



TUGAS AKHIR – TM141585

RANCANG BANGUN CASING CONTINUOUSLY VARIABLE TRANSMISSION (CVT) UNTUK SEPEDA MOTOR LISTRIK

EDWIN
NRP. 02111440000083

Dosen Pembimbing
Indra Sidharta, ST., M.Sc.

Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR – TM141585

**RANCANG BANGUN CASING CONTINUOUSLY
VARIABLE TRANSMISSION (CVT) UNTUK SEPEDA
MOTOR LISTRIK**

EDWIN

NRP. 0211144000083

Dosen Pembimbing

Indra Sidharta, ST., M.Sc.

Departemen Teknik Mesin

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2018



FINAL PROJECT – TM141585

CONTINUOUSLY VARIABLE TRANSMISSION (CVT) CASE REDESIGN FOR ELECTRICAL MOTORCYCLE

EDWIN

NRP. 02111440000083

Dosen Pembimbing

Indra Sidharta, ST., M.Sc.

Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

**RANCANG BANGUN CASING CONTINUOUSLY
VARIABLE TRANSMISSION (CVT) UNTUK SEPEDA
MOTOR LISTRIK**

TUGAS AKHIR

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

Oleh :

EDWIN

NRP. 02111440000083

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Indra Sidharta, ST, M.Sc.
NIP. 198006192006041004 (Pembimbing)
2. Dr. Ir. H.C. Kis Agustin, DEA
NIP. 196308151989032001 (Penguji I)
3. Dr. Eng. Sutikno, ST, MT
NIP. 197407032000031001 (Penguji II)
4. Fahmi Mubarok, ST, M.Sc., PhD.
NIP. 197801152003121002 (Penguji III)

SURABAYA

JULI, 2018

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

RANCANG BANGUN *CASING CONTINUOUSLY VARIABLE TRANSMISSION (CVT)* UNTUK SEPEDA MOTOR LISTRIK

Nama Mahasiswa : Edwin
NRP : 0211144000083
Jurusan : Teknik Mesin
Dosen Pembimbing : Indra Sidharta, ST., M.Sc

Abstrak

Casing continuously variable transmission (CVT) merupakan rumah (*housing*) dari komponen-komponen transmisi untuk kendaraan bermotor seperti poros, *pulley*, *bearing*, *helical gear*, dan *spur gear*. *Casing CVT* yang terbagi menjadi tiga bagian, yaitu *base case CVT*, *cover CVT*, dan *cover transmisi* berfungsi sebagai pelindung dan tempat bertumpunya komponen transmisi yang berada di dalamnya. Selain itu, *casing CVT* juga harus mampu menahan beban kerja dari komponen-komponen transmisi tersebut. Proses pembuatan *casing CVT* dapat dilakukan dengan *sand casting* bila dibutuhkan dalam jumlah yang sedikit dan *gravity die casting* bila dibutuhkan untuk produksi massal. Oleh karena itu, dilakukan penelitian dengan tujuan mendapatkan *redesign casing CVT* yang bebas cacat dan lebih tipis melalui perangkat lunak dan ditujukan untuk proses *sand casting* dan *gravity die casting*.

Redesign yang dilakukan pada penelitian ini adalah dimensi dan material *casing CVT* dari motor *matic* yang banyak digunakan dipasaran. *Casing CVT* tersebut tidak diketahui jenis materialnya, maka dilakukan pengecoran secara tradisional dengan material aluminium untuk mendapatkan data awal. Dari pengecoran tersebut didapatkan variabel berupa jenis aluminium yang digunakan yaitu aluminium Al380, temperatur penguangan, dimensi sistem saluran pengecoran tradisional, lokasi cacat, dan ketebalan dinding. Dilakukan *cross check* antara hasil pengecoran tradisional dan hasil simulasi yang memiliki dimensi dan material yang sama dan didapatkan lokasi cacat yang sama sehingga perangkat lunak

simulasi cor dapat digunakan. Dilakukan perhitungan gaya yang terjadi pada komponen *casing* CVT dengan *input* beban penumpang sebesar 150 kg, torsi maksimal motor sebesar 25 N.m, dan HP motor sebesar 3kW dan dilanjutkan dengan simulasi mekanik. Simulasi mekanik bertujuan untuk memastikan bahwa dengan menggunakan material aluminium Al380 dan ketebalan minimal, hasil *redesign* yang diperoleh aman untuk digunakan. Bila sudah didapatkan desain yang aman, dilakukan simulasi cor yang bertujuan untuk mendapatkan dimensi sistem saluran dan *riser* yang dapat menghasilkan benda cor yang bebas cacat *shrinkage porosity* dan *gas porosity*.

Dari serangkaian proses yang dilalui pada penelitian ini, didapatkan *redesign casing* CVT yang memiliki ketebalan 5 mm untuk *sand casting* dan 3 mm untuk *gravity die casting* dengan nilai *stress* hasil simulasi mekanik dibawah *yield strength* aluminium Al380 (159 MPa). Dimensi dari sistem saluran yang digunakan untuk proses *sand casting* dan *gravity die casting* adalah perbandingan *choke* : *runner* : *ingate* yaitu 1:4:4 dan nilai *riser* berdasarkan metode NRL. *Choke* untuk proses *sand casting* dari *base case* CVT, cover CVT, dan cover transmisi berturut-turut bernilai 15 mm, 17 mm, dan 18 mm. Untuk proses *gravity die casting*, dimensi *choke* dari *base case* CVT, cover CVT, dan cover transmisi berturut-turut bernilai 16 mm, 18 mm, dan 20 mm.

Kata Kunci: aluminium, Al380, casing cvt, swingarm, pengecoran, sand casting, gravity die casting, simulasi.

CONTINUOUSLY VARIABLE TRANSMISSION (CVT) CASE DESIGN FOR ELECTRICAL MOTORCYCLE

Student's Name : Edwin
NRP : 0211144000083
Department : Teknik Mesin
Supervisor : Indra Sidharta, ST., M.Sc

Abstrak

Continuously variable transmission (CVT) case is the housing of transmission components for motor vehicles such as shafts, pulleys, bearings, helical gears, and spur gears. CVT case consist of three parts, which is CVT base case, CVT cover, and cover transmission, serves as a protector and where the transmission component mounted inside. In addition, the CVT case must also be able to withstand the workload of the transmission components. The process of making CVT case can be done with sand casting when needed in small quantities and gravity die casting when needed for mass production. Therefore, a study was conducted with the aim of obtaining a redesign of a defective and thinner CVT case through software and intended for sand casting and gravity die casting processes.

Redesign on this research focuses only on the dimensions and material of CVT case from matic motorbike which is widely used in the market. CVT case's type of material is still unknown, hence it is casted traditionally with aluminum to get the initial data. From the foundry, the variables obtained are the type of aluminum used are aluminum Al380, casting temperature, dimensions of traditional casting system, location of defects, and wall thickness. Cross-check between traditional casting results and simulation results that have the same dimensions and materials and the result is the same defect location, therefore the casting simulation software can be used. The force for mechanical simulation that occurs on CVT case is obtained from passenger load inputs of 150 kg, maximum torque of the motor of 25 N.m, and HP motor of

3kW. Mechanical simulation aims to ensure that by using Al380 aluminum material and minimal thickness, the resulting redesign results are safe to use. When a safe design is obtained, a casting simulation is performed to obtain the dimensions of the gating system and riser which can produce cast objects that are free of shrinkage and gas porosity.

From a series of processes in this study, we found a CVT case redesign that has a thickness of 5 mm for sand casting and 3 mm for gravity die casting with stress mechanical simulation results below Al380 (159 MPa) aluminum yield strength. The dimensions of the gating system used for sand casting and gravity die casting processes are choke: runner: ingate ratio of 1: 4: 4 and riser values based on the NRL method. Choke for sand casting process from CVT base case, CVT cover, and transmission cover consecutively is 15 mm 17 mm, and 18 mm. For the gravity die casting process, the choke dimension of the CVT base case, CVT cover, and transmission cover consecutively is 16 mm, 18 mm, and 20 mm.

Kata Kunci: aluminium, Al380, casing cvt, swingarm, pengecoran, sand casting, gravity die casting, simulasi.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan yang Maha Esa karena atas rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“RANCANG BANGUN CASING CONTINUOUSLY VARIABLE TRANSMISSION (CVT) UNTUK SEPEDA MOTOR LISTRIK”**. Untuk itu penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih dan penghargaan sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Indra Sidharta, ST., M.Sc., sebagai dosen pembimbing yang telah membantu, mendorong, dan memberikan ilmu hingga terselesaikannya tugas akhir ini;
2. Ibu Dr. Ir. H.C. Kis Agustin, DEA, Bapak Dr. Eng. Sutikno, ST., MT., Bapak Fahmi Mubarak, ST., M.Sc., Ph.D., dan Bapak Suwarno, ST., M.Sc., Ph.D., selaku dosen penguji seminar dan sidang tugas akhir ini;
3. Kedua orang tua penulis, Harijanto Justopo dan Emarita Limantara, serta kakak kandung penulis, Ericko, yang senantiasa memberikan semangat dan nasihat yang sangat berarti;
4. Cindy Christi Hartanto, terimakasih atas dukungan dan semangatnya;
5. Teman-teman laboratorium Metalurgi jurusan Teknik Mesin ITS, terimakasih atas bantuan, masukan, dan dukungan yang telah diberikan;
6. Seluruh dosen dan karyawan Teknik Mesin ITS, yang telah memberikan bantuan dan ilmunya selama penulis menempuh jenjang kuliah.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih banyak kekurangan, untuk itu kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi perbaikan dan kesempurnaan tugas akhir ini.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR TABEL.....	v
BAB 1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB 2 Tinjauan Pustaka	5
2.1. Penelitian Terdahulu.....	5
2.2. Aluminium dan Paduannya.....	6
2.3. Pola.....	9
2.3.1 Kup, <i>Drag</i> , dan Permukaan Pisah	9
2.3.2 Tambahan Penyusutan	10
2.3.3 Tambahan Penyelesaian Mesin	11
2.3.4 Kemiringan Pola	12
2.4. Cetakan Pasir (<i>Sand Casting</i>)	13
2.5. Cetakan Permanen (<i>Permanent Mould</i>).....	13
2.6. Sistem Saluran (<i>Gating System</i>).....	14
2.7. Penambah (<i>Riser</i>)	20
2.8. Pembekuan (<i>Solidification</i>).....	22
2.9. Cacat pada Logam Cor	24
BAB 3 Metodologi Penelitian.....	35
3.1. Diagram Alir Umum.....	35
3.2. Data Awal untuk Simulasi	37
3.3. Simulasi Mekanik	45
3.4. Simulasi Cor	49
3.5. Perancangan Sistem Saluran dan Penambah (<i>Riser</i>) ...	51
3.5.1. Data Awal Pengecoran.....	51
3.5.2. Waktu Penuangan, Sistem Saluran, dan penambah (<i>riser</i>)	54

BAB 4 Analisa Data dan Pembahasan.....	55
4.1. <i>Cross Check</i>	55
4.1.1. <i>Base Case CVT</i>	55
4.1.2. <i>Cover CVT</i>	60
4.1.3. <i>Cover Transmisi</i>	63
4.2. <i>Simulasi Mekanik Sand Casting</i>	65
4.2.1. <i>Base Case CVT</i>	65
4.2.2. <i>Cover CVT</i>	67
4.2.3. <i>Cover Transmisi</i>	70
4.3. <i>Simulasi Mekanik Gravity Die Casting</i>	73
4.3.1. <i>Base Case CVT</i>	73
4.3.2. <i>Cover CVT</i>	75
4.3.3. <i>Cover Transmisi</i>	77
4.4. <i>Simulasi Cor Sand Casting</i>	80
4.4.1. <i>Base Case CVT</i>	81
4.4.2. <i>Cover CVT</i>	84
4.4.3. <i>Cover Transmisi</i>	87
4.5. <i>Simulasi Cor Gravity Die Casting</i>	87
4.5.1. <i>Base Case CVT</i>	88
4.5.2. <i>Cover CVT</i>	92
4.5.3. <i>Cover Transmisi</i>	94
BAB 5 Kesimpulan dan Saran.....	97
5.1. <i>Kesimpulan</i>	97
5.2. <i>Saran</i>	99
LAMPIRAN.....	- 1 -
Lampiran A	- 1 -
Lampiran B	- 21 -
Lampiran C	- 35 -

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bagian-bagian pola	10
Gambar 2.2 <i>Draft angle</i>	12
Gambar 2.3 Bagian-bagian sistem saluran.....	15
Gambar 2.4 <i>Offset step basin</i> dengan <i>step</i> yang memiliki radius	15
Gambar 2.5 <i>Top gating</i>	17
Gambar 2.6 <i>Bottom gating</i>	18
Gambar 2.7 <i>Parting line gating</i>	18
Gambar 2.8 <i>Side riser</i> dan <i>top riser</i>	20
Gambar 2.9 Dimensi untuk <i>shape factor</i>	21
Gambar 2.10 Grafik pemilihan volume minimal riser metode NRL.....	22
Gambar 2.11 Ilustrasi skematis dari pembekuan logam	23
Gambar 2.12 <i>Gas porosity</i>	26
Gambar 2.13 Ilustrasi grafik volume dibandingkan temperatur dari logam	27
Gambar 2.14 <i>Shrinkage porosity</i>	28
Gambar 2.15 <i>Sink</i>	29
Gambar 2.16 Inklusi.....	29
Gambar 2.17 <i>Dross</i>	30
Gambar 2.18 <i>Hot tears</i>	31
Gambar 2.19 <i>Cold shuts</i>	31
Gambar 2.20 Segregasi pada Al-0,2Cu	32
Gambar 3.1 Diagram alir umum.....	35
Gambar 3.2 <i>Assembly casing</i> CVT.....	37
Gambar 3.3 Bagian-bagian <i>casing</i> CVT.....	38
Gambar 3.4 Pola kayu <i>base case</i> CVT	38
Gambar 3.5 Pola kayu <i>cover</i> CVT.....	39
Gambar 3.6 Pola kayu <i>cover</i> transmisi	39
Gambar 3.7 Temperatur tuang aluminium paduan Al-Si.....	40
Gambar 3.8 Aluminium <i>scrap</i> (kanan) dan <i>ingot</i> (kiri)	40
Gambar 3.9 Cetakan pasir <i>base case</i> CVT	41
Gambar 3.10 Cetakan pasir <i>cover</i> CVT.....	41
Gambar 3.11 Cetakan pasir <i>cover</i> transmisi	42

Gambar 3.12 Proses penuangan aluminium cair.....	42
Gambar 3. 13 Gambar pemotongan <i>base case</i> CVT.....	44
Gambar 3.14 Gambar pemotongan <i>cover</i> CVT	44
Gambar 3.15 Gambar pemotongan <i>cover</i> transmisi.....	44
Gambar 3.16 <i>Boundary condition casing</i> CVT	45
Gambar 3.17 <i>Casing</i> CVT dan komponen transmisi didalamnya	46
Gambar 3.18 Komponen transmisi pada <i>casing</i> CVT	46
Gambar 3.19 Gaya yang bekerja pada <i>base case</i> CVT.....	47
Gambar 3.20 Gaya yang bekerja pada <i>cover</i> CVT	47
Gambar 3.21 Gaya yang bekerja pada <i>cover</i> transmisi.....	48
Gambar 4.1 Model 3D <i>base case</i> CVT untuk verifikasi	55
Gambar 4.2 <i>Void</i> pada model 3D <i>base case</i> CVT untuk verifikasi	56
Gambar 4.3 Daerah pemotongan <i>base case</i> CVT	56
Gambar 4.4 Cacat <i>shrinkage porosity</i> pada <i>base case</i> CVT bagian A potongan A-A.....	57
Gambar 4.5 Cacat <i>shrinkage porosity</i> pada <i>base case</i> CVT bagian B potongan B-B	57
Gambar 4.6 Cacat <i>shrinkage porosity</i> pada <i>base case</i> CVT bagian A potongan C-C	57
Gambar 4.7 Cacat <i>shrinkage porosity</i> pada <i>base case</i> CVT bagian B potongan D-D.....	58
Gambar 4.8 Cacat <i>gas porosity</i> pada <i>base case</i> CVT bagian B potongan E-E	58
Gambar 4.9 Cacat <i>gas porosity</i> pada <i>base case</i> CVT bagian D potongan F-F.....	58
Gambar 4.10 Cacat <i>gas porosity</i> pada permukaan <i>base case</i> CVT bagian C.....	59
Gambar 4.11 Cacat inklusi pasir pada permukaan <i>base case</i> CVT bagian D tampak atas	59
Gambar 4.12 Cacat <i>gas porosity</i> pada permukaan <i>base case</i> CVT bagian D tampak belakang	59

Gambar 4.13 Cacat <i>gas porosity</i> permukaan pada <i>base case</i> CVT bagian D tampak belakang	60
Gambar 4.14 Model 3D <i>cover</i> CVT untuk verifikasi.....	61
Gambar 4.15 <i>Void</i> pada model 3D <i>cover</i> CVT untuk verifikasi .	61
Gambar 4.16 Daerah pemotongan <i>cover</i> CVT.....	62
Gambar 4.17 Cacat <i>gas porosity cover</i> CVT bagian A potongan A-A	62
Gambar 4.18 Cacat <i>shrinkage porosity cover</i> CVT bagian B potongan B-B	62
Gambar 4.19 Cacat <i>gas porosity cover</i> CVT bagian B potongan C-C	62
Gambar 4.20 Cacat <i>gas porosity cover</i> CVT bagian C potongan D-D	63
Gambar 4.21 Cacat <i>shrinkage porosity cover</i> CVT bagian C tampak belakang	63
Gambar 4.22 Model 3D <i>cover</i> transmisi untuk verifikasi	64
Gambar 4.23 <i>Void</i> pada model 3D <i>cover</i> transmisi untuk verifikasi	64
Gambar 4.24 Daerah pemotongan <i>cover</i> transmisi	64
Gambar 4.25 Bagian A <i>cover</i> transmisi potongan A-A	64
Gambar 4.26 Bagian B <i>cover</i> transmisi potongan B-B	64
Gambar 4.27 <i>Stress</i> maksimal pada desain awal <i>base case</i> CVT dengan metode <i>sand casting</i>	65
Gambar 4.28 <i>Displacement</i> maksimal pada desain awal <i>base case</i> CVT dengan metode <i>sand casting</i>	66
Gambar 4.29 <i>Stress</i> maksimal pada desain perbaikan <i>base case</i> CVT dengan metode <i>sand casting</i>	67
Gambar 4.30 <i>Displacement</i> maksimal pada desain perbaikan <i>base case</i> CVT dengan metode <i>sand casting</i>	67
Gambar 4.31 <i>Stress</i> maksimal pada design awal <i>cover</i> CVT dengan metode <i>sand casting</i>	68
Gambar 4.32 <i>Displacement</i> maksimal pada design awal <i>cover</i> CVT dengan metode <i>sand casting</i>	68

Gambar 4.33 <i>Stress</i> maksimal pada desain perbaikan <i>cover</i> CVT dengan metode <i>sand casting</i>	69
Gambar 4.34 <i>Displacement</i> maksimal pada desain perbaikan <i>cover</i> CVT dengan metode <i>sand casting</i>	69
Gambar 4.35 <i>Stress</i> maksimal pada desain awal <i>cover</i> transmisi dengan metode <i>sand casting</i>	70
Gambar 4.36 <i>Displacement</i> maksimal pada desain awal <i>cover</i> transmisi dengan metode <i>sand casting</i>	71
Gambar 4.37 <i>Stress</i> maksimal pada desain perbaikan <i>cover</i> transmisi dengan metode <i>sand casting</i>	72
Gambar 4.38 <i>Displacement</i> maksimal pada desain perbaikan <i>cover</i> transmisi dengan metode <i>sand casting</i>	72
Gambar 4.39 <i>Stress</i> maksimal pada desain awal <i>base case</i> CVT dengan metode <i>gravity die casting</i>	73
Gambar 4.40 <i>Displacement</i> maksimal pada desain awal <i>base case</i> CVT dengan metode <i>gravity die casting</i>	74
Gambar 4.41 <i>Stress</i> maksimal pada desain perbaikan <i>base case</i> CVT dengan metode <i>gravity die casting</i>	75
Gambar 4.42 <i>Displacement</i> maksimal pada desain perbaikan <i>base case</i> CVT dengan metode <i>gravity die casting</i>	75
Gambar 4.43 <i>Stress</i> maksimal pada design awal <i>cover</i> CVT dengan metode <i>gravity die casting</i>	76
Gambar 4.44 <i>Displacement</i> maksimal pada design awal <i>cover</i> CVT dengan metode <i>gravity die casting</i>	76
Gambar 4.45 <i>Stress</i> maksimal pada desain perbaikan <i>cover</i> CVT dengan metode <i>gravity die casting</i>	77
Gambar 4.46 <i>Displacement</i> maksimal pada desain perbaikan <i>cover</i> CVT dengan metode <i>gravity die casting</i>	77
Gambar 4.47 <i>Stress</i> maksimal pada design awal <i>cover</i> transmisi dengan metode <i>gravity die casting</i>	78
Gambar 4.48 <i>Displacement</i> maksimal pada design awal <i>cover</i> transmisi dengan metode <i>gravity die casting</i>	78

Gambar 4.49 <i>Stress</i> maksimal pada desain perbaikan <i>cover</i> transmisi dengan metode <i>gravity die casting</i>	79
Gambar 4.50 <i>Displacement</i> maksimal pada desain perbaikan <i>cover</i> transmisi dengan metode <i>gravity die casting</i> .	80
Gambar 4.51 Model 3D dari <i>base case</i> CVT (tanpa <i>riser</i>) dengan metode <i>sand casting</i>	82
Gambar 4.52 Hasil simulasi dari <i>base case</i> CVT (tanpa <i>riser</i>) dengan metode <i>sand casting</i>	82
Gambar 4. 53 Model 3D dari <i>base case</i> CVT (dengan <i>riser</i>) dengan metode <i>sand casting</i>	83
Gambar 4. 54 Hasil simulasi dari <i>base case</i> CVT (dengan <i>riser</i>) dengan metode <i>sand casting</i>	83
Gambar 4. 55 <i>Niyama defect criterion</i> dari <i>base case</i> CVT (dengan <i>riser</i>) dengan metode <i>sand casting</i>	84
Gambar 4. 56 Model 3D dari <i>cover</i> CVT (tanpa <i>riser</i>) dengan metode <i>sand casting</i>	84
Gambar 4. 57 Hasil simulasi dari <i>cover</i> CVT (tanpa <i>riser</i>) dengan metode <i>sand casting</i>	85
Gambar 4. 58 Dimensi <i>riser</i> dari <i>cover</i> CVT dengan metode <i>sand casting</i>	86
Gambar 4. 59 Model 3D dari <i>cover</i> CVT (dengan <i>riser</i>) dengan metode <i>sand casting</i>	86
Gambar 4. 60 Hasil simulasi dari <i>cover</i> CVT (dengan <i>riser</i>) dengan metode <i>sand casting</i>	86
Gambar 4. 61 Model 3D dari <i>cover</i> transmisi (tanpa <i>riser</i>) dengan metode <i>sand casting</i>	87
Gambar 4. 62 Hasil simulasi dari <i>cover</i> transmisi (tanpa <i>riser</i>) dengan metode <i>sand casting</i>	87
Gambar 4.63 Model 3D dari <i>base case</i> CVT (tanpa <i>riser</i>) dengan metode <i>gravity die casting</i>	89
Gambar 4.64 Hasil simulasi dari <i>base case</i> CVT (tanpa <i>riser</i>) dengan metode <i>gravity die casting</i>	89

Gambar 4.65 Dimensi <i>riser</i> dari <i>base case</i> CVT dengan metode <i>gravity die casting</i>	90
Gambar 4.66 Model 3D dari <i>base case</i> CVT (dengan <i>riser</i>) dengan metode <i>gravity die casting</i>	91
Gambar 4.67 Hasil simulasi dari <i>base case</i> CVT (dengan <i>riser</i>) dengan metode <i>gravity die casting</i>	91
Gambar 4.68 Model 3D dari <i>cover</i> CVT (tanpa <i>riser</i>) dengan metode <i>gravity die casting</i>	92
Gambar 4.69 Hasil simulasi dari <i>cover</i> CVT (tanpa <i>riser</i>) dengan metode <i>gravity die casting</i>	92
Gambar 4.70 Dimensi <i>riser</i> dari <i>cover</i> CVT dengan metode <i>gravity die casting</i>	93
Gambar 4.71 Model 3D dari <i>cover</i> CVT (dengan <i>riser</i>) dengan metode <i>gravity die casting</i>	94
Gambar 4.72 Hasil simulasi dari <i>cover</i> CVT (dengan <i>riser</i>) dengan metode <i>gravity die casting</i>	94
Gambar 4.73 Model 3D dari <i>cover</i> transmisi (tanpa <i>riser</i>) dengan metode <i>gravity die casting</i>	95
Gambar 4.74 Hasil simulasi dari <i>cover</i> transmisi (tanpa <i>riser</i>) dengan metode <i>gravity die casting</i>	95
Gambar 4.75 Model 3D dari <i>cover</i> transmisi (dengan <i>riser</i>) dengan metode <i>gravity die casting</i>	96
Gambar 4.76 Hasil simulasi dari <i>cover</i> transmisi (dengan <i>riser</i>) dengan metode <i>gravity die casting</i>	96

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Sistem empat digit untuk aluminium dan paduannya	7
Tabel 2.2	Komposisi kimia aluminium A380	8
Tabel 2.3	Sifat mekanik aluminium A380 dengan <i>cold chamber die casting</i>	8
Tabel 2.4	Sifat fisik aluminium A380 dengan <i>cold chamber die casting</i>	9
Tabel 2.5	Tambahan penyusutan yang disarankan.....	11
Tabel 2.6	Tambahan ukuran untuk benda tuangan bukan besi (<i>casting non-iron</i>) untuk penyelesaian mesin (<i>machining</i>)	12
Tabel 3.1	Komposisi kimia aluminium hasil pengecoran	43
Tabel 3.2	Gaya yang bekerja pada <i>casing</i> CVT.....	48
Tabel 3.3	Dimensi benda cor <i>sand casting</i>	51
Tabel 3.4	Dimensi benda cor <i>gravity die casting</i>	52
Tabel 3.5	Dimensi sistem saluran dan waktu penuangan.....	53
Tabel 4.1	Dimensi sistem saluran <i>casing</i> CVT dengan metode <i>sand casting*</i>	81
Tabel 4.2	Dimensi sistem saluran <i>casing</i> CVT dengan metode <i>gravity die casting*</i>	88

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 1

Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Salah satu kendaraan yang banyak digunakan di Indonesia adalah sepeda motor. Berdasarkan *detikOto* yang mengolah dari data *Asosiasi Industri Sepeda motor Indonesia (AISI)* sepanjang Januari – Maret 2017, lima kendaraan yang paling banyak terjual merupakan motor *matic*. Jenis transmisi *continuously variable transmission* (CVT) banyak digunakan pada motor *matic*. Salah satu alternatif sepeda motor adalah dengan mengalihkan sumber daya dari BBM menjadi motor listrik dan perlu dilakukan penelitian lebih lanjut pada *casing* CVT. *Casing* CVT dari motor listrik akan mengalami beban yang lebih besar dibandingkan beban dari motor BBM. Dalam penggunaannya, *casing* CVT mengalami beban kerja yang disebabkan oleh komponen transmisi yang berada di dalamnya, antara lain poros, motor, *pulley*, *helical gear*, dan *spur gear*. Sebagian jenis *casing* CVT juga berfungsi sebagai *swingarm* dari sepeda motor tersebut sehingga mengalami gaya akibat beban motor dan penumpangnya.

Pembuatan *casing* CVT dapat dilakukan baik dengan proses *sand casting* dan *gravity die casting*. Proses *sand casting* digunakan karena harganya awalnya yang lebih murah namun memiliki kepresisian dan kapasitas produksi yang rendah. *Gravity die casting* memiliki kepresisian dan kapasitas produksi yang tinggi namun memiliki harga awal pembuatan pola yang mahal. Metode *gravity die casting* memiliki dimensi dinding minimal yang lebih tipis dibandingkan metode *sand casting*. Permasalahan yang muncul saat proses pengecoran adalah cacat yang sering terjadi pada hasil cor. Cacat yang sering terjadi adalah inklusi, *shrinkage*, dan *porosity*. Penelitian mengenai pembuatan *casing* CVT dengan proses *gravity die casting* perlu dilakukan sehingga didapatkan desain *casing* CVT yang lebih tipis namun tetap dapat menerima beban kerja yang dialami.

Bayu Prayoga (2015) melakukan penelitian desain sistem saluran untuk proses *sand casting* dari kepala silinder 650 cc kendaraan beroda tiga SINJAI yang disimulasikan menggunakan perangkat lunak pengecoran dan divalidasi dengan eksperimen. Lokasi penambahan *riser* diposisikan pada daerah yang membeku paling akhir berdasarkan hasil simulasi. Rizki Yustisiabellah (2015) melakukan penelitian desain sistem saluran untuk proses *gravity die casting* dari piston kendaraan beroda tiga SINJAI yang disimulasikan menggunakan perangkat lunak pengecoran. T. Nandi, S. Koyal, dan G. Sutradhar (2013) melakukan penelitian mengenai kesesuaian penambahan *riser* menggunakan metode NRL bila digunakan pada aluminium paduan Al-Si. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa metode NRL dapat digunakan pada aluminium. C. M. Choudhari (2014) membuktikan kesesuaian hasil simulasi menggunakan perangkat lunak AUTOCAS-T dengan eksperimen. Hasil eksperimen menunjukkan hasil yang sama dengan hasil simulasi, yaitu tidak terdapatnya cacat.

1.2 Perumusan Masalah

Bagaimana melakukan *redesign casing* CVT yang bebas cacat dan lebih tipis melalui perangkat lunak dan ditujukan untuk proses *sand casting* dan *gravity die casting*.

