

ANALISIS *PULLEY* BERTINGKAT HASIL *SAND-CASTING PROCESS* TERHADAP SIMULASI PENGECORAN LOGAM

Rudianto Raharjo¹, Adly Wahyudiansyah¹, Alyasa Huda Purnama^{1)*}, Ayi Akhmad Ahdiyati¹, Baghdad Daiva A. A¹, Erika ramadani pratiwi¹, Muhammad Ali Machfudlon¹ dan Muhammad Ibrahim Aziz¹
¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang

*) Email Korespondensi : alyasa_hudap@student.ub.ac.id

Abstrak

Pulley merupakan elemen mesin yang berfungsi mentransmisikan daya antar poros melalui sabuk serta banyak digunakan pada mesin industri maupun mesin motor. Selain meneruskan gerak rotasi, pulley juga dapat mengubah arah gaya dan memindahkan beban. Pulley bertingkat umumnya diproduksi melalui proses pengecoran logam menggunakan cetakan pasir (sand casting), dengan aluminium sebagai bahan yang paling sering digunakan. Metode sand casting dipilih karena lebih ekonomis dibandingkan metode manufaktur lainnya, namun proses ini memiliki banyak variabel yang dapat memengaruhi kualitas hasil coran. Untuk meminimalkan cacat, diperlukan optimasi proses melalui analisis dan simulasi. Penelitian ini melakukan simulasi pengecoran menggunakan perangkat lunak Altair Inspire Cast 2021.2 guna membandingkan hasil simulasi dengan hasil pengecoran aktual dan mengidentifikasi jenis cacat yang muncul. Hasil penelitian menunjukkan adanya kesamaan cacat pada kedua metode, terutama porositas, shrinkage, dan mold erosion. Namun, benda coran aktual juga mengalami cacat tambahan seperti gas defect, shift, misrun, core miring, swell, sand inclusion, serta cacat fin. Persamaan cacat utama antara produk aktual dan simulasi meliputi porositas, mold erosion, gas defect, dan shrinkage. Temuan ini menunjukkan bahwa simulasi dapat menjadi alat prediksi yang efektif untuk mengidentifikasi potensi cacat sebelum proses pengecoran dilakukan, sehingga dapat membantu meningkatkan kualitas produk dan efisiensi proses manufaktur..

Kata Kunci: *Pulley bertingkat; sand casting; simulasi pengecoran logam; cacat*

PENDAHULUAN

Pengecoran logam adalah salah satu metode proses manufaktur yang digunakan untuk membuat produk logam dengan cara mencairkan logam kemudian memasukkan ke dalam rongga cetakan kemudian tunggu hingga logam cair mengeras [1]. Prinsip pengecoran tampaknya sederhana, namun ada banyak faktor dan variable yang harus dipertimbangkan untuk mencapai operasi pengecoran yang baik [2]. Pengecoran logam memiliki beberapa kelebihan, diantaranya: Dapat menghasilkan bentuk yang rumit, baik bentuk di bagian dalam maupun bagian luar, memungkinkan untuk membuat benda kerja dengan jumlah yang banyak/produksi massal karena prosesnya sangat cepat, karena sifat metalurginya, beberapa jenis logam hanya bisa dibentuk menggunakan pengecoran logam karena sulit dibentuk dengan proses manufaktur lain, objek bisa dicor sekaligus sehingga tidak perlu adanya penyambungan per bagian, dapat memproduksi benda yang besar dan berat disaat tidak bisa

diproduksi dengan proses lain [3]. Salah satu metode pengecoran logam yang umum digunakan adalah *sand casting*.

Sand casting merupakan salah satu jenis teknik pengecoran logam yang hanya dapat digunakan satu kali saja (*Expendable Mold Casting*). Teknik pengecoran *sand casting* ini menggunakan pasir sebagai media cetakan untuk membuat *cavity* atau rongga yang nantinya akan diisi oleh logam cair kemudian dituangkan ke dalam rongga cetakan yang telah dibuat sebelumnya. Pada dasarnya, *sand casting* terdiri dari penempatan pola pada pasir untuk mendapatkan jejak, memasukkan *gating system*, memindahkan pola dan mengisi rongga dalam cetakan dengan logam cair, membiarkan logam sampai dingin dan memadat, mengeluarkan cetakan pasirmya, dan memindahkan benda coran [4]. Beberapa kelebihan *sand casting*, antara lain: memiliki sifat mampu bentuk (*formability*), permeabilitas yang cocok, tahan terhadap temperatur logam cair, mampu dipakai lagi, harga pasir lebih

murah dibanding logam [5]. Jenis pengecoran *sand casting* paling banyak dipakai karena ongkos produksinya murah dan dapat membuat benda coran yang berkapasitas berton-ton [6].

Pulley merupakan elemen mesin yang memiliki kegunaan untuk mentransmisikan daya dari satu poros ke poros lainnya melalui perantara sabuk (*belt*). *Pulley* adalah komponen yang banyak dipakai pada mesin, baik itu mesin industri atau mesin motor. *Pulley* juga digunakan untuk mengubah arah gaya yang digunakan, meneruskan gerak rotasi, atau memindahkan beban yang berat [7]. *Pulley* memiliki beberapa macam berdasarkan bentuk *belt*, seperti *open belt drive*, *twist belt drive*, *quarter turn belt drive*, *compound belt drive*, *belt drive with idler Pulley*, *fast and loose Pulley drive* [8]. *pulley* bertingkat digunakan untuk merubah kecepatan poros yang digerakkan ketika poros utama (poros penggerak) berputar pada kecepatan konstan [8].

