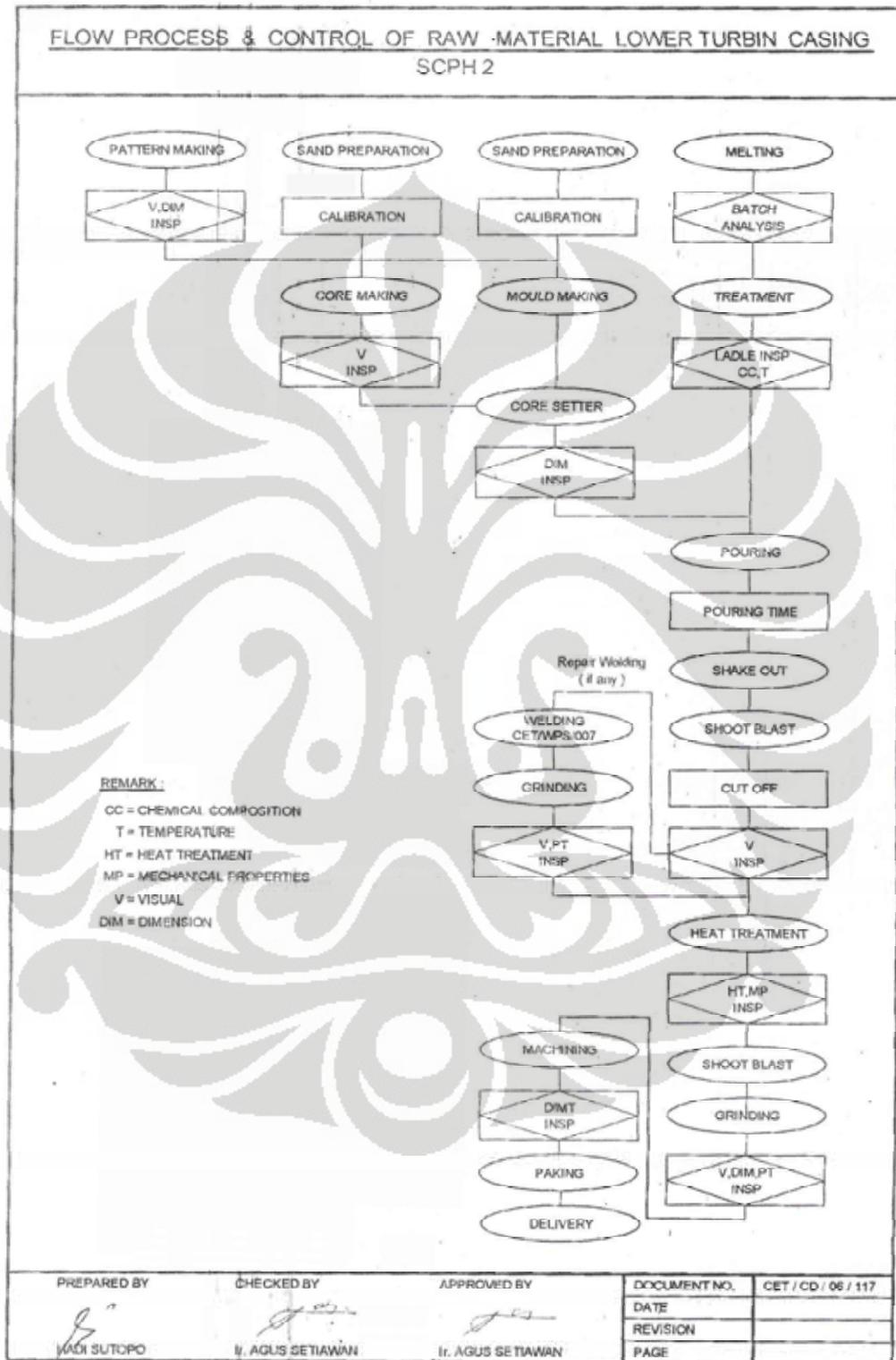




Lampiran 13 : SOP Lower Casing TUBP 4 MW ( Lanjutan )



Lampiran 13 : SOP Lower Casing TUBP 4 MW ( Lanjutan )



Lampiran 14 : Hasil Pengujian Material Upper Casing TUBP 4 MW

CUSTOMER / PEMESAN		: PT. NUSANTARA T. & P		NAME OF EQUIPMENT : UPPER CASING		PAGE HAL.		: 1 / 1												
ORDER NO.		: PLG.9.08.153		DRAWING NO.		: 2TU - 2002		DOC. NO.		: 908.153 - 01 / ML / FM										
NO. PEKERJAAN				NO. GAMBAR				NO. DOK.												
DATE / TANGGAL	HEAT NO / NO HEAT	SERIAL NO. / NO. SERI	CHEMICAL COMPOSITION (%)						MECHANICAL TEST / UJI MEKANIK				DISPOSITION / DISPOSISI	REMARKS / KETERANGAN						
			C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Ty			Ts	E	RA	BHN		
STANDARD MATERIAL			%	%	%	%	%	%	%	(Kg/mm <sup>2</sup> )	%	%	%	min	min	min	min	min		
			max	max	max	max	max	max												
0.30	0.60	1.00	0.04	0.04										48.98	19	35				
			max	max	max	max								min	min	min				
Juli. 07, 2008	5334	001	0.24	0.51	1.07	0.02	0.01							48.16	68.2	24	39.5		OK	

HEAT TREATMENT	<input type="checkbox"/>	WITNESSED BY / DISAKSIKAN OLEH	<input type="checkbox"/>	APPROVED BY / DISETUJUI OLEH	<input type="checkbox"/>	PREPARED BY / DISIAPKAN OLEH	<input type="checkbox"/>
HARDENING	<input type="checkbox"/>						
ANNEALING	<input type="checkbox"/>						
NORMALIZING	<input checked="" type="checkbox"/>						
TEMPERING	<input type="checkbox"/>						

	Ir. BUSTOMEK	SURVEYOR	Ir. BUSTOMEK	QC MANAGER	SURYO HADI	INSPECTOR
--	--------------	----------	--------------	------------	------------	-----------

Excilic/form insp. report

Lampiran 15 : Hasil Pengujian Material Upper Casing TUBP 4 MW



# INSPECTON REPORT LAPORAN PEMERIKSAAN

CUSTOMER / PEMESAN : PT. NUSANTARA T. & P. NAMA PRODUK : UPPER CASING		PAGE HAL. : 1 / 1																	
ORDER NO. / NO. PEKERJAAN : PRG 6.08.153		DOC. NO. / NO. DOK. : 608.153 - 01 / ML / FM																	
DRAWING NO. / NO GAMBAR : 2TU - 2002																			
DATE / TANGGAL	HEAT NO / NO HEAT	SERIAL NO. / NO. SERI	CHEMICAL COMPOSITION (%)										MECHANICAL TEST / UJI MEKANIK				DISPOSITION / DISPOSISI	REMARKS / KETERANGAN	
			C	Si	Mn	P	S	Cr	Mg	Ni	Cu	Ty	Ts	E	RA	BHN			
			max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	min	min	min	min	min		
Nov. 27, 2008	6509	001	0.29	0.31	0.82	0.02	0.01	-	-	-	-	-	44.98	67.47	24	37.6	OK		
HEAT TREATMENT																			
HARDENING																			
ANNEALING																			
NORMALIZING																			
TEMPERING																			
			WITNESSED BY / DISAKSIKAN OLEH										APPROVED BY / DISETUJUI OLEH				PREPARED BY / DISIAPKAN OLEH		
													Ir. BUSTOMEK QC/MANAGER				SURYO HADI INSPECTOR		



## Lampiran 17 : Hasil UT Upper Casing TUBP 4 MW



## PT. TANLA TESCOR WELINDO

Engineering & Construction, Maintenance,  
Corrosion - NDT - Welding, Training, Man Power Supply,  
Technical - Quality System Consultant, Oil Field Inspection And Certification,  
Under Water Survey and Inspection

Office : Jl. Taman Tropika Blok B2 No. 29, Sektor Tropikana  
Cikarang Baru 17550, Bekasi - Indonesia  
Ph No. : 62-21-8983 2846, Fax No. 893 4577  
Email : suglan@indo.net.id Website : www.tanlaonline.com