1.3 Tujuan Penelitian

Redesign casing CVT yang bebas cacat dan lebih tipis melalui perangkat lunak dan ditujukan untuk proses *sand casting* dan *gravity die casting*.

1.4 Batasan Masalah

Batasan Masalah dari penelitian ini adalah:

- Kecepatan penuangan konstan
- Temperatur penuangan aluminium cair konstan
- Temperatur lingkungan 30°C dan tekanan lingkungan 1 atm

- *Redesign* dilakukan pada material dan dimensi dari desai awal yang dimiliki

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memiliki manfaat adalah:

- Membantu perkembangan motor listrik di Indonesia terutama pada proses desain dan pengecoran *casing* CVT sehingga hasil pengecoran bebas cacat dan memiliki kekuatan yang baik.
- Membantu pembelajaran mengenai sistem saluran dan *riser* pengecoran yang efektif
- Membantu pembelajaran mengenai simulasi proses pengecor

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 2

Tinjauan Pustaka

2.1. Penelitian Terdahulu

Bayu Prayoga (2015) merancang sistem saluran untuk pengecoran kepala silinder 650 cc kendaraan beroda tiga SINJAI. Pengecoran *sand casting* ini dilakukan menggunakan aluminium ADC 12 dengan variasi jumlah *ingate* serta dimensi pada *open riser*. Variasi dari jumlah *ingate* yang digunakan adalah dua dan tiga *ingate* sedangkan variasi pada dimensi *open riser* adalah 20, 30, dan 35 mm. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pengecoran dengan dua *ingate* dan penambahan *riser* dengan ukuran 35 mm menghasilkan benda cor yang padat namun terdapat retakan pada permukaan karena penyusutan.

Rizki Yustisiabellah (2015) merancang sistem saluran untuk pengecoran piston kendaraan beroda tiga SINJAI. Pengecoran *gravity die casting* ini dilakukan menggunakan aluminium ADC 12 dengan diameter *riser* sebesar 3,5 kali dari tebal benda cor. Dalam penelitian ini akan divariasikan tinggi *riser* yang disesuaikan dengan hasil simulasi. Hasil penelitian ini adalah dibutuhkannya penambahan *riser* dengan tinggi 90 mm yang menghasilkan benda cor yang mengalami *shrinkage* pada permukaan sebesar 0,84% namun tidak memiliki potensi porositas sehingga benda cor tetap memiliki sifat mekanik yang baik.

T. Nandi, S. Koyal, dan G. Sutradhar (2013) melakukan penelitian mengenai kesesuaian penambahan *riser* menggunakan metode NRL bila digunakan pada aluminium LM 6 yang merupakan paduan Al-Si. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa penggunaan metode NRL untuk penentuan ukuran *riser* pada aluminium dapat digunakan dan dengan perbandingan diameter dan ketinggian *riser* sebesar 1:2 didapatkan hasil cor yang bebas *porosity*.

C. M. Choudhari (2014) melakukan penelitian mengenai perhitungan desain sistem saluran dan penambahan *riser* yang efektif dengan bantuan perangkat lunak simulasi pengecoran

AutoCAST-X. Lokasi penambahan *riser* diletakkan pada daerah yang membeku paling akhir pada hasil simulasi. Hasil simulasi yang tidak terdapat cacat akan dibuktikan dengan eksperimen pengecoran. Hasil eksperimen diuji radiografi dan ditemukan tidak ada penyusutan internal.

2.2. Aluminium dan Paduannya

Aluminium merupakan logam yang melimpah, ringan, dan kuat. Aluminium sering digunakan pada konstruksi pesawat maupun kendaraan otomotif karena sifatnya yang ringan dan kuat. Massa jenis dari aluminium hanya sebesar 2.700 kg/m^3 , jauh lebih rendah dibandingkan massa jenis besi yang bernilai 7.874 kg/m^3 . *Yield strength* dari aluminium paduan berkisar antara 100-570 MPa. Kekurangan dari aluminium adalah dibutuhkan energi yang besar dalam mengekstraksinya dari bauksit dan aluminium dapat dengan mudah bereaksi dengan hidrogen saat cair. [1]

Produk aluminium dibagi menjadi dua, yaitu *wrought* aluminium dan aluminium cor. Sekitar 75 sampai 80% aluminium digunakan untuk membentuk *wrought products*, seperti *rolled plate*, *sheet*, *foil*, ekstrusi, *rod*, *bar*, dan *wire*. Seluruh bentuk *wrought products* diproduksi dari *ingots*, dimana strukturnya seringkali telah berubah karena terkena proses pengerjaan dan perlakuan panas. Setiap kelas dari paduan memiliki sifat yang berbeda-beda, karena memiliki komposisi, struktur, maupun proses pengerjaan yang berbeda. Klasifikasi dari jenis aluminium berdasarkan paduannya dapat dilihat pada tabel 2.1. Aluminium cor dapat dibedakan menjadi dua kelas, yaitu primer dan sekunder. Aluminium cor primer dibentuk dari aluminium baru sedangkan aluminium cor sekunder dibentuk dengan aluminium daur ulang. Perbedaan utama dari kedua jenis aluminium cor ini adalah hasil dari aluminium cor sekunder seringkali mengandung elemen-elemen yang tidak diinginkan sehingga sifat-sifatnya cenderung lebih rendah dibanding aluminium cor primer.

Tabel 2.1 Sistem empat digit untuk aluminium dan paduannya [2]

	<i>Current designation</i>	<i>Former designation</i>
<i>Aluminium, 99% or greater</i>	1xx.x	
<i>Aluminium alloys grouped by major alloying elements:</i>		
<i>Copper</i>	2xx.x	1xx
<i>Silicon with added copper and/or magnesium</i>	3xx.x 4xx.x	3xx 1 to 99
<i>Silicon</i>	5xx.x	2xx
<i>Magnesium</i>	7xx.x	6xx
<i>Zinc</i>	8xx.x	7xx
<i>Tin</i>		
<i>Other element</i>	9xx.x	7xx
<i>Unused series</i>	6xx.x	

Aluminium cor yang sering digunakan adalah paduan Al-Si karena tambahan silikon meningkatkan *fluidity* saat paduan aluminium dalam kondisi cair. Tambahan silikon juga akan meningkatkan ketahanan terhadap korosi, meningkatkan *weldability*, dan menurunkan *coefficient thermal expansion* pada paduan Al-Si. Pada paduan Al-Si seringkali ditambahkan tembaga sehingga terbentuk paduan Al-Si-Cu. Tambahan tembaga pada paduan aluminium dapat meningkatkan kekuatan dan *hardenability* dengan proses *age hardening*. Tambahan tembaga juga akan meningkatkan *machinability* dari aluminium paduan. [2]

Aluminium A380 merupakan salah satu paduan Al-Si-Cu yang sering digunakan pada proses pengecoran karena memiliki sifat fisik dan mekanik yang baik, *fluidity* yang cukup tinggi, dan ketahanan terhadap *hot cracking*. Aluminium jenis ini sering digunakan pada produk-produk seperti *chassis* kendaraan, *gearbox*, perabotan rumah tangga, dan alat-alat perkakas. Kelebihan dari aluminium A380 antara lain lebih ringan dari kebanyakan material untuk pengecoran, lebih mudah dalam proses *surface finishing*, memiliki ketahanan temperatur kerja yang cukup

tinggi, tahan korosi, dan memiliki stabilitas dimensi yang baik. Komposisi kimia, sifat mekanik, dan sifat fisik dari aluminium A380 dapat dilihat pada tabel 2.2, tabel 2.3, dan tabel 2.4. [3]

Tabel 2.2 Komposisi kimia aluminium A380 [3]

Jenis Logam	Persentase (%)
Aluminium (Al)	80,25-89,5
Tembaga (Cu)	3-4
Magnesium (Mg)	0,1
Besi (Fe)	1,3
Timah (Sn)	0,35
Nikel (Ni)	0,5
Seng (Zn)	3
Mangan (Mn)	0,5
Silikon (Si)	7,5-9,5
Logam Lain	0,5

Tabel 2.3 Sifat mekanik aluminium A380 dengan *cold chamber die casting* [3]

<i>Mechanical Properties</i>	
<i>Tensile Strength</i>	325 MPa
<i>Yield Strength</i>	160 MPa
<i>Impact Strength</i>	4 J
<i>Shear Strength</i>	185 MPa
<i>Hardness</i>	80 HB
<i>Elongation</i>	3.5% (dr 50 mm)

Tabel 2.4 Sifat fisik aluminium A380 dengan *cold chamber die casting* [3]

Physical Properties	
Massa Jenis	2,71 g/cm ³
Titik Leleh ($\pm 50^{\circ}\text{C}$)	566 $^{\circ}\text{C}$
Konduktifitas Termal	96 W/m.K
Koefisien Ekspansi Termal	21.8 $\mu\text{m/m.K}$
Konduktifitas Elektrik	23%

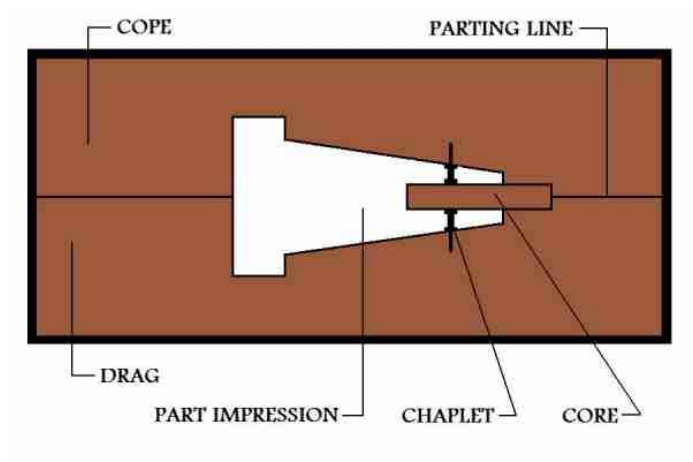
2.3. Pola

Pola merupakan bagian dari proses pengecoran yang sangat penting karena digunakan sebagai patokan bentuk hasil cor dalam pembuatan cetakan. Pola dapat dibedakan menjadi dua, yaitu pola logam dan pola kayu. Pola logam digunakan bila dibutuhkan ketelitian pada ukuran benda cor dan masa produksi yang panjang. Kelebihan dari pola logam adalah pola ini tahan lama sehingga produktivitas lebih tinggi. Pola kayu lebih sering digunakan pada cetakan pasir karena harganya yang lebih murah, pembuatan pola yang cepat, dan lebih mudah dibuat dibandingkan dengan pola logam. [4]

2.3.1. Kup, *Drag*, dan Permukaan Pisah

Kup (*cope*) merupakan bagian atas dari cetakan pasir sedangkan *drag* merupakan bagian bawah dari cetakan pasir (gambar 2.1). Kup dan *drag* dipisahkan oleh permukaan pisah (*parting line*) yang berfungsi sebagai media untuk mengeluarkan pola. Penentuan lokasi kup, *drag*, dan permukaan pisah merupakan hal yang penting untuk mendapatkan cor yang baik. Hal-hal yang harus dipertimbangkan dalam pembuatan kup, *drag*, dan permukaan pisah adalah sebagai berikut:

1. Pola harus mudah dikeluarkan dari cetakan (dapat dicapai dengan menggunakan satu permukaan pisah)
2. Inti (*part impression*) harus ditempatkan pada lokasi yang strategis
3. Sistem saluran harus dibuat semirip mungkin dengan desain asli untuk mendapatkan aliran logam cair yang optimum
4. Jumlah permukaan pisah yang sedikit dapat mempercepat proses pembuatan cetakan dan mengurangi kemungkinan cacat. [4]



Gambar 2.1 Bagian-bagian pola [5]

2.3.2. Tambahan Penyusutan

Logam memiliki kecenderungan untuk menyusut saat pembekuan dan pendinginan, sehingga diperlukan penambahan ukuran untuk mencapai ukuran hasil cor yang diinginkan. Penambahan untuk penyusutan dari sebagian jenis logam yang disarankan dapat dilihat pada tabel 2.5. [4]

Tabel 2.5 Tambahan penyusutan yang disarankan [4]

Tambahan Penyusutan	Bahan
8/1000	Besi cor, baja cor tipis
9/1000	Besi cor, baja cor tipis yang banyak menyusut
10/1000	Besi cor, baja cor tipis yang banyak menyusut, aluminium
12/1000	Paduan aluminium, brons, baja cor (tebal 5-7 mm)
14/1000	Kuningan kekuatan tinggi, baja cor
16/1000	Baja cor (tebal >10 mm)
20/1000	Baja cor yang besar
25/1000	Baja cor yang besar dan tebal

2.3.3. Tambahan Penyelesaian Mesin

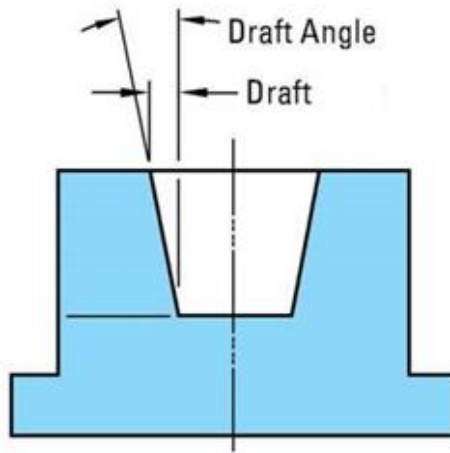
Hasil cor seringkali memiliki kekasaran permukaan yang belum sesuai dengan yang diinginkan sehingga perlu dilakukan penambahan ketebalan pada pola agar dapat dilakukan proses permesinan tanpa mengubah dimensi akhir hasil cor. Penambahan tebal yang diperlukan untuk permukaan kup dan drag dapat dilihat pada tabel 2.6. [4]

Tabel 2. 6 Tambahan ukuran untuk benda tuangan bukan besi (*casting non-iron*) untuk penyelesaian mesin (*machining*)

Ukuran Coran	Ukuran tambahan (mm)	
	<i>Cope</i>	<i>Drag</i>
s/d 100	2	4
100-300	2-3	4-5
300-600	4-5	5-6
600-1000	5-6	6-7
1000-1500	6-7	7-8
Lebih besar dari 1500	7-8	8

2.3.4. Kemiringan Pola

Permukaan-permukaan tegak pada hasil cor sebaiknya diberi kemiringan pola atau *draft angle* mulai dari permukaan pisah untuk mempermudah proses pengangkatan pola (gambar 2.2). Kemiringan yang dianjurkan pada pola logam sebesar $1/200$ sedangkan pada pola kayu sebesar $1/30 - 1/100$. [4]



Gambar 2.2 *Draft angle* [6]

2.4. Cetakan Pasir (*Sand Casting*)

Cetakan pasir adalah cetakan yang paling sering digunakan pada proses pengecoran. Komponen utama dari cetakan pasir adalah pasir cetak. Sebagian jenis pasir cetak sudah mengandung tanah lempung yang berguna sebagai komponen pengikat, sedangkan sebagian lain harus menggunakan pengikat khusus, seperti *waterglass* dan gas CO.

Proses pembuatan cetakan pasir yang umum digunakan adalah dengan kup dan *drag*. Awalnya papan cetakan harus diletakkan di daerah yang rata. Setelah menentukan letak saluran turun (*sprue*), pola dan rangka cetakan *drag* diletakkan diatas papan cetakan. Rangka cetakan harus cukup besar agar tebal pasir dapat mencapai 30-50 mm. Pasir muka (pasir cetak yang telah diayak) ditaburkan setebal 30 mm untuk menutupi permukaan pola dalam rangka cetak. Pasir cetak ditambahkan diatas pasir muka lalu dipadatkan dengan penumbuk. Proses penumbukan tidak boleh dilakukan dengan terlalu keras agar pola tidak terdorong langsung oleh penumbuk. Pasir yang melewati bagian atas dari rangka cetakan *drag* dibuang. Rangka cetakan *drag* dibalik dan diletakkan pada papan cetakan. Rangka cetakan kup beserta setengah pola lainnya dipasang kemudian bahan pemisah ditaburkan di permukaan pisah dan permukaan pola. Batang saluran untuk membentuk saluran turun (*sprue*) dan *riser* dipasang, kemudian pasir muka dan pasir cetak dimasukkan dalam rangka cetakan dan dipadatkan. Bila rangka cetakan tidak memiliki *pen* dan kuping, maka rangka-rangka cetakan harus ditandai agar tidak salah dalam penutupannya. Kup dipisahkan dari *drag* dan diletakkan mendatar pada papan cetakan. Pola diambil dan bila diperlukan inti dipasangkan pada rongga cetakan lalu kup dan *drag* ditutup kembali. [4]

2.5. Cetakan Permanen (*Permanent Mould*)

Cetakan permanen adalah proses pengecoran yang dapat digunakan berulang kali untuk logam paduan *non-ferrous*,

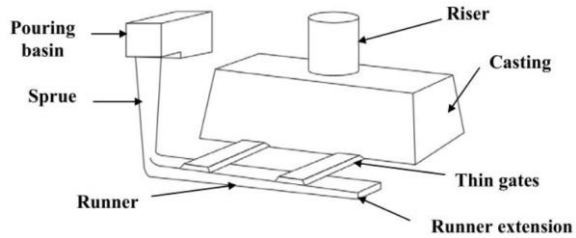
khususnya paduan aluminium, seng, dan tembaga. Kelebihan cetakan permanen dibandingkan cetakan pasir adalah ketelitian yang lebih baik, struktur mikro yang lebih rapat, proses pengerjaan yang lebih mudah, dan produktivitas yang lebih tinggi. Kekurangan dari cetakan permanen adalah dibutuhkannya jumlah produksi yang besar, biaya cetakan yang mahal, dan bila diperlukan proses perbaikan cetakan akan membutuhkan biaya yang mahal dan proses yang rumit. [4]

Salah satu jenis cetakan permanen adalah *gravity die casting*. *Gravity die casting* adalah cetakan permanen yang memanfaatkan gaya gravitasi untuk menekan aluminium cair menuju pola. Cetakan dari *gravity die casting* perlu dipanaskan hingga 300-350°C sebelum pengecoran dilakukan [7]. Ketebalan dinding minimum untuk *gravity die casting* adalah 3 mm. [8]

Cetakan dari *gravity die casting* dibentuk dari baja *low alloy* atau besi cor *pearlitic* dengan ukuran *fine grain*. Kapasitas pengecoran yang sesuai untuk menggunakan *gravity die casting* adalah 1.000 – 100.000 benda cor per tahun. *Gravity die casting* dapat dilakukan secara manual dengan menggunakan tenaga manusia maupun secara otomatis dengan menggunakan robot. [7]

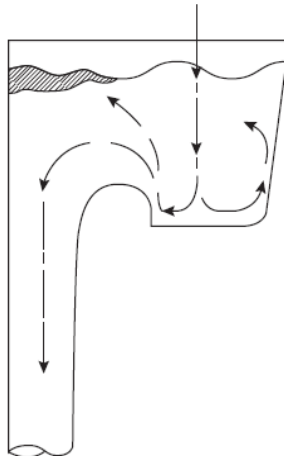
2.6. Sistem Saluran (*Gating System*)

Sistem saluran adalah jalan masuk bagi aluminium cair yang dituangkan ke dalam rongga cetakan. Sistem saluran memiliki beberapa bagian, antara lain cawan tuang (*pouring basin*), saluran turun (*sprue*), sumur (*well*), pengalir (*runner*), saluran masuk (*ingate*), dan *runner extension* yang dapat dilihat pada gambar 2.3. [4]



Gambar 2.3 Bagian-bagian sistem saluran [9]

Cawan tuang merupakan lokasi dimana aluminium cair pertama dituangkan. Cawan tuang yang akan digunakan pada penelitian ini adalah *offset step basin*. *Offset step basin* memiliki daerah *step* yang menampung aluminium cair terlebih dahulu agar tidak langsung jatuh kedalam *sprue* dan *well*. Pada gambar 2.4 ditunjukkan *sprue* dengan bentuk *step* yang dianjurkan, yaitu *step* yang memiliki radius agar aluminium cair dapat turun melalui dinding *sprue*. [8]



Gambar 2.4 *Offset step basin* dengan *step* yang memiliki radius [8]

Sprue adalah bagian dari sistem saluran yang menjadi jalan untuk aluminium cair menuju daerah terendah dari sistem saluran dengan kecepatan aliran serendah mungkin. *Sprue* yang baik memiliki bentuk *tapered* sehingga aliran aluminium cair tidak rentan terpecah dan menyebabkan terbawanya gas yang berlebih. *Well* yang berada di bagian bawah *sprue* berfungsi untuk menenangkan aliran aluminium cair dari *sprue* sebelum masuk ke *runner*. [9]

Runner merupakan bagian dari sistem saluran yang menjadi jalan untuk mendistribusikan aluminium secara horisontal menuju cetakan. Aliran awal aluminium cair yang masuk ke dalam sistem saluran seringkali mengandung banyak inklusi dan gas. Di ujung *runner* perlu ditambahkan *runner extension* yang berfungsi untuk mencegah aliran awal aluminium masuk ke dalam rongga pola cetakan. [10]

Tujuan dari desain sistem saluran adalah menghasilkan hasil cor yang bebas dari cacat. Tahap dari desain sistem saluran antara lain:

1. Mencari massa jenis (ρ) dari logam yang digunakan dan volume (V) benda yang akan di cor.

2. Menghitung massa (W) dari hasil cor dengan rumus:

$$W = \rho \cdot V$$

W = massa hasil cor (kg)

ρ = massa jenis logam (kg/m^3)

V = volume benda (m^3)

3. Menghitung *pouring rate* (R) dan *adjusted pouring rate* (R_a) dengan rumus:

$$R = b\sqrt{W}$$

R = *pouring rate* (kg/s)

b = *wall thickness constant*

W = massa hasil cor (kg)

$$R_A = \frac{R}{K \cdot C}$$

R_A = adjusted pouring rate (kg/s)
 R = pouring rate (kg/s)
 K = metal fluidity
 C = effect of friction

4. Menghitung waktu tuang (t) dengan rumus:

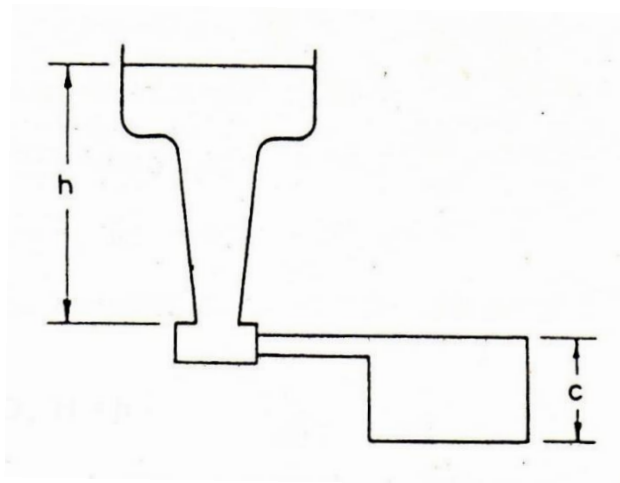
$$t = \frac{W}{R_A}$$

t = waktu tuang (s)
 W = massa hasil cor (kg)
 R_A = adjusted pouring rate (kg/s)

5. Menentukan jenis *gating*, ketinggian *sprue* (h), dan tinggi efektif (H).

Untuk *top gating* (gambar 2.5):

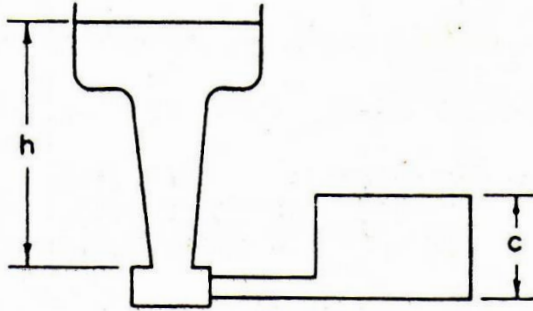
$$H = h$$



Gambar 2.5 *Top gating* [11]

Untuk *bottom gating* (gambar 2.6):

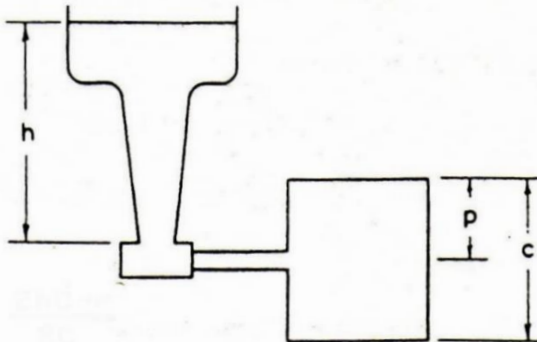
$$H = h - \frac{c}{2}$$



Gambar 2.6 *Bottom gating* [11]

Untuk *parting line gating* (gambar 2.7):

$$H = \frac{2 \cdot h \cdot c - p^2}{2 \cdot c}$$



Gambar 2.7 *Parting line gating* [11]

6. Menghitung *choke area* ($A_{sprue-exit}$) dan *sprue top area* (A_T) dengan rumus:

$$A_C = \frac{W}{\rho \cdot t \cdot c \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}}$$

A_C	= luas <i>choke</i> (m^2)
W	= massa hasil cor (kg)
ρ	= massa jenis logam (kg/m^3)
c	= koefisien <i>discharge</i>
g	= gaya gravitasi (9,81 m/s^2)
H	= tinggi efektif (m)

$$A_{sprue-inlet} = A_{sprue-exit} \sqrt{\frac{h_{sprue-exit}}{h_{sprue-inlet}}}$$

$A_{sprue-inlet}$	= luas <i>sprue top</i> (m^2)
$A_{sprue-exit} = A_C$	= luas <i>choke</i> (m^2)
$h_{sprue-inlet}$	= jarak <i>sprue top</i> dari bagian atas cawan tuang (m)
$h_{sprue-exit}$	= jarak <i>choke</i> dari bagian atas cawan tuang (m)

7. Menentukan luas *runner* (A_R) dan luas *ingate* (A_G) berdasarkan perbandingan:

$$4. A_C = A_R = A_G$$

A_C	= luas <i>choke</i> (m^2)
A_R	= luas <i>runner</i> (m^2)
A_G	= luas <i>ingate</i> (m^2)

8. Menghitung *well base* dan *well depth* dengan rumus:

$$\text{well base} = 5 \cdot A_{sprue-inlet}$$

<i>Well base</i>	= luas bagian bawah <i>well</i> (m^2)
$A_{sprue-exit}$	= luas <i>choke</i> (m^2)

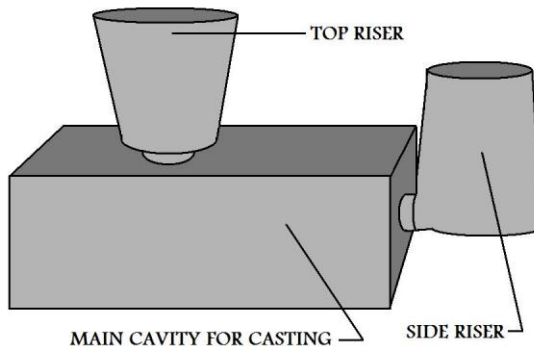
$well\ depth = 2 \cdot (runner\ depth)$

Well depth = kedalaman *well* (m)
Runner depth = kedalaman *runner* (m) [12]

2.7. Penambah (*Riser*)

Penambah atau *riser* merupakan bagian dari hasil logam cor yang berfungsi untuk menampung aluminium cair sebagai penambah volume aluminium yang menyusut saat pembekuan hasil cor. Aluminium cair yang berada pada *riser* tidak boleh membeku lebih awal dari hasil cor. Volume *riser* diusahakan seoptimal mungkin, bila volume *riser* terlalu sedikit maka hasil cor akan tetap berongga, namun bila volume *riser* terlalu banyak maka *riser* tersebut dinilai kurang efektif.

Riser digolongkan menjadi dua jenis, yaitu *side riser* (penambah samping) dan *top riser* (penambah atas). Bentuk dari *side riser* dan *top riser* dapat dilihat pada gambar 2.8. *Side riser* dipasang di samping benda cor dan langsung dihubungkan dengan saluran turun dan pengalir. *Side riser* dipakai pada benda cor dengan ukuran kecil dan menengah. *Top riser* dipasang diatas coran yang berukuran besar dan sering digunakan pada pengecoran. [4]



Gambar 2.8 *Side riser* dan *top riser* [13]

Salah satu metode desain *riser* dari aluminium adalah metode NRL (*Naval Research Laboratory*) dengan memperhitungkan *shape factor*. Dalam metode ini, *shape factor* (SF) dihitung dengan rumus:

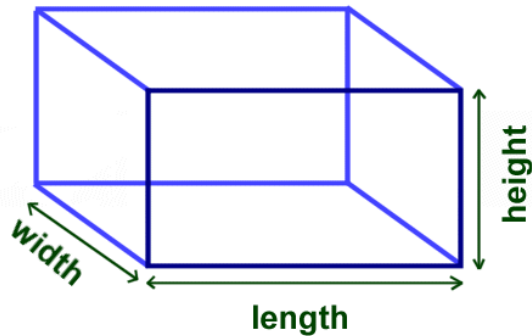
$$SF = \frac{L + W}{T}$$

SF = *shape factor*

L = *length* (lihat gambar 2.9)

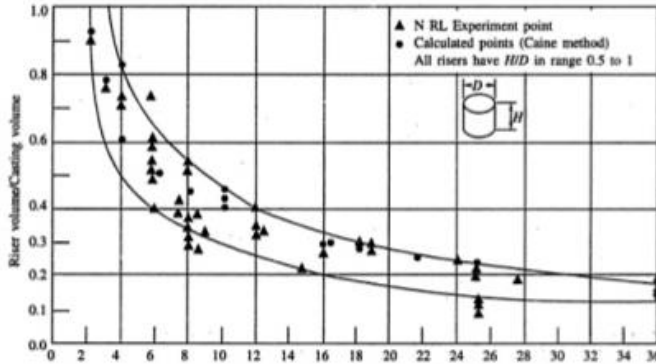
W = *width* (lihat gambar 2.9)

T = *height* (lihat gambar 2.9)



Gambar 2.9 Dimensi untuk *shape factor* [14]

Setelah *shape factor* didapatkan, dicari nilai perbandingan volume *riser* dengan volume benda cor melalui grafik pemilihan volume minimal *riser* yang terdapat pada gambar 2.10. Volume minimal *riser* dapat dihitung karena volume benda cor telah diketahui dan digunakan pada simulasi atau pengecoran. Perbandingan antara diameter dan ketinggian *riser* adalah 1:2. [15]



Gambar 2.10 Grafik relasi antara volume riser dan benda cor dengan *shape factor* berdasarkan metode NRL [16]

2.8. Pembekuan (*Solidification*)

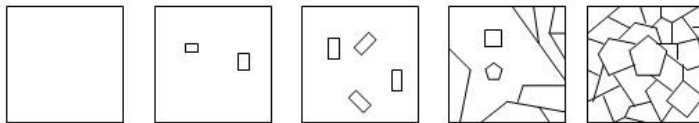
Pembekuan atau *solidification* terjadi ketika logam cair mulai dituang pada cetakan (*mould*) dan mekanisme terjadinya pembekuan dapat mempengaruhi cacat akibat penyusutan (*shrinkage*). Berdasarkan jenisnya, pembekuan digolongkan menjadi tiga, yaitu:

1. Pembekuan logam murni

Pembekuan pada logam murni terjadi pada titik beku yang berada pada temperatur yang konstan. Titik beku dari logam murni berbeda-beda tergantung jenis logamnya, contohnya tembaga pada 1.083°C , perak pada 961°C , aluminium pada 660°C , dan timah pada 232°C .