Pulley bertingkat bisa dibuat melalui proses pengecoran logam dengan menggunakan cetakan pasir (*sand casting*). Bahan dasar yang paling sering digunakan untuk membuat *pulley* adalah aluminium. Kelebihan menggunakan aluminium yaitu memiliki kemampuan ketahanan korosi dan ketahanan aus yang baik serta mempunyai kekuatan yang tinggi. Selama proses pengecoran berlangsung sangat beresiko untuk terjadi cacat pada produk. Cacat ini dapat diminimalisir dengan melakukan simulasi

Tentu dalam proses manufaktur memungkinkan adanya cacat pada produk yang dibuat yang dapat dihasilkan oleh variasi proses, kerusakan peralatan, dan operasi proses yang tidak tepat. Oleh karena itu, variable sistem manufaktur yang mempengaruhi kualitas produk berkaitan dengan kemampuan dan keterampilan operator, kemampuan mesin, tindakan manusia selama proses produksi, dan lingkungan kerja. Dalam rangka meningkatkan kualitas dan mengurangi cacat, berbagai alat dan teknik digunakan [9].

Simulasi pengecoran logam sudah menjadi salah satu cara yang digunakan dalam memproduksi produk dengan pengecoran yang ekonomis dan berkinerja tinggi. Semakin banyak simulasi pengecoran yang digunakan

sebagai alat kolaboratif antara perancangan komponen dan produsen pengecoran untuk mengurangi waktu tunggu, untuk mengembangkan desain komponen yang ramah pengecoran, dan untuk menghasilkan coran yang lebih baik [10].

Manfaat yang didapatkan dengan melakukan simulasi sebelum melakukan pengecoran actual adalah mengarah pada pengurangan biaya, dan manfaat yang tidak berwujud mengarah pada penambahan nilai [11]. *Software* yang digunakan untuk mensimulasikan pengecoran logam adalah *Altair Inspire Cast 2021.2* model, dimana dapat menunjukkan cacat-cacat yang dapat terjadi pada hasil coran dan juga animasi jalannya logam cair dalam rongga cetakan serta proses solidifikasi pada benda coran. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan cacat pada benda hasil coran yaitu *pulley* bertingkat menggunakan metode *sand casting* terhadap cacat hasil dari simulasi.

METODOLOGI PENELITIAN

Alat dan Bahan

Pada pengujian yang dilakukan menggunakan material *waste* aluminium paduan dengan komposisi yang dapat dilihat pada Tabel 1. Dari *waste* aluminium paduan tersebut dileburkan dalam tungku dapur listrik yang nantinya akan menjadi logam cair dan akan dituangkan ke dalam rongga cetakan pasir.

Tabel 1. Kandungan unsur material

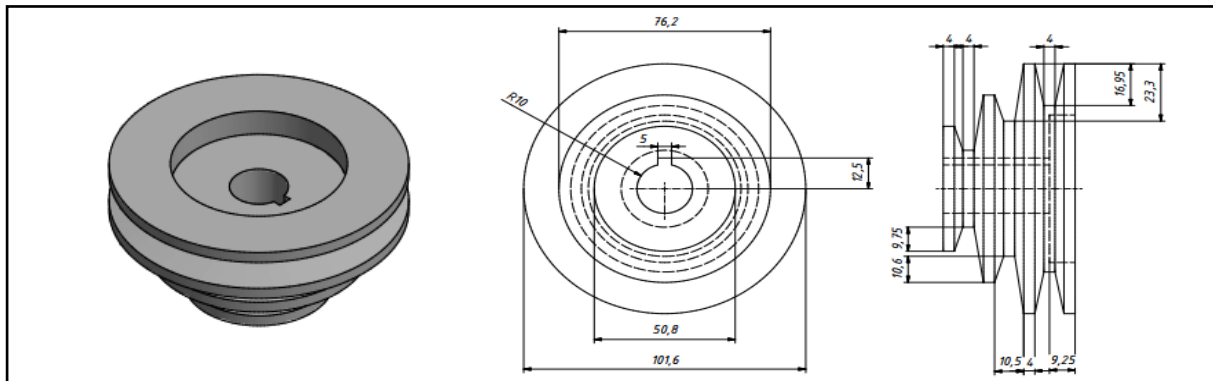
No	Unsur	Kadar (%)	Massa Jenis (gr/cm ³)
1	Al	96.565	2.7
2	Pb	0.025	11.34
3	Zn	0.995	7.14
4	Cu	0.841	8.96
5	Ni	0.152	8.908
6	Fe	1.289	7.874
7	Mn	0.120	7.21

Desain Benda Kerja

Desain benda kerja *pulley* bertingkat dibuat dengan menggunakan *software Autodesk Inventor*. Pada pembuatan desain benda kerja juga memperhitungkan dan menambahkan toleransi penyusutan dan toleransi proses permesinan. Penambahan toleransi penyusutan diberikan karena logam cair akan menyusut

pada waktu pendinginan atau solidifikasi sehingga untuk menjaga agar dimensi benda kerja sesuai desain maka diperlukan toleransi dimensi. Kemudian penambahan dimensi untuk

proses permesinan dilakukan untuk *finishing* benda kerja setelah pengecoran agar dimensinya sesuai dengan desain asli benda kerja.