NPWP : 02.198.085.2-414.000

### ULTRASONIC TEST REPORT

Project Name : Steam Turbine Casing			Report No. : 01/X/NTP/2008							
Client Name : PT. Nusantara Turbin Dan Propulsi-Bandung			Test Location : Bandung							
Type of Material : Carbon Steel (Casting)			Date & Time : 28 October 2008 & 10,30							
Surface Condition : Smooth As Casting			Acceptance Criteria : ASTM A609 (Quality Level 2)							
Test Temperature : Ambient			Reference Reflector : Carbon Steel - IJW V1, V2							
Type of Couplant : Gel			Probe Type & Size : GB SCHF 10-2 MHz, 815-Dia. 24							
UT Procedure : ASTM A609			Cable Type & Length : Lemo 1-Lemo 50, Lemo 1-Lemo 1, 1.8 Mtr							
Equipment & S/N : Kraukramer USK75 & 31442-7256										
No.	Component Name	Size of Test Specimen			Reference Level at 80% FSH (dB)	Scanning Level (dB)	Range of Calibration	Discontinuity (mm)		Result
		T(mm)	W(mm)	L(mm)				L x W	Depth	
D1	Inlet Casing	-	534	307	42	48	100 mm	58 x 50	35	Reject, Max Size 600 mm <sup>2</sup>
D2	Inlet Casing	-	534	307	42	48	100 mm	60 x 50	40	
D3	Inlet Casing	-	534	307	42	48	100 mm	60 x 50	26	
D4	Inlet Casing	-	534	307	42	48	100 mm	450 x 65	25	
D5	Inlet Casing	-	534	307	42	48	100 mm	108 x 65	25	
D6	Inlet Casing	-	534	307	42	48	100 mm	20 x 30	50	
D7	Outlet Casing	-	-	-	24	30	50 mm	60 x 50	20	
D8	Outlet Casing	-	-	-	24	30	50 mm	35 x 50	20	
Picture										
SKETCH :										
Inspected by <b>SUGIANTO</b> ASNT NDT Level III ET ME-PT RT UT VT 0201191103327			Reviewed By			Approved by				

Universitas Indonesia

Lampiran 18 : Hasil UT Upper Casing TUBP 4 MW Revisi 1

**PT. YUDHA SATRIA**  
 • Technical Testing and Inspection • Marine Inspection and Survey • Engineering Inspection and Consultancy

### ULTRASONIC EXAMINATION REPORT

Principal	PT BARATA INDONESIA GRESIK		Report No.	02/UT/YUSA-/08	
Name of Equipment	STEAM TURBIN CASING		Date	27-Jan-09	
User	PT. NUSANTARA TURBIN DAN PROPULSI		Serial No.		
Drawing No.			Location	Bandung	
			Acc. Criteria	ASTM A 609	

Part of Weld Identification	Thickness (mm)	Examination			Interpretation				Evaluation		Remarks	
		Angle °	Gain dB	Flaw dB	Amplitude % DAC	Sound path mm	Length mm	Depth mm	Type of Indication	Accepted		Rejected
INLET CASING LOC C		0°	52	6	58	Meet the requirement				Acc	-	
OUTLET CASING LOC A		0°	52	6	58	Meet the requirement				Acc	-	
OUTLET CASING LOC B												
Indication 2		0°	52	6	58	100	18	35	18	P	-	Rej
						80	42	35	42	P	-	Rej

Sketch

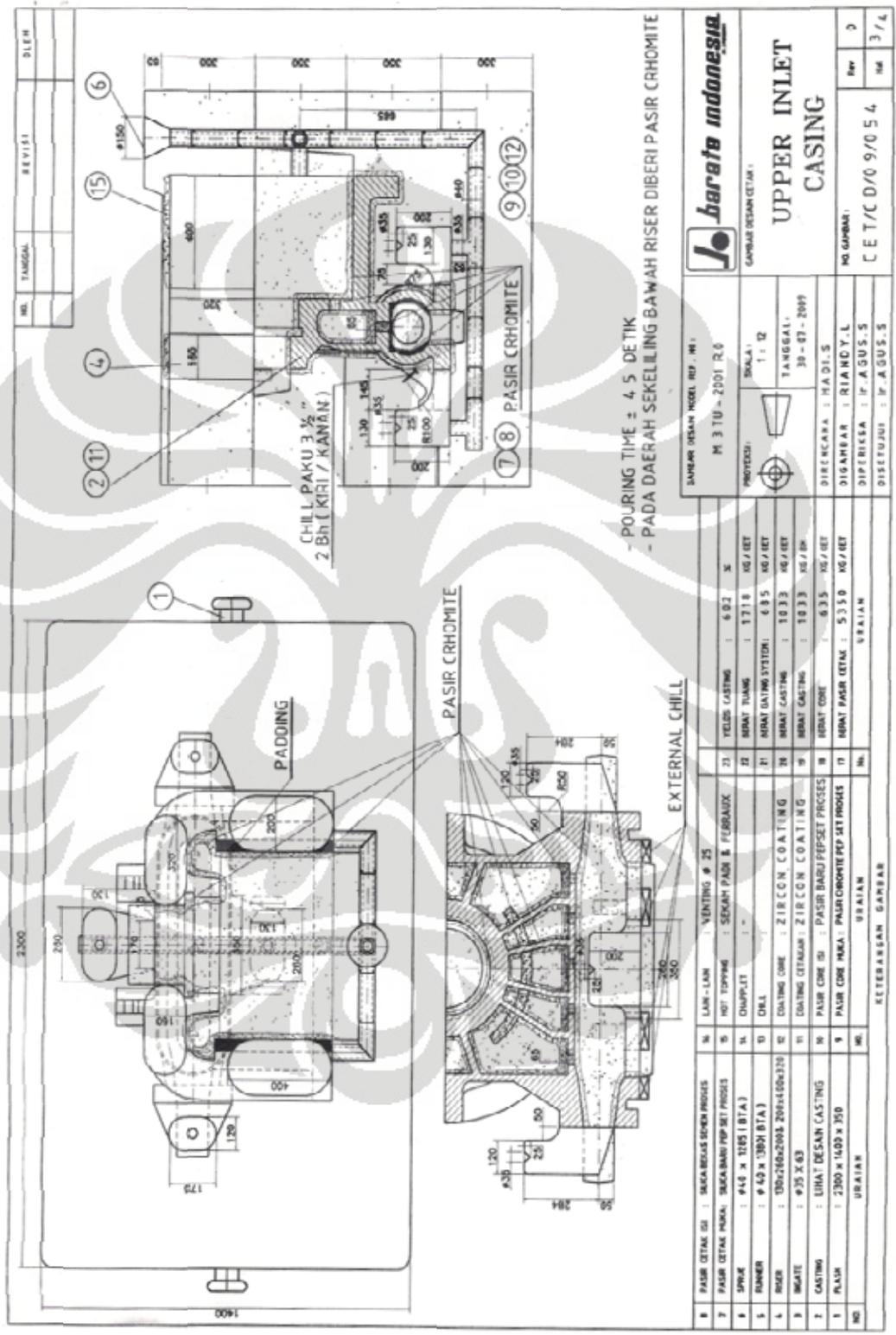
Legend: S = Spherical, CY = Cylindrical

Equipment	UT FSTER V8	Test Range	100 mm	Material	Casting
Welding Design		Welding Process			
Welding Process		Control Testing			

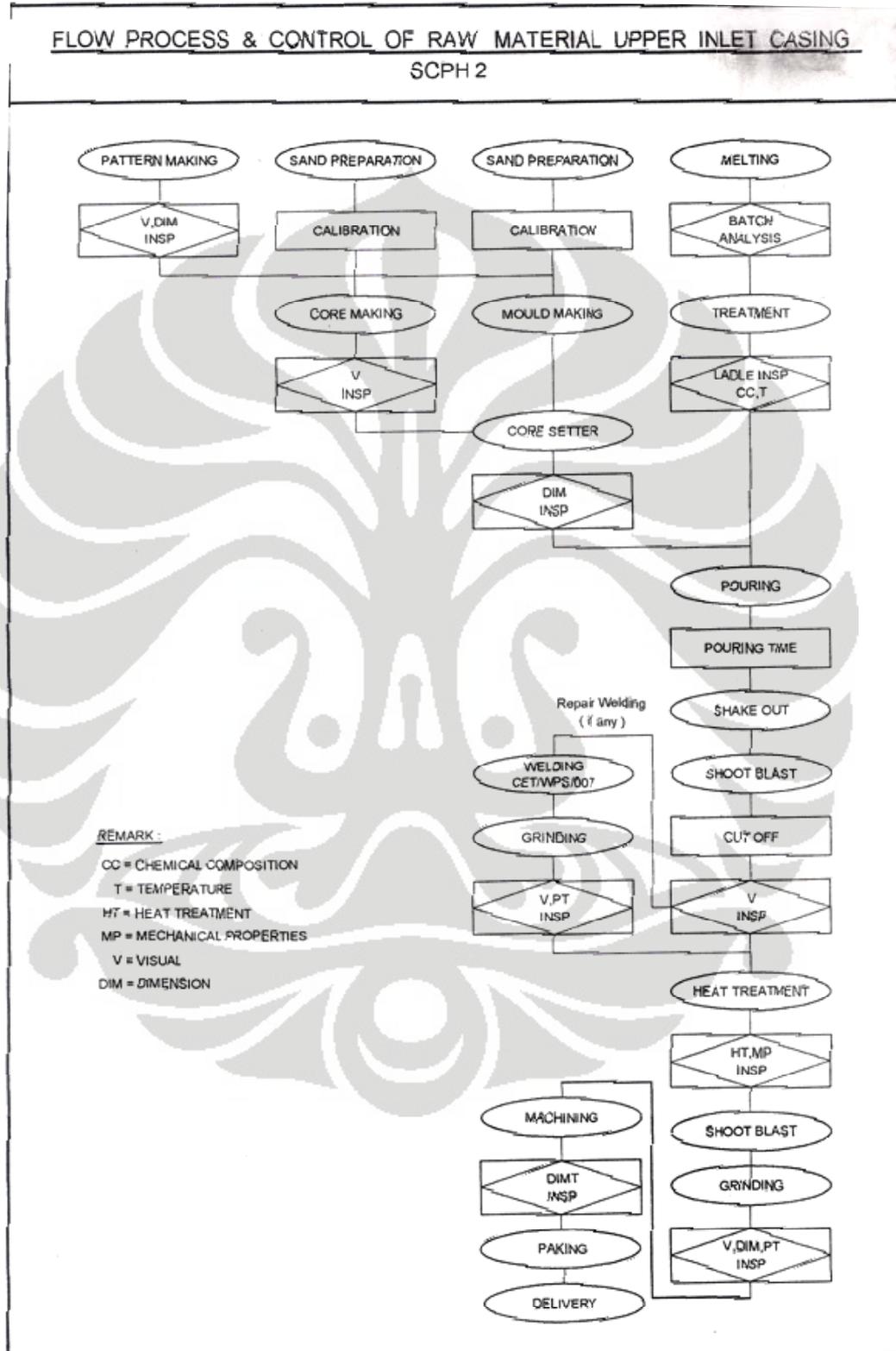
Witnessed by: \_\_\_\_\_ Examined by: **BUDI SETIAWAN**



