

Simulasi Modifikasi *Gatting System* Pada Proses Pengecoran Dalam Pembuatan *Bogie Wheel Tank AMX-13* Menggunakan Aplikasi *SolidCast* Untuk Meminimalisir Cacat Penyusutan (*Shrinkage*)

Djoko Wahyu Karmiadjil¹, Darwan Edyanto Saragih¹

¹*Program Studi Magister Teknik Mesin, Universitas Pancasila, Jakarta*

Email: djokow@univpancasila.ac.id, darwansaragih70@gmail.com

ABSTRAK

Salah satu suku cadang yang penting dalam kendaraan jenis tank adalah perangkat roda tank yang disebut bogie wheel. Bogie wheel merupakan bagian dari sistem perangkat roda yang terdiri dari track, bogie arm, bogie bracket dsb. Bogie wheel terbuat dari material aluminium yang ditempa (forging). Saat ini proses pembuatan suku cadang bogie wheel menggunakan material baja dengan proses permesinan. Akibat dari pergantian material tersebut maka kendaraan bertambah bobotnya sebesar 4 ton. Hal ini berpengaruh pada manuver kendaraan serta jumlah amunisi dan personel yang bisa diangkut oleh tank tersebut. Pada penelitian ini akan di simulasikan proses pembuatan bogie wheel dengan proses pengecoran dengan metode Gravity Die Casting. Proses ini sudah dilakukan oleh Balai Besar Logam dan Mesin (BBLM) Bandung. Namun Hasilnya masih terdapat cacat shrinkage. Pada simulasi ini akan dilakukan modifikasi gattting system dan riser, temperatur tuang cor 700 °C dan waktu tuang 4,5 detik. Dari hasil modifikasi tersebut diketahui bahwa penyebab cacat penyusutan (shrinkage) pada bogie wheel adalah terjadinya dominan progresif solidifikasi dibanding directional solidcast dan tetap terjadi cacat centerline shrinkage. Dari penelitian ini dapat ditarik kesimpulan bahwa metode gravity die casting tidak disarankan untuk pembuatan bogie wheel karena akan tetap menimbulkan cacat centerline shrinkage. Metode yang direkomendasikan untuk membuat benda ini adalah dengan proses cold working deep drawing, forging atau dengan High Pressure Die Casting.

Kata Kunci : *Bogie Wheel, Gravity Die Casting, Shrinkage, Gatting System, Riser*

ABSTRACT

The important of spare parts in tank is bogie wheel. The bogie wheel is part of a wheel system consisting of a track, bogie arm, bogie bracket, etc. The bogie wheel is made of forging aluminum. Currently, the process of making bogie wheel parts uses steel material with a machining process. As a result of this material change, the vehicle weighs 4 tons. This affects the maneuverability of the vehicle as well as the amount of ammunition and personnel the tank can transport. In this study, the process of making a bogie wheel will be simulated by a casting process using the Gravity Die Casting method. This process has been carried out by Balai Besar Logam dan Mesin (BBLM) Bandung. However, the result is still a shrinkage defect. In this simulation modification of the gattting system, riser, pouring temperature and pouring time will be carried out. The pouring temperatures used were at a temperature of 700 °C and a pouring time of 4.5 seconds. From the results of these modifications, it is known that the cause of shrinkage defects on the bogie wheel is the occurrence of progressive solidification dominant compared to directional solidcast and centerline shrinkage defects still occur. From this study it can be concluded that the gravity die casting method is not recommended for the manufacture of bogie wheels because it will still cause centerline shrinkage defects. The recommended method for making this item is by cold working deep drawing, forging or by High Pressure Die Casting.

Keyword: *Bogie Wheel, Gravity Die Casting, Shrinkage, Gatting System, Riser*

I. PENDAHULUAN

Alat utama sistem pertahanan (alutsista) yang dimiliki oleh Indonesia saat ini sebagian besar terdiri dari peralatan yang sudah berumur tua (dibeli tahun 1960 an). Meskipun sudah tua tetapi kondisi peralatan tersebut masih cukup

bagus dan berfungsi dengan baik karena sistem pemeliharaannya berjalan dengan baik.

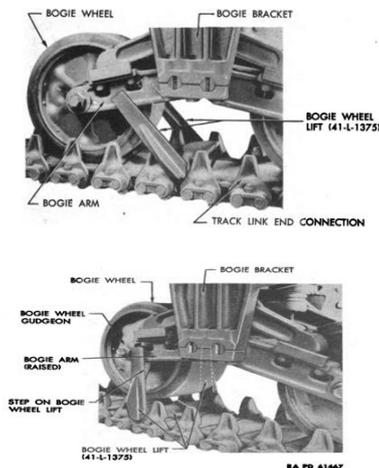
Alutsista tersebut terdiri dari pesawat tempur, kapal perang, tank tempur dan persenjataan lainnya. Salah satu tank yang dimiliki oleh TNI-AD yang sekarang masih aktif beroperasi adalah tank AMX-13 (Gambar 1) yang

dibuat oleh *Atelier de Construction d'Issy les Mounlineaux* (AMX) Perancis [1]



Gambar 1. Tank AMX-13 [1]

Salah satu suku cadang yang penting dalam kendaraan jenis tank adalah perangkat roda tank yang disebut *bogie wheel* (Gambar 2). *Bogie wheel* merupakan bagian dari sistem perangkat roda yang terdiri dari *track*, *bogie arm*, *bogie bracket* dan sebagainya [2-4].