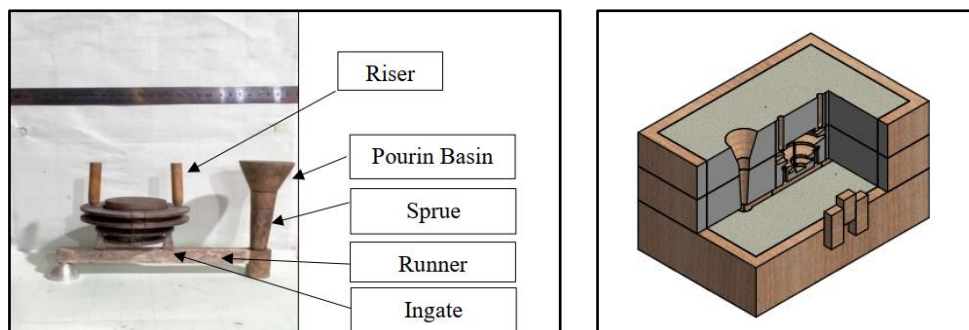
Gambar 1. Desain benda kerja *pulley* bertingkat dalam satuan milimeter

Cetakan Pasir

Cetakan terdiri dari 3 bagian, yaitu *drag* yang berada pada bagian bawah, dan *cope* berjumlah 2 yang berada pada bagian atas *drag*. Pembuatan pola menggunakan material kayu dengan menggunakan proses permesinan. Pada pengujian yang dilakukan menggunakan saluran bawah dengan pola kayu penarikan terpisah yang dapat dilihat pada Gambar 2.

komposisi tersebut sesuai dengan presentasinya menggunakan tangan hingga seluruhnya tercampur merata, kemudian pasir cetak tersebut dimasukkan ke dalam cetakan menggunakan tangan sehingga kekerasan dan kekuatan pasir cetak dapat meningkat serta mudah dalam pembuatan rongga cetakan yang nantinya akan diisi oleh logam cair. Kemudian dilakukan juga penumbukkan pasir cetak pada cetakan menggunakan tangan dengan palu agar rata. Kegiatan tersebut dilakukan hingga *cope* yang berada pada bagian atas rata dengan pasir cetak dan terbentuk rongga cetakan. Adapun pola kayu dan cetakan pasir dapat dilihat pada gambar di bawah

Komposisi yang digunakan untuk pembuatan pasir cetak yaitu pasir SiO₂ dengan presentase 90%, pengikat (*bentonite*) dengan presentase 5%, dan air dengan presentase 5%. Pembuatan pasir cetak dilakukan dengan mengaduk ketiga



Gambar 2. a). Pola kayu dengan saluran bawah, b). Cetakan pasir

Metode

Metode simulasi pengecoran logam dilakukan dengan menggunakan *software Altair Inspire Cast 2021.2*. penggunaan *software* tersebut dipilih karena mempunyai kemampuan dalam

memberikan visualisasi mengenai pengecoran logam dengan menggunakan parameter yang dapat diatur, seperti waktu penuangan logam cair, suhu logam cair, dan sebagainya, serta dapat menunjukkan cacat yang terjadi pada

hasil pengecoran, seperti *porosity*, *microporosity*, *shrinkage*, dan lain-lain. Kemudian juga *software* ini memiliki fitur-fitur yang mudah digunakan dan proses yang cukup cepat sehingga cocok untuk digunakan melakukan simulasi.

Pengecoran

Pada pengujian yang dilakukan digunakan spesimen dengan bahan dasar aluminium yang dipanaskan hingga suhu 933 kelvin. Kemudian logam yang telah melebur dibersihkan dari kotoran-kotoran menggunakan ladle sehingga tersisa logam yang sesuai komposisi. Logam

cair yang telah dibersihkan diangkat menggunakan ladle dan dituang ke dalam cetakan yang sudah disiapkan. Pada pengujian ini penuangan dilakukan dari *pouring basin* dan *riser* dikarenakan logam cair tidak keluar pada permukaan *riser* ketika dilakukan penuangan melalui *pouring basin*. Cetakan yang telah terisi logam cair didiamkan beberapa saat hingga mengeras. Kemudian setelah logam cair dalam cetakan sudah mengeras maka dilakukan pembongkaran cetakan pasir untuk mengambil benda kerja hasil coran. Proses penuangan logam cair ke dalam cetakan pasir dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Penuangan logam cair

Inspeksi

Inspeksi pada benda kerja dilakukan setelah dilakukan pengecoran dan sudah terbentuk seperti desain benda kerja. Inspeksi yang dilakukan pertama yaitu dengan melihat cacat-cacat yang terjadi pada benda kerja hasil coran pada bagian permukaannya, apakah cacat yang terjadi sesuai dengan hasil simulasi atau tidak. Kemudian uji piknometri, yang dilakukan untuk melihat seberapa besar porositas yang terjadi pada benda kerja hasil coran dengan cara menimbang massa benda kerja pada timbangan biasa (udara), kemudian menimbang massa benda kerja di dalam air dengan cara dimasukkan ke dalam keranjang di dalam wadah berisi air yang telah tersambung dengan timbangan untuk mengetahui *apparent density* dan *true density* yang nantinya akan dimasukkan ke dalam persamaan sehingga didapatkan besarnya nilai porositas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