Dalam proses pembekuan, awalnya inti-inti kristal tumbuh. Kristal kemudian tumbuh di sekeliling inti tersebut dan inti lain yang tumbuh pada saat itu. Seluruh bagian akhirnya tertutup oleh butir kristal sampai logam cair memadat. Hal ini mengakibatkan seluruh logam menjadi susunan kelompok-kelompok butir kristal beserta batas butir. Batas butir adalah batas yang terdapat diantara butir-butir kristal tersebut.

Ukuran butir kristal tergantung pada laju pengintian dan pertumbuhan inti. Bila laju pertumbuhan lebih besar daripada laju pengintian, maka didapatkan kelompok butir-butir kristal yang besar (*coarse grain*), sedangkan bila laju pengintian lebih besar dari laju pertumbuhan, maka didapatkan kelompok butir-butir kristal halus (*fine grain*). Pada gambar 2.11 digambarkan ilustrasi skematis dari proses pembekuan logam.



Gambar 2.11 Ilustrasi skematis dari pembekuan logam [4]

2. Pembekuan paduan

Bila suatu logam memiliki dua unsur atau lebih lalu didinginkan dari keadaan cair maka butir-butir kristalnya akan berbeda dengan butir-butir kristal dari logam murni. Apabila suatu paduan yang mengandung dua komponen yaitu komponen A dan komponen B membeku, maka umumnya akan didapatkan butir-butir kristal campuran dari kedua komponen. Terdapat dua hal yang terjadi, yang pertama disebut larutan padat dan yang kedua disebut senyawa antar-logam. Larutan padat adalah komponen A yang terlarut pada komponen B atau sebaliknya dan merupakan keadaan dimana sebagian atom dari konfigurasi atom A disubstitusikan oleh atom B atau atom B berhasil menembus ke dalam ruang bebas antar atom dari konfigurasi atom A. Senyawa antar-logam adalah komponen A dan B terikat satu sama lain dengan perbandingan tertentu. Senyawa antar-logam terdiri dari ikatan komponen A dan komponen B sehingga mempunyai kisi kristal yang berbeda dari komponen A maupun B.

3. Pembekuan coran

Pembekuan coran dimulai dari bagian logam yang bersentuhan dengan cetakan ketika panas dari logam cair

mengalir ke cetakan sehingga bagian logam yang bersentuhan dengan cetakan mendingin hingga mencapai titik beku dimana inti-inti kristal akan tumbuh. Bagian dalam dari benda cor mendingin dengan lebih lambat daripada bagian luar logam cor sehingga kristal akan tumbuh dari bagian luar ke bagian dalam logam cor dengan struktur kolomnar. Struktur kolomnar muncul dengan jelas apabila terdapat gradien temperatur yang cukup besar pada permukaan benda cor. Struktur kolomnar biasanya muncul pada pengecoran dengan cetakan logam (*die casting*). Pengecoran dengan cetakan pasir (*sand casting*) cenderung memiliki gradien temperatur yang lebih rendah dan membentuk struktur kolomnar dendritik. Bagian tengah dari benda cor memiliki gradien temperatur yang kecil sehingga terbentuk susunan dari butir-butir kristal segi banyak dengan orientasi yang sembarang (*equiaxed*).

Hasil cor dapat memiliki permukaan yang halus maupun kasar. Permukaan halus terbentuk bila logam memiliki daerah beku (perbedaan temperatur antara penuangan hingga pembekuan) yang sempit dan permukaan kasar bila logam memiliki daerah beku yang lebar. Cetakan logam cenderung memiliki permukaan yang halus dan cetakan pasir memiliki permukaan kasar akibat kekasaran dari dinding cetakan.

Pembekuan hasil cor dimulai dari bagian luar menuju ke tengah. Waktu pembekuan yang dibutuhkan akan sebanding dengan perbandingan antara volume dan luas permukaan. Laju pertumbuhan lapisan pembekuan dari hasil cor akan lebih cepat pada bagian luar dan cenderung lambat pada bagian dalam yang diakibatkan oleh gradien temperaturnya. [4]

2.9. Cacat pada Logam Cor

Defect atau cacat pada hasil pengecoran adalah bentuk pada hasil pengecoran yang tidak diinginkan. Beberapa cacat dapat ditoleransi namun sebagian besar harus dihilangkan. Cacat yang sering terjadi pada proses *sand casting* dan *die casting* dapat dikategorikan menjadi tiga berdasarkan penyebabnya, yaitu:

i. Cacat Logam (*Metallurgical Defects*)

Cacat yang tergolong sebagai cacat logam antara lain:

a. *Porosity*

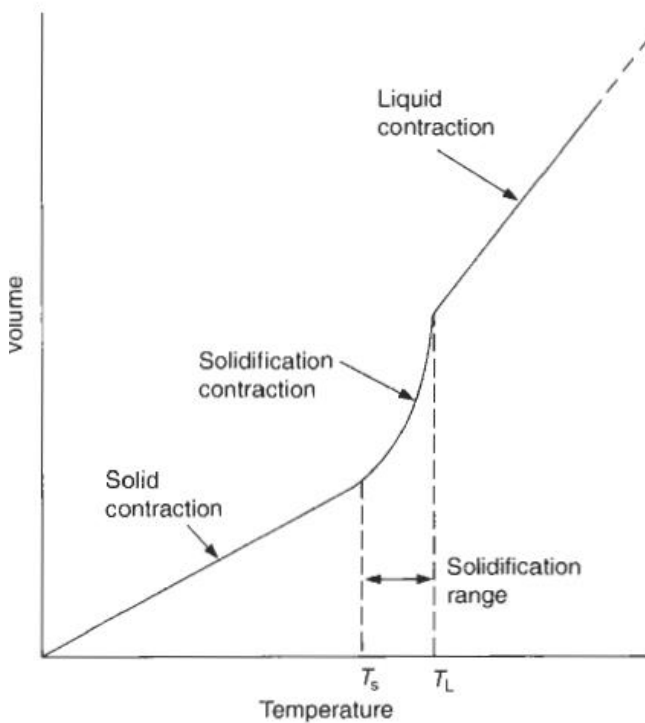
Porosity merupakan cacat yang sering terjadi pada proses pengecoran. *Porosity* merupakan lubang dalam hasil cor. Bila dilihat dari ukurannya, *porosity* umumnya dapat dibagi menjadi dua, yaitu *microporosity* dan *macroporosity* [17]. *Microporosity* merupakan lubang dengan panjang antara 10^{-6} m hingga 10^{-4} m, sedangkan *macroporosity* merupakan lubang dengan panjang 10^{-2} m hingga 1 m [18].

Bila dilihat dari penyebabnya, *porosity* dapat dibagi menjadi dua, yaitu *gas porosity* dan *shrinkage porosity*. *Gas porosity* terjadi karena terperangkapnya udara, uap air, atau hidrogen pada aluminium cair. Gas yang terperangkap ini akan menyebabkan cacat berbentuk gelembung setelah aluminium membeku. *Gas porosity* dapat disebabkan oleh kecepatan penuangan yang lambat, terlarutnya gas pada aluminium, dan cetakan masih dalam kondisi basah. *Gas porosity* dapat dihindari dengan mempercepat proses penuangan, memberikan lubang udara yang memadai pada cetakan, penggunaan *laddle* yang memadai untuk mengisi cetakan, dan memperbaiki desain sistem saluran. Contoh dari *gas porosity* dapat dilihat pada gambar 2.12.



Gambar 2.12 *Gas porosity* [19]

Shrinkage atau penyusutan terjadi karena volume logam saat cair lebih besar dibandingkan volume logam saat padat. Pada gambar 2.13 ditunjukkan bahwa volume logam akan meningkat saat temperaturnya naik dan menyusut saat mengalami pendinginan. Penyusutan yang terjadi pada logam saat pendinginan dapat menyebabkan *shrinkage porosity* dan *sink*. [20]



Gambar 2.13 Ilustrasi grafik volume dibandingkan temperatur dari logam [20]

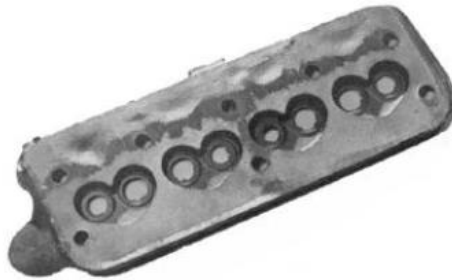
Shrinkage porosity merupakan retakan atau lubang di dalam hasil cor. *Shrinkage porosity* disebabkan oleh geometri pengecoran yang terlalu kompleks, desain sistem saluran yang buruk, dan penyusutan volume aluminium saat proses solidifikasi. Cacat ini dapat dihindari dengan memberikan toleransi tambahan pada cetakan, menyederhanakan geometri pengecoran, memperbaiki desain sistem saluran, dan menambahkan *riser*. Contoh dari *shrinkage porosity* dapat dilihat pada gambar 2.14.



Gambar 2.14 *Shrinkage porosity* [19]

b. *Sink*

Sink merupakan cacat akibat penyusutan berupa turunnya aluminium pada permukaan yang tidak sesuai dengan permukaan pola. *Sink* terjadi karena kekurangan volume aluminium cair yang dituangkan, waktu penuangan yang lambat, penyusutan yang besar, dan temperatur tuang yang terlalu tinggi. Cacat ini dapat dihindari dengan menambah volume aluminium yang dituangkan, mempercepat waktu penuangan, mencari lokasi *ingate* yang tepat, memberikan *riser*, dan menurunkan temperatur tuang aluminium. Contoh dari *sink* dapat dilihat pada gambar 2.15.



Gambar 2.15 Sink [19]

c. Inklusi

Inklusi merupakan terbawanya komponen yang tidak diinginkan pada hasil cor. Inklusi dapat berbentuk oksida, *slag*, pasir, atau tanah. Cacat ini dapat menurunkan sifat mekanik dari hasil cor. Penyebab inklusi antara lain cetakan yang kotor dan logam paduan yang belum bercampur dengan sempurna. Inklusi dapat dihindari dengan melakukan pembersihan cetakan, meningkatkan desain sistem saluran, dan memberikan logam paduan dalam bentuk yang kecil. Contoh dari inklusi dapat dilihat pada gambar 2.16.



Gambar 2.16 Inklusi [19]

d. Dross

Dross merupakan oksida (Al_2O_3) yang terperangkap dalam aluminium cair akibat temperatur pelelehan aluminium yang terlalu tinggi dan *holding time* dari aluminium yang terlalu lama. *Dross* dapat dihindari dengan menurunkan temperatur aluminium cair, menghindari pengadukan aluminium cair, dan memperpendek *holding time*. Contoh dari *dross* dapat dilihat pada gambar 2.17.



Gambar 2.17 *Dross* [21]

ii. Cacat akibat Efek Temperatur

Cacat yang diakibatkan temperatur antara lain:

a. *Hot Tears*

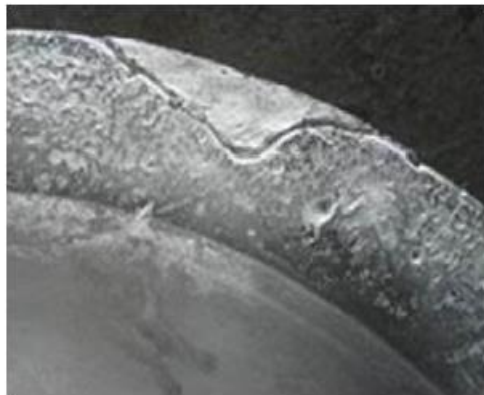
Hot tears adalah cacat yang terjadi pada saat proses solidifikasi dan diakibatkan oleh kontraksi termal, daerah ujung cetakan yang memiliki sudut tajam, peletakan sistem saluran yang tidak tepat, dan dinding yang terlalu tipis. *Hot tears* dapat dihindari dengan memberikan *fillet* pada daerah ujung cetakan, penggunaan ketebalan yang seragam, dan menggunakan ketebalan minimum tergantung dari proses pengecoran. Ilustrasi dari *hot tears* dapat dilihat pada gambar 2.17.



Gambar 2.18 *Hot tears* [19]

b. *Cold Shuts*

Cold shuts merupakan proses pembekuan yang terjadi terlebih dahulu sehingga terjadi perpisahan antara dua arah aliran aluminium. Penyebab *cold shuts* antara lain *fluidity* yang rendah, dinding yang terlalu tipis, temperatur penuangan yang rendah, dan desain sistem saluran yang kurang baik. *Cold shuts* dapat dihindari dengan menambahkan logam paduan yang meningkatkan *fluidity*, menggunakan ketebalan minimum yang dianjurkan, meningkatkan temperatur tuang, dan memperbaiki desain sistem saluran. Contoh dari *cold shuts* dapat dilihat pada gambar 2.19. [19]



Gambar 2.19 *Cold shuts* [19]

c. Segregasi

Segregasi merupakan cacat yang diakibatkan distribusi komposisi kimia yang tidak merata. Segregasi dapat dikategorikan menjadi dua jenis, yaitu *microsegregation* dan *macrosegregation*. *Microsegregation* terjadi dalam skala mikroskopis diantara lengan dendrit sedangkan *macrosegregation* terjadi pada jarak 1centimeter hingga 1 meter. Segregasi yang terjadi dalam jarak 10-100 μ m dapat direduksi dengan dengan cara melakukan *homogenizing heat treatment* yang akan membantu proses redistribusi komposisi paduan. Contoh segregasi pada paduan Al-0,2Cu dapat dilihat pada gambar 2.20. [20]



Gambar 2.20 Segregasi pada Al-0,2Cu [20]

iii. *Mechanical Induced Defects*

Mechanical induced defects merupakan cacat yang diakibatkan kesalahan dari pembuatan cetakan. Cacat yang dapat dikategorikan sebagai *mechanical induced defects* antara lain:

a. Erosi

Erosi terjadi karena pasir yang terlepas saat terkena aluminium cair sehingga terbentuk kekasaran erosi dan rontokan cetakan. Kekasaran erosi maupun rontokan cetakan terjadi karena proses penumbukan yang tidak cukup kuat dan kekuatan ikat pasir yang tidak cukup. Cacat ini terjadi karena kecerobohan dalam pembuatan cetakan sehingga solusinya adalah pengerjaan yang lebih hati-hati. [4]

b. *Bending dan Surface Marks*

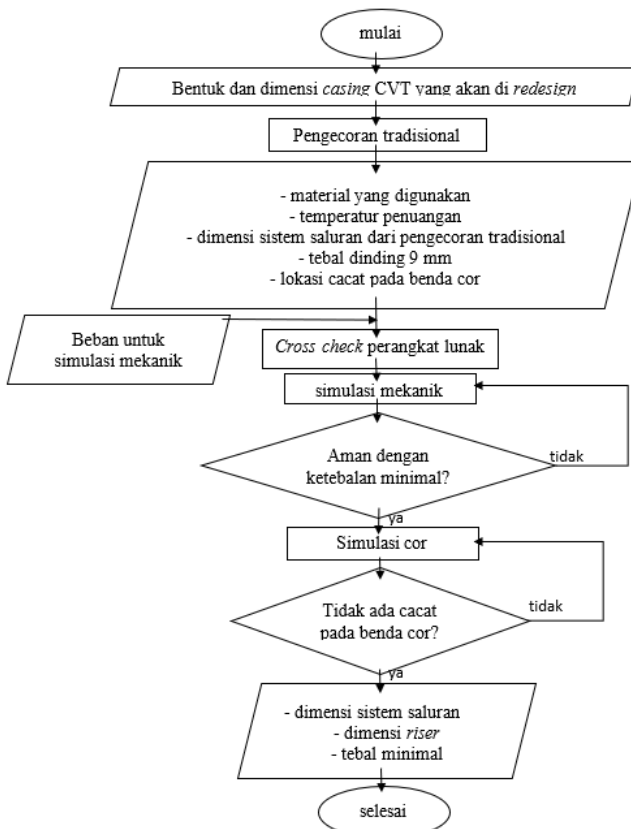
Bending dan surface marks dapat terjadi saat proses pelepasan hasil cor dimana cetakan yang digunakan tidak sesuai dengan *draft angle* yang dianjurkan sehingga terjadi cacat pada proses pengeluarannya. [19]

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 3 Metodologi Penelitian

3.1. Diagram Alir Umum

Dalam penelitian ini, ketiga komponen casing CVT, yaitu *base case CVT*, *cover CVT*, dan *cover transmisi* melalui tahap-tahap yang dapat dilihat pada gambar 3.1. Nilai ketebalan minimal bergantung terhadap proses simulasi cor yang diinginkan, yaitu 5 mm untuk *sand casting* dan 3 mm untuk *gravity die casting*.



Gambar 3.1 Diagram alir umum

1. Desain Awal

Desain awal menggunakan penyederhanaan dari *casing* CVT salah satu sepeda motor yang terdapat dipasaran. *Casing* CVT yang digunakan memiliki tiga komponen, yaitu *base case* CVT, *cover* CVT, dan *cover* transmisi.

2. Pengecoran Tradisional

Pengecoran tradisional dilakukan di salah satu rumah pengecoran di daerah Gedangan, Sidoarjo. Pengecoran dilakukan untuk mendapatkan variabel-variabel yang dibutuhkan untuk proses simulasi mekanik dan simulasi cor, yaitu jenis material yang digunakan, temperatur penuangan, dimensi sistem saluran pengecoran tradisional, dan lokasi cacat pada benda cor. Dari pengecoran tradisional ini didapatkan bahwa ketebalan dinding *casing* CVT untuk proses *cross check* adalah 9 mm.

3. *Cross Check* dengan Simulasi Cor

Cross check dilakukan dengan melakukan perbandingan lokasi pada benda cor dengan *void* pada hasil simulasi cor. Lokasi cacat yang sama mengindikasikan tahap *cross check* telah sesuai dan perangkat lunak yang dipilih untuk simulasi cor dapat digunakan.

4. Simulasi Mekanik

Desain *casing* CVT yang terdiri dari tiga bagian, yaitu *base case* CVT, *cover* CVT, dan *cover* transmisi akan disimulasikan menggunakan perangkat lunak *solidworks* untuk mengetahui apakah desain dari *casing* CVT yang dimiliki cukup kuat untuk menahan beban kerjanya. Desain *casing* CVT akan diperbaiki bila dari hasil simulasi mekanik didapatkan bahwa *casing* CVT tidak mampu menahan beban kerjanya.

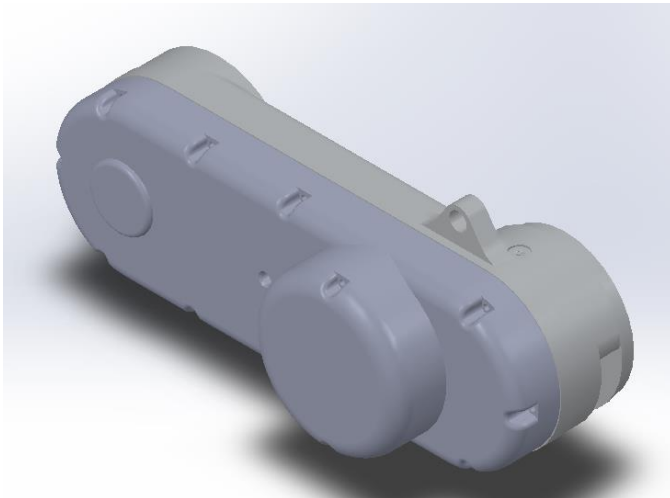
5. Simulasi Cor

Simulasi cor dilakukan dengan perangkat lunak pengecoran untuk melihat cacat *shrinkage* dan *porosity* yang akan terbentuk bila dilakukan proses pengecoran. Bila dari hasil simulasi cor terdapat cacat, maka hasil simulasi cor akan digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk mendesain sistem saluran dan bila diperlukan akan diberi penambahan *riser*.

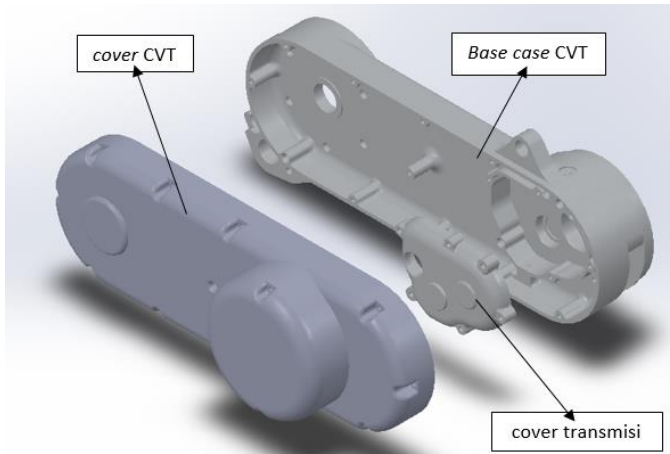
3.2. Data Awal untuk Simulasi

Pada gambar 3.2 ditunjukkan bentuk *assembly* dari *casing* CVT. Pada gambar 3.3 ditunjukkan bagian-bagian dari *casing* CVT yang dibagi menjadi 3, yaitu:

- *Base case* CVT dengan dimensi 536 x 243 x 99 mm
- *Cover* CVT dengan dimensi 535 x 170 x 107 mm
- *Cover* transmisi dengan dimensi 169 x 122 x 24.5 mm



Gambar 3.2 *Assembly casing* CVT



Gambar 3.3 Bagian-bagian *casing* CVT

Tahap awal dari proses pengecoran di CV Cipta Model adalah dibuatnya pola kayu. Hasil dari pola kayu dapat dilihat pada gambar 3.4, 3.5, dan 3.6.



Gambar 3.4 Pola kayu *base case* CVT



Gambar 3.5 Pola kayu *cover CVT*



Gambar 3.6 Pola kayu *cover transmisi*

Pola kayu yang telah selesai dibawa ke tempat pengecoran di daerah Gedangan, Sidoarjo. Pengecoran dilakukan dengan metode *sand casting* dan temperatur tuang 775°C yang dapat dilihat pada gambar 3.7. Bahan dasar yang digunakan adalah aluminium *scrap* dan *ingot* (gambar 3.8).



Gambar 3.7 Temperatur tuang aluminium paduan Al-Si



Gambar 3.8 Aluminium *scrap* (kanan) dan *ingot* (kiri)

Pada gambar 3.9, 3.10, dan 3.11 akan ditunjukkan cetakan pasir dari *base case* CVT, *cover* CVT, dan *cover* transmisi. Proses pengecoran ditunjukkan pada gambar 3.12.



Gambar 3.9 Cetakan pasir *base case* CVT



Gambar 3.10 Cetakan pasir *cover* CVT



Gambar 3.11 Cetakan pasir *cover* transmisi



Gambar 3.12 Proses penuangan aluminium cair

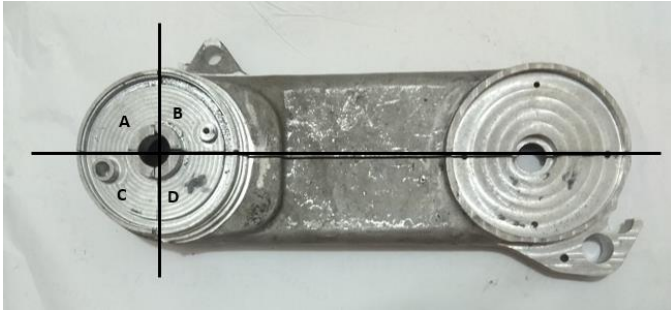
Salah satu cawan tuang hasil pengecoran diuji komposisi untuk dilakukan pendekatan pada *data base* perangkat lunak pengecoran. Hasil uji komposisi dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Komposisi kimia aluminium hasil pengecoran

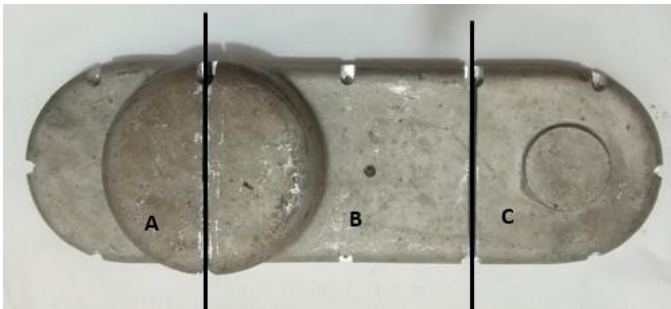
Jenis Logam	Persentase Hasil Cor (%)	Persentase A380 (%)
Aluminium (Al)	89.1	80.25-89.5
Tembaga (Cu)	1.89	3-4
Magnesium (Mg)	0.0162	0.1
Besi (Fe)	2.2	1.3
Timah (Sn)	0.227	0.35
Nikel (Ni)	0.0455	0.5
Seng (Zn)	2.52	3
Mangan (Mn)	0.0919	0.5
Silikon (Si)	1.52	7.5-9.5
Kromium (Cr)	0.027	0.5

Cross check data awal dilakukan dengan menggunakan data awal yang didapatkan dari pengecoran *casing* CVT di CV Cipta Model dan bahan dasar yang telah didekatkan dengan *data base* dari perangkat lunak pengecoran. Simulasi dengan perangkat lunak pengecoran dilakukan sesuai dengan dimensi sistem saluran dan *riser* dari data pengecoran yang telah dicatat. Hasil dari simulasi akan dibandingkan dengan hasil pengecoran dan bila lokasi cacat belum sesuai maka akan dilakukan penyesuaian *parameter* dan disimulasikan kembali. *Cross check* dinyatakan selesai bila hasil simulasi memiliki lokasi cacat yang sama dengan hasil pengecoran *casing* CVT.

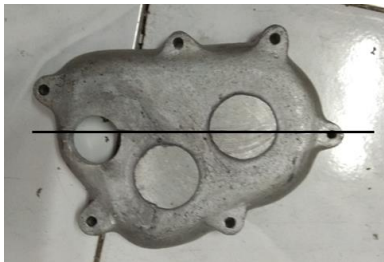
Proses *cross check* dilakukan dengan memotong hasil pengecoran *base case* CVT, *cover* CVT, dan *cover* transmisi pada daerah-daerah yang rawan terdapat cacat. Gambar pemotongan *base case* CVT, *cover* CVT, dan *cover* transmisi terdapat pada gambar 3.13, 3.14, dan 3.15.



Gambar 3. 13 Gambar pemotongan *base case* CVT



Gambar 3.14 Gambar pemotongan *cover* CVT

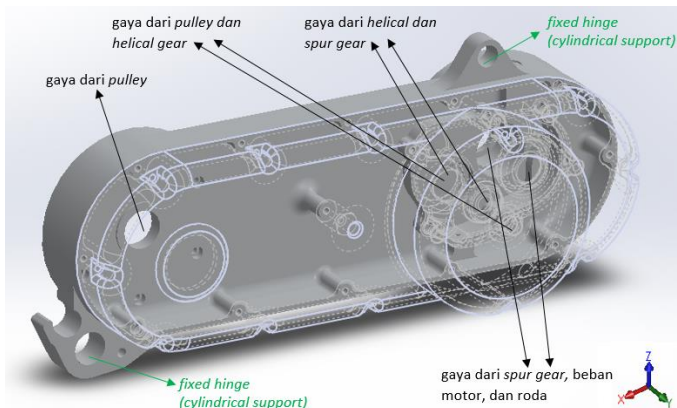


Gambar 3.15 Gambar pemotongan *cover* transmisi

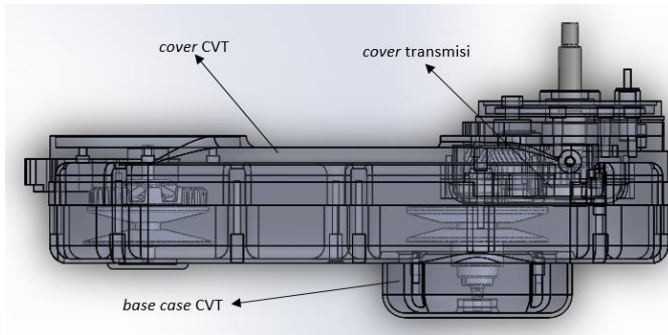
3.3. Simulasi Mekanik

Tahap simulasi mekanik akan dimulai dengan melakukan simulasi kekuatan dari *casing* CVT menggunakan perangkat lunak *solidworks*. Hasil simulasi yang diharapkan adalah desain *casing* CVT yang mampu menahan beban kerja yang diterima. Bila *casing* CVT tidak mampu menahan beban kerja yang diterima, maka akan dilakukan perbaikan desain dari *casing* CVT.