Gambar 2 Bogie Wheel Kendaraan Tank [4]

Pada Gambar 3 ditunjukkan perangkat bogie wheel untuk kendaraan jenis Tank AMX-13.



Gambar 3. Bogie Wheel Tank AMX-13 [5]

Bogie wheel terbuat dari material aluminium yang ditempa (*forging*) namun saat ini karena tidak adanya stok suku cadang, industri pertahanan dalam negeri membuat *bogie wheel* dari material baja menggunakan proses permesinan. Akibat dari pergantian material tersebut maka kendaraan bertambah bobotnya

sebesar 4 ton. Hal ini berpengaruh pada manuver kendaraan serta jumlah amunisi dan personel yang bisa diangkut oleh tank tersebut.

Untuk mengatasi hal tersebut, pembuatan *bogie wheel* dilakukan dengan proses pengecoran (*gravity die casting*). Masalah yang timbul dari pembuatan *bogie wheel* dengan proses pengecoran tersebut adalah terjadinya cacat penyusutan (*shrinkage*) pada produk yang dibuat. Adanya cacat penyusutan (*shrinkage*) pada produk *bogie wheel* secara signifikan akan mengakibatkan kerusakan saat penggunaan *bogie wheel* karena cacat tersebut akan menjadi *crack initiation* (awal terbentuknya retakan).

Umumnya cacat penyusutan disebabkan oleh temperatur tuang dan waktu tuang yang tidak sesuai, ketidaktepatan sistem saluran (*gating system*) dan riser serta kekurangan suplai cairan logam yang disebabkan adanya proses penyusutan pada waktu pembekuan.

Berdasarkan hal tersebut pada penelitian ini akan diteliti perubahan atau modifikasi *Gating System* terhadap cacat *shrinkage* yang terjadi. Perubahan atau modifikasi *Gating System* pada proses pengecoran bogie wheel menggunakan aplikasi komputer *SolidCast*.

Tujuan dari penelitian ini yaitu pertama dari hasil simulasi *Solidcast* dapat dijadikan acuan untuk mengetahui dan menemukan penyebab terjadinya cacat *shrinkage* baik *makro shrinkage* dan *mikro shrinkage* beserta posisinya. Kedua dapat digunakan sebagai alat bantu untuk mendesain dan modifikasi *Gating System* untuk meminimalisir cacat *shrinkage*. Ketiga dapat memberikan rekomendasi *Gating System* yang sesuai untuk proses pembuatan *bogie wheel* di lapangan. dari hasil analisa aplikasi software *Solidcast*.

II. METODE PENELITIAN

Gravity Die Casting adalah proses pengecoran menggunakan gaya gravitasi sebagai gaya yang menekan aliran logam untuk masuk atau dituangkan ke dalam cetakan. Prinsip Kerja *Gravity Die Casting* hampir sama dengan proses pengecoran pasir (*Sand Casting*). Pada proses pengecoran *Gravity Die Casting* cetakan menggunakan cetakan permanen yang memiliki konduktivitas termal yang tinggi.

Cetakan pada proses pengecoran *Gravity Die Casting* biasanya terbuat dari bahan yang tahan lama dan mampu dipakai berulang kali seperti baja, besi atau perunggu.

Pada proses pengecoran *Gravity Die Casting* proses pembekuan atau solidifikasi terjadi dengan cepat sehingga cenderung menciptakan struktur mikro yang halus. Sehingga benda kerja

yang dibuat memiliki kehalusan yang baik pada permukaannya. Hal inilah yang memberikan sifat yang lebih baik dibandingkan dengan proses pengecoran pasir [6].

Kelemahan dari proses pengecoran dengan metode *Gravity Die Casting* adalah keterbatasan ukuran atau dimensi cetakan seperti yang umum terjadi pada proses pengecoran dengan cetakan permanen. Dan kelemahan yang kedua adalah pemilihan paduan untuk material cetakan [7].

Proses pengecoran dengan metode *Gravity Die Casting* biasanya digunakan untuk proses pengecoran dengan material paduan non ferrous, terutama dari aluminium. Contoh yang umum adalah proses pengecoran untuk pembuatan blok kepala silinder otomotif, piston, dan berbagai coran non otomotif lainnya.

Pada Gambar 4 menunjukkan contoh benda kerja Aluminium *Gravity Die Casting*.



Gambar 4 Aluminium Gravity Casting [8]

Proses pengecoran, dalam pelaksanaan penuangan logam cair ke dalam cetakan ada empat unsur yang perlu diperhatikan, yakni [7]:

1. Pengerinan Ladel
Pengerinan ladel yang tidak sempurna menyebabkan turunnya temperature logam cair, oksidasi dari cairan, dan cacat coran seperti rongga udara, lubang-lubang jarum dan sebagainya.
2. Pembuangan Terak
Sebelum penuangan, terak di atas cairan harus dibuang. Terak terjadi karena penambahan inoculan dan erosi dari lapisan. Untuk memudahkan pembuangan terak, abu jerami atau tepung gelas ditaburkan di atas permukaan cairan logam. Mereka menutupi permukaan cairan dan mencegah penurunan temperatur.
3. Temperatur Penuangan
Temperatur penuangan banyak mempengaruhi kualitas coran. Kalau temperatur terlalu rendah menyebabkan waktu pembekuan yang pendek, kecairan yang buruk dan menyebabkan cacat coran seperti rongga penyusutan, rongga udara, salah alir dan sebagainya.