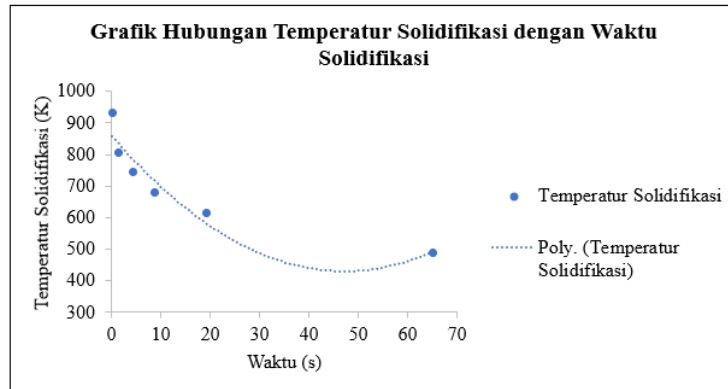
Hubungan Temperatur Solidifikasi dengan Waktu Solidifikasi Hasil Simulasi

Dari hasil simulasi yang dilakukan dengan menggunakan *software Altair Inspire Cast 2021.2* pada benda kerja *pulley* bertingkat pada Tabel 2 sebagai berikut,

Tabel 2. Simulasi Waktu dan Temperatur Solidifikasi

No.	Temperatur Solidifikasi (K)	Waktu (s)
1	933	0.20
2	806.4	1.38
3	743.1	4.24
4	679.8	8.85
5	616.5	19.16
6	4899	64.98

Dari data hasil simulasi pada tabel di atas, dapat diperoleh hasil perbandingan temperatur solidifikasi dan waktu yang diperlukan untuk melakukan solidifikasi yang dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik perbandingan temperatur dan waktu solidifikasi

Gambar grafik diatas merupakan grafik perbandingan antara temperatur dan waktu solidifikasi hasil simulasi dimana sumbu x merupakan waktu solidifikasi dalam satuan sekon (s) dan pada sumbu y merupakan temperatur solidifikasi dalam satuan kelvin (K).

Kecenderungan grafik menurun, dimana seiring bertambahnya waktu maka temperatur akan semakin menurun. Sehingga dapat disimpulkan bahwa temperatur berbanding terbalik dengan waktu.

Perbandingan Cacat Aktual Benda Coran dengan Hasil Simulasi Porositas

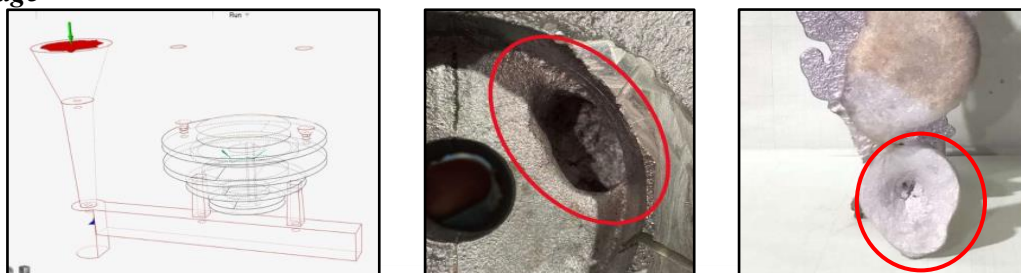


Gambar 6. Perbandingan porositas hasil simulasi dan aktual

Pada gambar menunjukkan perbandingan porositas hasil simulasi dengan keadaan aktual. Cacat porositas pada *pulley* bertingkat hasil coran ditandai dengan adanya daerah berlubang yang keropos di sekitar *bore* yang menunjukkan adanya gas terperangkap di dalam logam cair ketika proses pengecoran. Letak porositas pada benda coran hasil simulasi berada pada daerah

di sekitar *bore* bagian atas dan juga di sekitar *sprue well* seperti yang dapat dilihat pada Gambar 6 sebelah kiri. Sedangkan, letak porositas pada produk hasil pengecoran aktual berada pada daerah sekitar *bore* bagian atas. Sehingga dapat dikatakan bahwa produk hasil pengecoran dan hasil simulasi memiliki cacat porositas dengan posisi cacat yang sama.

Shrinkage

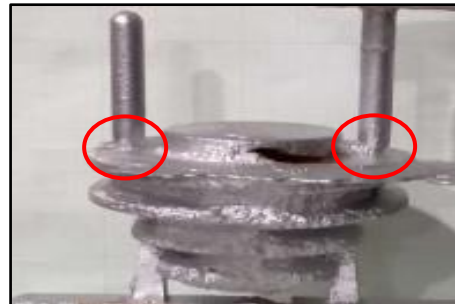


Gambar 7. Perbandingan *shrinkage* hasil simulasi dan aktual

Pada gambar 7 menunjukkan perbandingan adanya *shrinkage* pada produk hasil simulasi dengan produk hasil pengecoran aktual. Pada hasil simulasi terdapat penyusutan atau *shrinkage* yang berada pada bagian *pouring basin*, *sprue well*, dan daerah di sekitar *bore*. Sedangkan, pada produk aktual hasil pengecoran *pulley* bertingkat terdapat juga

cacat penyusutan atau *shrinkage* yang ditandai dengan adanya cekungan pada benda kerja yang berada pada benda kerja dan juga pada bagian atas *pouring basin* bagian tengah dan kanan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa produk aktual hasil pengecoran memiliki cacat penyusutan atau *shrinkage* dengan letak yang sama dengan hasil simulasi.