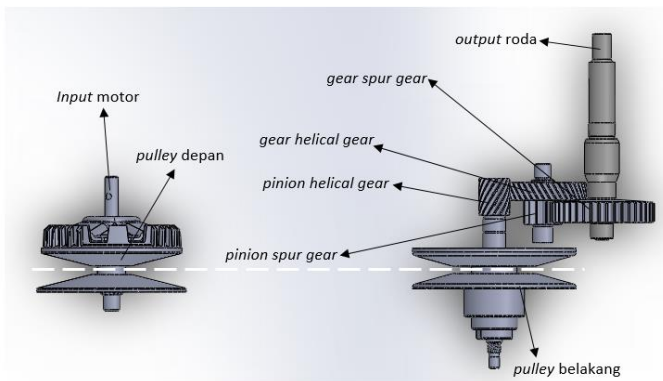
Gambar 3.16 menunjukkan *boundary condition casing* CVT pada simulasi menggunakan perangkat lunak *solidworks* dalam bentuk *assembly*. Pada gambar 3.17 dan 3.18 ditunjukkan komponen transmisi pada *casing* CVT sedangkan pada gambar 3.19, 3.20, dan 3.21 ditunjukkan gaya-gaya yang terjadi pada *base case* CVT, *cover* CVT, dan *cover* transmisi. Pada tabel 3.2 ditunjukkan nilai-nilai dari gaya yang terjadi pada *casing* CVT.



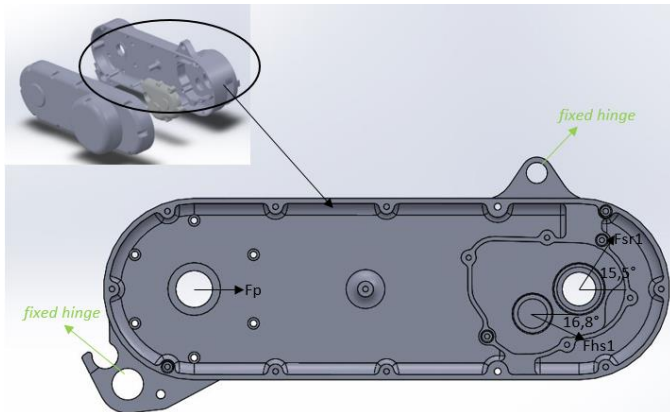
Gambar 3.16 *Boundary condition casing* CVT



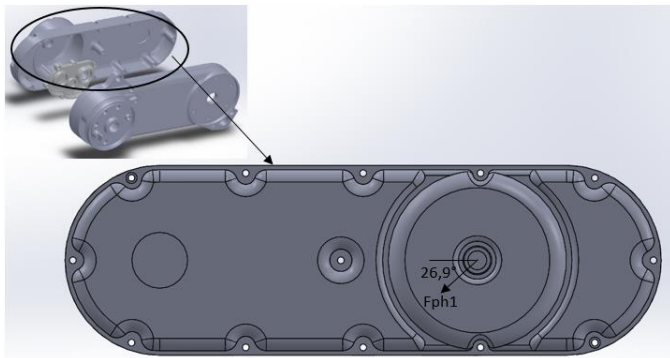
Gambar 3.17 *Casing* CVT dan komponen transmisi didalamnya



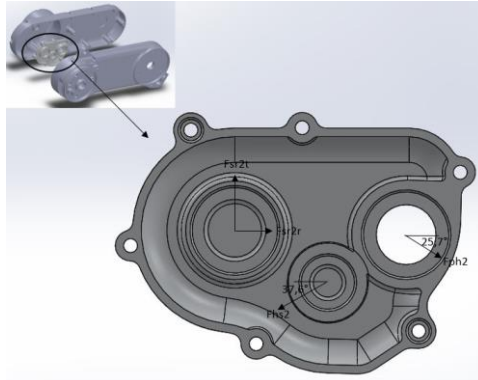
Gambar 3.18 Komponen transmisi pada *casing* CVT



Gambar 3.19 Gaya yang bekerja pada *base case* CVT



Gambar 3.20 Gaya yang bekerja pada *cover* CVT



Gambar 3.21 Gaya yang bekerja pada *cover* transmisi

Tabel 3.2 Gaya yang bekerja pada *casing* CVT

Simbol	Keterangan	Gaya (N)
Fp	Gaya akibat <i>pulley</i> pada <i>base case</i> CVT	2.171
Fph1	Gaya akibat <i>pulley</i> dan <i>helical gear</i> pada <i>base case</i> CVT	795
Fph2	Gaya akibat <i>pulley</i> dan <i>helical gear</i> pada <i>cover</i> transmisi	6.532
Fhs1	Gaya akibat <i>helical gear</i> dan <i>spur gear</i> pada <i>cover</i> CVT	9.377
Fhs2	Gaya akibat <i>helical gear</i> dan <i>spur gear</i> pada <i>cover</i> transmisi	9.406
Fsr1	Gaya akibat <i>spur gear</i> dan roda pada <i>base case</i> CVT	4.197
Fsr2t	Gaya tangensial akibat <i>spur gear</i> dan roda pada <i>cover</i> transmisi	4.517
Fsr2r	Gaya radial akibat <i>spur gear</i> dan roda pada <i>cover</i> transmisi	12.516

*nilai gaya pada tabel 3.2 didapatkan dari perhitungan yang dapat dilihat pada lampiran A

3.4. Simulasi Cor

Tahap simulasi cor ini dimulai dengan mengidentifikasi apakah terdapat cacat pada hasil simulasi yang telah di *cross check*. Hasil cacat tersebut akan diperbaiki dengan menghitung waktu penuangan, dimensi sistem saluran, dan penambahan *riser*. Hasil dari rancangan sistem saluran tersebut akan disimulasi dan dilihat apakah masih terdapat cacat. Tahap simulasi pengecoran akan dinyatakan selesai bila sudah tidak terdapat cacat pada hasil simulasi.

Proses simulasi cor dilakukan dengan perangkat lunak pengecoran yang dilakukan dengan tahap sebagai berikut:

1. *New Version*

Membuat *file* baru dengan memberikan nama *file* yang diinginkan pada bagian *simulation*.

2. *Geometry Import*

Model 3D berbentuk STL dimasukkan pada perangkat lunak pengecoran.

3. *Geometry Interpretation*

Pada tahap ini dilakukan penentuan fungsi pada model 3D yang sebelumnya telah dimasukkan. Model 3D didefinisikan sebagai logam (*metal*) dan sisanya (*remaining space*) sebagai cetakan (*mould*).

4. *Solid Objects*

Untuk proses *sand casting*, material *mould* diisi pasir silika (*silica sand*) dengan temperatur awal cetakan (*initial temperature*) 30°C seperti pada gambar 3.27. Untuk proses *gravity die casting*, material *mould* diisi *gray iron* dengan temperatur awal 300°C.

5. *Meshing*

Meshing merupakan potongan kecil (*cell*) dari model 3D yang akan disimulasikan. Semakin kecil *cell* model 3D maka didapatkan hasil simulasi dengan detail yang lebih tinggi. *Meshing* yang berfungsi seperti cacahan akan didefinisikan oleh mayoritas (diatas 50%) komponen yang terdapat didalamnya. *Gridline* diatur sehingga berada

dekat dengan model 3D dan hanya *gridline* yang paralel dengan *pouring basin* yang diatur sehingga sedikit memotong benda *pouring basin*. Jumlah *cell* disesuaikan dengan kebutuhan, namun pada penelitian ini jumlah *cell* disesuaikan sehingga *cell size* berukuran sekitar 1,8.

6. *Metal Inputs*

Pada bagian *location*, sumbu x, y, dan z diposisikan sehingga anak panah yang muncul berada tepat di *pouring basin*. *Metal direction* diatur sehingga arah anak panah sesuai dengan arah jatuhnya aluminium cair. Pilih *mass/time* pada *flow rate* dan isi 0,7kg/s untuk *sand casting* [22] dan 1 kg/s untuk *gravity die casting* [23].

7. *Metal Parameters*

Jenis logam (*metal*) diisi dengan aluminium A1380 dengan temperatur penguangan awal pada cetakan serta temperatur awal logam sebesar 775°C.

8. *Heat Transfer Coefficients*

Heat transfer coefficient antara logam (*metal*) dengan cetakan (*mould*) diisi dengan 92 W/m²/K [24] untuk proses *sand casting* dan 1.777 W/m²/K [25] untuk proses *gravity die casting*.

9. *Solver Parameters*

Solver parameters merupakan pengaturan bagaimana simulasi pengecoran dijalankan. Pada bagian *flow calculation*, pilih *no flow calculation*. Pada *solidification options*, pilih *shrinkage without flow*.

10. *Advanced Options*

Advanced options merupakan pengaturan tambahan untuk proses simulasi. Pada bagian ini gravitasi diatur sehingga arah panahnya sesuai dan pada *other models* klik *enable core gas*.

11. *Postprocessing*

Postprocessing merupakan menu dimana hasil simulasi dibaca. Variabel dari *surface* dan *surface color parameters* digunakan untuk mempermudah membaca hasil simulasi.

3.5. Perancangan Sistem Saluran dan Penambah (*Riser*)

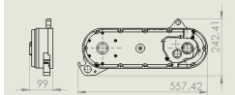

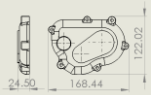
3.5.1. Data Awal Pengecoran

Data awal pengecoran didapatkan dari proses pengecoran *casing* CVT dengan metode *sand casting* di daerah Gedangan, Sidoarjo. Data awal yang didapat antara lain dimensi benda cor, material benda cor, dan temperatur penuangan aluminium. Data awal yang digunakan antara lain:


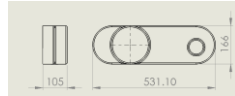
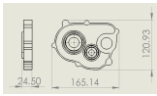
1. Dimensi Benda Cor

Dimensi benda cor yang terdapat pada tabel 3.3 dan tabel 3.4 merupakan dimensi *casing* CVT.

Tabel 3.3 Dimensi benda cor *sand casting*

	<i>Base case CVT</i>	<i>Cover CVT</i>	<i>Cover transmisi</i>
Gambar teknik			
Panjang (mm)	557,5	535	169
Lebar (mm)	242,5	170	122
Tinggi (mm)	99	107	24,5

Tabel 3.4 Dimensi benda cor *gravity die casting*

	<i>Base case CVT</i>	<i>Cover CVT</i>	<i>Cover transmisi</i>
Gambar teknik			
Panjang (mm)	543	531	165
Lebar (mm)	239,5	166	121
Tinggi (mm)	99	105	24,5

2. Dimensi Sistem Saluran dan Waktu Penuangan

Dimensi sistem saluran dan waktu penuangan yang terdapat pada tabel 3.5 didapatkan dari proses pengecoran dan digunakan sebagai parameter simulasi pengecoran pada tahap validasi.

Tabel 3.5 Dimensi sistem saluran dan waktu penuangan

	Base case CVT	Cover CVT	Cover transmisi
Tinggi sprue (mm)	85	105	90
Diameter sprue inlet (mm)	30	30	16,25
Diameter sprue outlet (mm)	30	30	12
Diameter runner (mm)	30	30	-
Diameter ingate (mm)	30	30	-
Diameter well (mm)	30	30	-
Tinggi well (mm)	30	30	-
Diameter riser (mm)	11	5	40
Tinggi riser (mm)	80	93	90
Waktu penuangan (s)	25	25	7

3. Material Benda Cor

Material benda cor yang digunakan adalah paduan Al-Si yang dicocokkan dengan *database* perangkat lunak pengecoran dan diasumsikan sebagai aluminium Al380. Temperatur tuang didapatkan dari proses pengecoran dan akan digunakan sebagai *parameter* pada simulasi pengecoran. Spesifikasi dari aluminium Al380 antara lain:

- Massa jenis : 2.710 kg/m³
- Temperatur leleh : 574,4°C
- Temperatur tuang : 775°C

4. Material Pasir Cetak

Material pasir cetak yang digunakan adalah *green sand* namun untuk keperluan simulasi diasumsikan sebagai pasir silika (*silica sand*).

3.5.2. Waktu Penuangan, Sistem Saluran, dan penambah (*riser*)

Perhitungan waktu penuangan serta dimensi sistem saluran dan penambah (*riser sand casting* maupun *gravity die casting* dapat dilihat pada lampiran B.

BAB 4

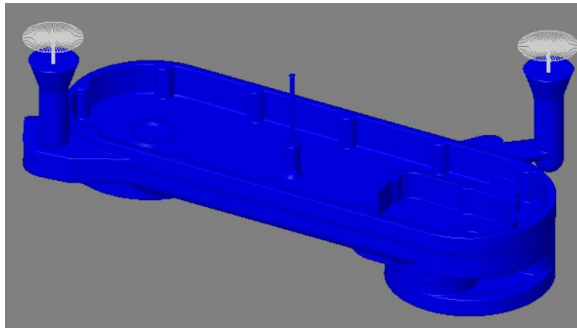
Analisa Data dan Pembahasan

4.1. Cross Check

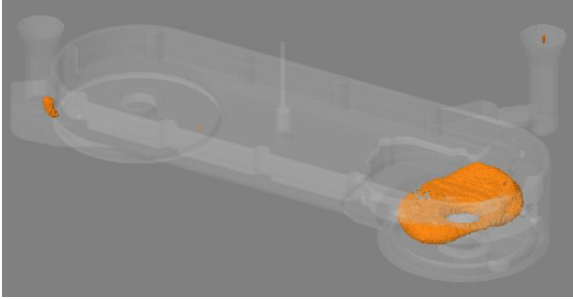
Cross check dilakukan dengan membandingkan cacat *void* dari hasil pengecoran melalui metode *sand casting* dengan hasil simulasi menggunakan perangkat lunak pengecoran.

4.1.1. Base Case CVT

Model 3D dengan dimensi dari tempat pengecoran (lihat tabel 3.5) dapat dilihat pada gambar 4.1. Pada gambar 4.2 dapat dilihat terdapat *void* yang cukup besar dibagian yang paling tebal. Hal ini terjadi karena bagian tersebut membeku paling lambat dan tidak terdapat pasokan aluminium cair yang cukup terbentuk lubang di bagian tersebut. Lokasi *void* hasil simulasi digunakan untuk menentukan daerah pemotongan dari hasil pengecoran.

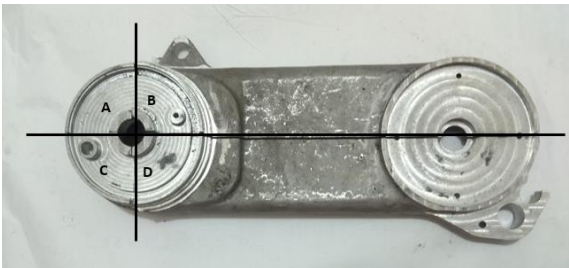


Gambar 4.1 Model 3D *base case* CVT untuk *cross check*

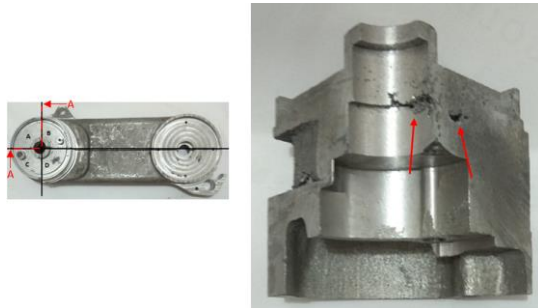


Gambar 4.2 Void pada model 3D *base case* CVT untuk *cross check*

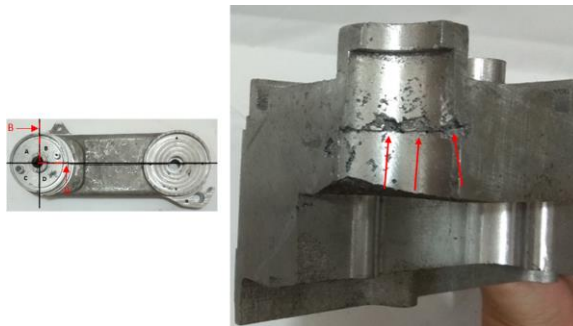
Pada gambar 4.3 dilakukan pemotongan *base case* CVT menjadi 4 bagian yaitu bagian A, B, C, dan D. Pada gambar 4.4 dan 4.5 dapat dilihat cacat *shrinkage porosity* pada bagian lingkaran di bagian A dan B. Pada gambar 4.6 dan 4.7 dapat dilihat cacat *shrinkage porosity* pada bagian A dan B yang saling menempel. Pada gambar 4.8 dan 4.9 dapat dilihat cacat *gas porosity* pada potongan B dan D yang saling menempel dan pada gambar 4.9 terlihat bahwa *gas porosity* lebih dominan pada daerah dengan ketebalan yang paling besar. Bila diamati lebih jelas, permukaan hasil cor setelah *machining* menunjukkan *gas porosity* yang cukup banyak seperti pada bagian C yang dapat dilihat pada gambar 4.10. Pada gambar 4.11 terdapat cacat inklusi pasir pada bagian pemegang *base case* CVT di bagian B. Pada gambar 4.12 dan gambar 4.13 dapat dilihat cacat *gas porosity* pada potongan D.



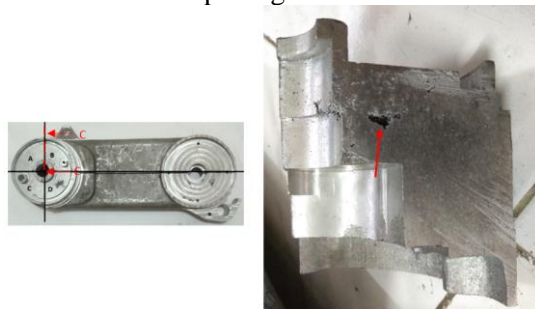
Gambar 4.3 Daerah pemotongan *base case* CVT



Gambar 4.4 Cacat *shrinkage porosity* pada *base case* CVT bagian A potongan A-A



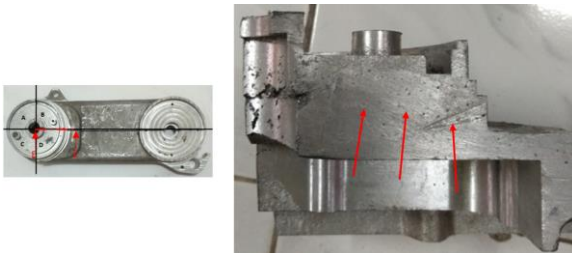
Gambar 4.5 Cacat *shrinkage porosity* pada *base case* CVT bagian B potongan B-B



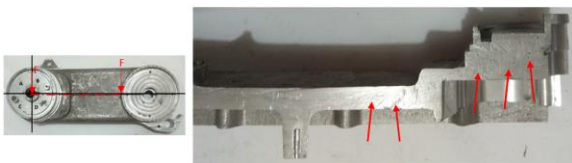
Gambar 4.6 Cacat *shrinkage porosity* pada *base case* CVT bagian A potongan C-C



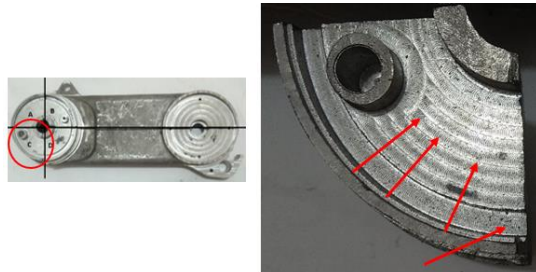
Gambar 4.7 Cacat *shrinkage porosity* pada *base case* CVT bagian B potongan D-D



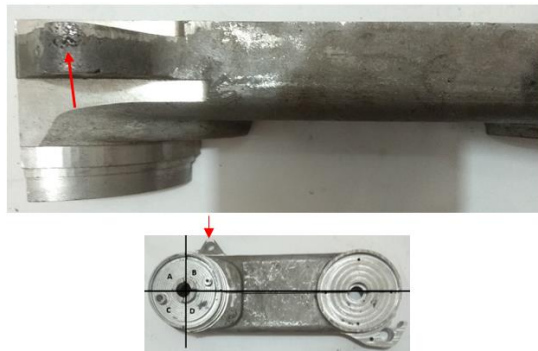
Gambar 4.8 Cacat *gas porosity* pada *base case* CVT bagian B potongan E-E



Gambar 4.9 Cacat *gas porosity* pada *base case* CVT bagian D potongan F-F



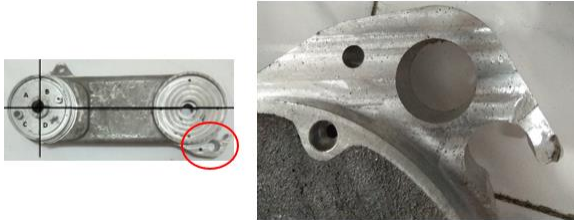
Gambar 4.10 Cacat *gas porosity* pada permukaan *base case* CVT bagian C



Gambar 4.11 Cacat inklusi pasir pada permukaan *base case* CVT potongan B tampak atas



Gambar 4.12 Cacat *gas porosity* pada permukaan *base case* CVT potongan D tampak belakang



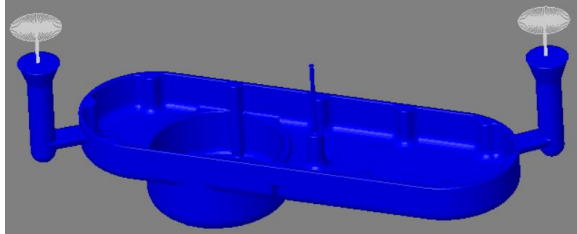
Gambar 4.13 Cacat *gas porosity* permukaan pada *base case* CVT potongan D tampak belakang

Lokasi *void* dari hasil simulasi cor memiliki kesamaan dengan lokasi cacat dari hasil cor *base case* CVT namun terdapat perbedaan ukuran yang cukup besar dimana hasil simulasi cor memprediksikan bahwa terjadi *porosity* yang cukup besar namun pada hasil cor hanya berupa lubang kecil. Hal ini terjadi karena keadaan saat pengambil data tidak dapat disesuaikan dengan simulasi. Salah satu contohnya adalah penuangan aluminium cair pada saat pengambilan data tidak berhenti saat pola pasir penuh dan terus diisi secara tidak kontinu saat proses pembekuan aluminium berlangsung. Sebagian cacat seperti inklusi pasir juga tidak dapat diprediksikan oleh simulasi cor karena cacat ini terjadi karena kesalahan pada pembuatan pola dan penuangan. Lokasi *void* yang telah sesuai menunjukkan bahwa data pada *cross check* simulasi cor dapat digunakan sebagai data awal untuk simulasi selanjutnya.

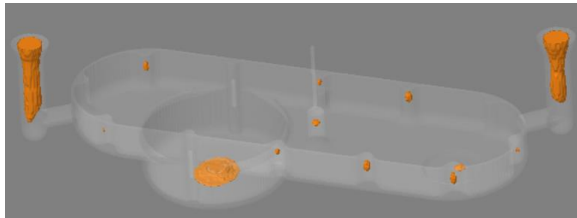
4.1.2. Cover CVT

Model 3D dari *cover* CVT yang menggunakan dimensi sistem saluran dari tempat pengecoran (lihat tabel 3.5) dapat dilihat pada gambar 4.14. Pada gambar 4.15 dapat dilihat terdapat *void* pada daerah yang mengalami penebalan. *Void* terbentuk di daerah penebalan karena daerah tersebut mengalami pembekuan paling lambat dan kurangnya pasokan aluminium cair untuk menutup rongga yang terbentuk. Daerah

pemotongan benda cor ditentukan berdasarkan lokasi *void* hasil simulasi.

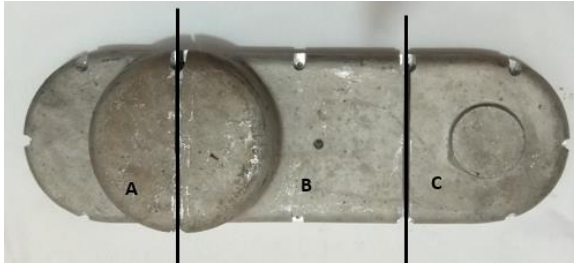


Gambar 4.14 Model 3D *cover CVT* untuk *cross check*



Gambar 4.15 *Void* pada model 3D *cover CVT* untuk *cross check*

Pada gambar 4.16 dilakukan pemotongan *cover CVT* menjadi 3 bagian yaitu bagian A, B, dan C. Pada bagian potongan A dan B yang bertempelan terdapat cacat yang dapat dilihat pada gambar 4.17 (cacat *gas porosity*) dan gambar 4.18 (cacat *shrinkage porosity*). Pada gambar 4.19 dan 4.20 dapat dilihat cacat *shrinkage porosity* pada bagian B dan C yang saling menempel. Pada gambar 4.21 dapat dilihat cacat *shrinkage porosity* pada bagian penebalan di tengah bagian C.



Gambar 4.16 Daerah pemotongan *cover* CVT



Gambar 4.17 Cacat *gas porosity cover* CVT bagian A potongan A-A



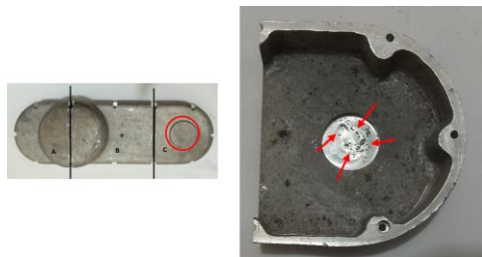
Gambar 4.18 Cacat *shrinkage porosity cover* CVT bagian B potongan B-B



Gambar 4.19 Cacat *gas porosity cover* CVT bagian B potongan C-C



Gambar 4.20 Cacat *gas porosity cover* CVT bagian C potongan D-D

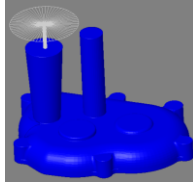


Gambar 4.21 Cacat *shrinkage porosity cover* CVT bagian C tampak belakang

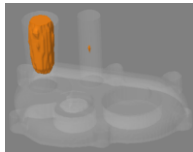
Lokasi *void* hasil simulasi cor memiliki kemiripan dengan lokasi cacat *shrinkage porosity* dan *gas porosity* dari hasil cor *cover* CVT sehingga hasil simulasi dapat dijadikan pedoman untuk penambahan *riser* dan data awal simulasi dapat menggunakan data dari tahap *cross check* simulasi cor.

4.1.3. Cover Transmisi

Pada gambar 4.22 dapat dilihat model 3D *cover* transmisi dengan dimensi dari tempat pengecoran (lihat tabel 3.5). Pada gambar 4.23 dapat dilihat bahwa *void* pada hasil simulasi hanya terdapat pada cawan tuang (*sprue*) dan *riser*. Hal ini terjadi karena desain awal memiliki *riser* yang memadai dan dimensi benda cor yang tidak terlalu kompleks.



Gambar 4.22 Model 3D *cover* transmisi untuk *cross check*

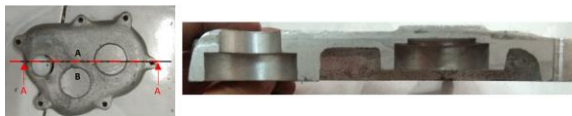


Gambar 4.23 *Void* pada model 3D *cover* transmisi untuk *cross check*

Pada gambar 4.24 dilakukan pemotongan *cover* transmisi menjadi 2 bagian yaitu bagian A dan B. Pada bagian A (gambar 4.25) maupun bagian B (gambar 4.26) tidak terdapat cacat.



Gambar 4.24 Daerah pemotongan *cover* transmisi



Gambar 4.25 Bagian A *cover* transmisi potongan A-A



Gambar 4.26 Bagian B *cover* transmisi potongan B-B

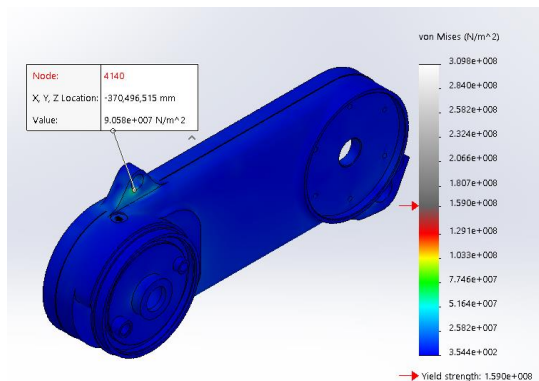
Hasil simulasi memprediksikan tidak adanya *void* dan terbukti dari hasil pemotongan benda cor sehingga data *cross check* simulasi cor dapat digunakan sebagai data awal untuk simulasi selanjutnya.

4.2. Simulasi Mekanik *Sand Casting*

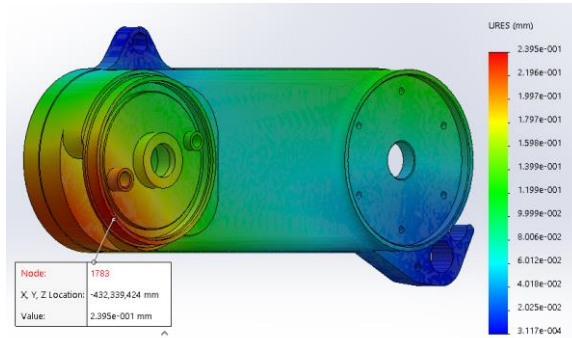
Simulasi mekanik *sand casting* dilakukan menggunakan perangkat lunak *solidworks* pada desain awal yang tersedia dan diberikan pembebanan sesuai dengan data (tabel 3.2) yang diperoleh melalui perhitungan. Pembebanan dilakukan secara statis dengan sambungan antar komponen diasumsikan sebagai hasil las (*welded*). Hasil simulasi mekanik akan digunakan sebagai pedoman untuk melakukan penebalan pada bagian-bagian tertentu dari komponen *casing* CVT.