4. Waktu Penuangan

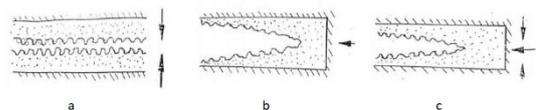
Dalam menuang logam penting dilakukan dengan tenang dan cepat. Selama penuangan cawan tuang terisi penuh dengan logam cair. Waktu penuangan yang cocok perlu ditentukan, dengan mempertimbangkan berat dan tebal coran, sifat cetakan dan sebagainya.

Proses pengecoran logam (*casting*) adalah proses penuangan material cair (umumnya logam) ke dalam suatu cetakan dengan bentuk tertentu dan mendinginkannya sampai mengeras dan menjadi bentuk yang sesuai cetakan. Pada proses pengecoran logam pasti akan melewati proses solidifikasi yaitu proses pembekuan agar benda yang dibuat terselesaikan sesuai dengan desain yang telah dirancang. Proses solidifikasi adalah proses pembekuan pada pengecoran logam.

Umumnya dalam praktek pengecoran, proses pembekuan dapat terjadi pembekuan (solidifikasi) progresif dan *directional solidification*. Solidifikasi progresif merupakan bagian dari *Shrinkage Solidifikasi* dalam pengecoran logam dan terjadi dimulai dari dinding cetakan dan bergerak tegak lurus ke arah bagian pusat, dapat dilihat pada Gambar 5a.

Bila pembekuan dimulai dari titik di dalam cetakan yang jauh dari sumber cairan logam baru (*riser*) dan pembekuannya berkembang secara seragam ke arah sumber riser tersebut, maka pembekuan disebut sebagai pembekuan, dapat dilihat pada Gambar 5b.

Dalam praktek pengecoran pembekuannya merupakan gabungan antara pembekuan progresif dan terarah dengan didominasi oleh pembekuan, dapat dilihat pada Gambar 5c.



Gambar. 5. Pembekuan Progresif dan Terarah [9]

Directional solidification merupakan bagian dari *Shrinkage Solidifikasi* dalam pengecoran logam dimulai pada bagian yang dingin dimana perbandingan daerah permukaan cetakan terhadap volume logamnya besar dan perpindahannya mengarah ke bagian yang panas. Tipe solidifikasi ini sebagai pedoman untuk mengatur bagian geometri sehingga solidifikasi *directional* terjadi sebelum solidifikasi progresif terpotong sumber supply logam cair (*riser*). Tanpa memperhitungkan bagian geometri yang tepat (contoh, *risering* dan *tapering*), kekosongan

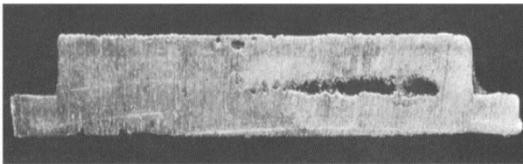
(*shrinkage cavities*) atau porositas akan terjadi karena terisolasinya *shrinkage internal* [10]

Pada proses pengecoran *Die Gravity Casting* potensi terjadinya cacat ditentukan oleh mekanisme pengisian rongga cetakan karena aliran logam menuju rongga cetakan melalui *Gating System* sering mengalami gangguan atau hambatan. Potensi cacat biasanya terjadi akibat kesalahan desain yang mengakibatkan aliran logam cair tidak optimal

Shrinkage adalah cacat penyusutan berupa rongga atau lubang yang terbentuk karena adanya perubahan fase dari material cair menjadi padat sehingga terjadi pengecilan volume akibat adanya perbedaan laju pendinginan pada rongga cetak sehingga ukuran produk menjadi lebih kecil dibandingkan dengan rongga cetaknya.

Pada pengecoran dengan menggunakan *mold*, proses solidifikasi terjadi pada pembekuan pertama kali terjadi pada bagian yang kontak langsung dengan permukaan dinding *mold*. Pembekuan terus tumbuh hingga bagian dalam cetakan. Akibat laju pembekuan yang berbeda tersebut, terjadi perbedaan struktur mikro pada produk cetakan.

Shrinkage muncul selama proses solidifikasi dikarenakan perbedaan volumetrik antara fasa solid dengan liquid. Kecenderungan untuk terbentuknya *shrinkage* berhubungan dengan fraksi volume liquid maupun solid pada akhir solidifikasi dan rentang temperatur solidifikasi dari paduan itu sendiri. Pada Gambar 6 menunjukkan cacat penyusutan (*shrinkage*).



Gambar 6. Cacat Penyusutan (Shrinkage) [7]

Dari hasil penelitian dari Rajesh Rajkolhe dan J.G. Khan (2014) menyatakan penyebab dari cacat shrinkage karena kepadatan dari *alloy die cast* dalam kondisi cair kurang dibandingkan dalam kondisi padat, karena itu pada saat alloy berubah fase dari leburan menjadi padat akan selalu menyusut. Secara umum pencegahan yang dilakukan untuk menghilangkan shrinkage yakni dengan memastikan logam cair tetap mengalir mengisi void pada cetakan secara sempurna. Selain itu temperatur dari logam cair yang masuk juga harus dijaga, agar logam cair dapat mengalir dengan baik [11].