Mold Erosion

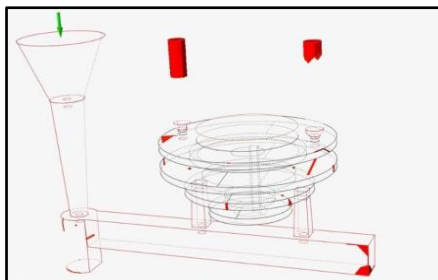


Gambar 8. Perbandingan *mold erosion* hasil simulasi dan aktual

Pada gambar 8 menunjukkan perbandingan adanya *mold erosion* pada produk hasil simulasi dengan produk hasil pengecoran aktual. Pada hasil simulasi terdapat *mold erosion* yang berada pada bagian *riser* dengan benda kerja. Sedangkan, pada produk aktual hasil pengecoran *pulley* bertingkat terdapat juga

cacat *mold erosion* yang ditandai dengan adanya pasir yang mengalami pengikisan oleh logam cair ketika pengecoran. Sehingga dapat disimpulkan bahwa produk aktual hasil pengecoran memiliki cacat *mold erosion* dengan letak yang sama dengan hasil simulasi.

Gas Defect



Gambar 9. Perbandingan *gas defect* hasil simulasi dan aktual

Pada gambar 9 menunjukkan perbandingan adanya *gas defect* pada produk hasil simulasi dengan produk hasil pengecoran aktual. Pada hasil simulasi terdapat *last air* yang berada pada bagian *riser*, permukaan *pulley* bertingkat, *sprue well* dan *runner* yang menunjukkan posisi terakhir udara setelah pengecoran yang dapat menyebabkan terjadinya *gas defect*. Sedangkan, pada produk aktual hasil pengecoran *pulley* bertingkat terdapat juga cacat *gas defect* yang

ditandai dengan adanya lubang besar (*blow hole*) yang menyerupai gelembung udara seperti yang bisa dilihat pada gambar a dan terdapat lubang kecil (*pin hole*) yang bisa dilihat pada gambar b. Sehingga dapat disimpulkan bahwa produk aktual hasil pengecoran memiliki cacat *gas defect* dengan letak yang sama dengan hasil simulasi, namun cacat *gas defect* pada aktual lebih banyak dibandingkan dengan hasil simulasi

Fin

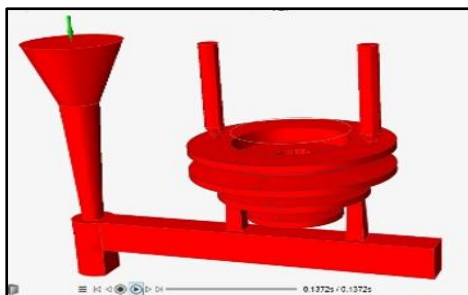


Gambar 10. Perbandingan cacat *fin* hasil simulasi dan aktual

Pada gambar 10 menunjukkan perbandingan cacat *fin* pada produk hasil simulasi dengan produk hasil pengecoran aktual. Pada hasil simulasi menggunakan *Altair Inspire Cast 2021.2* dapat dilihat pada gambar 10 tidak terdapat cacat *fin* pada benda coran. Sedangkan, pada produk aktual hasil pengecoran *pulley* bertingkat terdapat cacat *fin* yang ditandai

dengan adanya penambahan bentuk dan dimensi pada hasil coran dan adanya logam berlebih pada bagian permukaan pisah dari hasil coran yang menyerupai sirip seperti yang bisa dilihat pada gambar. Dapat disimpulkan bahwa ketidaksesuaian pada benda coran hasil simulasi dengan aktualnya.

Shift



Gambar 11. Perbandingan cacat *shift* hasil simulasi dan aktual

Pada gambar 11 menunjukkan perbandingan cacat *shift* pada produk hasil simulasi dengan produk hasil pengecoran aktual. Pada hasil simulasi dapat dilihat pada gambar tidak terdapat cacat *shift* pada benda coran. Sedangkan, pada produk aktual hasil

pengecoran *pulley* bertingkat terdapat cacat *shift* yang ditandai dengan adanya perbedaan ketinggian pada bagian pola yang terpisah seperti yang bisa dilihat pada gambar. Dapat disimpulkan bahwa ketidaksesuaian pada benda coran hasil simulasi dengan aktualnya.

Misrun



Gambar 12. Perbandingan cacat *misrun* hasil simulasi dan aktual

Pada gambar 12 menunjukkan perbandingan cacat *misrun* pada produk hasil simulasi dengan produk hasil pengecoran aktual. Pada hasil simulasi menggunakan *Altair Inspire Cast 2021.2* pada gambar tidak terdapat cacat *shift* pada benda coran. Sedangkan, pada produk aktual hasil pengecoran *pulley* bertingkat

terdapat cacat *misrun* yang ditandai dengan adanya rongga pada benda hasil coran yang tidak terisi seperti yang bisa dilihat pada gambar. Sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat ketidaksesuaian pada benda coran hasil simulasi dengan aktualnya.