Lampiran 19 : SOP Upper Inlet Casing TUDC 3,5 MW ( Lanjutan )



Lampiran 19 : SOP Upper Inlet Casing TUDC 3,5 MW ( Lanjutan )



Lampiran 20 : SOP Lower Inlet Casing TUDC 3,5 MW



**LEMBAR DESAIN CASTING**  
**( LOWER INLET CASING )**

NO. DOK : CET / C D / 0 9 / 0 5 5 HALAMAN : 2 / 4

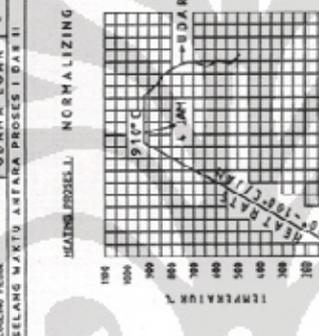
REVISI : 0

TANGGAL : 31-05-05

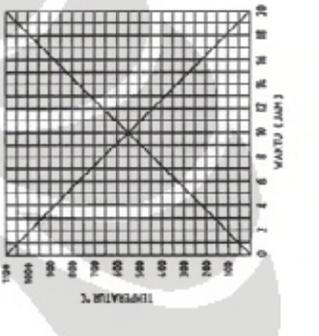
**HEAT TREATMENT**

FINISH	CONTINUOUS
POUR	V
HOLDING TEMP	910°C
HOLDING TIME	4 JAM
COOLING MEDIA	UDARA LUAR
SELANG WAKTU ANTARA PROSES (DARI II)	- JAM

**HEATING (ISCELL) NORMALIZING**



**HEATING (ISCELL) NORMALIZING**



DISAPKAN :  HADI : S

OPRENSA :  I. AGUS : S

DEKURUM :  I. AGUS : S

**SPEKIFIKASI TEKNIK**

BAHAN	Sp	Ty	E	SA	HB	CUSTOMER REQUIREMENT	KETERANGAN
SCPH 2	6.9	25	19	35	-	-MECH. PRDP -VISUAL -DIMENSI	N.A

**FLOW PROSES**



**MODEL**

GAMBAR DESAIN MODEL, REF. NO : P. 3. 10 - 0142 R. 3  
 PROSEDUR KERJA MODEL, REF. DOK NO : CET. F. 01. 01. 01 R. 3

**MELTING**

PROSEDUR MELTING, REF. DOK. NO : CET. F. 03. 03. 03 R. 0

TARGET KOMPOSISI : CET / STD / 01 R. 1
C Si Mn P S O Ni Cu W V Sn
0.2504 0.06 0.6 0.004
0.3 0.06 0.08 0.002 MAX

KETERANGAN : TEMP. TAPPING : 1590 ± 10 °C  
 TEMP. POURING : 1540° - 1560° C

**FINISHING**

STD PROSES, REF. DOK. NO : N.A

SHOOT BLAST : TABLE

CUT OFF : B.L.A.D.E.R

GRINDA : EX RESE, GATE

DURUK : -

TANGAN : EX PARTING LINE

KETERANGAN : N.A

**COOLING DALAM CETAKAN = 8 JAM (580° C)**

**HOULDING**

SAND PROS. REF. DOK. NO : -

CETAK REF. DOK. NO : CET. F. 02. 05 R. 0

CORE REF. DOK. NO : CET. F. 02. 08 R. 0

SHAKE DIT REF. DOK. NO : CET. F. 02. 11 R. 0

CETAK REF. DOK. NO : CET / STD / 003 R. 0

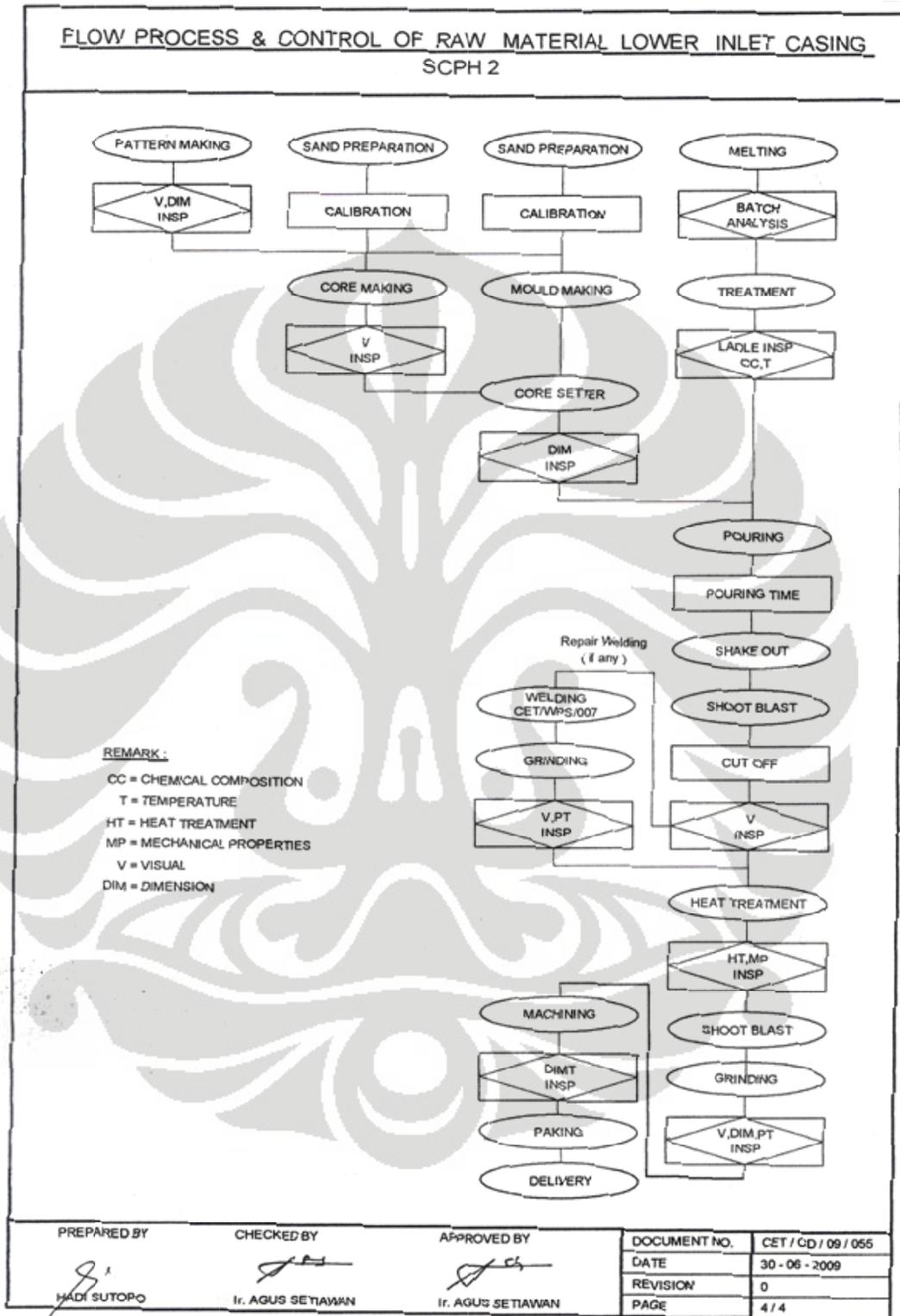
CORE REF. DOK. NO : CET / STD / 003 R. 0

KETERANGAN : -

P:\SOP\1911 2009\1911 Komp. Casing ( P.L.C 9.06.1.07 ) .dwg



Lampiran 20 : SOP Lower Inlet Casing TUDC 3,5 MW ( Lanjutan )