Penyusutan selama pendinginan akan mengubah ukuran dari produk dan dapat

menimbulkan retak juga. Hal ini disebabkan karena perubahan sifat termal dari material dan perubahan fase antara cair dan padat. Logam murni akan mengalami solidifikasi dalam temperatur konstan, sedangkan alloys dalam temperatur yang berbeda – beda.

Cacat shrinkage dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu penyusutan dalam dan penyusutan luar. Penyusutan dalam disebabkan karena penyusutan yang terjadi ketika logam di dalam proses pengecoran membeku. Bagian dalamnya biasanya dikelilingi oleh kristal-kristal dendrit. Cacat ini tidak nampak di permukaan. Setiap bagian dari coran memiliki kecepatan pembekuan yang berbeda. Biasanya cacat tersebut terjadi pada bagian logam yang paling lama membeku. Sedangkan penyusutan luar disebabkan oleh terjebaknya logam cair di antara kristal dendrit sehingga pada saat logam mengalami pembekuan maka akan terjadi penyusutan.

Beberapa faktor penyebab terjadinya cacat penyusutan (*shrinkage*) dalam dan luar umumnya disebabkan beberapa faktor, diantaranya adalah temperatur penuangan yang terlalu rendah menyebabkan penambah membeku lebih dulu, karena itu pengisian menjadi lebih sukar, penuangan lambat, sistem saluran dan tinggi penambah yang terlalu rendah dan bahan-bahan muatan mempunyai banyak karat dan kotoran.

Untuk memastikan cairan logam dapat mengisi secara sempurna seluruh rongga benda pada waktu yang telah ditentukan, dengan aliran yang tenang dan terbebas dari cacat coran maka perlu dibuat dan direncanakan proses pengecoran yang akan dilakukan.

Berikut langkah-langkah yang perlu diperhatikan dalam perencanaan proses pengecoran

A. Waktu tuang

Waktu tuang adalah waktu pendinginan dari mulai suhu tuang sampai suhu liquidus dari material cair atau waktu yang diperlukan untuk mengisi rongga cetak sampai penuh.

Dua benda dengan berat yang sama dan memiliki ketebalan rata-rata yang berbeda, akan memiliki kecepatan pendinginan yang berbeda. Sehingga dasar penentuan waktu tuang adalah ketebalan benda dan atau berat benda. Waktu tuang menurut Czikel [11]. pengecoran ada beberapa hal yang perlu diketahui antara lain:

$tp = 2. w - 3$ untuk cetakan basah

$tp = 2,5. w - 3$ untuk cetakan kering

di mana:

$tp =$ waktu tuang [detik]

$w =$ ketebalan benda cor terkecil [mm]

Waktu tuang menurut Nielsen [11]. Untuk benda tuang dengan berat sampai 1000 kg dapat dihitung dengan Persamaan 2.3.

$$tp = 0,32 \cdot w \cdot G^{0,4}$$

di mana :

- tp = waktu tuang [detik]
- w = ketebalan dinding dominan [mm]
- G = berat tuangan [kg]

Untuk yang mengacu kepada berat benda tuang dapat menggunakan Persamaan 2.4.

$$tp = 1,25 \cdot \sqrt{2 \cdot G}$$

di mana :

- tp = waktu tuang [detik]
- G = berat tuangan [kg]

Rumus-rumus di atas hanya berlaku untuk benda tuang dengan berat maksimal 1000 kg. Untuk benda tuang dengan berat lebih dari 1000 kg dapat digunakan Persamaan.

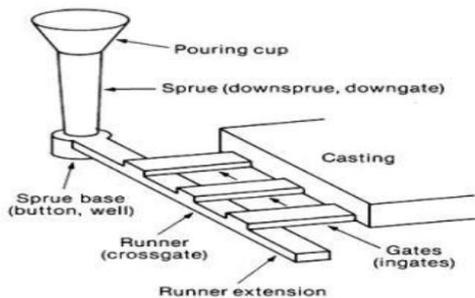
$$tp = k \cdot \sqrt{G}$$

di mana :

- tp = waktu tuang [detik]
- k = konstanta
 - = 5,8 untuk bentuk sederhana
 - = 2,5 untuk bentuk normal
 - = 1,4 untuk bentuk rumit/dinding tipis
- G = berat tuangan [kg]

B. Saluran Masuk

Sebelum merancang saluran masuk perlu diketahui dahulu bagian-bagian dari saluran masuk seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Bagian Sistem Saluran [10]

Perhitungan *Choke Area* (AB) menggunakan persamaan berikut :

$$AB = \frac{w}{\rho \cdot t \cdot c \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}}$$

Jadi diameter bawah saluran turun (d) adalah :

$$AB = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \times AB}{\pi}}$$

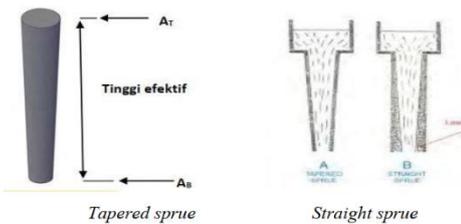
$$d = \sqrt{\frac{4 \times 62,6}{\pi}}$$

Dimana :

- AB = Luasan penyempitan (mm^2)
- w = Berat coran (gr)
- ρ = Densitas logam cair (gr/cm^3)
- t = Waktu penuangan (detik)
- H = Ketinggian efektif saluran turun (cm)

- g = Percepatan gravitasi ($9,81 \text{ cm/det}^2$)
- c = Faktor efisiensi dari saluran turun [35]
 - $c = 0,88$ untuk tapered sprue
 - $c = 0,47$ untuk round straight sprue
 - $c = 0,74$ untuk square tapered sprue

Untuk area sprue dan jenis saluran turun dapat dilihat pada gambar 8 di bawah ini.