4.2.1. *Base Case* CVT

Stress terbesar pada desain awal *base case* CVT dapat dilihat pada gambar 4.27, yaitu sebesar $9,058 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ tidak melewati batas *yield strength* aluminium Al380 ($1,59 \times 10^8 \text{ N/m}^2$). Pada gambar 4.28 dapat dilihat *displacement* terbesar yang terjadi pada *base case* CVT dengan nilai 0,2395 mm.

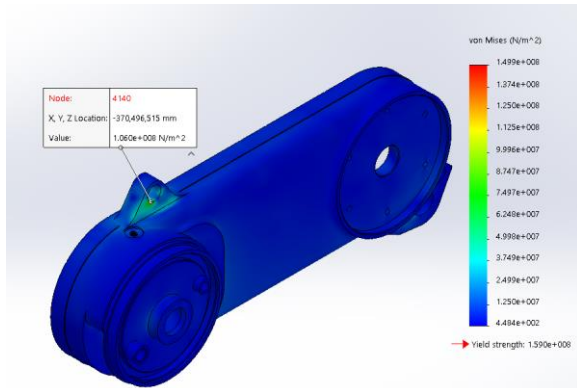


Gambar 4.27 Stress maksimal pada desain awal *base case* CVT dengan metode *sand casting*

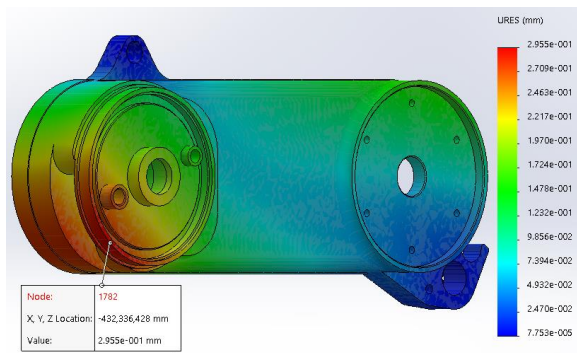


Gambar 4.28 *Displacement* maksimal pada desain awal *base case* CVT dengan metode *sand casting*

Dimensi *base case* CVT pada desain awal tidak perlu diubah karena *stress* yang terjadi tidak melewati *yield strength* aluminium A1380. *Stress* dan *displacement* yang terjadi pada desain perbaikan berubah karena koneksi sambungan yang digunakan adalah *welded*. Pada gambar 4.29 dapat dilihat bahwa *stress* terbesar terjadi pada daerah pemegang yang terhubung ke *shockbreaker* dengan nilai $1,06 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ dan pada gambar 4.30 dapat ditunjukkan *displacement* terbesar bernilai 0,2955 mm. *Displacement* yang ditemukan ini digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk nilai *spring stiffness* yang sebaiknya digunakan pada *casing* CVT.



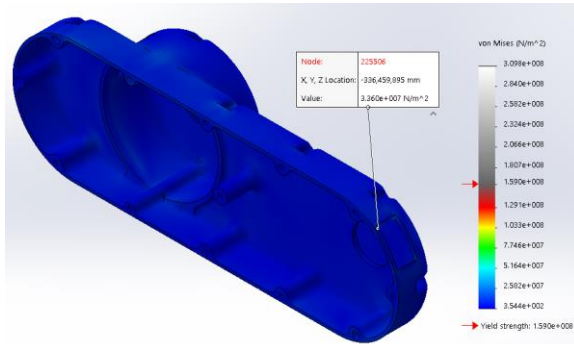
Gambar 4.29 *Stress* maksimal pada desain perbaikan *base case* CVT dengan metode *sand casting*



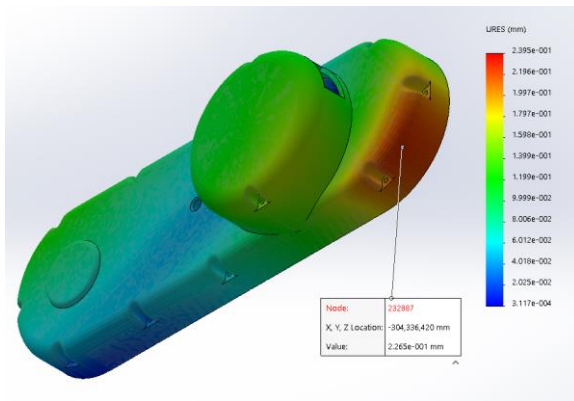
Gambar 4.30 *Displacement* maksimal pada desain perbaikan *base case* CVT dengan metode *sand casting*

4.2.2. Cover CVT

Hasil simulasi mekanik pada *cover* CVT ditunjukkan pada gambar 4.31 dengan *stress* terbesar terjadi pada daerah ventilasi belakang dengan nilai $3,36 \times 10^7$ N/m². Pada gambar 4.32 ditunjukkan *displacement* terbesar terjadi pada bagian depan *cover* CVT dengan nilai 0,2265 mm.



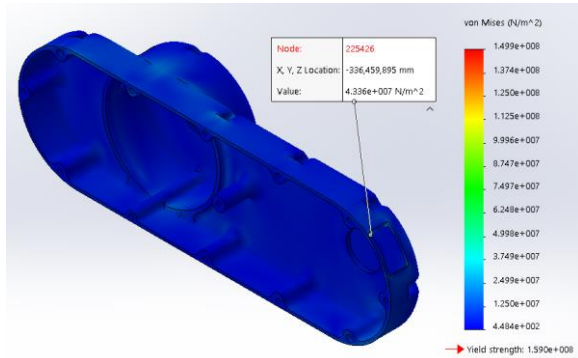
Gambar 4.31 *Stress* maksimal pada design awal *cover* CVT dengan metode *sand casting*



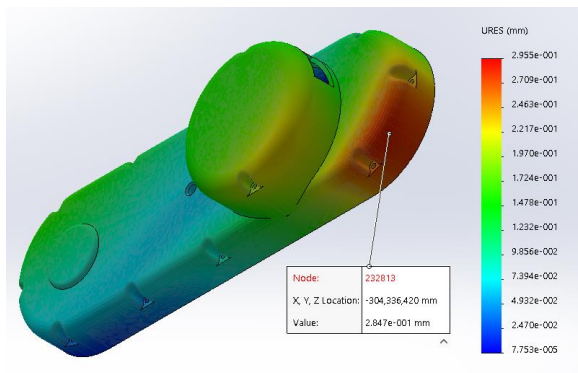
Gambar 4.32 *Displacement* maksimal pada design awal *cover* CVT dengan metode *sand casting*

Dengan pertimbangan bahwa *stress* yang terjadi pada desain awal *cover* CVT tidak melewati batas *yield strength* aluminium Al380, maka tidak dilakukan perubahan pada desain *cover* CVT. Koneksi sambungan yang digunakan pada simulasi mekanik adalah *welded* sehingga *stress* dan *displacement* pada hasil simulasi mengalami perubahan nilai. Dari gambar 4.33 dan gambar 4.34 dapat dilihat bahwa *stress*

dan *displacement* terbesar tetap berada di lokasi yang sama dengan hasil simulasi desain awal dan memiliki nilai $4,336 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ dan $0,2847 \text{ mm}$. *Displacement* yang ditemukan ini digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk nilai *spring stiffness* yang sebaiknya digunakan pada *casing CVT*.



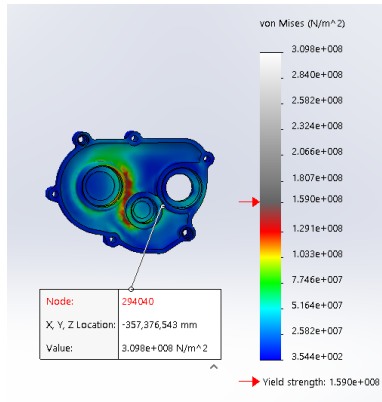
Gambar 4.33 *Stress* maksimal pada desain perbaikan *cover CVT* dengan metode *sand casting*



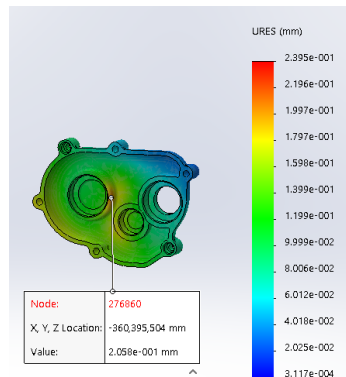
Gambar 4.34 *Displacement* maksimal pada desain perbaikan *cover CVT* dengan metode *sand casting*

4.2.3. Cover Transmisi

Dari hasil simulasi mekanik untuk *casing* CVT dengan metode pengecoran *sand casting* didapatkan *stress* terbesar pada *cover* transmisi terjadi di kedudukan *bearing* poros *helical gear* dan *spur gear* dengan nilai $3,098 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ yang dapat dilihat pada gambar 4.35. Nilai ini melewati *yield strength* aluminium A1380 yang bernilai $1,59 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ sehingga perlu dilakukan perbaikan desain untuk *cover* transmisi. Pada gambar 4.36 dapat dilihat *displacement* terbesar terjadi pada bagian luar kedudukan *bearing* poros *spur gear* dan roda dengan nilai 0,2058 mm.

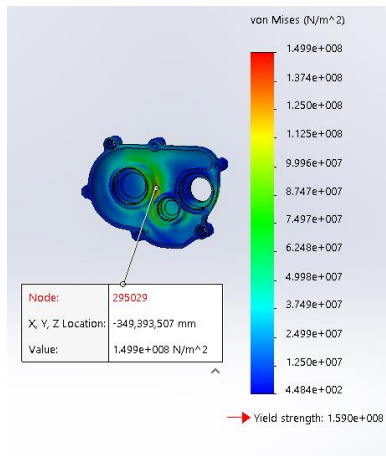


Gambar 4.35 *Stress* maksimal pada desain awal *cover* transmisi dengan metode *sand casting*

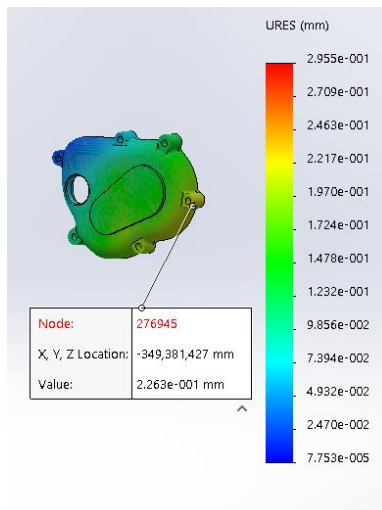


Gambar 4.36 *Displacement* maksimal pada desain awal *cover* transmisi dengan metode *sand casting*

Pada desain perbaikan dilakukan penambahan diameter dinding pada dudukan *bearing* poros *spur gear* dan roda dari 50 mm menjadi 52 mm, pemberian *fillet* 3 mm pada dudukan *bearing*, penambahan *fillet* 5 mm pada penghubung antar dudukan *bearing* poros *pulley* dan *helical gear* dengan poros *helical gear* dan *spur gear*, dan penambahan ketebalan 4 mm pada dinding bagian belakang dudukan *bearing*. Pada gambar 4.37 dan 4.38, dapat dilihat bahwa hasil simulasi desain perbaikan memiliki nilai *stress* terbesar $1,499 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ pada bagian samping dudukan *bearing* poros *spur gear* dan roda serta *displacement* terbesar terjadi pada dinding luar salah satu rumah baut dengan nilai 0,2283 mm. *Displacement* yang ditemukan ini digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk nilai *spring stiffness* yang sebaiknya digunakan pada *casing* CVT.



Gambar 4.37 *Stress* maksimal pada desain perbaikan *cover* transmisi dengan metode *sand casting*



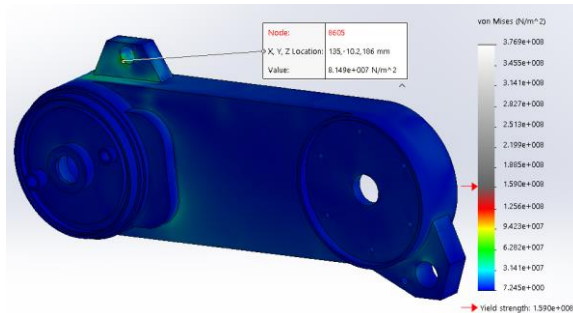
Gambar 4.38 *Displacement* maksimal pada desain perbaikan *cover* transmisi dengan metode *sand casting*

4.3. Simulasi Mekanik *Gravity Die Casting*

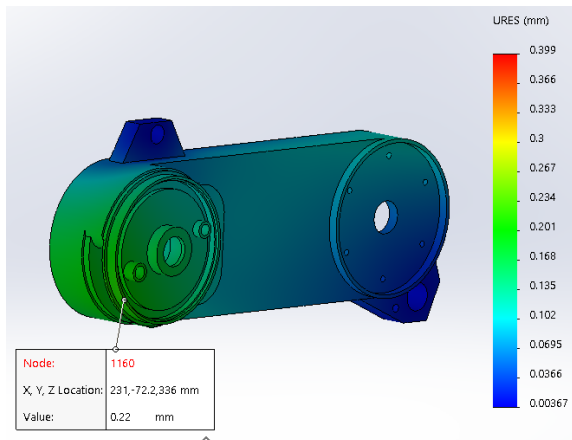
Simulasi mekanik *gravity die casting* dilakukan menggunakan perangkat lunak *solidworks* pada desain yang telah dipertipis sehingga tebal dinding dari komponen *casing* CVT menjadi 3 mm. Desain yang telah dipertipis diberi pembebanan yang sama dengan pembebanan pada simulasi mekanik untuk proses *sand casting*. Pembebanan dilakukan secara statis dengan sambungan antar komponen diasumsikan sebagai hasil las (*welded*). Hasil simulasi mekanik akan digunakan sebagai pedoman untuk melakukan perbaikan pada bagian-bagian tertentu dari komponen *casing* CVT.

4.3.1. *Base Case* CVT

Pada gambar 4.39 dapat dilihat bahwa *stress* terbesar terjadi pada daerah pemegang yang terhubung ke *shockbreaker* dengan nilai $8,149 \times 10^7 \text{ N/m}^2$. Pada gambar 4.40 ditunjukkan *displacement* terbesar bernilai 0,22 mm.

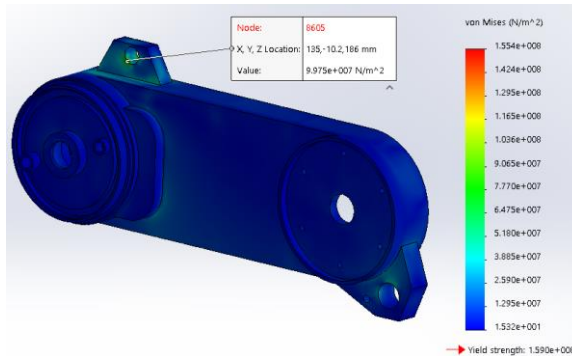


Gambar 4.39 *Stress* maksimal pada desain awal *base case* CVT dengan metode *gravity die casting*

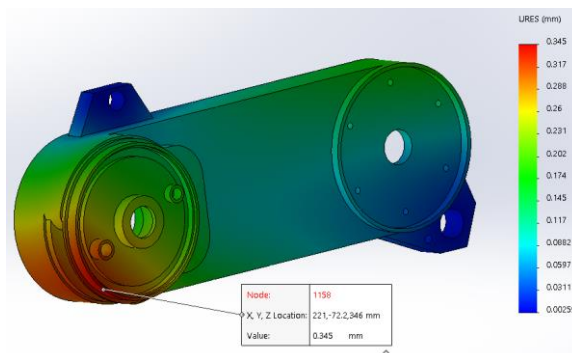


Gambar 4.40 *Displacement* maksimal pada desain awal *base case* CVT dengan metode *gravity die casting*

Tidak perlu dilakukan perbaikan pada desain awal *base case* CVT karena *stress* yang terjadi tidak melewati *yield strength* dari aluminium Al380 yaitu $1,59 \times 10^8 \text{ N/m}^2$. Nilai *stress* dan *displacement* yang terjadi pada hasil simulasi desain perbaikan berubah karena koneksi sambungan yang digunakan adalah *welded*. *Stress* terbesar terjadi pada daerah pemegang yang terhubung ke *shockbreaker* dengan nilai $9,975 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ seperti yang terlihat pada gambar 4.41, sedangkan pada gambar 4.42 dapat dilihat *displacement* terbesar bernilai 0,345 mm. *Displacement* yang ditemukan ini digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk nilai *spring stiffness* yang sebaiknya digunakan pada *casing* CVT.



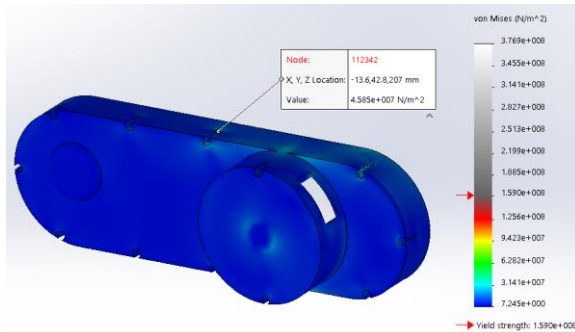
Gambar 4.41 *Stress* maksimal pada desain perbaikan *base case* CVT dengan metode *gravity die casting*



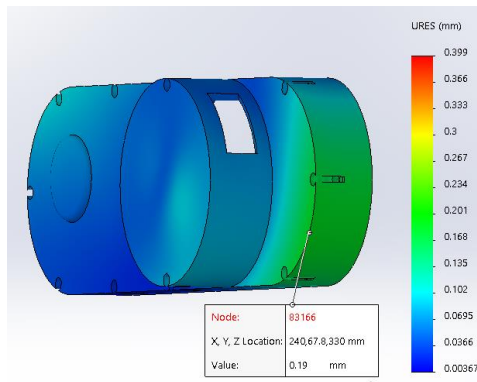
Gambar 4.42 *Displacement* maksimal pada desain perbaikan *base case* CVT dengan metode *gravity die casting*

4.3.2. Cover CVT

Gambar 5.43 menunjukkan *stress* terbesar pada *cover* CVT terjadi pada salah satu tempat baut dengan nilai $4,585 \times 10^7$ N/m². *Displacement* terbesar bernilai 0,19 mm seperti yang terlihat pada gambar 5.44.



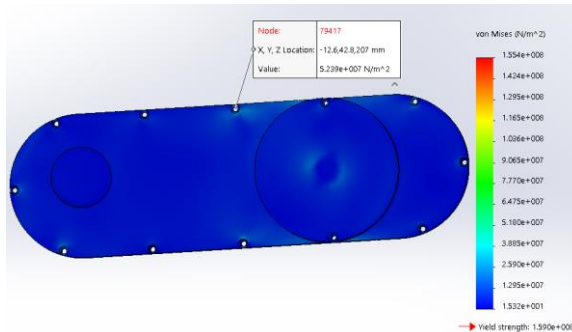
Gambar 4.43 *Stress* maksimal pada design awal *cover* CVT dengan metode *gravity die casting*



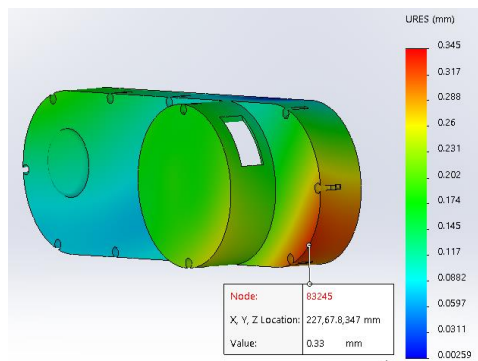
Gambar 4.44 *Displacement* maksimal pada design awal *cover* CVT dengan metode *gravity die casting*

Tidak perlu dilakukan perubahan pada desain awal *cover* CVT karena *stress* yang terjadi tidak melewati *yield strength* aluminium Al380. Koneksi sambungan yang digunakan adalah *welded* menyebabkan tidak samanya nilai *stress* dan *displacement* antara simulasi awal dan perbaikan. Pada gambar 4.45 dapat dilihat bahwa *stress* terbesar terjadi pada salah satu tempat baut dengan nilai $5,239 \times 10^7$ N/m² dan *displacement* terbesar yang terjadi pada *cover* CVT bernilai 0,33 mm yang

dapat dilihat pada gambar 4.46. *Displacement* yang ditemukan ini digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk nilai *spring stiffness* yang sebaiknya digunakan pada *casing CVT*.



Gambar 4.45 *Stress* maksimal pada desain perbaikan *cover CVT* dengan metode *gravity die casting*

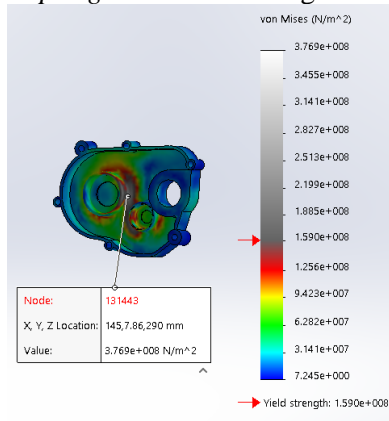


Gambar 4.46 *Displacement* maksimal pada desain perbaikan *cover CVT* dengan metode *gravity die casting*

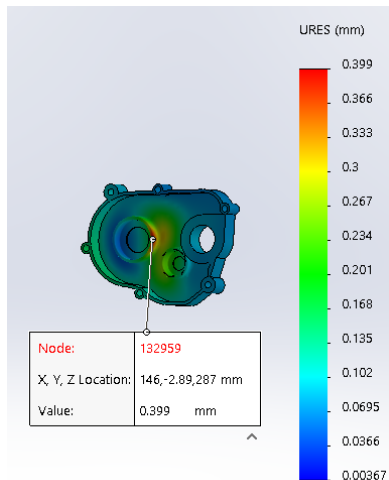
4.3.3. Cover Transmisi

Stress terbesar terjadi pada dinding luar dudukan *bearing* poros *spur gear* dan roda dengan nilai $3,769 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ yang dapat dilihat pada gambar 4.47. Pada gambar 4.48 ditunjukkan

displacement terbesar terjadi di bagian luar dinding dudukan *bearing* poros *spur gear* dan roda dengan nilai 0,399 mm.

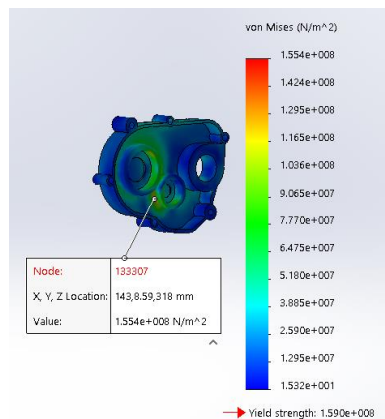


Gambar 4.47 *Stress* maksimal pada design awal *cover* transmisi dengan metode *gravity die casting*

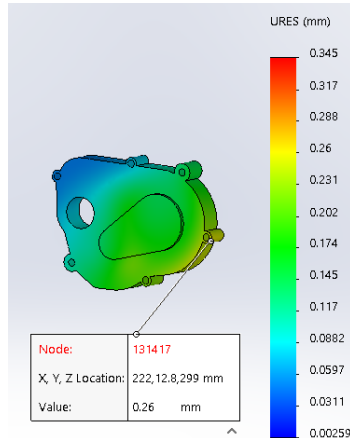


Gambar 4.48 *Displacement* maksimal pada design awal *cover* transmisi dengan metode *gravity die casting*

Nilai *stress* yang terjadi pada *cover* transmisi melewati *yield strength* aluminium Al380, yaitu $1,59 \times 10^8 \text{ N/m}^2$, sehingga perlu dilakukan perbaikan pada desain awal. Dengan mempertimbangkan lokasi dan besaran *stress* yang terjadi pada *cover* transmisi, dilakukan penambahan diameter dinding pada dudukan *bearing* poros *spur gear* dan roda dari 46 mm menjadi 52 mm, penambahan diameter dinding pada dudukan *bearing* poros *helical gear* dan *spur gear* dari 31 mm menjadi 35 mm, pengubahan *fillet* dari 1 mm menjadi 2 mm pada dudukan *bearing* poros *spur gear* dan roda, dan penambahan ketebalan 3,5 mm pada dinding bagian belakang dudukan *bearing*. Setelah desain perbaikan disimulasikan kembali, hasil *stress* terbesar didapati terjadi pada dinding bawah dudukan *bearing* poros *spur gear* dan roda sebesar $1,554 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ yg telah berada di bawah *yield strength* seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.49. Dari gambar 4.50 dapat dilihat *displacement* terbesar terjadi pada dinding luar salah satu rumah baut dengan nilai 0,26 mm. *Displacement* yang ditemukan ini digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk nilai *spring stiffness* yang sebaiknya digunakan pada *casing* CVT.



Gambar 4.49 *Stress* maksimal pada desain perbaikan *cover* transmisi dengan metode *gravity die casting*



Gambar 4.50 *Displacement* maksimal pada desain perbaikan *cover* transmisi dengan metode *gravity die casting*

4.4. Simulasi Cor *Sand Casting*

Simulasi cor *sand casting* dilakukan menggunakan perangkat lunak pengecoran pada desain yang telah lolos uji pembebanan pada simulasi mekanik. Temperatur penuangan yang digunakan adalah 775°C dan temperatur lingkungan 30°C . *Heat transfer coefficient* yang digunakan adalah $92 \text{ W/m}^2/\text{K}$. Dimensi dari sistem saluran yang digunakan dapat dilihat pada tabel 4.1.

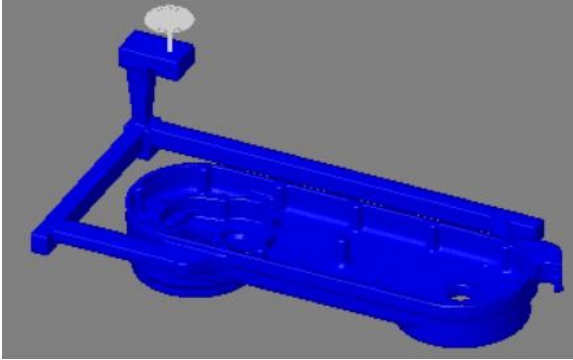
Tabel 4.1 Dimensi sistem saluran *casing* CVT dengan metode *sand casting**

	Base Case CVT	Cover CVT	Cover transmisi
Tinggi sprue (mm)	90	50	40
Tinggi pouring basin (mm)	23	19	14
Sisi persegi sprue top (mm)	23	24	25
Sisi persegi choke (mm)	15	17	15
Jumlah runner	2	2	-
Sisi persegi runner (mm)	21	24	-
Jumlah ingate	2	2	-
Sisi persegi ingate (mm)	21	24	-
Sisi persegi well base (mm)	34	38	-
Tinggi well (mm)	42	48	-

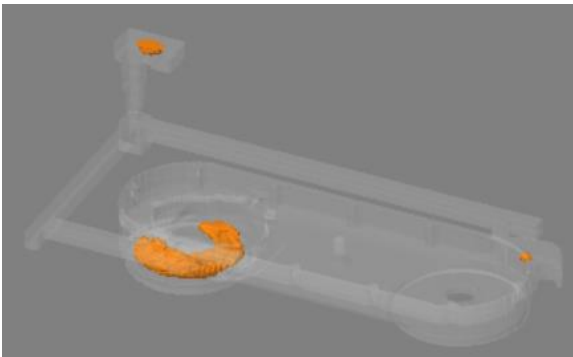
*didapatkan dari perhitungan pada sub bab 4.2.1

4.4.1. *Base Case* CVT

Model 3D dari *base case* CVT beserta sistem salurannya dapat dilihat pada gambar 4.51 dan hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 4.52. Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa masih terdapat *void* pada *base case* CVT bila tidak menggunakan *riser*. Lokasi *void* di *base case* CVT pada hasil simulasi digunakan sebagai lokasi untuk penambahan *riser*.



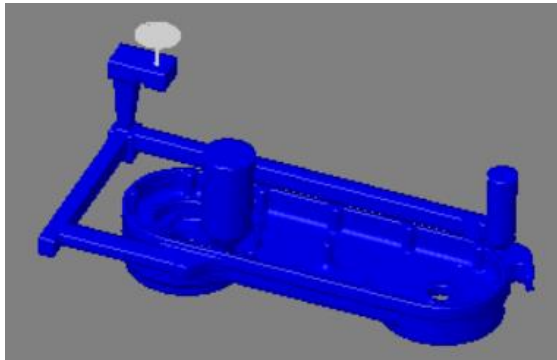
Gambar 4.51 Model 3D dari *base case* CVT (tanpa *riser*) dengan metode *sand casting*



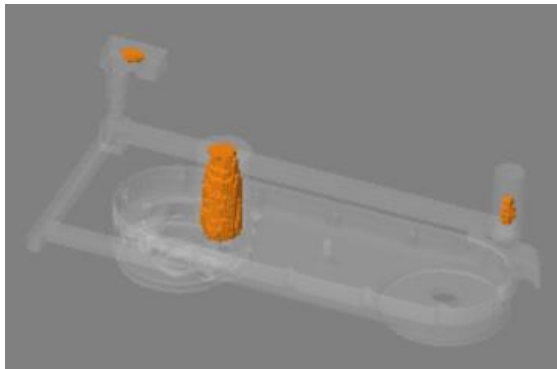
Gambar 4.52 Hasil simulasi dari *base case* CVT (tanpa *riser*) dengan metode *sand casting*

Berdasarkan perhitungan dengan metode *NRL*, dibutuhkan *riser* dengan dimensi minimal setinggi 153 mm dan diameter 77 mm atau sebesar 35% dari volume benda cor. Digunakan dua *riser* dengan dimensi *riser* pertama setinggi 156 mm dengan diameter 70 mm dan *riser* kedua setinggi 116 mm dengan diameter 40 mm. Bila dijumlahkan, volume *riser* setara dengan 37% dari volume benda cor. Model 3D dari *base case* CVT beserta sistem saluran dan *riser* dapat dilihat pada

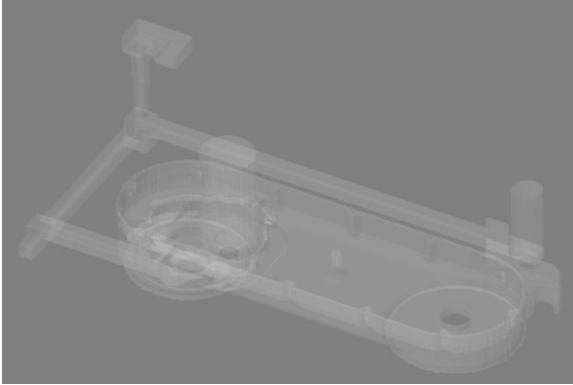
gambar 4.53 dan hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 4.54. Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa *void* hanya terjadi pada sistem saluran dan *void* pada *base case* CVT telah berpindah ke *riser*. Gambar 4.55 menunjukkan volume benda cor yang dibawah batas nilai *niyama defect criterion* 0,25 untuk paduan aluminium, dimana daerah dengan nilai dibawah 0,25 rentan terjadi *porosity* [26]. Dari gambar ini dapat dilihat bahwa tidak ada daerah yang rentan terhadap *porosity*.