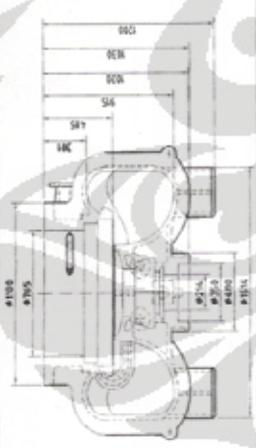
Lampiran 22 : SOP Lower Exhaust Casing TUDC 3,5 MW



### LEMBAR DESAIN CASTING ( LOWER EXHAUST CASL.G )

HAL. NO. : 2 / 4  
 NO. DOK. : (ET/C D/0 9/0 5 6)  
 REVISI : 0  
 TANGGAL : 30-06-15



SIFAT MEKANIKA				KETERANGAN			
BAHAN	Ts	Tp	Pa	NO	OUTSOUR REQUIREMENT	REMARK	
SOPH 2	L9	25	19	25	-	MECH. PRCP	N.A
				- VISUAL			
				- DIMENSI			

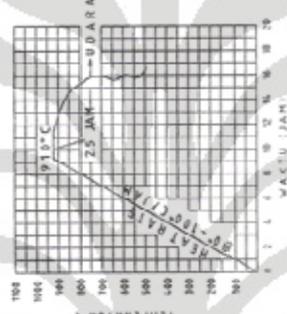
SPEKIFIKASI TEKNIK				KETERANGAN			
MODEL	US	SYNTO	MELTING	SHAKE	SHOOT	HEAT	HEAT

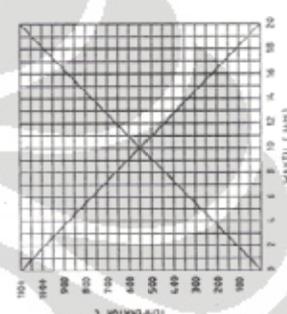
MOLDING		FINISHING	
SAND PRIP. REF. DOC. NO	: (ET/ F-02-05 B.A)	STO PROSES. REF. DOC. NO	: N.A
CETAK. REF. DOC. NO	: (ET/ F-02-05 B.A)	SHOOT BLAST TABLE	
COBE REF. DOC. NO	: (ET/ F-02-05 B.A)	CUT OFF	
SHAKE OUT REF. DOC. NO	: (ET/ F-02-11 B.A)	FINISHING	BLANDER
CETAK REF. DOC. NO	: (ET/ STD/003 B.A)	GIRIHAN	EX RISER, GATE
COBE REF. DOC. NO	: (ET/ STD/003 B.A)	DOCUK	
		TANGAN	EX PARTING LINE

HEATING PROCESS NORMALIZING



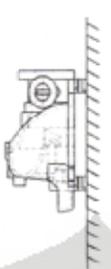
HEATING PROCESS H.A



HEAT TREATMENT	
FURNACE	CONTINUOUS
HOLDING TEMP	910°C
HOLDING TIME	25 JAM
COOLING MEDIA	UDARA LUAR
SELANG WAKTU ANTARA PROSES I DAN II	- JAM

SIKSA PONDOPATAN BURANG



RETSANGIN-NA

PROSEDUR KEBJA. MODUL. REF. DOC. NO : (ET/ F-01 B.A)

PROSEDUR KEBJA. MODUL. REF. DOC. NO : (ET/ F-01 B.A)

PROSEDUR MELTING. REF. DOC. NO : (ET/ F-03 C.T.R.O)

TARGET KOMPOSISI : (ET/ STD/001 R1)

C	Si	Mn	P	S	Co	Ni	Mo	Cr	Nb	V	Sn
02.54	0.00	0.04	0.01	0.01	-	-	-	-	-	-	-
03.00	0.00	0.04	0.01	0.01	-	-	-	-	-	-	-

KETERANGAN : TITIK LEBUR : 1500°C  
 TEMP. TAPPING : 1610° - 1620°C  
 TEMP. POURING : 1560° - 1580°C

F:\SOP\Th 2008\pmp Komp. Casting ( PLS P.05.107 ).indd



Lampiran 23 : Hasil Pengujian Material Upper Inlet Casing TUDC 3,5 MW

DATE TANGGAL		HEAT NO NO HEAT	SERIAL NO NO SERI	CHEMICAL COMPOSITION (%)										MECHANICAL TEST				HARDNESS	REPOSITION	REMARKS KETERANGAN			
STANDARD MATERIAL		SCPH2		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Ty	Ts	E	RA	BHN						
				%	%	%	%	%	%	%	%	%	(kg/mm <sup>2</sup> )	(kg/mm <sup>2</sup> )	%	%							
Oct.31, 2009	6817	001		0.27	0.53	0.67	0.02	0.01	-	-	-	-	40.88	25	48.96	19	35		OK				
				max	max	max	max	max					min	min	min	min	min						
HEAT TREATMENT		HARDENING		ANNEALING		NORMALIZING		TEMPERING												APPROVED BY DISETUJUI OLEH Ir. BUSTORIK QC. MANAGER		PREPARED BY DISIAPKAN OLEH SUGANTO INSPECTOR	

Exci:C/forz Inup. report

Lampiran 24 : Hasil Pengujian Material Lower Inlet Casing TUDC 3,5 MW

 <b>INSPECTOR REPORT</b> <b>LAPORAN PEMERIKSAAN</b>																			
CUSTOMER / PEMESAN		: PT. NUSANTARA T. & P.			NAME OF EQUIPMENT : LOWER INLET CASING			PAGE HAL.		: 1 / 1									
ORDER NO. / NO. PEKERJAAN		: PLG.9.06.167			DRAWING NO. / NO GAMBAR			: 3TU - 2002		DCC. NO. / NO. DOK.					: 906.167 - 03 / ML / FM				
DATE / TANGGAL	HEAT NO / NO HEAT	SERIAL NO. / NO. SERI	CHEMICAL COMPOSITION (%)											MECHANICAL TEST / UJI MEKANIK				REMARKS / KETERANGAN	
			KOMPOSISI KIMIA											UJI MEKANIK					
STANDARD MATERIAL / SPFH2			C	Si	Mn	P	S	Cr	Mg	Ni	Cu	Ty	Ts	E	RA	HARDNESS / DEBILITAS			
			%	%	%	%	%	%	%	%	(kg/mm <sup>2</sup> )	(kg/mm <sup>2</sup> )	%	%	HR	HR			
			max	max	max	max	max	max	max	max	min	min	min	min	min	min	min		
Oct.27, 2009	6810	001	0.27	0.41	0.78	0.01	0.005	-	-	-	-	44.79	69.57	19.7	42.4			OK	
HEAT TREATMENT															APPROVED BY / DISETUJUI OLEH		PREPARED BY / DISIAPKAN OLEH		
<input type="checkbox"/> HARDENING <input type="checkbox"/> ANNEALING <input checked="" type="checkbox"/> NORMALIZING <input type="checkbox"/> TEMPERING															Y. BUSTONIEK QC/MANAGER		SUGANTO INSPECTOR		

Excel/FORM JISep\_report

Lampiran 25 : Hasil Pengujian Material Upper Exhaust Casing TUDC 3,5 MW

DATE TANGGAL		HEAT NO NO HEAT	SERIAL NO. NO. SERI	CHEMICAL COMPOSITION (%)										MECHANICAL TEST (UJI MEKANIK)				HARDNESS	DISPOSITION	REMARKS KETERANGAN			
STANDARD MATERIAL		SCPH2		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Ty (Kgf/mm <sup>2</sup> )	Ts (Kgf/mm <sup>2</sup> )	E	RA	BHN						
Nov. 13, 2009	6838	001	0.241	0.571	0.877	0.023	0.013	-	-	-	-	-	43.44	66.34	24	36.6	OK						
HEAT TREATMENT		HARDENING		ANNEALING		NORMALIZING		TEMPERING												APPROVED BY DISETUJUI OLEH		PREPARED BY DISIAPKAN OLEH	
																				I. BUSTONIEK QC/MANAGER		SUGANTO INSPECTOR	

Excel/c/foem\_inspv\_report

Lampiran 26 : Hasil Pengujian Material Lower Exhaust Casing TUDC 3,5 MW

<b>INSPECTION REPORT</b> <b>LAPORAN PEMERIKSAAN</b>																		
<b>CUSTOMER</b> PEMESAN : PT. NUSANTARA T. & P		<b>NAME OF EQUIPMENT</b> NAMA PRODUK : LOWER EXHAUST CASING			<b>PAGE</b> HAL : 1 / 1													
<b>ORDER NO</b> NO. PEKERJAAN : PLG.9.09.167		<b>DRAWING NO.</b> NO GAMBAR : 3TU - 2002			<b>DOC. NO.</b> NO. DOK : 909.167 - 04 / ML / FM													
DATE TANGGAL	HEAT NO NO HEAT	SERIAL NO. NO SERI	CHEMICAL COMPOSITION (%) KOMPOSISI KIMIA										MECHANICAL TEST UJI MEKANIK		HARDNESS DEPOSITON DEPUSI	REMARKS KETERANGAN		
			C	Si	Mn	P	S	Cr	Mg	Ni	Cu	Tv	Ts	E			RA	
			%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	(Kgr/mm <sup>2</sup> )	%	%			
			max	max	max	max	max	max	max	max	max	max	min	min	min			
Nov.30, 2009	6868	001	0.296	0.509	0.702	0.034	0.017	-	-	-	-	-	42.94	66.52	26	39.1	OK	
<b>HEAT TREATMENT</b> HARDENING <input type="checkbox"/> ANNEALING <input type="checkbox"/> NORMALIZING <input checked="" type="checkbox"/> TEMPERING <input type="checkbox"/>			<b>WITNESSED BY</b> DISAKSIKAN OLEH :			<b>APPROVED BY</b> DISETUJUI OLEH : Ir. BURSTOMEK QC. MANAGER			<b>PREPARED BY</b> DISIAPKAN OLEH : SUGANTO INSPECTOR									