Gambar 8. Bentuk sprue
a) Tapered sprue, b) Straight sprue

Menghitung Luas Area Atas (*Area of the Top of Sprue* (AT))

Untuk menghitung luas atas area A_T digunakan persamaan berikut,

$$A_T = A_B \cdot \sqrt{\frac{H}{b}}$$

Dimana

- h = Panjang saluran turun (cm)
- b = Kedalaman pouring basin (cm)

C. Menghitung Runner Area

Runner Area dapat ditentukan dari *Gating Ratio*. Sesuai dengan rekomendasi AFS sistem saluran horizontal yaitu 1 : 4 : 4. Maka *runner area* sama dengan empat kali *choke area* dan *gate area* sama dengan empat kali *choke area*

$$\text{Runner Area} = 4 \times AB$$

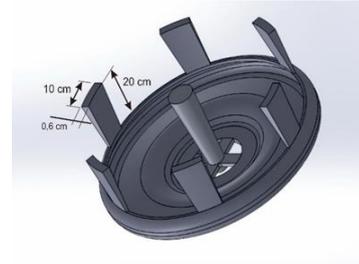
D. Perhitungan Riser

Perencanaan riser biasa dengan metode **Jhon R. Brown** (*Foseco Non - Ferrous Foundryman's Handbook*)

1. Menentukan nilai modulus ($C\%$)
 - 33% apabila menggunakan *Foseco sleeve*.
 - 16% apabila menggunakan *natural feeder/riser* (logam cair mengalir sebelum mencapai rongga cetak).
 - 0%-14% untuk *natural feeder* yang lainnya.
2. Menentukan nilai *shrinkage* pada paduan yang akan dicor ($S\%$). merujuk jurnal penelitian Nurhadi Ginanjar Kusuma, dik Nilai penyusutan untuk beberapa material dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 1. Solidifikasi shrinkage beberapa material [9]

Metal	Crystal Structure	Melting point (°C)	Volume change (%)
Al	fcc	660	7.14
Au	fcc	1063	5.47
Co	fcc	1495	5.26
Cu	fcc	1083	5.30
Ni	fcc	1453	5.11
Pb	fcc	327	3.22
Fe	bcc	1536	3.16
Li	bcc	181	2.74
Na	bcc	97	2.60
K	bcc	64	2.54



(b)

Gambar 9. (a) Gating System Existing (b) riser existing

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

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

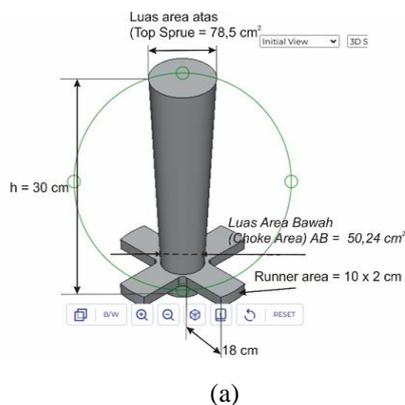
Dengan mendapatkan berat logam cair yang ada di dalam riser (WF) maka dapat ditentukan dimensinya.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan data awal penelitian [9] dan pengamatan lapangan diperoleh data-data produk pengecoran bogie wheel yang berpotensi memberikan pengaruh pada permasalahan dan data-data yang lain untuk mendukung analisis permasalahan, yakni :

- Diameter Bogie wheel (Ø) = 535 mm
- Ketebalan Bogie Wheel = 10 mm
- Ketebalan terkecil Bogie wheel = 3 mm
- Berat = 11,6 kg
- Temperatur Penuangan = 705 °C
- Waktu Penuangan = 7 detik
- Preheat Mold = 350 °C

Dimensi gating System existing

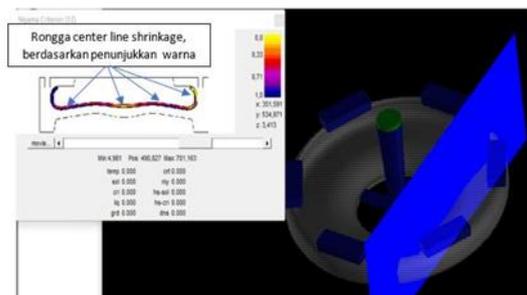


(a)

Setelah data dilakukan pengumpulan data awal penelitian dan pengamatan lapangan diperoleh maka langkah selanjutnya adalah persiapan melakukan simulasi solidcast dengan menggunakan data tersebut diatas.

Simulasi menggunakan parameter temperatur tuang pada 700 °C, 720 °C, 740 °C dipadukan dengan waktu tuang 4, 5 detik dan 6 detik tanpa mengubah dimensi sprue, gating, riser, suhu kamar dan material. Waktu tuang yang digunakan pada proses simulasi diperoleh dengan melakukan perhitungan dari data produk bogie wheel.