Gambar 4. 53 Model 3D dari *base case* CVT (dengan *riser*) dengan metode *sand casting*



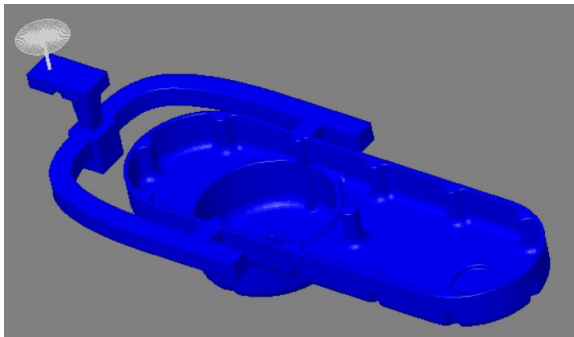
Gambar 4. 54 Hasil simulasi dari *base case* CVT (dengan *riser*) dengan metode *sand casting*



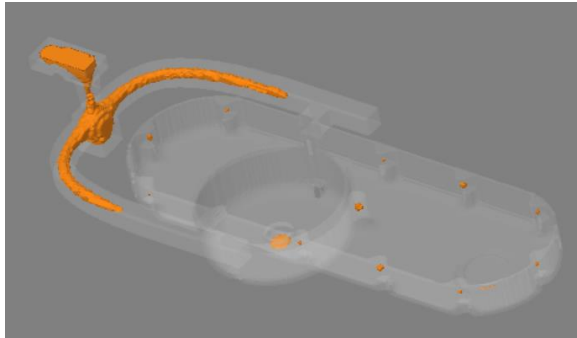
Gambar 4. 55 *Niyama defect criterion* dari *base case* CVT (dengan *riser*) dengan metode *sand casting*

4.4.2. *Cover* CVT

Gambar 4.56 menunjukkan model 3D dari *cover* CVT serta sistem salurannya. Pada gambar 4.57 yang merupakan hasil simulasi dari model 3D, dapat dilihat bahwa dibutuhkan *riser* untuk mengisi *void* yang terbentuk pada *cover* CVT. Posisi penambahan *riser* disesuaikan dengan lokasi *void* dari hasil simulasi.

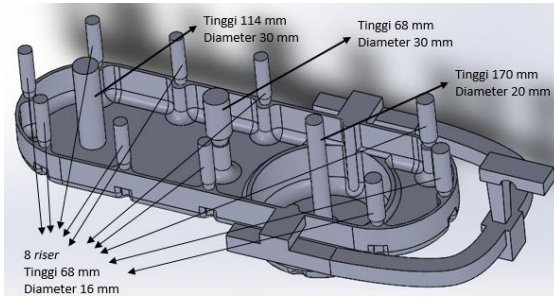


Gambar 4. 56 Model 3D dari *cover* CVT (tanpa *riser*) dengan metode *sand casting*

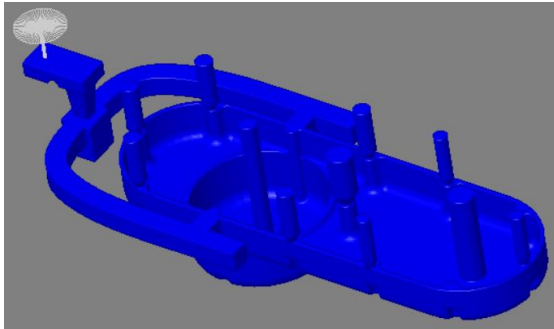


Gambar 4. 57 Hasil simulasi dari *cover CVT* (tanpa *riser*) dengan metode *sand casting*

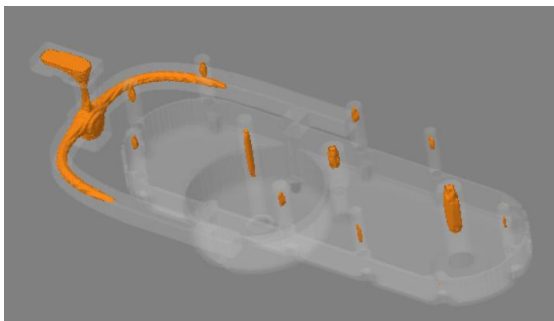
Melalui perhitungan dari metode *NRL* didapatkan *riser* minimal memiliki tinggi 153 mm dan diameter 77 mm atau 37,5% dari volume benda cor. Digunakan total 11 *riser* dengan dimensi *riser* yang dapat dilihat pada gambar 4.58. Bila dijumlahkan, volume *riser* setara dengan 35% volume benda cor. Pada gambar 4.59 ditunjukkan model 3D dari *base case CVT* beserta sistem saluran dan *riser* sedangkan hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 5.60. Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa *cover CVT* telah bebas dari *void*. Penempatan dan ukuran sistem saluran dan *riser* telah cukup baik yang dinilai dari tidak adanya potensi porositas berdasarkan *niyama defect criterion*.



Gambar 4. 58 Dimensi *riser* dari *cover CVT* dengan metode *sand casting*



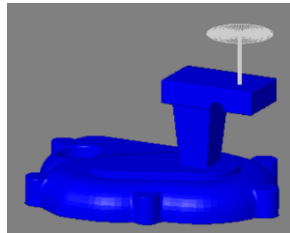
Gambar 4. 59 Model 3D dari *cover CVT* (dengan *riser*) dengan metode *sand casting*



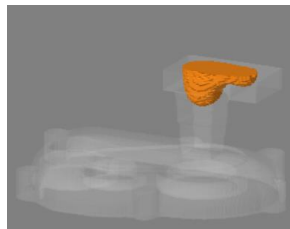
Gambar 4. 60 Hasil simulasi dari *cover CVT* (dengan *riser*) dengan metode *sand casting*

4.4.3. Cover Transmisi

Pada gambar 4.61 dapat dilihat model 3D dari *cover* transmisi beserta sistem salurannya sedangkan hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 4.62. Hasil simulasi menunjukkan bahwa tidak terdapat *void* pada *cover* transmisi walaupun tidak menggunakan *riser*. Bentuk pola dari *cover* transmisi ini juga tidak rawan terjadi porositas berdasarkan *niyama defect criterion*.



Gambar 4. 61 Model 3D dari *cover* transmisi (tanpa *riser*) dengan metode *sand casting*



Gambar 4. 62 Hasil simulasi dari *cover* transmisi (tanpa *riser*) dengan metode *sand casting*

4.5. Simulasi Cor Gravity Die Casting

Simulasi cor *gravity die casting* dilakukan menggunakan perangkat lunak pengecoran pada desain yang telah dipertipis dan lolos pembebanan pada simulasi mekanik. Temperatur penuangan yang digunakan adalah 775°C dan temperatur lingkungan 30°C. Nilai *heat transfer coefficient* antara pola logam dan aluminium

yang digunakan adalah $1.777 \text{ W/m}^2/\text{K}$ [24]. Dimensi dari sistem saluran yang digunakan dapat dilihat pada tabel 4.2.

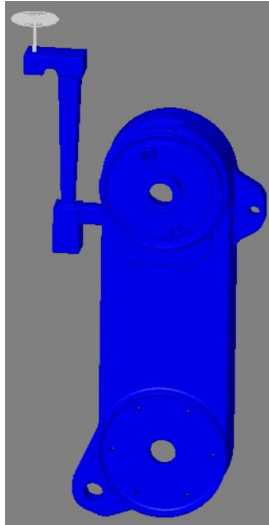
Tabel 4. 2 Dimensi sistem saluran *casing* CVT dengan metode *gravity die casting**

	Base Case CVT	Cover CVT	Cover transmisi
Tinggi sprue (mm)	200	100	50
Tinggi pouring basin (mm)	25	25	25
Sisi persegi sprue top (mm)	27	26	26
Sisi persegi choke (mm)	16	18	20
Jumlah runner	1	2	2
Sisi persegi runner (mm)	31	25	28
Jumlah ingate	1	8	5
Lebar ingate (mm)	31	13	26
Tinggi ingate (mm)	31	12	12
Sisi persegi well base (mm)	34	39	44
Tinggi well (mm)	61	48	56

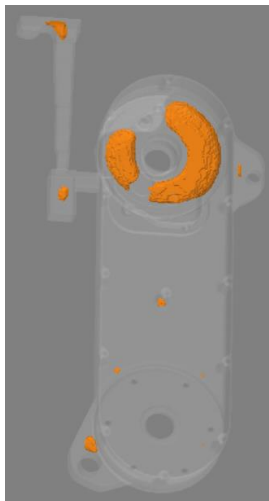
*didapatkan dari perhitungan pada sub bab 4.2.2

4.5.1. Base Case CVT

Base case CVT beserta sistem salurannya yang telah dibuat dalam model 3D dapat dilihat pada gambar 4.63 dan hasil simulasi dari *base case* CVT dapat dilihat pada gambar 4.64. Hasil simulasi menunjukkan bahwa masih terdapat *void* pada *base case* CVT tanpa *riser*. Posisi penambahan *riser* ditentukan berdasarkan lokasi *void* hasil simulasi.

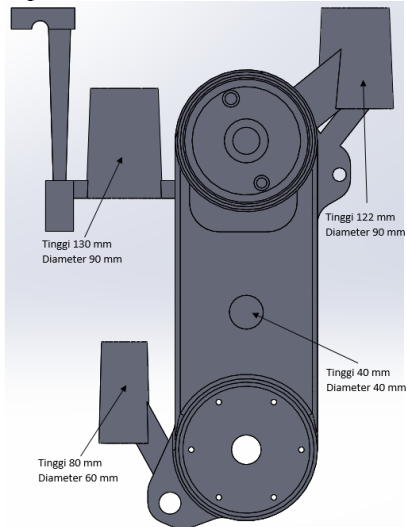


Gambar 4.63 Model 3D dari *base case* CVT (tanpa *riser*) dengan metode *gravity die casting*

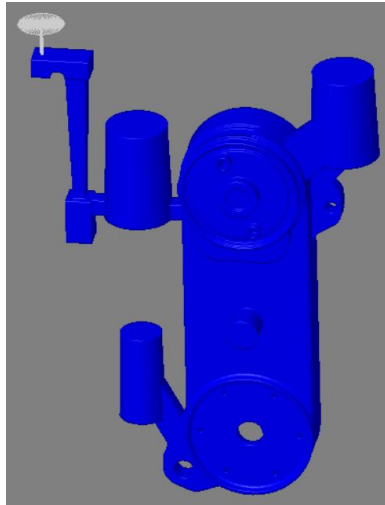


Gambar 4.64 Hasil simulasi dari *base case* CVT (tanpa *riser*) dengan metode *gravity die casting*

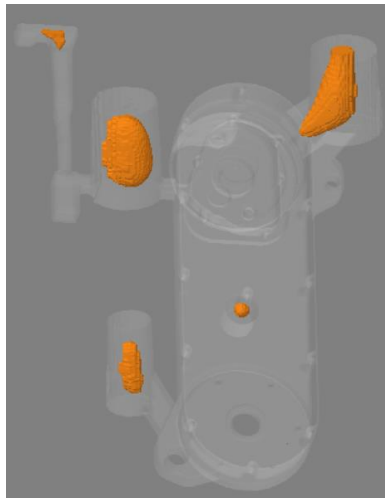
Kebutuhan *riser* sesuai metode *NRL* setidaknya memiliki tinggi 204 mm dan diameter 102 mm atau memiliki volume yang sama dengan volume benda cor. Pada *base case CVT* ini digunakan empat *riser* dengan dimensi *riser* pertama setinggi 130 mm dengan diameter 90 mm, *riser* kedua setinggi 122 mm dengan diameter 90 mm, *riser* ketiga setinggi 80 mm dengan diameter 60 mm, dan *riser* keempat setinggi 40 mm dengan diameter 40 mm seperti yang terlihat pada gambar 4.65. Bila dijumlahkan, volume *riser* setara dengan 98% volume benda cor. Model 3D dari *base case CVT* beserta sistem saluran dan *riser* dapat dilihat pada gambar 4.66 sedangkan hasil simulasinya dapat dilihat pada gambar 4.67. Setelah proses simulasi, didapati *base case CVT* telah bebas dari *void*. Hasil *nyama defect criterion* menunjukkan bahwa dengan menggunakan desain sistem saluran dan *riser* yang telah disimulasikan maka tidak terdapat daerah pada benda cor yang rentan terjadi porositas.



Gambar 4.65 Dimensi *riser* dari *base case CVT* dengan metode *gravity die casting*



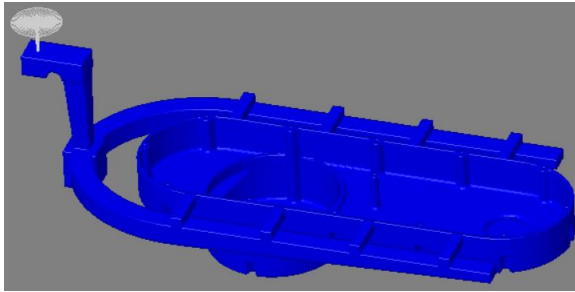
Gambar 4.66 Model 3D dari *base case* CVT (dengan *riser*) dengan metode *gravity die casting*



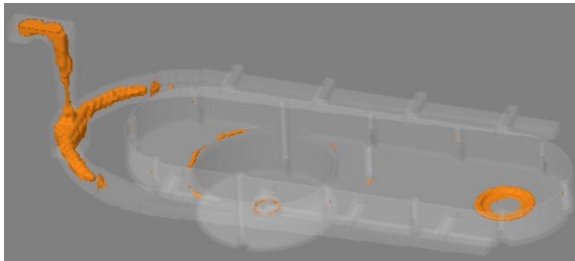
Gambar 4.67 Hasil simulasi dari *base case* CVT (dengan *riser*) dengan metode *gravity die casting*

4.5.2. Cover CVT

Model 3D dari *cover* CVT beserta sistem salurannya dapat dilihat pada gambar 4.68 dan hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 4.69. Dari simulasi *cover* CVT tanpa *riser* didapatkan hasil yang masih terdapat *void* pada benda cor. Lokasi *void* di *cover* CVT pada hasil simulasi digunakan sebagai pedoman lokasi untuk penambahan *riser*.



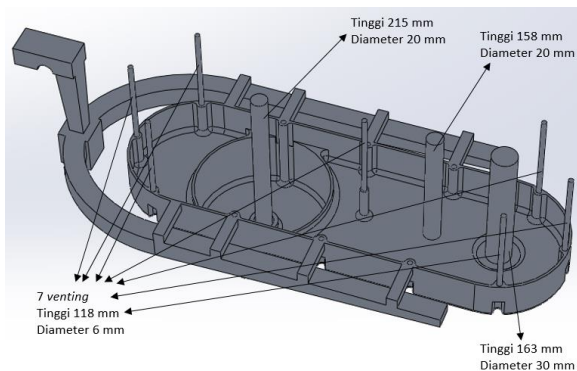
Gambar 4.68 Model 3D dari *cover* CVT (tanpa *riser*) dengan metode *gravity die casting*



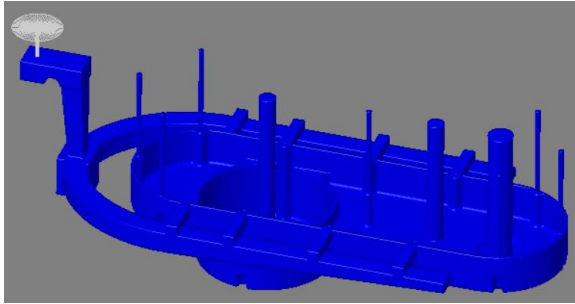
Gambar 4.69 Hasil simulasi dari *cover* CVT (tanpa *riser*) dengan metode *gravity die casting*

Berdasarkan metode *NRL*, dianjurkan untuk menggunakan *riser* dengan dimensi setidaknya setinggi 110 mm dan diameter 55 mm atau sebesar 40% dari volume benda cor. Pada gambar 4.70 dapat dilihat bahwa digunakan tiga *riser* pada desain perbaikan dengan dimensi *riser* pertama setinggi 215 mm

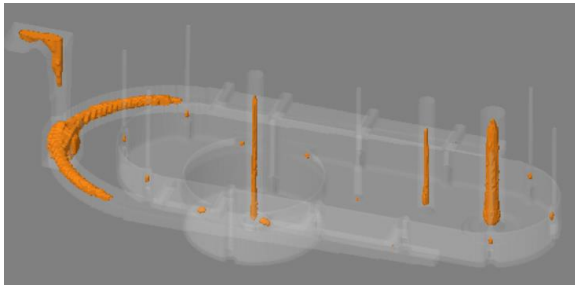
dengan diameter 20 mm, *riser* kedua setinggi 158 mm dengan diameter 20 mm, *riser* ketiga setinggi 163 mm dengan diameter 30 mm. Selain itu, ditambahkan juga *venting* dengan diameter 6 mm pada 7 titik yang pada simulasi tanpa *riser* terdapat *porosity* kecil. Volume *riser* dan *venting* bila ditotal bernilai setara dengan 39% volume benda cor. Setelah dilakukan penambahan riser, model 3D dari *cover* CVT beserta sistem saluran dan *riser* dapat dilihat pada gambar 4.71 dan pada gambar 4.72 dapat dilihat hasil simulasi dari model 3D *cover* CVT. Dari hasil simulasi terlihat bahwa *void* telah berpindah dari *cover* CVT ke sistem saluran dan *riser*. Nilai *niyama defect criterion* dari hasil simulasi menunjukkan bahwa benda cor masih dalam batas aman terhadap porositas.



Gambar 4.70 Dimensi *riser* dari *cover* CVT dengan metode *gravity die casting*



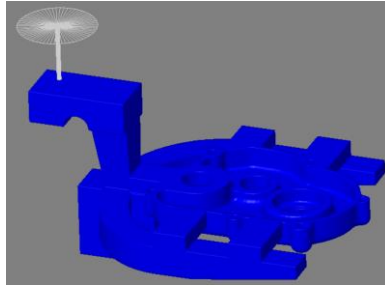
Gambar 4.71 Model 3D dari *cover* CVT (dengan *riser*) dengan metode *gravity die casting*



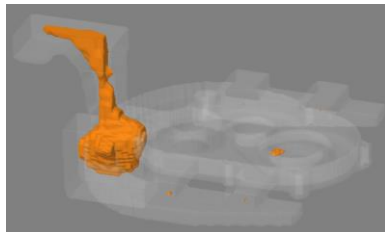
Gambar 4.72 Hasil simulasi dari *cover* CVT (dengan *riser*) dengan metode *gravity die casting*

4.5.3. *Cover* Transmisi

Model 3D dari *cover* transmisi dan sistem salurannya dapat dilihat pada gambar 4.73 dan hasil simulasi cor dapat dilihat pada gambar 4.74. Pada hasil simulasi dapat dilihat bahwa terdapat *void* pada *cover* transmisi bila tidak menggunakan *riser*. Lokasi *void* di *cover* transmisi pada hasil simulasi digunakan sebagai pertimbangan penentuan posisi penambahan *riser*.

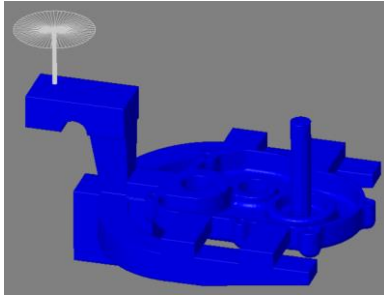


Gambar 4.73 Model 3D dari *cover* transmisi (tanpa *riser*) dengan metode *gravity die casting*

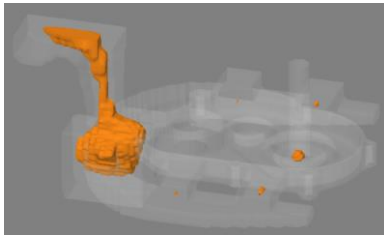


Gambar 4.74 Hasil simulasi dari *cover* transmisi (tanpa *riser*) dengan metode *gravity die casting*

Berdasarkan perhitungan dengan metode *NRL*, dibutuhkan *riser* dengan dimensi minimal dengan tinggi 58 mm dan diameter 60 mm atau sebesar 30% dari volume benda cor. Pada desain perbaikan dilakukan penambahan satu *riser* dengan tinggi 81 mm dan diameter 15 mm yang setara dengan 12% volume benda cor. Model 3D dari *cover* transmisi beserta sistem saluran yang telah ditambahkan *riser* dapat dilihat pada gambar 4.75 dan hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 4.76. Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa *void* pada *cover* transmisi telah berpindah ke *riser*. Hasil peninjauan berdasarkan *niyama defect criterion* juga menunjukkan bahwa tidak terdapat daerah yang rawan terjadi porositas sehingga desain sistem saluran dan *riser* dapat digunakan.



Gambar 4.75 Model 3D dari *cover* transmisi (dengan *riser*) dengan metode *gravity die casting*



Gambar 4.76 Hasil simulasi dari *cover* transmisi (dengan *riser*) dengan metode *gravity die casting*

BAB 5

Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

- Hasil *redesign casing* CVT dengan metode *sand casting* diperoleh ketipisan hingga 5 mm dan *gravity die casting* hingga 3 mm.
- Didapatkan hasil *redesign casing* CVT melalui proses simulasi yang mampu menahan beban kerjanya dan bebas cacat *shrinkage porosity* dan *gas porosity* baik dengan metode *sand casting* dan *gravity die casting*.
- Pada tahap simulasi mekanik untuk *casing* CVT dengan metode pengecoran *sand casting* yang memiliki ketebalan dinding 5 mm, dilakukan penambahan dimensi pada *cover* transmisi yaitu penambahan diameter dinding pada dudukan *bearing* poros *spur gear* dan roda dari 50 mm menjadi 52 mm, pemberian *fillet* 3 mm pada dudukan *bearing*, penambahan *fillet* 5 mm pada penghubung antar dudukan *bearing* poros *pulley* dan *helical gear* dengan poros *helical gear* dan *spur gear*, dan penambahan ketebalan 4 mm pada dinding bagian belakang dudukan *bearing helical gear* dan *spur gear* hingga *bearing spur gear* dan roda.
- Pada tahap simulasi mekanik untuk *casing* CVT dengan metode pengecoran *gravity die casting* yang memiliki ketebalan dinding 3 mm, dilakukan penambahan dimensi pada *cover* transmisi yaitu penambahan diameter dinding pada dudukan *bearing* poros *spur gear* dan roda dari 46 mm menjadi 52 mm, penambahan diameter dinding pada dudukan *bearing* poros *helical gear* dan *spur gear* dari 31 mm menjadi 35 mm, pengubahan *fillet* dari 1 mm menjadi 2 mm pada dudukan *bearing* poros *spur gear* dan roda, dan penambahan ketebalan 3,5 mm pada dinding bagian belakang dudukan *bearing helical gear* dan *spur gear* hingga *bearing spur gear* dan roda.

- Untuk mencapai ketebalan hasil cor *casing* CVT 5 mm dengan metode *sand casting*, dibutuhkan dimensi sistem saluran dan *riser* sebagai berikut:

		<i>Base case CVT</i>		<i>Cover CVT</i>				<i>Cover transmisi</i>
Tinggi sprue (mm)		113		69				54
Sisi sprue inlet (mm)		23		24				25
Sisi sprue outlet (mm)		15		17				18
Jumlah runner		2		2				-
Sisi runner (mm)		21		24				-
Jumlah ingate		2		2				-
Sisi ingate (mm)		21		24				-
Sisi well (mm)		34		38				-
Tinggi well (mm)		42		48				-
Jumlah riser		2		11				-
Dimensi riser	Diameter (mm)	70	40	30	30	20	16*	-
	Tinggi (mm)	153	116	114	68	170	68*	

* berjumlah 8 riser

- Untuk mencapai ketebalan hasil cor *casing* CVT 3 mm dengan metode *gravity die casting*, dibutuhkan dimensi sistem saluran dan *riser* sebagai berikut:

		<i>Base case CVT</i>				<i>Cover CVT</i>			<i>Cover transmisi</i>
Tinggi sprue (mm)		225				125			75
Sisi sprue inlet (mm)		27				26			26
Sisi sprue outlet (mm)		16				18			20
Jumlah runner		1				2			2
Sisi runner (mm)		31				25			28
Jumlah ingate		1				8			5
Dimensi ingate (mm)		31x31				12 x 13			12 x 26
Sisi well (mm)		34				39			44
Tinggi well (mm)		61				48			56
Jumlah riser		4				3			1
Dimensi riser	Diameter (mm)	90	90	60	40	30	20	20	15
	Tinggi (mm)	130	120	80	40	163	215	158	81
Jumlah venting		-				7			-
Dimensi venting	Diameter (mm)	-				6			-
	Tinggi (mm)					118			

- Perbandingan hasil *redesign casing* CVT untuk proses *sand casting* dan *gravity die casting* antara lain:

	<i>Sand Casting</i>	<i>Gravity Die Casting</i>	Tertipis*
Ketebalan Dinding (mm)	5	3	1,5
Stress Maksimal (MPa)	149,9	154,4	154,8
Displacement Maksimal (mm)	0,2955	0,345	0,438
Volume Total (cm³)	2.946,82	2.492,84	2.166,75
Berat Total (kg)	7,986	6,756	5,872

*hasil *redesign casing* CVT tertipis dapat dilihat pada lampiran C

5.2. Saran

- Perlu dilakukan simulasi mekanik secara dinamis.
- Metode pengecoran *gravity die casting* dapat dikembangkan menjadi metode *tilt gravity die casting*.
- Pemilihan *spring stiffness* sebaiknya mempertimbangkan nilai *displacement* yang terjadi pada hasil simulasi mekanik.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] "Aluminum," diakses pada 2017. [Online]. Available: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/pertab/al.html>.
- [2] I. Polmear, *Light Alloys 4th Edition*, Butterworth-Heinemann, 2006.
- [3] "Aluminum A380," diakses pada 2017. [Online]. Available: (<https://www.dynacast.com/a380>).
- [4] T. Surdia, *Teknik Pengecoran Logam*, Jakarta: PT Balai Pustaka (Persero), 2013.
- [5] "Metal Casting Process," diakses pada 2017. [Online]. Available: http://thelibraryofmanufacturing.com/metalcasting_basics.html.
- [6] Viewmold, "Draft Angles," diakses pada 2018. [Online]. Available: <http://viewmold.com/products/Technical%20Reference%20Sheet/Draft%20Angles/Draft%20Angles.html>.
- [7] Foseco International Ltd., *Foseco Non-Ferrous Foundryman's Handbook*, Great Britain: Butterworth-Heinemann, 1999.
- [8] J. Campbell, *Complete Casting Handbook*, Oxford, UK: Elsevier, 2011.
- [9] G. P. M. Santosh Reddy Sama, *Sand Casting Design Rules*, Pennsylvania: Pennsylvania State University, 2017.
- [10] ASM International, *Casting Design and Performance*, Ohio: ASM International, 2009.
- [11] D. A. S. A. Taleb, "Casting & Welding Engineering," 2014. [Online]. Available: http://images.slideplayer.com/27/8973343/slides/slide_24.jpg.
- [12] V. ANJO and R. KHAN, "Gating System Design for Casting thin Aluminium Alloy (Al-Si) Plates," *Leonardo Electronic Journal and Practices and Technologies*, 2013.

- [13] "Fundamentals of Metal Casting - Part 1," 2012. [Online]. Available:
<http://www.doyouknow.in/Articles/Engineering/Fundamentals-Of-Metal-Casting-Part-1.aspx>.
- [14] "Volume Box," diakses pada 2017. [Online]. Available:
http://www.ducksters.com/kidsmath/volume_box.gif.
- [15] T. Nandi, S. Koyal and G. Sutradhar, "Some Study on Determination of Riser Sizes for Aluminium Alloy Castings by Using Shape Factor Method," *Transactions of 61st Indian Foundry Congress 2013*, 2013.
- [16] C. Sharma, "Overview of Manufacturing Processes," 2015. [Online]. Available: <https://www.slideshare.net/aslam1992/u3-p2-riser-design>.
- [17] A. C. D. S. P.D. Lee, "Modeling microporosity in aluminum-silicon alloys: a review," *Journal of Light Metals 1*, 2001.
- [18] R. Tavakoli, "On the Prediction of Shrinkage Defects by Thermal Criterion Functions," 2009.
- [19] V. S. M. S. S. T. Rahul T Patil, "Causes of Casting Defects with Remedies," *International Journal of Research in Advent Technology*, Vol.2, No.3, Shegaon, 2014.
- [20] J. Campbell, *Castings Second Edition*, Oxford, United Kingdom: Butterworth Heinemann, 2003.
- [21] "Steemit," 2017. [Online]. Available:
<https://steemit.com/forge/@cynetyc/melting-metals-aluminum-dross-dont-throw-it>.
- [22] P. N. Rao, *Manufacturing Technology (Volume 1): Foundry, Forming, and Welding*, Cedar Falls, Iowa: McGraw-Hill Education, 2013.
- [23] B. L. S. R. M. R. A. P. Wadekar, "IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering," *Die Casting Defect Analysis & Experimental Validation for Compressor Housing*, pp. 55-61, 2013.