Core miring

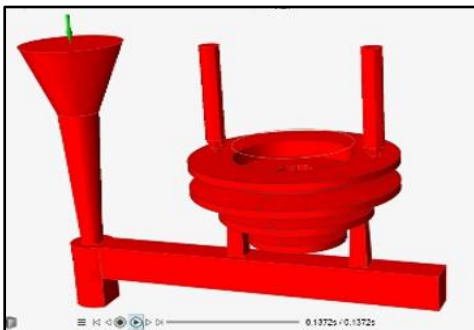


Gambar 13. Perbandingan posisi *core* pada simulasi dan aktual

Pada gambar 13 menunjukkan perbandingan posisi *core* pada produk ketika dilakukan simulasi dengan produk hasil pengecoran aktual. Simulasi yang dilakukan menggunakan *Altair Inspire Cast 2021.2* Pada gambar posisi *core* masih berada pada posisinya. Sedangkan, pada produk aktual hasil pengecoran *pulley*

bertingkat terjadi pergeseran posisi *core* yang ditandai dengan miringnya *core* pada produk hasil coran ketika dilakukan pembongkaran cetakan setelah melakukan pengecoran seperti pada gambar. Sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat ketidaksesuaian pada benda coran hasil simulasi dengan aktualnya.

Swell

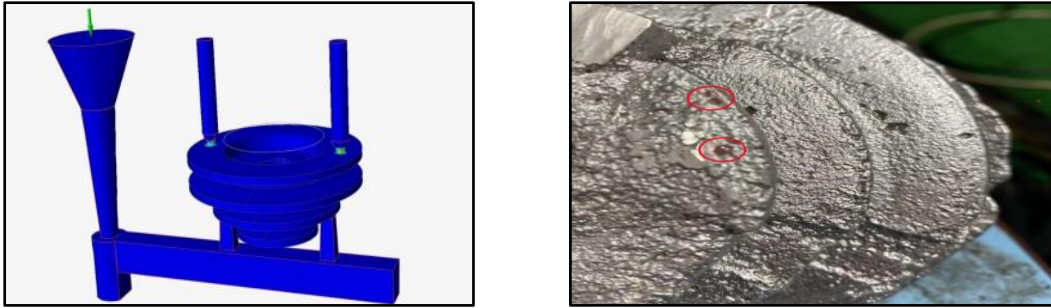


Gambar 14. Perbandingan cacat *swell* hasil simulasi dan aktual

Pada gambar 14 menunjukkan perbandingan cacat *swell* pada produk hasil simulasi dengan produk hasil pengecoran aktual. Pada hasil simulasi pada gambar tidak terdapat cacat *swell* pada benda coran. Sedangkan, pada produk aktual hasil pengecoran *pulley* bertingkat terdapat cacat *swell* yang ditandai dengan

adanya penambahan dimensi coran, dan terbentuknya pembengkakan terhadap benda coran seperti pada gambar. Sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat ketidaksesuaian pada benda coran hasil simulasi dengan aktualnya.

Sand Inclusion



Gambar 15. Perbandingan cacat *sand inclusion* hasil simulasi dan aktual

Pada gambar 15 menunjukkan perbandingan cacat *sand inclusion* pada produk hasil simulasi dengan produk hasil pengecoran aktual. Pada hasil pada gambar tidak terdapat cacat *sand inclusion* pada benda coran. Sedangkan, pada produk aktual hasil pengecoran *pulley* bertingkat terdapat cacat *sand inclusion* yang ditandai dengan adanya butir pasir cetak yang menyatu pada benda coran seperti yang bisa dilihat pada gambar. Sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat ketidaksesuaian pada benda coran hasil simulasi dengan aktualnya.

PEMBAHASAN

Temperatur vs Waktu Solidifikasi Simulasi

Pada Gambar 5 menunjukkan bahwa pada waktu 0,20 sekon, temperatur hasil coran yang dihasilkan yaitu 933 K. Kemudian temperatur hasil coran menurun menjadi 806,4 K pada waktu 1,38 sekon. Lalu, pada waktu 4,24 sekon, temperatur hasil coran menjadi 743,1 K. Setelah itu, pada waktu 8,85 sekon, temperatur hasil coran menurun menjadi 679,8 K. Pada waktu 19,16 sekon, temperatur hasil coran yang dihasilkan menjadi 616,5 K. Dan pada waktu 64,98 sekon, temperatur hasil coran menjadi 489,9 K. Dapat disimpulkan bahwa terdapat pengaruh lamanya waktu terhadap penurunan temperatur pada logam cair di dalam rongga cetakan, yang mana semakin lama waktu maka temperatur logam cair akan semakin menurun.

Perbandingan Cacat Hasil Simulasi dengan Cacat Aktual Benda Coran

Porositas

Pada gambar 6 merupakan perbandingan cacat porositas antara hasil simulasi dengan benda

coran aktual hasil pengecoran. Jika dibandingkan dengan hasil benda kerja aktual terdapat cacat porositas namun volumenya lebih besar dibandingkan dengan hasil simulasi yang berada pada daerah sekitar *bore*. Penyebab terjadinya porositas yaitu permeabilitas pasir cetak yang rendah sehingga gas terperangkap di dalam rongga cetakan, dan juga temperatur *superheating* tidak sesuai sifat mekanik logam paduan. Cacat porositas dapat diminimalisir dengan cara membuat pasir cetak yang memiliki permeabilitas yang tepat supaya gas yang berada didalam rongga cetakan dapat mengalir keluar, selain itu bisa mengatur temperatur *superheating* yang tepat dan perhitungan *riser* lebih teliti [12].