Berdasarkan Analisa hasil simulasi dengan Niyama Criterion yang dilakukan sebanyak tiga kali pada tiap satuan waktu diperoleh informasi bahwa dengan variasi temperatur dan waktu tuang didapatkan hasil dari keseluruhan variasi tersebut terdapat cacat rongga center line shrinkage sebagaimana terlihat dalam Gambar 10.



Gambar 10. Tampilan Analisa Niyawa Criterion Potongan Ketiga

Pada simulasi berikutnya dilakukan upaya untuk menghilangkan cacat penyusutan (shrinkage) pada produk Bogie Wheel dengan melakukan perhitungan ulang terhadap riser, sprue, ingate sebagai berikut,.

Menghitung Choke Area (AB) menggunakan persamaan berikut :

$$AB = \frac{w}{\rho.t.c.\sqrt{2.g.H}}$$

Dimana :

- Dbk = Diameter lubang benda kerja (15 cm)
 AB = Luasan penyempitan (mm^2)
 w = Berat coran (gr) = 11600 gr
 ρ = Densitas logam cair (gr/cm^3)
 = 2,7 gr/cm^3
 t = Waktu penuangan (detik) = 4,5 detik
 h = Ketinggian efektif saluran turun (cm)
 = 30 cm
 g = Percepatan gravitasi (9,81 cm/det^2)
 b = Kedalaman pouring basin (cm)
 = 2 cm
 T_{bk} = Tinggi benda kerja = 2,114 cm
 Pr = Panjang Runner area = 10 cm
 c = Faktor efisiensi dari saluran turun menggunakan round straight sprue (0,47)

Menghitung Diameter bawah saluran turun :
 Luasan Area Bawah (Choke Area (AB))

$$AB = \frac{11600}{2,7 \cdot 4,5 \cdot 0,47 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 30}}$$

$$= 62,8 \text{ cm}^2$$

Jadi diameter bawah saluran turun (d) adalah

$$AB = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \times AB}{\pi}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 62,6}{\pi}}$$

$$= 9 \text{ cm}$$

Menghitung Luas Area Atas (Area of the Top of Sprue (AT))

Diketahui

$$A_T = A_B \cdot \sqrt{\frac{H}{b}}$$

$$= 62,8 \cdot \sqrt{\frac{30}{2}}$$

$$= 242,22 \text{ cm}^2$$

Diameter atas :

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 242,22}{\pi}}$$

$$= 17,6 \text{ cm}$$

Menghitung Runner Area

Runner Area dapat ditentukan dari Gating Ratio. Sesuai dengan rekomendasi AFS sistem saluran horizontal yaitu 1 : 4 : 4. Maka runner area sama dengan empat kali choke area dan gate area sama dengan empat kali choke area

$$\text{Runner Area} = 4 \times AB$$

$$= 4 \times 62,8 \text{ cm}^2$$

$$= 251,2 \text{ cm}^2$$

$$\text{Lebar Runner Area} = \frac{\text{Runner Area}}{\text{Tinggi Benda Kerja (} T_{bk} \text{)}}$$

$$\text{Lebar Runner Area} = \frac{251,2}{2,114}$$

$$= 118,83 \text{ cm}$$

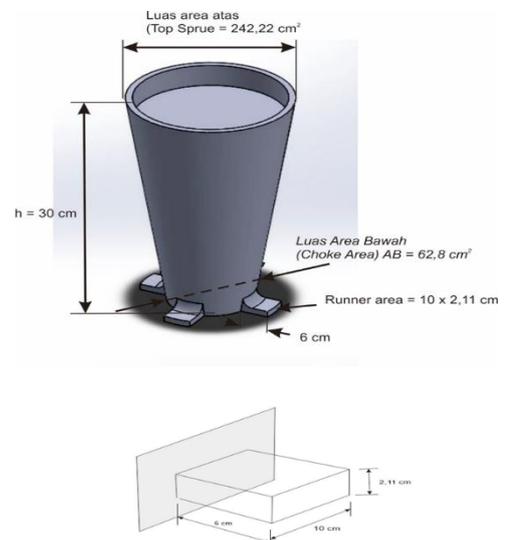
Panjang runner area merupakan sisa ruang dari diameter lubang benda kerja di kurangi diameter hasil perhitungan :

$$\text{Panjang runner area (L)} = Dbk - \text{diameter Choke Area AB}$$

$$= 15 - 9$$

$$= 6 \text{ cm}$$

Hasil perhitungan dapat digambarkan seperti gambar di bawah ini.



Gambar 11. Hasil Modifikasi Gating System

Perencanaan riser biasa dengan pendekatan teori Foseco Non – Ferrous [6].

- Menentukan nilai modulus (C%) C% = 14% untuk natural feeder (dasar teori halaman 77)
- Menentukan nilai shrinkage pada paduan yang akan dicor (S%). S% = 7,14% [6]
- Memperkirakan berat logam cair yang ada di dalam riser (WF).
- Pada perhitungan sistem saluran didapatkan berat benda yang akan dicor (WC) adalah WC = 11600 gr

Maka, dengan perhitungan akan didapatkan berat logam cair yang ada di dalam riser (WF).