Excl:c/foam Insp. report

## Lampiran 27 : Hasil Pengujian Kekerasan Casing TUDC 3,5 MW



FAKULTAS TEKNIK – UNIVERSITAS INDONESIA  
**LABORATORIUM UJI**  
**DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI & MATERIAL**  
KAMPUS BARU UI - DEPOK 16424 - INDONESIA  
 Telp: 021 – 7863510, 78849045 Fax : 021 – 7872350 E-mail : lum@metal.ui.ac.id

**LAPORAN HASIL KONVERSI KEKERASAN**  
**CONVERSION HARDNESS TEST REPORT**

Laboratory test No. : 0430/PT.02/FT04/P/2011  
 Date of test : 19 April 2011  
 Customer : Khamda Herbandono

**Test Result**

The conversion hardness value of tested sample is as follows :

Kode Sampel <i>Sample Code</i>	Rata-rata Kekerasan Rockwell B <i>Average Rockwell B Hardness</i>	Konversi Kekerasan* <i>Hardness Conversion</i>	Keterangan <i>Remarks</i>
Lower ex Casing	86	162 HB	HRB to HB
Lower Inlite Casing	88	168 HB	
Upper Inlite Casing	85	157 HB	
Upper Ex Casing	88	167 HB	

Note:  
 \*the values were directly converted by the instrument (Rockwell Hardness Testing Machine)

Depok, 25 April 2011  
 Manajer Teknis  
 Laboratorium Uji  
 Departemen Teknik Metalurgi Dan Material

(Ahmad Ivan Karayan, ST.,M.Eng)

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sample yang diuji di Laboratorium Uji-DTMM; publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian dari padanya harus dengan izin dari Laboratorium Uji-DTMM

Lampiran 28 : Hasil UT Inlet Casing TUDC 3,5 MW

Nov 09 20:29 Sugianto 021 8934577 p.1

**PT. TANLA TESCOR WELINDO**  
 NDT Training, Man Power Supply, Technical Consultant  
 Oil Field Inspection And Certification

Office : Jl. Jamban Trosika Blok B2 No. 29 Sektor Tropikana  
 Cikarang Baru 17550, Bekasi - Indonesia  
 Workshop : Jl. Industri Selatan Blok EE No. 10 Cikarang Baru 17550  
 PH No. : 021-8934577 Fax No. : 021-8934577 E-mail : sugian@indo.net.id

UP : Bpk Syarif  
 031-3990666

### ULTRASONIC TEST REPORT (Inclusion Check)

Project Name	: Steam Turbine Casing 3 MW	Report No.	: 01 / XI / NTP / 2009
Client Name	: PT. Nusantara Turbin Dan Propulsi-Dandung	Test Location	: Workshop PT. Barata-Surabaya
Type of Material	: Carbon Steel (Casting)	Date & Time	: 10 Nov 2009 & 11:00
Surface Condition	: Smooth After Grinding	Acceptance Criteria	: ASTM A609 (Quality Level 2)
Test Temperature	: Ambient	Reference Reflector	: Carbon Steel - IIW V1, V2
Type of Couplant	: Grease	Probe Type & Size	: Integrated GB SCHF 5 MHz, S/N 695497
UT Procedure	: ASTM A609		
Equipment & S/N	Kraukramer USK75 : 42953		

NO.	Component Name	Size of Test Specimen T(mm)	Reference Level at 90% FSH (dB)	Scanning Level (dB)	Range of Calibration	Discontinuity (mm)		Result
						L x W	Depth	
01	Lower Inlet	24	48	54	50	15 x 20	8-19	ACC
02	Upper Inlet	35	58	64	50	15 x 15	15-18	ACC

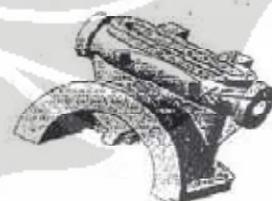
Notes: Rejection Maximum over 500 mm<sup>3</sup>

Picture



Defect 1  
L: 15 x W: 20 mm  
Depth: 8-19 mm

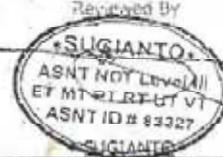
Lower Inlet



Defect 2  
L: 15 x W: 15 mm  
Depth: 15-18 mm

Upper Inlet

SKETCH: Refer Attached

Inspected by  WIRYA WIJAYA	Reviewed By  SUGIANTO	Approved by
---	--	-------------

## Lampiran 29 : Hasil UT Upper Exhaust Casing TUDC 3,5 MW


**PT. TANLA TESCOR WELINDO**

 Ultrasonic Welding Supply, Technical Consultant  
 ISO 9001:2008 Registered and Certified

 Office : Jl. Taman Tropika Blok B, No. 29, Sektor Tropikana  
 Cikarang Baru 17550, Bekasi - Indonesia  
 Workshop : Industri Selatan Blok EE, Rte. III, Cikarang Baru 17550  
 Ph No. +62-21-89822846, Fax No. : 8954577 E-mail : suglan@indo.net.id

**ULTRASONIC TEST REPORT  
 (Inclusion Check)**

Project Name : Upper Exhaust Steam Turbine Casing 3 MW		Report No. : 02 / XI / NTP / 2009						
Client Name : PT. Nusantara Turbin Dan Propulsi Bandung		Test Location : Workshop PT. Barata-Surabaya						
Type of Material : Carbon Steel (Casting)		Date & Time : 1 Des 2009 & 11.00						
Surface Condition : Smooth After Grinding		Acceptance Criteria : ASTM A609 (Quality Level 2)						
Test Temperature : Ambient		Reference Reflector : Carbon Steel - IIW V1, V2						
Type of Couplant : Grease		Probe Type & Size : Integrated GB SCHF 5 MHz, S/N 695497						
UT Procedure : ASTM A609								
Equipment & S/N : Kraukramer USK7S & 2863								
No.	Component Name	Size of Test Specimen T (mm)	Reference Level at 80% FSH (dB)	Scanning Level (dB)	Range of Calibration	Discontinuity (mm)		Result
						L x W	Depth	
D1	Flange A	62	44	50	150	10 X 10	17-34	ACC
D2	Flange A	62	44	50	150	20 x 10	20-24	ACC
D3	Flange A	62	44	50	150	15 x 10	13-17	ACC
D4	Flange A	62	44	50	150	20 x 20	13-16	ACC
D5	Flange A	62	44	50	150	10 x 10	45-48	ACC
D6	Flange A	62	44	50	150	20 x 10	40-45	ACC
D7	Flange B	67	50	56	150	50 x 5	20-34	ACC
D8	Flange B	67	50	56	150	30 x 20	20-25	Repair
D9	Flange B	67	50	56	150	20 X 20	30-38	ACC
D10	Flange B	67	50	56	150	20 X 20	50-56	ACC
D11	Stifner	40	42	48	100	500 X 1	10-22	ACC
D12	Stifner	40	42	48	100	500 X 1	10-22	ACC
D13	Stifner	40	42	48	100	500 X 1	10-22	ACC
D14	Stifner	40	42	48	100	500 X 1	10-22	ACC
Notes :		- Repair by Contractor						
		- Rejection Maximum for individual Discontinuity over 600 mm <sup>2</sup> / area						
		- Rejection Maximum for Cluster Discontinuity over 1300 mm <sup>2</sup> / area						
SKETCH : Refer Attached								
Inspected by  WIRYA WJAYA			Reviewed By  SUGIANTO			Approved by		

Lampiran 30 : Hasil UT Lower Exhaust Casing TUDC 3,5 MW



**PT. TANLA TESCOR WELINDO**

NDT Training, Man Power Supply, Technical Consultant  
Oil Field Inspection And Certification

Office : Jl. Taman Tropika Blok B2 No. 29, Sektor Tropikana  
Cikarang Baru 17550, Bekasi - Indonesia  
Workshop : Jl. Industri Selatan Blok EE-No. iii, Cikarang Baru 17550  
Ph No. +62-21-89832846, Fax No. : 8934577 E-mail : sugjan@indo.net.id