- [24] B. Prayoga, "Rancang Bangun dan Analisa Simulasi Sistem Saluran terhadap Cacat Penyusutan (Shrinkage) pada Pembuatan Kepala Silinder (Cylindrical Head) Sinjai (Mesin Jawa Timur) 650 cc Material Aluminium ADC 12 dengan Pengecoran Pasir (Sand Casting)," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2015.
- [25] M. V. M. P. L. A. K. S. S. S. Ferhathullah Hussainy, "A Practical Approach to Eliminate Defects in Gravity Die Cast Al-Alloy Casting Using Simulation Software," *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 2015.
- [26] B. P. E. Liotti, "Study of the Validity of the Niyama Criteria Function applied to the Alloy AlSi7Mg," 2006.
- [27] R. Yustisiabellah, "Perancangan Gating System pada Piston Mobil Sinjai dengan Metode Gravity Die Casting," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2015.
- [28] C. M. Choudhari, "Casting Design and Simulation of Cover Plate using AutoCAST-X Software for Defect Minimization with Experimental Validation," *Procedia Materials Science* 6, pp. 786-797, 2014.
- [29] Foundry Gate, "Description of Defects," 2006.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

Lampiran A

Perhitungan Gaya yang Terjadi pada *Casing Continuously Variable Transmission (CVT)*

Tujuan : mencari gaya yang terjadi pada *bearing* untuk data awal pada simulasi mekanik

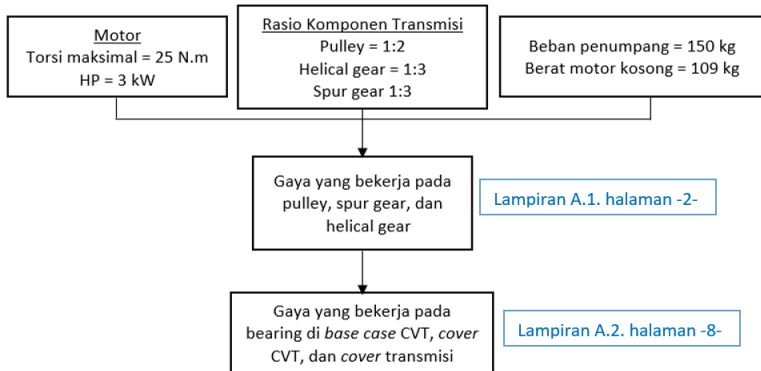
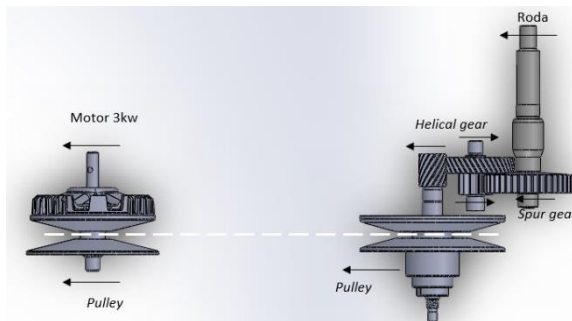


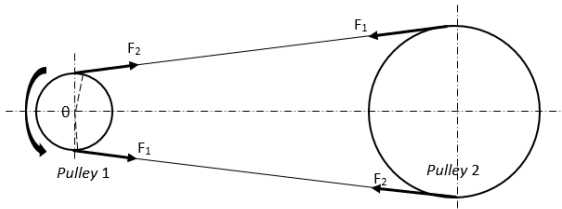
Diagram alir untuk mendapatkan gaya yang bekerja pada *bearing*



Rangkaian komponen transmisi beserta arah putaran komponennya

A.1. Gaya yang bekerja pada *pulley*, *spur gear*, dan *helical gear*

- *Pulley*



Gaya yang bekerja pada *pulley*

Tujuan:

Mendapatkan gaya F_R dari *pulley*

Diketahui :

Peak torsi motor	= T	= 25 N.m
Sudut <i>pulley</i>	= θ	= $190^\circ = 3,32 \text{ rad}$
Diameter <i>pulley</i> 1	= d_1	= 50 mm
Diameter <i>pulley</i> 2	= d_2	= 100 mm
Tenaga kuda motor	= hp	= 3 kw
Koefisien gesek <i>belt</i>	= f	= 0,3
Massa per panjang <i>belt</i>	= m	= 0,43 kg/m

Perhitungan:

$$\begin{aligned} \text{➤ } T_1 &= (F_1 - F_2) * R \\ T_1 &= [(F_i + F_c + F_t) - (F_i + F_c - F_t)] * R \\ F_t &= \frac{T_1}{2 * R_1} \\ F_t &= \frac{T_1}{d_1} \\ F_t &= \frac{25 \text{ N.m}}{50 \text{ mm}} \\ F_t &= 500 \text{ N} \\ \text{➤ } T_1 &= \frac{hp}{n_1} \end{aligned}$$

$$25 \text{ N.m} = \frac{3 \text{ kw}}{n_1}$$

$$n_1 = 1.146 \text{ rpm}$$

$$\text{➤ } V_1 = n_1 * \pi * d_1$$

$$V_1 = 1146 \text{ rpm} * \pi * 50 \text{ mm}$$

$$V_1 = 3 \text{ m/s}$$

$$\text{➤ } F_c = m * V^2$$

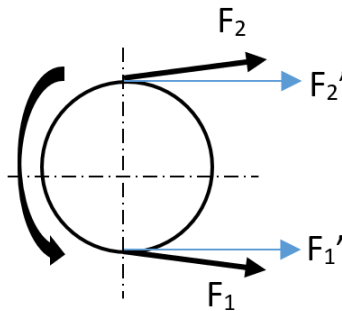
$$F_c = 0,43 \text{ kg/m} * (3 \text{ m/s})^2$$

$$F_c = 3,87 = 4 \text{ N}$$

$$\text{➤ } F_i = \frac{T_1}{d_1} * \frac{e(f\theta)+1}{e(f\theta)-1}$$

$$F_i = \frac{25 \text{ N.m}}{50 \text{ mm}} * \frac{e(0,3 * 3,32) + 1}{e(0,3 * 3,32) - 1}$$

$$F_i = 1085,67 = 1086 \text{ N}$$



Gaya pada pulley 1

$$\text{➤ } F_1' = F_1 * \cos 5$$

$$F_1' = (F_i + F_c + F_t) * \cos 5$$

$$F_1' = (1086 + 4 + 500) * \cos 5$$

$$F_1' = 1584 \text{ N}$$

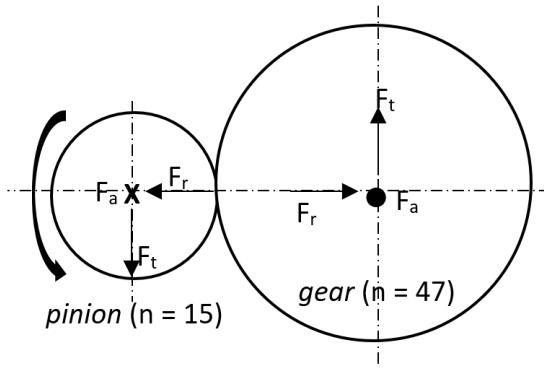
$$\text{➤ } F_2' = F_2 * \cos 5$$

$$F_2' = (F_i + F_c - F_t) * \cos 5$$

$$F_2' = (1086 + 4 - 500) * \cos 5$$
$$F_2' = 587 \text{ N}$$

➤ $F_R = F_1' + F_2'$
 $F_R = 1584 + 587$
 $F_R = 2.171 \text{ N } (\rightarrow)$

• *Helical Gear*



Gaya pada *pinion* dan *gear helical gear*

Tujuan:

Mendapatkan nilai dan arah dari gaya F_t' , F_r' , dan F_a dari *helical gear*

Diketahui:

Putaran per menit pada *pulley 1* = $n_{pulley 1}$ = 1.146

rpm

Radius *pinion helical gear* = r_{pinion} = 11,6 mm

Helix angle helical gear = ψ = 30°

Pressure angle helical gear = \emptyset = 28°

Perhitungan:

➤ $n_p = n_{pulley 2}$
 $n_p = \frac{n_{pulley 1}}{2}$

$$n_p = \frac{1146 \text{ rpm}}{2}$$

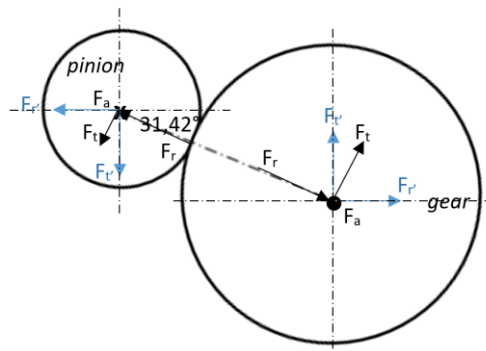
$$n_p = 573 \text{ rpm}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ } V_p &= \pi * d_p * n_p \\ V_p &= \pi * 23,2 \text{ mm} * 573 \text{ rpm} \\ V_p &= 0,696 = 0,7 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ } F_t &= \frac{hp}{v_p} \\ F_t &= \frac{3 \text{ kw}}{0,7 \text{ m/s}} \\ \mathbf{F_t} &= \mathbf{4285,7 = 4286 \text{ N}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ } F_{axial} &= F_{thrust} \\ F_{axial} &= F_t * \tan \psi \\ F_{axial} &= 4286 \text{ N} * \tan 30 \\ F_{axial} &= 2474,5 = 2475 \text{ N} \\ \text{➤ } F_r &= F_t * \tan \emptyset \\ F_r &= 4286 \text{ N} * \tan 28 \\ \mathbf{F_r} &= \mathbf{2278,9 = 2279 \text{ N}} \end{aligned}$$

Karena pemasangan *helical gear* yang tidak sejajar, maka dicari nilai F_t' dan F_r'



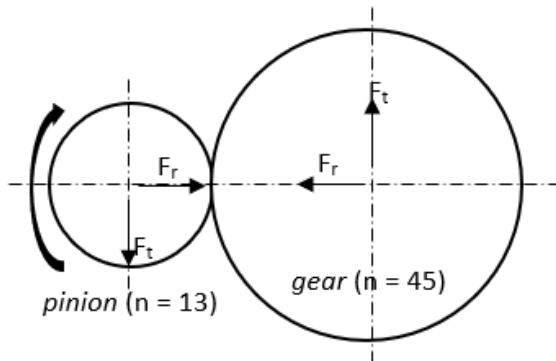
F_t' dan F_r' dari *helical gear*

$$\begin{aligned} \text{➤ } F_t' &= -F_r * \sin 31,42^\circ + F_t * \cos 31,42^\circ \\ F_t' &= -2279 * \sin 31,42^\circ + 4286 * \cos 31,42^\circ \\ F_t' &= \mathbf{2469,48 = 2470 N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ } F_r' &= F_r * \cos 31,42^\circ + F_t * \sin 31,42^\circ \\ F_r' &= 2279 * \cos 31,42^\circ + 4286 * \sin 31,42^\circ \\ F_r' &= \mathbf{4179,15 = 4180 N} \end{aligned}$$

$$\text{➤ } F_a = F_{axial} = \mathbf{2475 N}$$

- *Spur Gear*



Gaya pada *pinion* dan *gear spur gear*

Tujuan:

Mendapatkan nilai dan arah dari gaya F_t' dan F_r' *spur gear*

Diketahui:

Jumlah gigi pada *pinion helical gear* = Σ gigi *pinion helical gear* = 15

Jumlah gigi pada *gear helical gear* = Σ gigi *gear helical gear* = 47

Radius *pinion helical gear* = r_p
= 14,32 mm

$$\begin{aligned} \text{Pressure angle helical gear} &= \emptyset \\ &= 36^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Putaran per menit pada pinion helical gear} &= n_{\text{pinion helical gear}} \\ &= 573 \text{ rpm} \end{aligned}$$

Perhitungan:

$$\begin{aligned} \text{➤ } n_{\text{pinion spur gear}} &= n_{\text{gear helical gear}} \\ &= \frac{n_{\text{pinion spur gear}} \cdot \sum \text{gigi pinion helical gear} \cdot n_{\text{pinion helical gear}}}{\sum \text{gigi gear helical gear}} \end{aligned}$$

$$n_{\text{pinion spur gear}} = \frac{15 \cdot 573 \text{ rpm}}{47}$$

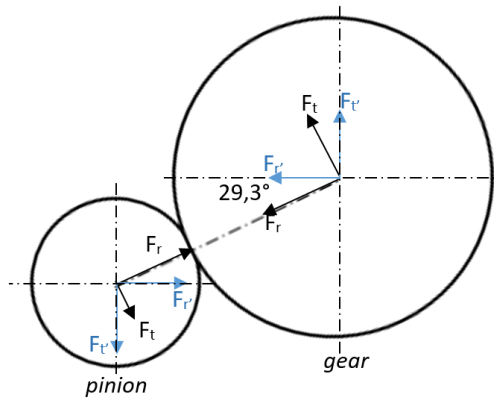
$$n_{\text{pinion spur gear}} = 182,87 = 183 \text{ rpm}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ } V_p &= \pi \cdot d_p \cdot n_p \\ V_p &= \pi \cdot 2 \cdot 14,32 \text{ mm} \cdot 183 \text{ rpm} \\ V_p &= 0,2744 = 0,275 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ } F_t &= \frac{hp}{v_p} \\ F_t &= \frac{3 \text{ kw}}{0,275 \text{ m/s}} \\ F_t &= 10909,1 = 10910 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ } F_r &= F_t \cdot \tan \emptyset \\ F_r &= 10910 \text{ N} \cdot \tan 36^\circ \\ F_r &= 7926,58 = 7927 \text{ N} \end{aligned}$$

Karena pemasangan *spur gear* yang tidak sejajar, maka dicari nilai F_t' dan F_r'



F_t' dan F_r' dari *spur gear*

- $F_t' = F_t * \cos 29,3^\circ - F_r * \sin 29,3^\circ$
 $F_t' = 10910 * \cos 29,3^\circ - 7927 * \sin 29,3^\circ$
 $F_t' = 5634,94 = 5635 \text{ N}$
- $F_r' = F_r * \cos 29,3^\circ + F_t * \sin 29,3^\circ$
 $F_r' = 7927 * \cos 29,3^\circ + 10910 * \sin 29,3^\circ$
 $F_r' = 12252 \text{ N}$

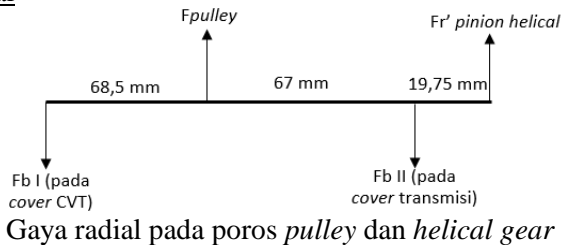
A.2. Gaya yang bekerja pada *bearing* di *base case CVT, cover CVT, dan cover transmisi*

- Poros *Pulley* dan *Helical Gear*

Tujuan:

Mendapatkan nilai dan arah dari gaya F_t dan F_{eq} pada *bearing cover CVT* serta F_t dan F_r pada *bearing cover transmisi* yang terjadi akibat gaya pada poros *pulley dan helical gear*

Radial



Tujuan:

Mendapatkan nilai dan arah dari gaya radial F_{bI} dan F_{bII} poros *pulley* dan *helical gear*

Diketahui:

Gaya resultan pada *pulley* $= F_{pulley}$
 $= 2171 \text{ N}$

Gaya radial *pinion helical gear* $= Fr' \text{ pinion helical gear}$
 $= 4180 \text{ N}$

Perhitungan:

$$\begin{aligned} \blacktriangleright +\circlearrowleft \sum M_{bI} &= 0 \\ F_{pulley} * (68,5 \text{ mm}) - F_{bII} * (68,5 \text{ mm} + 67 \text{ mm}) \\ &+ F'_r \\ &* (68,5 \text{ mm} + 67 \text{ mm} + 19,75 \text{ mm}) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2171 \text{ N} * (68,5 \text{ mm}) - F_{bII} * (135,5 \text{ mm}) \\ + 4180 \text{ N} * (155,25 \text{ mm}) &= 0 \end{aligned}$$

$$F_{bII} = 5886,78 = 5887 \text{ N} (\downarrow)$$

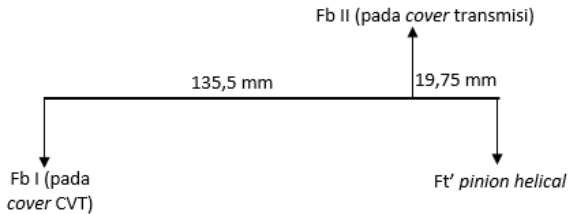
$$\blacktriangleright +\uparrow \sum F = 0$$

$$F_{pulley} + F'_r - F_{bI} - F_{bII} = 0$$

$$2171 \text{ N} + 4180 \text{ N} - F_{bI} - 5886,78 \text{ N} = 0$$

$$F_{bI} = 464,22 = 465 \text{ N} (\downarrow)$$

Tangensial



Gaya tangensial pada poros *pulley* dan *helical gear*

Tujuan:

Mendapatkan nilai dan arah dari gaya tangensial F_{bI} dan F_{bII} poros *pulley* dan *helical gear*

Diketahui:

Gaya tangensial pinion helical gear = F_t' *pinion helical gear*
= 2470 N

➤ $+\circlearrowleft \sum M_{bII} = 0$

$$F_{bI} * (135,5 \text{ mm}) - F_t' * (19,75 \text{ mm}) = 0$$

$$F_{bI} * (135,5 \text{ mm}) - 2470 \text{ N} * (19,75 \text{ mm}) = 0$$

$$F_{bI} = 360,018 = 360 \text{ N} (\downarrow)$$

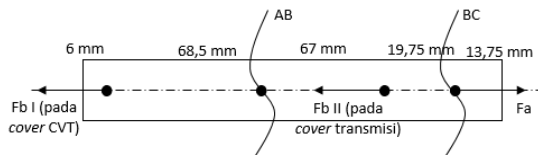
➤ $+\uparrow \sum F = 0$

$$F_{bII} - F_{bI} - F_t' = 0$$

$$F_{bII} - 360 \text{ N} - 2470 \text{ N} = 0$$

$$F_{bII} = 2830 \text{ N} (\uparrow)$$

Axial



Gaya axial pada poros *pulley* dan *helical gear*

Tujuan:

Mendapatkan nilai dan arah dari gaya *axial* F_{bI} dan F_{bII} poros *pulley* dan *helical gear*

Diketahui:

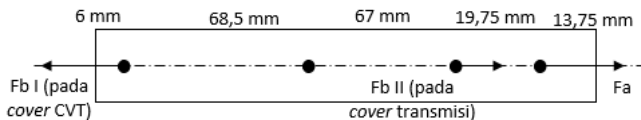
Gaya *axial pinion helical gear* = F_a = 2479 N

$$\begin{aligned} &\text{➤ } +\rightarrow \sum F = 0 \\ &F_a - F_{bI} - F_{bII} = 0 \\ &F_{bI} + F_{bII} = 2479 \text{ N} \quad \dots \text{ (I)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\text{➤ } P_{AB} * l_{AB} + P_{BC} * l_{BC} = 0 \\ &F_{bI} * (68,5 \text{ mm} + 67 \text{ mm}) + (F_{bI} + F_{bII}) * 19,75 \\ &= 0 \\ &F_{bI} = -\frac{19,75}{155,25} F_{bII} \quad \dots \text{ (II)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\text{➤ } \text{Dengan substitusi persamaan (I) dan (II) maka didapat} \\ &F_{bI} + F_{bII} = 2479 \text{ N} \\ &-\frac{19,75}{155,25} F_{bII} + F_{bII} = 2479 \text{ N} \\ &F_{bII} = \mathbf{2840,33} = \mathbf{2841 \text{ N}(\leftarrow)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\text{➤ } F_{bI} + F_{bII} = 2479 \text{ N} \\ &F_{bI} + 2840,33 \text{ N} = 2479 \text{ N} \\ &F_{bI} = \mathbf{-361,66} = \mathbf{362 \text{ N}(\rightarrow)} \end{aligned}$$



Arah gaya *axial* pada poros *pulley* dan *helical gear*

Pada Bearing

➤ Cover CVT ($d_i = 8 \text{ mm} = 0,3149 \text{ in}$)

Tujuan:

Mendapatkan nilai dan arah dari gaya F_t dan F_{eq} pada bearing yang terletak di cover CVT

Perhitungan:

$$\frac{F_a}{v * F_r} = \frac{362 \text{ N}}{1 * 1465} = 0,77$$

Interpolasi nilai e:

$$\frac{2 - 1}{0,4 - 0,51} = \frac{2 - 0,3149}{0,4 - e}$$

$$e = 0,58$$

Karena nilai $\frac{F_a}{v * F_r} > e$, maka dicari nilai

F_{eq}

$$\frac{i * F_a}{C_o} = \frac{1 * 362 \text{ N}}{1660 \text{ N}} = 0,218$$

Interpolasi nilai Y:

$$\frac{0,28 - 0,17}{0,28 - 0,218} = \frac{1,15 - 1,31}{1,15 - Y}$$

$$Y = 1,24$$

$$F_{eq} = X * V * F_r + Y * F_a$$

$$F_{eq} = 0,56 * 1 * 465 \text{ N} + 1,24 * 362$$

$$F_{eq} = 710 \text{ N } (\rightarrow)$$

Gaya yang terjadi pada bearing cover CVT:

$$F_t = 360 \text{ N } (\downarrow)$$

$$F_{eq} = 710 \text{ N } (\rightarrow)$$

➤ *Cover* transmisi ($d_i = 17 \text{ mm} = 0,669 \text{ in}$)

Tujuan:

Mendapatkan nilai dan arah dari gaya F_t dan F_{cq} pada *bearing* yang terletak di *cover* transmisi

Perhitungan:

$$\frac{F_a}{v * F_r} = \frac{2841 \text{ N}}{1 * 5887} = 0,48$$

Interpolasi nilai e :

$$\frac{2 - 1}{0,4 - 0,51} = \frac{2 - 0,669}{0,4 - e}$$

$$e = 0,58$$

Karena nilai $\frac{F_a}{v * F_r} < e$, maka nilai F_a diabaikan

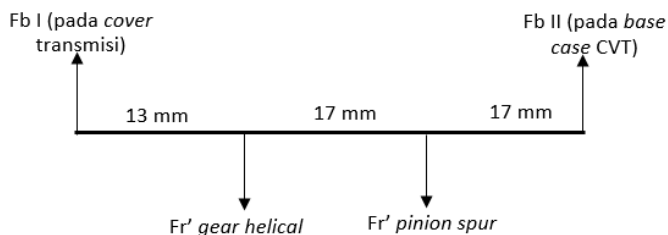
Gaya yang terjadi pada *bearing cover* transmisi:

$$F_t = 5830 \text{ N } (\rightarrow)$$

$$F_r = 5887 \text{ N } (\uparrow)$$

• Poros *Helical Gear* dan *Spur Gear*

Radial



Gaya radial pada poros *helical gear* dan *spur gear*

Tujuan:

Mendapatkan nilai dan arah dari gaya radial F_{bI} dan F_{bII} poros *helical gear* dan *spur gear*

Diketahui:

Gaya radial *gear helical gear* = $F_r' \text{ helical gear}$
= 4180 N (\rightarrow)

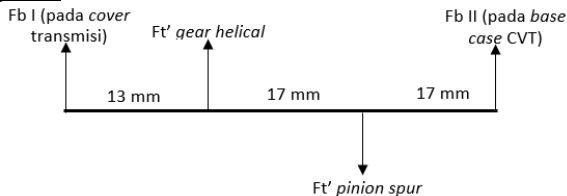
Gaya radial *pinion spur gear* = $F_r' \text{ spur gear}$ = 12.252 N (\rightarrow)

Perhitungan:

$$\begin{aligned} &\text{➤ } +\odot \sum M_{bII} = 0 \\ &\quad -F_{bI} * (13 + 17 + 17) + F_r' \text{ helical} * (17 + 17) \\ &\quad \quad \quad + F_r' \text{ spur} * 17 = 0 \\ &\quad -F_{bI} * (47) + 4180 \text{ N} * (34) + 12252 \text{ N} * 17 = 0 \\ &\quad \mathbf{F_{bI} = 7455,4 \text{ N} = 7456 \text{ N} (\leftarrow)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\text{➤ } +\uparrow \sum F = 0 \\ &\quad F_{bI} + F_{bII} - F_r' \text{ helical} - F_r' \text{ spur} = 0 \\ &\quad 7455,4 \text{ N} + F_{bII} - 4180 \text{ N} - 12252 \text{ N} = 0 \\ &\quad \mathbf{F_{bII} = 8976,6 = 8977 \text{ N} (\leftarrow)} \end{aligned}$$

Tangensial



Gaya tangensial pada poros *helical gear* dan *spur gear*

Tujuan:

Mendapatkan nilai dan arah dari gaya tangensial F_{bI} dan F_{bII} poros *helical gear* dan *spur gear*

Diketahui:

Gaya tangensial *gear helical gear* = $F_t' \text{ helical gear} = 2470$
N

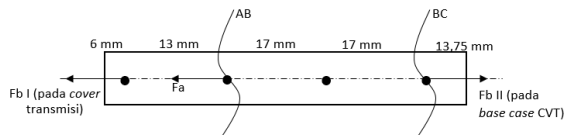
Gaya tangensial *pinion spur gear* = $F_t' \text{ spur gear}$
 $= 10910$ N

Perhitungan:

$$\begin{aligned} \text{➤ } +\odot \sum M_{bII} &= 0 \\ -F_{bI} * (13 + 17 + 17) - F_t' \text{ helical} * (17 + 17) \\ &\quad + F_t' \text{ spur} * 17 = 0 \\ -F_{bI} * (47) - 2470 \text{ N} * (34) + 10910 \text{ N} * 17 &= 0 \\ \mathbf{F_{bI} = 5732,97 = 5733 \text{ N} (\uparrow)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ } +\uparrow \sum F &= 0 \\ F_{bI} + F_t' \text{ helical} + F_{bII} - F_t' \text{ spur} &= 0 \\ 5733 \text{ N} + 2470 \text{ N} + F_{bII} - 10910 \text{ N} &= 0 \\ \mathbf{F_{bII} = 2707 (\uparrow)} \end{aligned}$$

Axial



Gaya axial pada poros *helical gear* dan *spur gear*

Tujuan:

Mendapatkan nilai dan arah dari gaya axial F_{bI} dan F_{bII} poros *helical gear* dan *spur gear*

Diketahui:

Gaya axial pada *helical gear* = $F_a = 2479$
N

Perhitungan:

$$\begin{aligned} \text{➤ } +\rightarrow \sum F &= 0 \\ -F_{bI} - F_a + F_{bII} &= 0 \end{aligned}$$

$$-F_{bI} - 2479 \text{ N} + F_{bII} = 0$$

$$F_{bII} = 2479 \text{ N} + F_{bI} \quad \dots \text{ (I)}$$

➤ $P_{AB} * l_{AB} + P_{BC} * l_{BC} = 0$

$$F_{bI} * (13 \text{ mm}) + F_{bII} * (17 \text{ mm} + 17 \text{ mm}) = 0$$

$$F_{bI} * (13 \text{ mm}) + (2479 \text{ N} + F_{bI}) * 34 \text{ mm} = 0$$

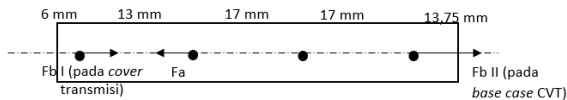
$$F_{bI} = -1793,3 \text{ N}(\leftarrow) = 1794 \text{ N}(\rightarrow)$$

➤ Persamaan (I)

$$F_{bII} = 2479 \text{ N} + F_{bI}$$

$$F_{bII} = 2479 \text{ N} - 1793,3 \text{ N}$$

$$F_{bII} = 685,7 = 686 \text{ N}(\leftarrow)$$



Arah gaya axial pada poros *helical gear* dan *spur gear*

Pada Bearing

➤ Cover transmisi ($d_i = 15 \text{ mm} = 0,59055 \text{ in}$)

Tujuan:

Mendapatkan nilai dan arah dari gaya F_t dan F_r pada bearing yang terletak di cover transmisi

$$\frac{F_a}{v * F_r} = \frac{1794 \text{ N}}{1 * 7456} = 0,24$$

Interpolasi nilai e:

$$\frac{2 - 1}{0,4 - 0,51} = \frac{2 - 0,59055}{0,4 - e}$$

$$e = 0,555$$

Karena nilai $\frac{F_a}{v * F_r} < e$, maka nilai F_a diabaikan

Gaya yang terjadi pada bearing cover transmisi:

F_t = 5733 N (↑)

F_r = 7456 N (←)

➤ *Base case CVT* (d_i = 12 mm = 0,472 in)

Tujuan:

Mendapatkan nilai dan arah dari gaya F_t dan F_r pada bearing yang terletak di *base case CVT*

$$\frac{F_a}{v * F_r} = \frac{686 N}{1 * 8977} = 0,076$$

Interpolasi nilai e:

$$\frac{2 - 1}{0,4 - 0,51} = \frac{2 - 0,472}{0,4 - e}$$

$e = 0,568$

Karena nilai $\frac{F_a}{v * F_r} < e$, maka nilai F_a diabaikan

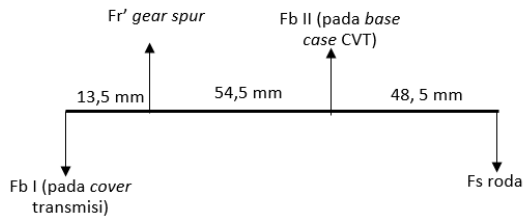
Gaya yang terjadi pada bearing base case CVT:

F_t = 2707 N (↑)

F_r = 8977 N (←)