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

$$= 11600 \times \frac{100}{14\%} \times \frac{7,14\%}{100}$$

$$= 5916 \text{ gr}$$

Volume riser

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

$$V_R = \frac{5916}{2,7}$$

$$= 2191,11 \text{ cm}^3$$

Karena ada 6 riser maka volume masing-masing riser :

$$VR_1 = 2191,11/6$$

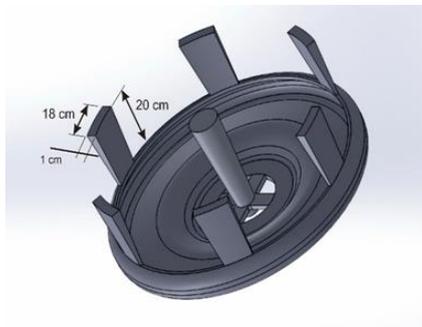
$$= 365,185 \text{ cm}^3$$

Ditetapan tinggi riser 20 cm dan tebal riser 1 cm maka lebar riser

$$L = 365,185/(20 \times 1)$$

$$= 18 \text{ cm (dibulatkan)}$$

Hasil modifikasi Gating System dapat dilihat pada gambar berikut :



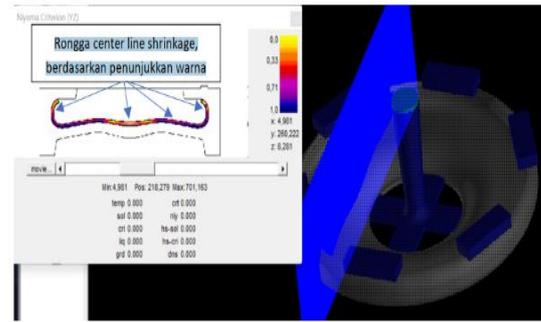
Gambar 12. Hasil Modifikasi Riser

Pada simulasi ini ditetapkan temperatur tuang cor 700 °C dan waktu tuang 4,5 detik dengan pertimbangan sebagai berikut :

- Dengan temperatur rendah material cair aluminium akan memiliki reaksi yang rendah terhadap oksigen sehingga dapat menghindari porositas rongga gas, serta material akan memiliki persentasi susut cair yang rendah. Secara terotis, temperatur penguangan dalam pengecoran umumnya ditentukan 50 –100 °C di atas temperatur leburnya. (hal. 68, Wahyu Suprpto. Teknologi Pengecoran).
- Menghemat energi peleburan
- Semakin cepat proses penguangan akan menghindari cacat sambungan dingin.

Setelah dilakukan perhitungan *Gating system* dan *riser* maka dibuatlah penggambaran 3D (gambar 14). Kemudian dilakukan *analisa Niyama Criterion* dari hasil modifikasi.

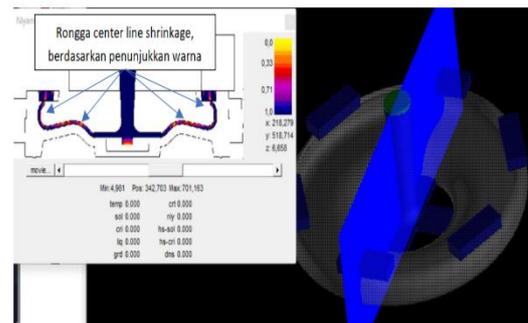
Berikut tampilan hasil analisis Niyama Criterion dari hasil modifikasi dengan temperatur 700 °C dan waktu tuang 4,5 detik dan sesuai parameter yang ditetapkan.



Gambar 13. Tampilan Analisis Niyama Criterion Potongan Pertama

Pada Gambar 13 dilakukan potongan pertama yang disesuaikan dengan shrinkage yang diindikasikan dengan warna dibawah nilai 0,7.

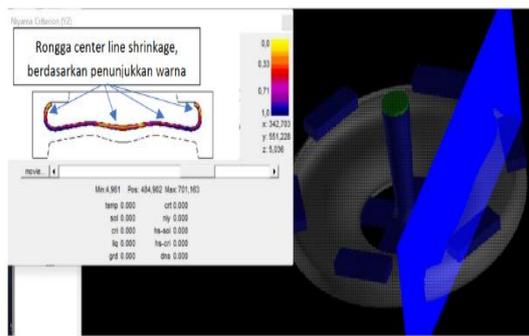
Analisis Niyama Criterion Potongan Kedua dilakukan menyesuaikan dengan area pada hasil simulasi pembekuan dan CFS. Tampilan Analisis Niyama Criterion Potongan Kedua dapat ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Tampilan Analisis Niyama Criterion Potongan Kedua

Berdasarkan Analisis Niyama Criterion Potongan Kedua terlihat Rongga center line shrinkage, berdasarkan penunjukkan warna Rongga center line shrinkage, berdasarkan penunjukkan warna area pada hasil simulasi pembekuan dan CFS, terlihat terjadinya center line terjadinya center line shrinkage yang diindikasikan dengan warna dibawah nilai 0,7.

Analisis Niyama Criterion Potongan Ketiga dilakukan menyesuaikan dengan area pada hasil simulasi pembekuan dan CFS. Tampilan Analisis Niyama Criterion Potongan Ketiga dapat ditunjukkan pada Gambar 15.