**ULTRASONIC TEST REPORT  
(Inclusion Check)**

Project Name : Lower Exhaust Steam Turbine Casing 3 MW	Report No. : 03 / II / NTP / 2010
Client Name : PT. Nusantara Turbin Dan Propulsi-Bandung	Test Location : Workshop PT, Barata-Surabaya
Type of Material : Carbon Steel (Casting)	Date & Time : 15 February 2009 & 11.00
Surface Condition : Smooth After Grinding	Acceptance Criteria : ASTM A609 (Quality Level 2)
Test Temperature : Ambient	Reference Reflector : Carbon Steel - IIW V1, V2
Type of Couplant : Grease	Probe Type & Size : GB 4 Mhz, S/N : 2654
UT Procedure : ASTM A609	GB SCHF 5 Mhz, S/N : 61716
Equipment & S/N : Kraukramer USK75 S/N : 584	

No.	Defect Number	Size of Test Specimen		Reference Level at 80% FSH (dB)	Scanning Level (dB)	Range of Calibration	Discontinuity (mm)		Result
		T(mm)					L x W	Depth	
1	Defect 1	70		44	50	150	15 x 35	30-35	ACC
2	Defect 2	70		44	50	150	6 x 65	38-40	ACC
3	Defect 3	70		44	50	150	15 x 10	40-45	ACC
4	Defect 4	70		44	50	150	40 x 5	25-35	ACC
5	Defect 5	70		44	50	150	10 x 10	45-48	ACC
6	Defect 6	70		44	50	150	7 x 80	40-45	ACC
7	Defect 7	70		50	56	150	15 x 35	35-45	ACC
8	Defect 8	25		50	56	50	2 X 25	20-34	ACC
9	Defect 9	70		50	56	150	40 X 8	30-38	ACC

.....End of this Report.....

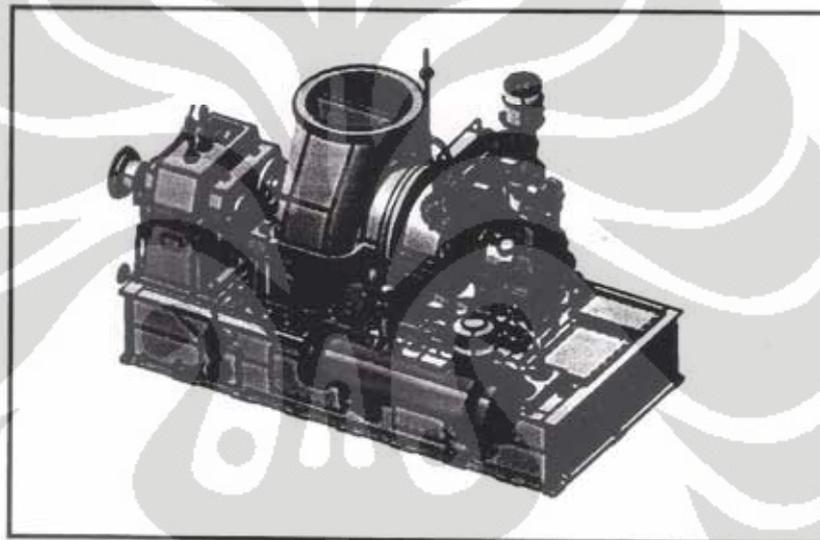
<b>Notes :</b>	- Repair by Contractor
	- Rejection Maximum for individual Discontinuity over 600 mm <sup>2</sup> / area
	- Rejection Maximum for Cluster Discontinuity over 1300 mm <sup>2</sup> / area
SKETCH : Refer Attached	

Inspected by  WIRYA WIJAYA	Reviewed by  SUGIANTO	Approved by
----------------------------------	-----------------------------	-------------

Lampiran 31 : Hasil Pengujian Hidrostatik Casing TUDC 3,5 MW



## LAPORAN HASIL PENGUJIAN HYDROSTATIC



DIBUAT OLEH:



PT NUSANTARA TURBIN DAN PROPULSI

Jl. Pajajaran 154 (KP-IV) Bandung 40174

SATKER DEPUTI BIDANG TEKNOLOGI INDUSTRI  
RANCANG BANGUN DAN REKAYASA  
BADAN PENGKAJIAN DAN PENERAPAN TEKNOLOGI

TAHUN 2009

Universitas Indonesia

## Lampiran 31 : Hasil Pengujian Hidrostatik Casing TUDC 3,5 MW (Lanjutan)

**KESIMPULAN**

Dari uraian di atas maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Pada tekanan sampai dengan 1,5 kali dari tekanan operasi yakni 35 bar absolute dan pada tekanan tersebut ditahan selama 15 menit (sesuai standart API 611), casing turbin uap 3 MW tidak mengalami kebocoran.
2. Pada posisi kritis tegangan maksimum yang terjadi adalah 6.154 kg/mm<sup>2</sup> atau 60.309 MPa masih jauh dibawah tegangan ijin material SCPH2 yakni 163 MPa.

Bandung, 14 Desember 2009

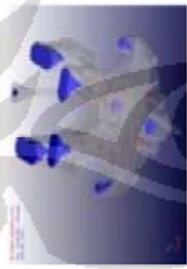
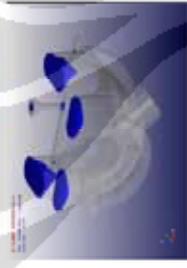
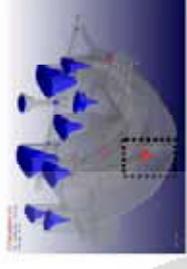
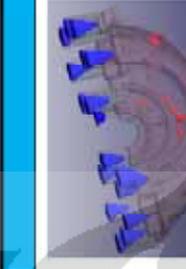
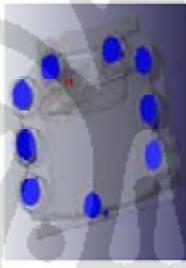
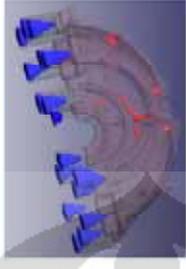
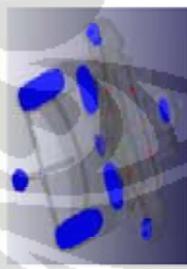
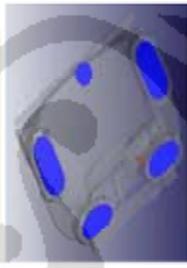
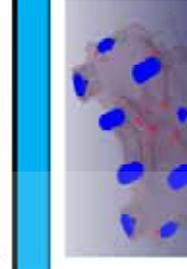
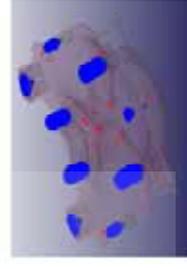
PT Nusantara Turbin dan Propulsi  
Quality & Product Development  
Manager