• Poros *Spur Gear* dan Roda

Radial



Gaya radial pada poros *spur gear* dan roda

Tujuan:

Mendapatkan nilai dan arah dari gaya radial F_{bI} dan F_{bII} poros *spur gear* dan roda

Diketahui:

$$\begin{aligned} \text{Gaya radial gear spur gear} &= Fr' \text{ spur gear} \\ &= 12252 \text{ N } (\leftarrow) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban penumpang dan sepeda motor} &= W \\ &= 2800 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\text{➤ } F_{s \text{ roda}} = W * (\text{koefisien gesek statis})$$

$$F_{s \text{ roda}} = 2800 \text{ N} * 1,35$$

$$F_{s \text{ roda}} = 3780 \text{ N } (\rightarrow)$$

$$\text{➤ } +\odot \sum M_{bII} = 0$$

$$\begin{aligned} -F_r' \text{ spur} * 54,5 \text{ mm} + F_{bI} * (13,5 \text{ mm} + 54,5 \text{ mm}) \\ - F_{s \text{ roda}} * 48,5 \text{ mm} = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} -12252 \text{ N} * 54,5 \text{ mm} + F_{bI} * (68 \text{ mm}) - 3780 \text{ N} \\ * 48,5 \text{ mm} = 0 \end{aligned}$$

$$F_{bI} = 12515,6 = 12516 \text{ N } (\rightarrow)$$

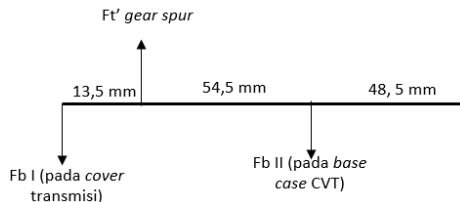
$$\text{➤ } +\uparrow \sum F = 0$$

$$-F_{bI} + F_r' \text{ spur} + F_{bII} - F_{s \text{ roda}} = 0$$

$$-12515,6 \text{ N} + 12252 \text{ N} + F_{bII} - 3780 \text{ N} = 0$$

$$F_{bII} = 4044,4 = 4045 \text{ N } (\leftarrow)$$

Tangensial



Gaya tangensial pada poros *spur gear* dan roda

Tujuan:

Mendapatkan nilai dan arah dari gaya tangensial F_{bl} dan F_{bII} poros *spur gear* dan roda

Diketahui:

Gaya tangensial *gear spur gear* = $F_t' \text{ spur gear} = 5635$
N

$$\begin{aligned} \text{➤ } +\odot \sum M_{bII} &= 0 \\ F_{bl} * (13,5 \text{ mm} + 54,5 \text{ mm}) - F_t' \text{ spur} * 54,5 \text{ mm} &= 0 \end{aligned}$$

$$F_{bl} * (68 \text{ mm}) - 5635 * 54,5 \text{ mm} = 0$$

$$\mathbf{F_{bl} = 4516,28 = 4517 \text{ N} (\downarrow)}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ } +\uparrow \sum F &= 0 \\ -F_{bl} + F_t' \text{ spur} - F_{bII} &= 0 \\ -4516,28 \text{ N} + 5635 \text{ N} - F_{bII} &= 0 \\ \mathbf{F_{bII} = 1118,72 = 1119 \text{ N} (\downarrow)} \end{aligned}$$

Pada Bearing

➤ *Cover transmisi*

Tujuan:

Mendapatkan nilai dan arah dari gaya F_t dan F_r pada *bearing* yang terletak di *cover transmisi*

Gaya yang terjadi pada *bearing cover transmisi*:

$$\mathbf{F_t = 4517 \text{ N} (\downarrow)}$$

$$\mathbf{F_r = 12516 \text{ N} (\rightarrow)}$$

➤ *Base case CVT*

Tujuan:

Mendapatkan nilai dan arah dari gaya F_t dan F_r pada *bearing* yang terletak di *base case CVT*

Gaya yang terjadi pada *bearing base case CVT*:

$$\mathbf{F_t = 1119 \text{ N} (\downarrow)}$$

$$\mathbf{F_r = 4045 \text{ N} (\leftarrow)}$$

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Lampiran B

Waktu Penuangan Sistem Saluran, dan Penambah (*Riser*)

1. Waktu Penuangan, Sistem Saluran, dan Penambah (*Riser*) *Sand Casting*

a. *Base Case CVT*

Diketahui:

Kecepatan penuangan (R) = 0,7 kg/s [22]

Massa jenis benda cor (ρ) = 2.710 kg/m³

- Tinggi Efektif (H)

Jenis *gating*: *parting line gating* (lihat gambar 2.8)

h = 113 mm

c = 99 mm

p = 26 mm

$$H = \frac{2 \cdot h \cdot c - p^2}{2 \cdot c}$$
$$H = \frac{2 * 113 \text{ mm} * 99 \text{ mm} - (26 \text{ mm})^2}{2 * 99 \text{ mm}}$$
$$H = 109,63 \text{ mm}$$

- Luas *choke* (A_c)

Koefisien *discharge* (c) = 0.8

$$A_c = \frac{R}{\rho \cdot c \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}}$$
$$A_c = \frac{0,7 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{2.710 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,8 * \sqrt{2 * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,11 \text{m}}}$$
$$A_c = 220,14 \text{ mm}^2$$

Karena *choke* berbentuk persegi, maka didapatkan panjang sisi *choke* sebesar 15 mm

- Luas *sprue top* (A_{si})

h_{si} = 23 mm

h_{se} = 113 mm

$$A_{si} = A_c \sqrt{\frac{h_{se}}{h_{si}}}$$

$$A_{si} = 220,14 \text{ mm}^2 * \sqrt{\frac{113 \text{ mm}}{23 \text{ mm}}}$$

$$A_{si} = 487,56 \text{ mm}^2$$

Karena *sprue top* berbentuk persegi, maka didapatkan panjang sisi *sprue top* sebesar 23 mm

- Luas *runner* (A_R)

$$\Sigma_{runner} = 2$$

$$A_R = 4A_c$$

$$A_R = 4 * 220,14 \text{ mm}^2$$

$$A_R = 880,59 \text{ mm}^2$$

Karena terdapat dua *runner* berbentuk persegi, maka didapatkan panjang sisi masing-masing *runner* sebesar 21 mm

- Luas *ingate* (A_G)

$$\Sigma_{runner} = 2$$

$$A_G = 4A_c$$

$$A_G = 4 * 220,14 \text{ mm}^2$$

$$A_G = 880,59 \text{ mm}^2$$

Karena terdapat dua *ingate* berbentuk persegi, maka didapatkan panjang sisi masing-masing *ingate* sebesar 21 mm

- Luas *well base*

$$\text{well base} = 5 * A_c$$

$$\text{well base} = 5 * 220,14 \text{ mm}^2$$

$$\text{well base} = 1.100,74 \text{ mm}^2$$

Karena *well base* berbentuk persegi, maka didapatkan panjang sisi *well base* sebesar 34 mm

- *Well depth*

$$\text{well depth} = 2 * \text{runner depth}$$

$$\text{well depth} = 2 * 21 \text{ mm}$$

$$\text{well depth} = 42 \text{ mm}$$

- Dimensi Penambah (*Riser*)

$$L = 557,5 \text{ mm}$$

$$W = 242,5 \text{ mm}$$

$$T = 99 \text{ mm}$$

$$SF = \frac{L + W}{T}$$
$$SF = \frac{557,5 \text{ mm} + 242,5 \text{ mm}}{99 \text{ mm}}$$
$$SF = 8,08$$

Dari grafik pemilihan volume minimal *riser metode NRL* (gambar 2.10), didapatkan perbandingan volume *riser* sekitar 35% dari volume benda cor.

$$\text{volume riser} = 0,35 * \text{volume benda cor}$$

$$\text{volume riser} = 0,35 * 2.011.182,21 \text{ mm}^3$$

$$\text{volume riser} = 703.913,77 \text{ mm}^3$$

Karena tinggi *riser* yang dianjurkan bernilai dua kali dari diameter *riser*, maka didapatkan tinggi *riser* 153 mm dengan diameter 77 mm.

b. *Cover CVT*

Diketahui:

$$\text{Kecepatan penuangan (R)} = 0,7 \text{ kg/s [22]}$$

$$\text{Massa jenis benda cor } (\rho) = 2.710 \text{ kg/m}^3$$

- Tinggi Efektif (H)

Jenis *gating*: *top gating* (lihat gambar 2.6)

$$h = 69 \text{ mm}$$

$$H = h$$

$$H = 69 \text{ mm}$$

- Luas *choke* (A_c)

$$\text{Koefisien discharge (c)} = 0.8$$

$$A_c = \frac{R}{\rho \cdot c \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}}$$

$$A_c = \frac{0,7 \frac{kg}{s}}{2.710 \frac{kg}{m^3} * 0,8 * \sqrt{2 * 9,81 \frac{m}{s^2} * 0,07m}}$$
$$A_c = 279,10 \text{ mm}^2$$

Karena *choke* berbentuk persegi, maka didapatkan panjang sisi *choke* sebesar 17 mm

- Luas *sprue top* (A_{si})

$$h_{si} = 18 \text{ mm}$$

$$h_{se} = 69 \text{ mm}$$

$$A_{si} = A_c \sqrt{\frac{h_{se}}{h_{si}}}$$

$$A_{si} = 279,10 \text{ mm}^2 * \sqrt{\frac{69 \text{ mm}}{19 \text{ mm}}}$$

$$A_{si} = 540,15 \text{ mm}^2$$

Karena *sprue top* berbentuk persegi, maka didapatkan panjang sisi *sprue top* sebesar 24 mm

- Luas *runner* (A_R)

$$\Sigma_{runner} = 2$$

$$A_R = 4A_c$$

$$A_R = 4 * 279,10 \text{ mm}^2$$

$$A_R = 1.116,40 \text{ mm}^2$$

Karena terdapat dua *runner* berbentuk persegi, maka didapatkan panjang sisi masing-masing *runner* sebesar 24 mm

- Luas *ingate* (A_G)

$$\Sigma_{ingate} = 2$$

$$A_G = 4A_c$$

$$A_G = 4 * 279,10 \text{ mm}^2$$

$$A_G = 1.116,40 \text{ mm}^2$$

Karena terdapat dua *ingate* berbentuk persegi, maka didapatkan panjang sisi masing-masing *ingate* sebesar 24 mm

- Luas *well base*

$$\begin{aligned} \text{well base} &= 5 * A_c \\ \text{well base} &= 5 * 279,10 \text{ mm}^2 \\ \text{well base} &= 1395,50 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Karena *well base* berbentuk persegi, maka didapatkan panjang sisi *well base* sebesar 38 mm

- *Well depth*

$$\begin{aligned} \text{well depth} &= 2 * \text{runner depth} \\ \text{well depth} &= 2 * 24 \text{ mm} \\ \text{well depth} &= 48 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Dimensi Penambah (*Riser*)

$$L = 535 \text{ mm}$$

$$W = 170 \text{ mm}$$

$$T = 107 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} SF &= \frac{L + W}{T} \\ SF &= \frac{535 \text{ mm} + 170 \text{ mm}}{107 \text{ mm}} \\ SF &= 6,58 \end{aligned}$$

Dari grafik pemilihan volume minimal *riser metode NRL* (gambar 2.10), didapatkan perbandingan volume *riser* sekitar 37,5% dari volume benda cor.

$$\begin{aligned} \text{volume riser} &= 0,375 * \text{volume benda cor} \\ \text{volume riser} &= 0,375 * 807.413,24 \text{ mm}^3 \\ \text{volume riser} &= 313.419,1 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Karena tinggi *riser* yang dianjurkan bernilai dua kali dari diameter *riser*, maka didapatkan tinggi *riser* 116 mm dengan diameter 59 mm.

c. Cover Transmisi

Diketahui:

Kecepatan penuangan (R) = 0,7 kg/s [22]

Massa jenis benda cor (ρ) = 2.710 kg/m³

- Tinggi Efektif (H)

Jenis gating: *top gating* (lihat gambar 2.6)

$h = 54 \text{ mm}$

$$H = h$$

$$H = 54 \text{ mm}$$

- Luas *choke* (A_c)

Koefisien *discharge* (c) = 0.8

$$A_c = \frac{R}{\rho \cdot c \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}}$$

$$A_c = \frac{0,7 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{2.710 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,8 * \sqrt{2 * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,05\text{m}}}$$
$$A_c = 313,85 \text{ mm}^2$$

Karena *choke* berbentuk persegi, maka didapatkan panjang sisi *choke* sebesar 18 mm

- Luas *sprue top* (A_{si})

$h_{si} = 14 \text{ mm}$

$h_{se} = 54 \text{ mm}$

$$A_{si} = A_c \sqrt{\frac{h_{se}}{h_{si}}}$$

$$A_{si} = 313,85 \text{ mm}^2 * \sqrt{\frac{54 \text{ mm}}{14 \text{ mm}}}$$

$$A_{si} = 617,34 \text{ mm}^2$$

Karena *sprue top* berbentuk persegi, maka didapatkan panjang sisi *sprue top* sebesar 25 mm

2. Waktu Penuangan dan Sistem Saluran *Gravity Die Casting*

a. *Base Case CVT*

Diketahui:

Kecepatan penuangan (R) = 1 kg/s [23]

Massa jenis benda cor (ρ) = 2.710 kg/m³

- Tinggi Efektif (H)

Jenis *gating*: *parting line gating* (lihat gambar 2.8)

h = 225 mm

c = 537,1 mm

p = 131 mm

$$H = \frac{2 \cdot h \cdot c - p^2}{2 \cdot c}$$

$$H = \frac{2 * 225 \text{ mm} * 537,1 \text{ mm} - (131)^2}{2 * 537,1 \text{ mm}}$$

$$H = 209 \text{ mm}$$

- Luas *choke* (A_c)

Koefisien *discharge* (c) = 0,8

$$A_c = \frac{R}{\rho \cdot c \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}}$$

$$A_c = \frac{1 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{2.710 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,8 * \sqrt{2 * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,21\text{m}}}$$

$$A_c = 227,77 \text{ mm}^2$$

Karena *choke* berbentuk persegi, maka didapatkan panjang sisi *choke* sebesar 16 mm

- Luas *sprue top* (A_{si})

h_{si} = 25 mm

h_{se} = 225 mm

$$A_{si} = A_c \sqrt{\frac{h_{se}}{h_{si}}}$$

$$A_{si} = 227,77 \text{ mm}^2 * \sqrt{\frac{225 \text{ mm}}{25 \text{ mm}}}$$

$$A_{si} = 683,30 \text{ mm}^2$$

Karena *sprue top* berbentuk persegi, maka didapatkan panjang sisi *sprue top* sebesar 27 mm

- Luas *runner* (A_R)

$$\Sigma_{runner} = 1$$

$$A_R = 4A_c$$

$$A_R = 4 * 227,77 \text{ mm}^2$$

$$A_R = 911,10 \text{ mm}^2$$

Karena *runner* berbentuk persegi, maka didapatkan panjang sisi *runner* sebesar 31 mm

- Luas *ingate* (A_G)

$$\Sigma_{ingate} = 1$$

$$A_G = 4A_c$$

$$A_G = 4 * 227,77 \text{ mm}^2$$

$$A_G = 911,10 \text{ mm}^2$$

Karena *ingate* berbentuk persegi, maka didapatkan panjang sisi *ingate* sebesar 31 mm

- Luas *well base*

$$well \ base = 5 * A_c$$

$$well \ base = 5 * 227,77 \text{ mm}^2$$

$$well \ base = 1.138,84 \text{ mm}^2$$

Karena *well base* berbentuk persegi, maka didapatkan panjang sisi *well base* sebesar 34 mm

- *Well depth*

$$well \ depth = 2 * runner \ depth$$

$$well \ depth = 2 * 31 \text{ mm}$$

$$well \ depth = 61 \text{ mm}$$

- Dimensi Penambah (*Riser*)

$$L = 99 \text{ mm}$$

$$W = 239 \text{ mm}$$

$$T = 537,1 \text{ mm}$$

$$SF = \frac{L + W}{T}$$
$$SF = \frac{99 \text{ mm} + 239 \text{ mm}}{537,1 \text{ mm}}$$
$$SF = 0,62$$

Dari grafik pemilihan volume minimal *riser metode NRL* (gambar 2.10), didapatkan perbandingan volume *riser* sebesar 100% dari volume benda cor.

$$\text{volume riser} = 1 * \text{volume benda cor}$$

$$\text{volume riser} = 1 * 1.714.402 \text{ mm}^3$$

$$\text{volume riser} = 1.714.402 \text{ mm}^3$$

Karena tinggi *riser* yang dianjurkan bernilai dua kali dari diameter *riser*, maka dianjurkan tinggi *riser* sebesar 204 mm dengan diameter 102 mm.

b. *Cover CVT*

Diketahui:

$$\text{Kecepatan penuangan (R)} = 1 \text{ kg/s [23]}$$

$$\text{Massa jenis benda cor (\rho)} = 2.710 \text{ kg/m}^3$$

- Tinggi Efektif (H)

Jenis *gating: top gating* (lihat gambar 2.6)

$$h = 125 \text{ mm}$$

$$H = h$$

$$H = 125 \text{ mm}$$

- Luas *choke* (A_c)

$$\text{Koefisien discharge (c)} = 0.8$$

$$A_c = \frac{R}{\rho \cdot c \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}}$$

$$A_c = \frac{0,7 \frac{kg}{s}}{2.710 \frac{kg}{m^3} * 0,8 * \sqrt{2 * 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 0,125m}}$$
$$A_c = 294,53 \text{ mm}^2$$

Karena *choke* berbentuk persegi, maka didapatkan panjang sisi *choke* sebesar 18 mm

- Luas *sprue top* (A_{si})

$$h_{si} = 25 \text{ mm}$$

$$h_{se} = 125 \text{ mm}$$

$$A_{si} = A_c \sqrt{\frac{h_{se}}{h_{si}}}$$

$$A_{si} = 294,53 \text{ mm}^2 * \sqrt{\frac{125 \text{ mm}}{25 \text{ mm}}}$$

$$A_{si} = 658,60 \text{ mm}^2$$

Karena *sprue top* berbentuk persegi, maka didapatkan panjang sisi *sprue top* sebesar 26 mm

- Luas *runner* (A_R)

$$\Sigma_{runner} = 2$$

$$A_R = 4A_c$$

$$A_R = 4 * 294,53 \text{ mm}^2$$

$$A_R = 1.178,14 \text{ mm}^2$$

Karena terdapat dua *runner* berbentuk persegi, maka didapatkan panjang sisi masing-masing *runner* sebesar 25 mm

- Luas *ingate* (A_G)

$$\Sigma_{ingate} = 8$$

$$A_G = 4A_c$$

$$A_G = 4 * 294,53 \text{ mm}^2$$

$$A_G = 1.178,14 \text{ mm}^2$$

Karena terdapat delapan *ingate* berbentuk persegi panjang dengan tinggi 12 mm, maka didapatkan lebar masing-masing *ingate* sebesar 13 mm

- Luas *well base*

$$\begin{aligned} \text{well base} &= 5 * A_c \\ \text{well base} &= 5 * 294,53 \text{ mm}^2 \\ \text{well base} &= 1472,67 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Karena *well base* berbentuk persegi, maka didapatkan panjang sisi *well base* sebesar 39 mm

- *Well depth*

$$\begin{aligned} \text{well depth} &= 2 * \text{runner depth} \\ \text{well depth} &= 2 * 24 \text{ mm} \\ \text{well depth} &= 48 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Dimensi Penambah (*Riser*)

$$L = 531 \text{ mm}$$

$$W = 166 \text{ mm}$$

$$T = 105 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} SF &= \frac{L + W}{T} \\ SF &= \frac{531 \text{ mm} + 166 \text{ mm}}{105 \text{ mm}} \\ SF &= 6.64 \end{aligned}$$

Dari grafik pemilihan volume minimal *riser metode NRL* (gambar 2.10), didapatkan perbandingan volume *riser* sekitar 40% dari volume benda cor.

$$\begin{aligned} \text{volume riser} &= 0,4 * \text{volume benda cor} \\ \text{volume riser} &= 0,4 * 650.210,10 \text{ mm}^3 \\ \text{volume riser} &= 260.084,04 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Karena tinggi *riser* yang dianjurkan bernilai dua kali dari diameter *riser*, maka didapatkan tinggi *riser* 110 mm dengan diameter 55 mm.

c. *Cover Transmisi*

Diketahui:

$$\text{Kecepatan penuangan (R)} = 1 \text{ kg/s [23]}$$

$$\text{Massa jenis benda cor } (\rho) = 2.710 \text{ kg/m}^3$$

- Tinggi Efektif (H)
 Jenis *gating*: *top gating* (lihat gambar 2.6)
 $h = 75 \text{ mm}$

$$H = h$$

$$H = 75 \text{ mm}$$

- Luas *choke* (A_c)
 Koefisien *discharge* (c) = 0.8

$$A_c = \frac{R}{\rho \cdot c \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}}$$

$$A_c = \frac{0,7 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{2.710 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,8 * \sqrt{2 * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,075}}$$

$$A_c = 380,24 \text{ mm}^2$$

Karena *choke* berbentuk persegi, maka didapatkan panjang sisi *choke* sebesar 20 mm

- Luas *sprue top* (A_{si})
 $h_{si} = 25 \text{ mm}$
 $h_{se} = 75 \text{ mm}$

$$A_{si} = A_c \sqrt{\frac{h_{se}}{h_{si}}}$$

$$A_{si} = 380,24 \text{ mm}^2 * \sqrt{\frac{75 \text{ mm}}{25 \text{ mm}}}$$

$$A_{si} = 658,60 \text{ mm}^2$$

Karena *sprue top* berbentuk persegi, maka didapatkan panjang sisi *sprue top* sebesar 26 mm

- Luas *runner* (A_R)
 $\Sigma_{runner} = 2$

$$A_R = 4A_c$$

$$A_R = 4 * 380,24 \text{ mm}^2$$

$$A_R = 1.520,97 \text{ mm}^2$$

Karena terdapat dua *runner* berbentuk persegi, maka didapatkan panjang sisi masing-masing *runner* sebesar 28 mm

- Luas *ingate* (A_G)

$$\Sigma_{ingate} = 5$$

$$A_G = 4A_c$$

$$A_G = 4 * 380,24 \text{ mm}^2$$

$$A_G = 1.520,97 \text{ mm}^2$$

Karena terdapat lima *ingate* berbentuk persegi panjang dengan tinggi 12 mm, maka didapatkan lebar masing-masing *ingate* sebesar 26 mm

- Luas *well base*

$$well\ base = 5 * A_{si}$$

$$well\ base = 5 * 380,24 \text{ mm}^2$$

$$well\ base = 1.901,21 \text{ mm}^2$$

Karena *well base* berbentuk persegi, maka didapatkan panjang sisi *well base* sebesar 44 mm

- *Well depth*

$$well\ depth = 2 * runner\ depth$$

$$well\ depth = 2 * 26 \text{ mm}$$

$$well\ depth = 56 \text{ mm}$$

- Dimensi Penambah (*Riser*)

$$L = 120 \text{ mm}$$

$$W = 165 \text{ mm}$$

$$T = 24,5 \text{ mm}$$

$$SF = \frac{L + W}{T}$$

$$SF = \frac{120 \text{ mm} + 165 \text{ mm}}{24,5 \text{ mm}}$$

$$SF = 11,63$$

Dari grafik pemilihan volume minimal *riser metode NRL* (gambar 2.10), didapatkan perbandingan volume *riser* sekitar 30% dari volume benda cor.

$$volume\ riser = 0,30 * volume\ benda\ cor$$

$$volume\ riser = 0,30 * 128.227,9 \text{ mm}^3$$

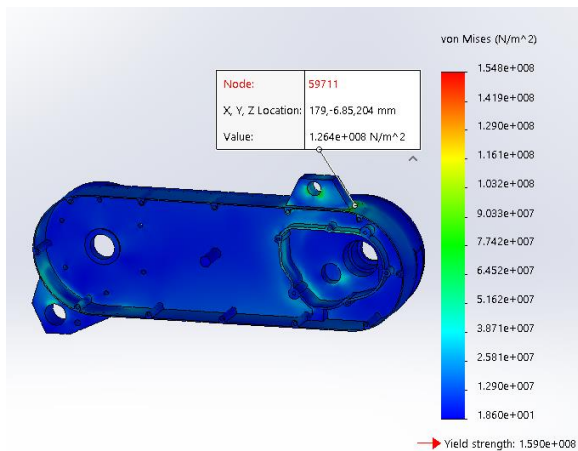
$$\text{volume riser} = 38.468,37 \text{ mm}^3$$

Karena tinggi *riser* yang dianjurkan bernilai dua kali dari diameter *riser*, maka didapatkan tinggi *riser* 58 mm dengan diameter 30 mm.

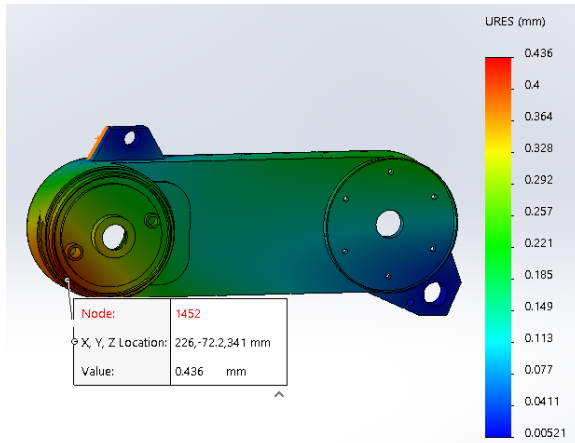
Lampiran C

Hasil Simulasi Mekanik untuk Proses Tertipis

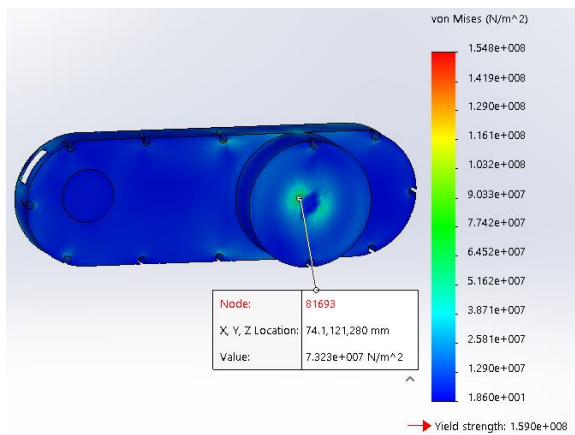
Hasil simulasi mekanik tertipis dilakukan dengan menipiskan *base case* CVT dan *cover* CVT hingga ketebalan dindingnya mencapai 1,5 mm. Untuk *cover* transmisi tidak dilakukan pengurangan ketebalan dinding karena hasil dari metode *sand casting* dan *gravity die casting* tidak berubah. Pada *base case* CVT dan *cover* CVT, ketebalan dinding tidak dapat diperkecil lagi karena lubang untuk mur dan baut sudah terpotong, sehingga bila ingin melakukan pengurangan ketebalan lebih lanjut dianjurkan untuk melakukan redesign bentuk dari *casing* CVT. Hasil simulasi mekanik dapat dilihat pada gambar dibawah.



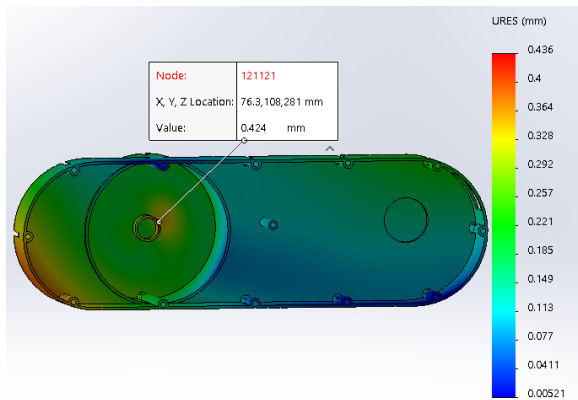
Stress maksimal pada hasil penipisan *base case* CVT



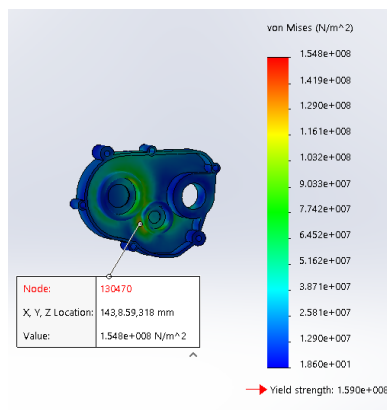
Displacement maksimal pada hasil penipisan *base case* CVT



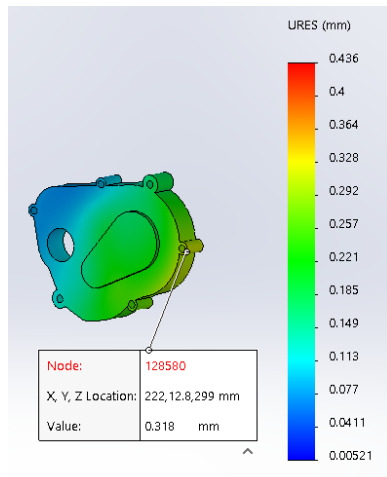
Stress maksimal pada hasil penipisan *cover* CVT



Displacement maksimal pada hasil penipisan *cover* CVT



Stress maksimal pada hasil penipisan *cover* transmisi



Displacement maksimal pada hasil penipisan *cover* transmisi

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Edwin dan lahir di Surabaya, Jawa Timur, pada 15 Januari 1997. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara dan merupakan anak dari pasangan Harijanto Justopo dan Emarita Limantara.

Pendidikan formal penulis dimulai dari SD Intan Permata Hati dan melanjutkan studi di SMP Negeri 1 Sidoarjo. Penulis menempuh pendidikan SMA di SMA Katolik St. Louis 1 Surabaya. Penulis melanjutkan studi di jurusan Teknik Mesin ITS pada tahun 2014 dan berhasil menamatkan pendidikan tahap sarjana pada tahun 2018.