Shrinkage

Pada gambar 7 merupakan perbandingan cacat *shrinkage* antara hasil simulasi dengan benda coran aktual hasil pengecoran. Jika dibandingkan dengan hasil benda kerja aktual dapat dilihat bahwa terdapat kesesuaian cacat *shrinkage* dengan hasil simulasi, namun ada tambahan *shrinkage* pada bagian produk *pulley* bertingkat. Cacat *shrinkage* ini disebabkan oleh pembekuan atau solidifikasi yang tidak seragam, *superheating* yang tidak sesuai, desain dan jenis saluran kurang optimal dan juga perhitungan dimensi *riser* yang kurang tepat. Cacat *shrinkage* pada hasil coran bisa dihindari dengan merancang sistem saluran yang tepat, selain itu penambahan sistem pendingin pada proses pengecoran juga sangat mempengaruhi hasil benda coran [13].

Mold Erosion

Pada gambar 8 merupakan perbandingan cacat *mold erosion* antara hasil simulasi dengan benda coran aktual hasil pengecoran. Jika

dibandingkan dengan hasil benda kerja aktual dapat dilihat bahwa terdapat kesesuaian cacat *shrinkage* dengan hasil simulasi yang terletak pada bagian *riser* dengan benda kerja. Penyebab terjadinya *mold erosion* adalah posisi dan desain *riser* yang kurang tepat, serta kekuatan tarik dari pasir cetak yang kurang kuat sehingga pasir cetak terkikis oleh logam cair yang mengalir pada rongga cetakan. Solusi untuk mencegah terjadinya cacat ini yaitu bisa dilakukan dengan mendesain dan memasang riser dengan tepat, menyesuaikan laju dan temperatur penuangan logam cair dengan tepat, serta membuat komposisi pasir cetak yang memiliki kekuatan tarik yang tepat. Solusi untuk meminimalisir terjadinya cacat *mold erosion* yaitu menyesuaikan laju dan temperatur penuangan dengan tepat [14].

Gas Defect

Pada gambar 9 merupakan perbandingan cacat *gas defect* antara hasil simulasi dengan benda coran aktual hasil pengecoran. Jika dibandingkan dengan hasil benda kerja aktual dapat dilihat bahwa terdapat kesesuaian cacat *shrinkage* dengan hasil simulasi, namun cacat *gas defect* lebih banyak terjadi pada permukaan benda kerja secara aktual. Cacat ini disebabkan oleh permeabilitas pasir cetak yang terlalu rendah, desain dan penempatan *riser* yang kurang optimal, dan temperatur *superheating* yang berlebih. Cacat *gas defect* ini dapat disolusikan dengan menentukan komposisi dan pemadatan pasir cetak yang tepat, perhitungan dimensi dan penempatan *riser* harus tepat, dan temperatur *superheating* disesuaikan dengan logam cair yang digunakan. Terdapat beberapa solusi untuk meminimalisir *gas defect* diantaranya yaitu penempatan *riser* dan jumlah *riser* harus tepat serta komposisi dan pemadatan pasir cetak harus tepat [15].

Fin

Pada gambar 10 merupakan perbandingan cacat *fin* antara hasil simulasi dengan benda coran aktual hasil pengecoran. Jika dibandingkan dengan hasil benda kerja aktual dapat dilihat bahwa terdapat ketidaksesuaian cacat *fin* dengan hasil simulasi. Cacat ini disebabkan oleh adanya celah di antara permukaan pisah, pemadatan pasir cetak tidak rata pada permukaan pisah. Cacat *gas defect* ini dapat disolusikan dengan pemasangan *cope* dan

drag harus tepat, pemadatan pasir cetak pada *cope* dan *drag* harus tepat sehingga permukaan pisah menjadi rata dan tidak terdapat celah untuk logam cair memasuki permukaan pisah. Solusi untuk meminimalisir cacat *fin* ada beberapa yaitu pemasangan *cope* dan *drag* harus tepat, pemadatan pasir cetak pada bagian *cope* dan *drag* harus tepat, dan pemberian pelapis yang lebih tebal [16].

Shift

Pada gambar 11 merupakan perbandingan cacat *shift* antara hasil simulasi dengan benda coran aktual hasil pengecoran. Jika dibandingkan dengan hasil benda kerja aktual dapat dilihat bahwa terdapat ketidaksesuaian cacat *shift* dengan hasil simulasi. Cacat ini disebabkan oleh pencabutan pola yang kurang hati-hati yang menyebabkan terjadinya pergeseran pasir cetak, dan pin pada pola longgar sehingga kemungkinan pola bergeser cukup tinggi. Cacat *shift* ini dapat disolusikan dengan pencabutan pola secara perlahan, memperbaiki desain pola cetakan sesuai dengan dimensi benda kerja, dan pembuatan pin yang sesuai. Terdapat beberapa solusi untuk meminimalisir terjadinya cacat *shift* diantaranya yaitu posisi dan ukuran pin harus tepat sesuai, pemadatan pasir cetak harus optimal, dan pembuatan pola harus teliti [17].

Misrun

Pada gambar 12 merupakan perbandingan cacat *misrun* antara hasil simulasi dengan benda coran aktual hasil pengecoran. Jika dibandingkan dengan hasil benda kerja aktual dapat dilihat bahwa terdapat ketidaksesuaian cacat *misrun* dengan hasil simulasi. Cacat ini disebabkan oleh logam cair yang mengalami solidifikasi dini sebelum cetakan terisi penuh, dan terdapat jeda waktu yang cukup lama ketika melakukan penuangan logam cair ke cetakan. Untuk meminimalisir cacat misrun adalah dengan memperbesar lubang saluran masuk dan saluran turun dan serta melakukan penuangan dengan tekanan untuk mempercepat aliran logam cair [18].