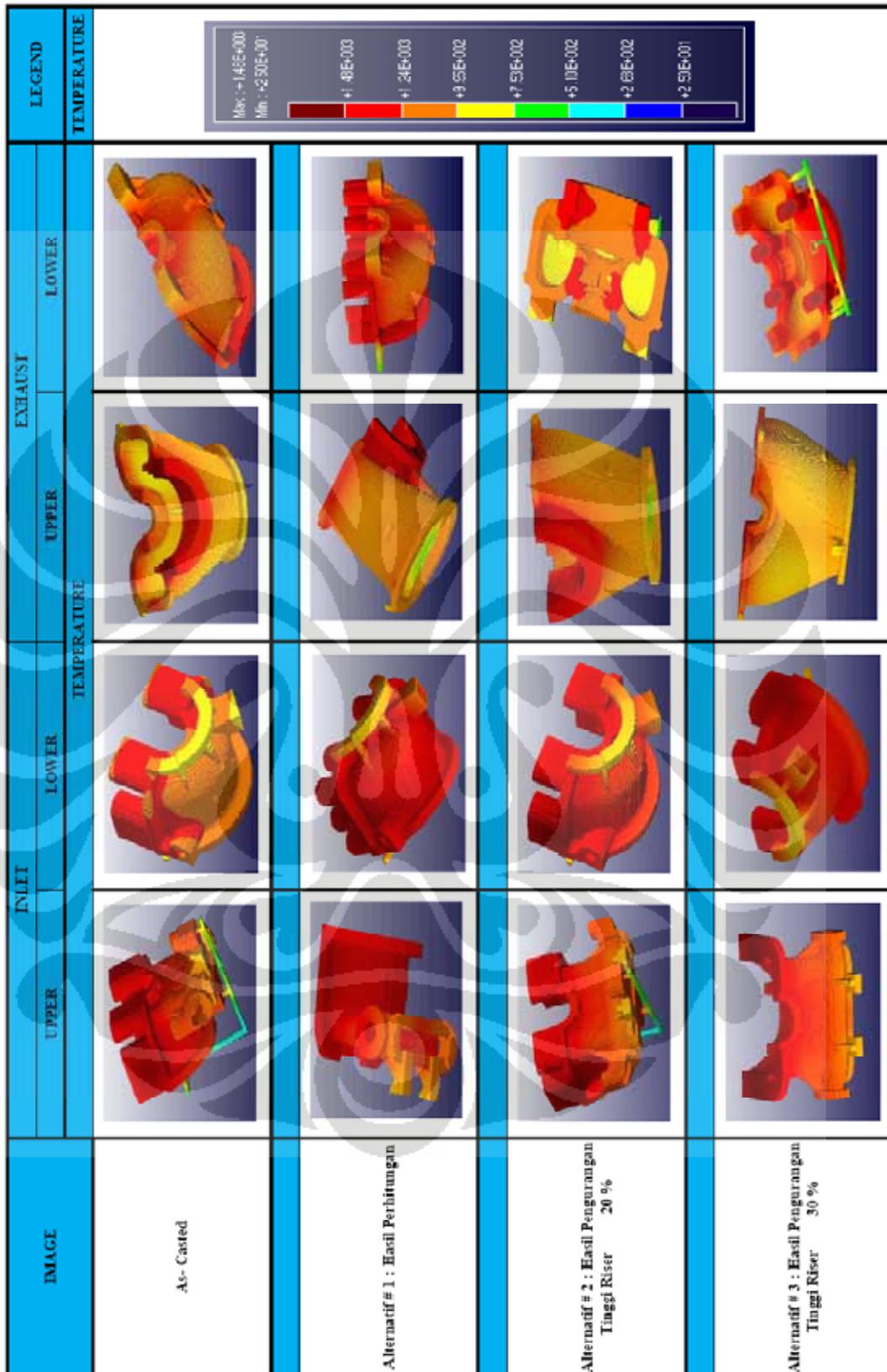
Ir. Taryadi

- *Diambil hanya pada halaman yang relevan (Sumber : Program Dokumen Pengembangan Turbin Uap, Pusat Teknologi Industri Manufaktur – BPPT)*

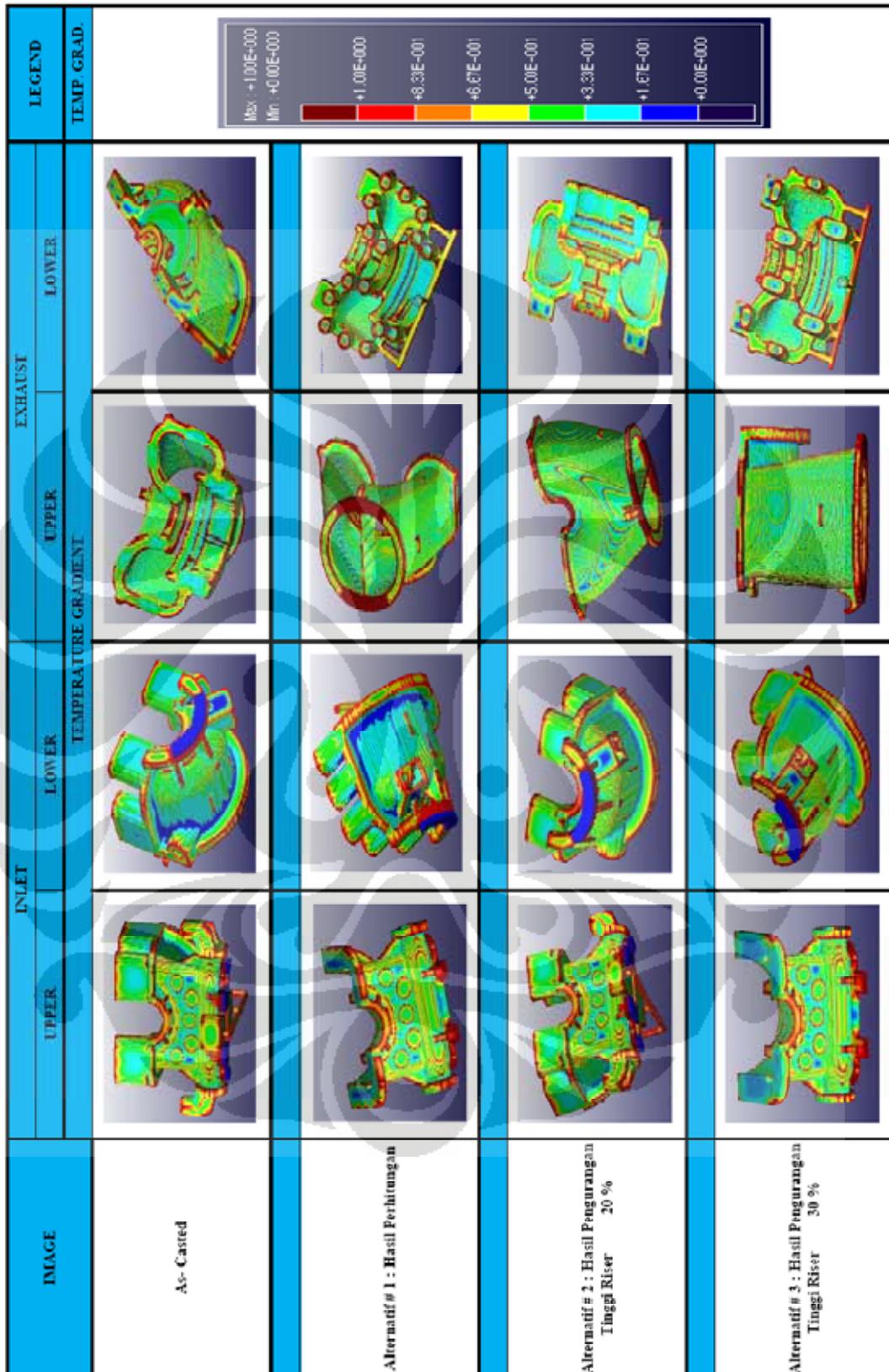
Lampiran 32 : Hasil Optimalisasi Casing TUDC 3,5 MW – Shringkage

IMAGE	INLET				EXHAUST	
	UPPER		LOWER		UPPER	LOWER
	SOLIDIFICATION - SHRINKAGE					
As-Casted						
Alternatif # 1 : Hasil Perhitungan						
Alternatif # 2 : Hasil Pengurangan Tinggi Riser 20 %						
Alternatif # 3 : Hasil Pengurangan Tinggi Riser 30 %						

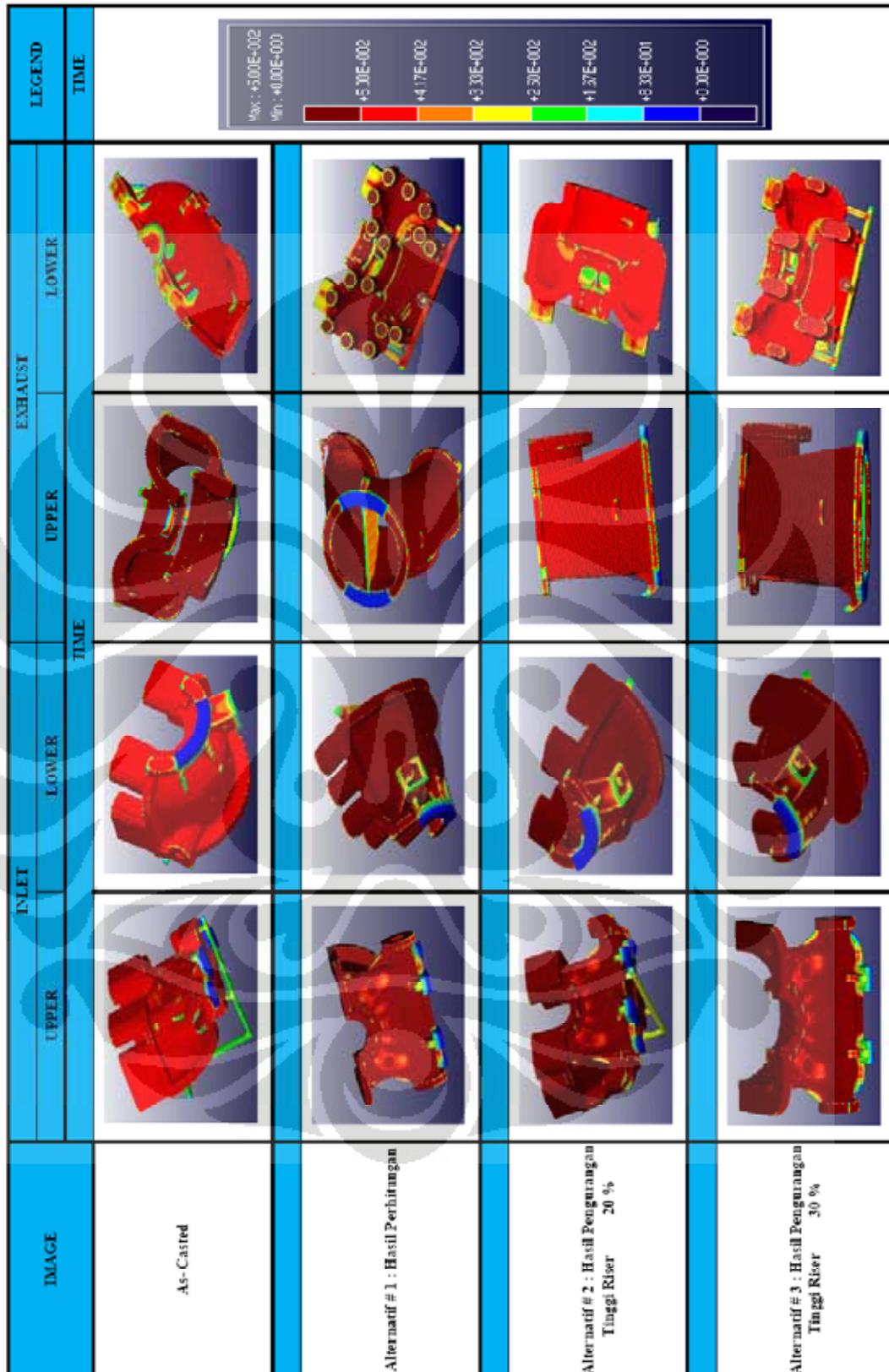
Lampiran 33 : Hasil Optimalisasi Casing TUDC 3,5 MW – Temperature