Gambar 15. Tampilan Analisis Niyama Criterion Potongan Ketiga

Berdasarkan Analisis Niyama Criterion Potongan Ketiga terlihat terjadinya center line shrinkage yang diindikasikan dengan warna dibawah nilai 0,7.

Berdasarkan hasil modifikasi *Gating System* dan riser dapat dilihat bahwa analisis ini dapat disimpulkan bahwa benda cor *Bogie wheel* ini tidak direkomendasikan untuk dilakukan proses pengecoran dengan metode *Gravity Die Casting* karena berdasarkan hasil simulasi dengan menggunakan metode *Gravity Die Casting* dan modifikasi pada temperatur cor, waktu cor, dan *Gating System*, hasil simulasi tidak memberikan perbaikan terhadap benda cor bogie wheel karena center line shrinkage tetap terjadi seperti yang ditunjukkan dari analisis Niyama Criterion dimana dominan progresif solidifikasi dibanding directional solidifikasi masih tetap terjadi pada seluruh modifikasi yang telah dilakukan.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan simulasi solidcast dengan modifikasi *gating system* dan *riser* dapat disimpulkan :

1. Dari hasil simulasi *solidcast* dapat diketahui bahwa penyebab cacat penyusutan (*shrinkage*) pada *bogie wheel* adalah terjadinya *dominan progresif solidifikasi* dibanding *directional solidcast*.
2. Dengan menguasai solidcast maka upaya untuk menghilangkan cacat *Center line shrinkage* telah dilakukan yaitu dengan modifikasi temperatur cor pada 740 °C, 720 °C, dan 700 °C, dipadu dengan waktu tuang 4,5 detik dan 6 detik yang hasilnya tetap terjadi cacat *centerline shrinkage*. Kemudian upaya selanjutnya dilakukan modifikasi *gating system* dan *riser* pada temperatur cor 700 °C dan waktu cor 4,5 detik dan hasilnya pun tetap terjadi cacat *centerline shrinkage*.

3. Berdasarkan penguasaan dan penerapan *solidcast* didapatkan hasil berupa simulasi dan modifikasi pada temperatur tuang, waktu tuang, maupun *gating system* dan *riser*, sehingga tidak direkomendasikan proses pengecoran metode *gravity die casting* untuk dilakukan di lapangan untuk *bogie wheel* karena akan tetap menimbulkan cacat *centerline shrinkage*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Purbaja Adi Putra, dkk, “Pengembangan Boogie Wheel Tank AMX-13 Untuk Komponen Kendaraan Tempur Tank Jenis Ringan”, Jurnal Teknologi Bahan dan Barang Teknik, Vol 10 No 2, 2020, hal. 100-109.
- [2] Sri Bimo Pratomo, Hafid, Husen Taufiq, dkk. “Penelitian dan Pengembangan Tapak Rantai Kendaraan Tempur Tank Jenis Scorpion Double Pin dan AMX Sebagai Penelitian Berkelanjutan Untuk Kemandirian Hankam Nasional”, Prosiding Workshop Hasil Litbang Unggulan Kementerian Perindustrian, ISSN: 230-2294-9-772303-229402, Kementerian Perindustrian, Jakarta, 2016, hal. 29.
- [3] Prasto Prabowo, “Mengenal Tank Tempur TNI-AD dan Korps Marinir TNIAL”, Diakses satu harapan.com, 10 Mei 2014 BBLM, “Pembuatan Prototipe Roda/Boogie Wheel Untuk Tank AMX Dalam Rangka Mendukung Kemandirian Pertahanan”, Laporan Akhir Kegiatan Litbang TA 2018, Balai Besar Logam dan Mesin (BBLM), Kementerian Perindustrian, Bandung, 2018, hal.4.
- [4] War Department USA. “Technical Manual 3 Inch Gun Motor Carriage M10”. <https://books.google.com>
- [5] BBLM, “Kegiatan Penyempurnaan dan Uji Lapangan Pembuatan Prorotype Roda/Boogie Wheel Tank AMX untuk Mendukung Kemandirian Industri Pertahanan”, Laporan Akhir Kegiatan Litbang TA 2019, Balai Besar Logam dan Mesin (BBLM), Kementerian Perindustrian, Bandung, 2019.
- [6] Rajesh Rajkolhe, J.G Khan, “Defects, Causes and Their Remedies Ni Casting Process”, 2014.
- [7] Prayoga, Bayu, “Rancang Bangun dan Analisis Simulasi Sistem Saluran Terhadap Cacat Penyusutan (Shrinkage) Pada Pembuatan Kepala Silinder ADC 12

- Dengan Pengecoran (Sand Casting)”, Skripsi, Jurusan Teknik Mesin, ITS Surabaya, 2015.
- [8] <http://www.metal-mfg.com/id/Gravity-Casting-products.html>. diakses 3 Januari 2022.
- [9] Suprpto, Wahyono. 2011. “Porositas Gas Pada Material Duralumin Dalam Pengecoran Sistem Vakum”. Disertasi. Program Studi Teknik Metalurgi dan Material. Universitas Indonesia
- [10] Wiranto, A. “Tutorial SolidCast 8.2.5” Diktat Kuliah. Politeknik Manufaktur Bandung. 2018
- [11] Hanaldi, Kus, “Dasar-dasar Perancangan Coran”, Diktat Kuliah. Politeknik Manufaktur Bandung. 2019.