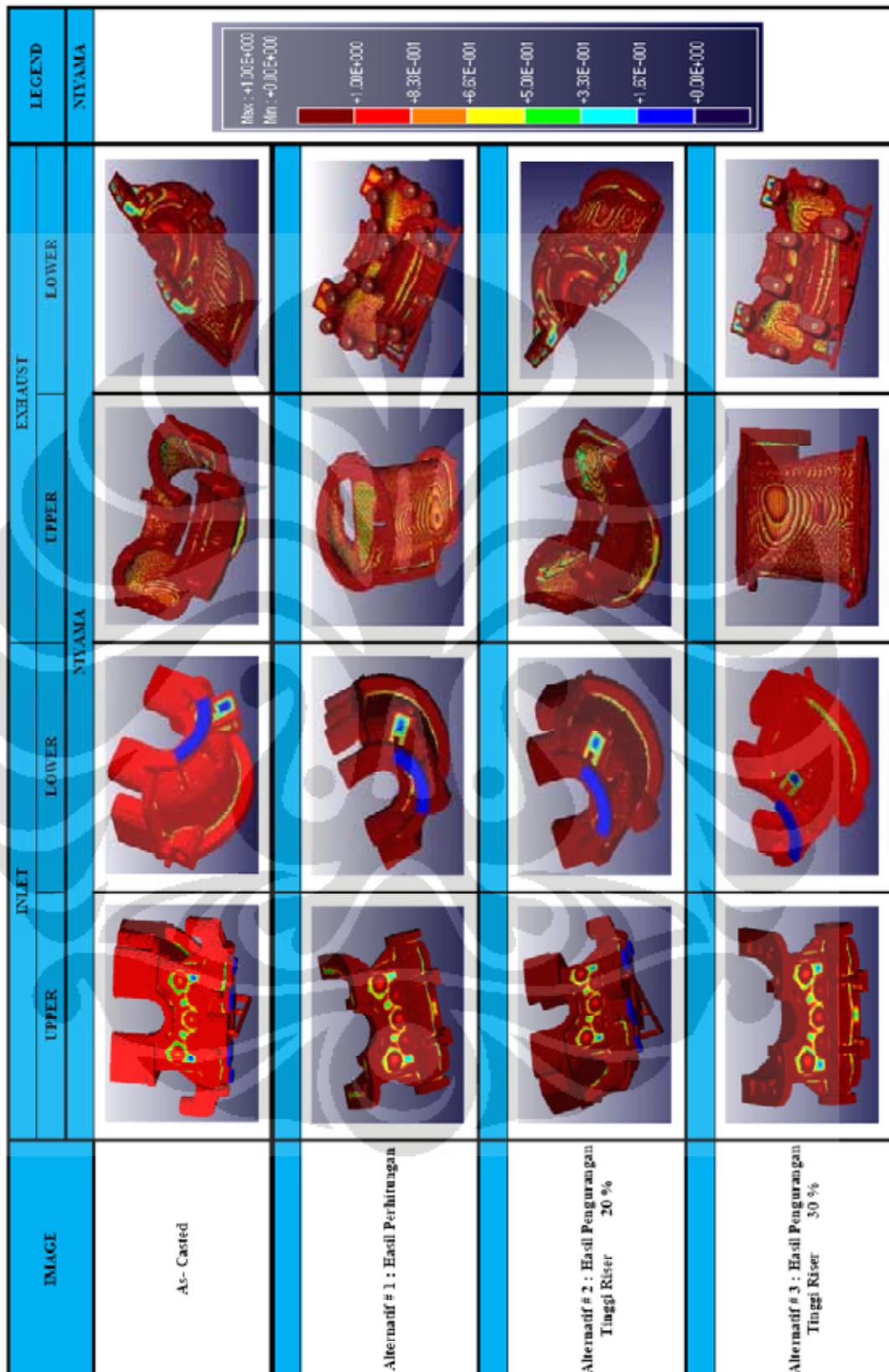
Lampiran 34 : Hasil Optimalisasi Casing TUDC 3,5 MW – Temperature Gradient



Lampiran 35 : Hasil Optimalisasi Casing TUDC 3,5 MW – Time

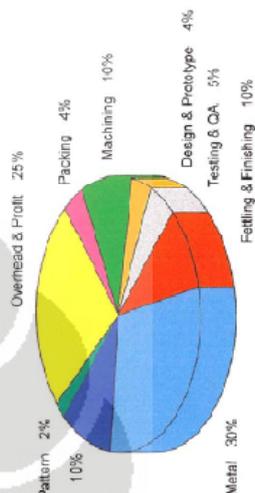


Lampiran 36 : Hasil Optimalisasi Casing TUDC 3,5 MW – Niyama



Lampiran 37 : Hasil Perhitungan Biaya Pengecoran Casing TUDC 3,5 MW

NO	Casing TUDC 3,5 MW (As casted)	Berat ( Kg)	HARGA ( Rp - dalam ribu )								TOTAL BIAYA	
			metal	moulding	pattern	overhead	packing	machining	design	testing		finishing
1	Desain hasil pengecoran (As casted)	7.709	68.700	22.900	4.580	57.250	9.160	22.900	9.160	11.450	22.900	229.002
a	Upper inlet casing	1.882	16.770	5.590	1.118	13.975	2.236	5.590	2.236	2.795	5.590	55.900
b	Lower inlet casing	1.304	11.674	3.875	775	9.687	1.550	3.875	1.550	1.937	3.875	38.746
c	Upper exhaust casing	2.293	20.431	6.810	1.362	17.026	2.724	6.810	2.724	3.405	6.810	68.102
d	Lower exhaust casing	2.230	19.876	6.625	1.325	16.563	2.650	6.625	2.650	3.313	6.625	66.253
2	Alternatif #1 (Perhitungan)	6.715	59.842	19.947	3.989	49.868	7.979	19.947	7.979	9.974	19.947	199.472
a	Upper inlet casing	1.535	13.683	4.561	912	11.402	1.824	4.561	1.824	2.280	4.561	45.610
b	Lower inlet casing	1.129	10.059	3.353	671	8.382	1.341	3.353	1.341	1.676	3.353	33.530
c	Upper exhaust casing	2.123	18.921	6.307	1.261	15.768	2.523	6.307	2.523	3.154	6.307	63.071
d	Lower exhaust casing	1.928	17.179	5.726	1.145	14.315	2.290	5.726	2.290	2.863	5.726	57.262
3	Alternatif #2 (tinggi riser - 20 %)	7.111	63.372	21.124	4.225	52.810	8.450	21.124	8.450	10.562	21.124	211.239
a	Upper inlet casing	1.722	15.346	5.115	1.023	12.789	2.046	5.115	2.046	2.558	5.115	51.154
b	Lower inlet casing	1.195	10.650	3.550	710	8.875	1.420	3.550	1.420	1.775	3.550	35.499
c	Upper exhaust casing	2.143	19.094	6.365	1.273	15.912	2.546	6.365	2.546	3.182	6.365	63.647
d	Lower exhaust casing	2.051	18.282	6.094	1.219	15.235	2.438	6.094	2.438	3.047	6.094	60.938
4	Alternatif #3 (tinggi riser - 30 %)	6.799	60.590	20.197	4.039	50.492	8.079	20.197	8.079	10.098	20.197	201.968
a	Upper inlet casing	1.679	14.517	4.839	968	17.098	1.936	4.839	1.936	2.470	4.839	48.391
b	Lower inlet casing	1.140	10.163	3.388	678	8.469	1.355	3.388	1.355	1.694	3.388	33.875
c	Upper exhaust casing	2.068	18.426	6.142	1.228	15.355	2.457	6.142	2.457	3.071	6.142	61.420
d	Lower exhaust casing	1.962	17.484	5.828	1.166	14.570	2.331	5.828	2.331	2.914	5.828	58.281



**Diasumsikan :**  
 f melting : 1,04 (tanur induksi listrik : 1,02 - 1,07)  
 f pouring : 1,01 (range 1,01 - 1,07)  
 f finishing : 1,01 (range 1,01 - 1,07)  
 f rejection : 1,05 (baja dengan kualitas level 2 : 1,05 - 1,10)  
 Harga baja : Rp 8 / Kg ( semua harga dalam ribu )