Core Miring

Pada gambar 13 merupakan perbandingan posisi *core* antara hasil simulasi dengan benda coran aktual hasil pengecoran. Jika dibandingkan dengan hasil benda kerja aktual dapat dilihat bahwa terdapat ketidaksesuaian

posisi *core* dengan hasil simulasi. Ini disebabkan karena pasir cetak diantara rongga cetakan benda kerja dengan runner yang terlalu tipis sehingga ketika penuangan logam cair pasir cetak melendut ke bawah dan membuat *core* miring, dan juga disebabkan karena tidak adanya penyangga atau dudukan untuk *core* di dalam rongga cetakan sehingga ketika penuangan logam cair *core* mudah tergeser. Solusinya yaitu dengan mendesain dudukan *core* dengan tepat agar dapat menopang *core*, dan juga memberi jarak antara rongga cetakan dengan *runner* lebih besar lagi agar mengurangi lendutan ketika pengecoran. Cacat *core* miring bisa disimulasikan menggunakan *software*, sehingga bisa diprediksi pergeseran *core* dalam *sand casting* menggunakan *artificial neural networks* [19].

Swell

Pada gambar 14 merupakan perbandingan cacat *swell* antara hasil simulasi dengan benda coran aktual hasil pengecoran. Jika dibandingkan dengan hasil benda kerja aktual dapat dilihat bahwa terdapat ketidaksesuaian cacat *swell* dengan hasil simulasi. Cacat *swell* ini disebabkan karena kurangnya pemadatan pasir cetak yang menyebabkan pasir cetak kurang kuat ketika pencabutan pola, dan juga disebabkan oleh rontoknya pasir cetak akibat pencabutan pola yang menyebabkan pembengkakan, serta kurangnya pemberian grafit pada pola sehingga pasir cetak menempel pada pola ketika pencabutan pola. Solusi untuk meminimalisir cacat *swell* ada beberapa yaitu pemadatan pasir cetak harus merata dan optimal serta komposisi pasir cetak harus tepat [14].

Sand Inclusion

Pada gambar 15 merupakan perbandingan cacat *sand inclusion* antara hasil simulasi dengan benda coran aktual hasil pengecoran. Jika dibandingkan dengan hasil benda kerja aktual dapat dilihat bahwa terdapat ketidaksesuaian cacat *sand inclusion* dengan hasil simulasi. Cacat *sand inclusion* ini disebabkan karena adanya pasir cetak yang terkikis selama penuangan logam cair sehingga pasir yang terkikis, terdapat butiran pasir pada rongga cetakan yang disebabkan karena pasir cetak rontok ketika pencabutan pola, dan juga komposisi pasir cetak yang kurang tepat. Cacat *sand inclusion* ini dapat disolusikan dengan

meningkatkan kekuatan geser dari pasir cetak agar tidak mudah terkikis, melakukan pemeriksaan dan pembersihan pada bagian rongga cetakan untuk meminimalisir terjadinya *sand inclusion*, dan membuat pasir cetak dengan komposisi yang tepat. Menurut Bex dalam [20] menyarankan solusi analisis cacat *sand inclusion* yaitu dengan memilih permeabilitas yang optimal.

KESIMPULAN

Proses pengecoran logam pada penelitian ini menggunakan metode *sand casting* menggunakan cetakan pasir silika, bentonit sebagai bahan pengikat, dan air, sedangkan pembuatan *core* menggunakan pasir silika, natrium silikat, serta gas CO₂. Pengujian juga dilengkapi dengan simulasi pengecoran menggunakan perangkat lunak *Altair Inspire Cast 2021.2* yang memungkinkan identifikasi cacat sejak tahap penuangan hingga proses pembekuan logam. Dengan mengetahui potensi cacat sejak awal, tindakan pencegahan dapat dilakukan.

Pada hasil pengecoran aktual ditemukan sejumlah cacat yang serupa dengan hasil simulasi, seperti porositas, *shrinkage*, *mold erosion*, dan gas *defect*. Namun benda cor nyata juga menunjukkan cacat tambahan, antara lain *fin*, *shift*, *misrun*, *core miring*, *swell*, dan *sand inclusion*. Beberapa cacat juga muncul pada posisi yang tidak sama dengan yang diprediksi simulasi. Jumlah cacat yang lebih banyak pada benda cor aktual dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti permukaan bidang pisah yang kurang rata, terkikisnya pasir cetak oleh logam cair, lemahnya pemadatan pasir, kurangnya grafit, serta teknik penarikan pola yang kurang tepat. Selain menunjukkan cacat, simulasi *Altair Inspire Cast* juga dapat menampilkan alur aliran logam cair, kecepatan aliran, serta analisis waktu dan temperatur pada fase solidifikasi. Pengujian ini masih belum optimal karena terdapat banyak faktor yang memengaruhi kualitas produk cor, seperti kesalahan dalam persiapan cetakan, tidak tepatnya komposisi pasir cetak, teknik pencabutan pola yang kurang hati-hati, dan pemadatan cetakan yang tidak merata. Untuk pengujian berikutnya, seluruh tahap persiapan perlu diperbaiki dan hasil simulasi harus

dimanfaatkan secara maksimal agar cacat yang muncul pada produk aktual dapat diminimalkan atau dihilangkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. P. Choudhari et al., "Methoding and Simulation of LM 6 Sand Casting for Defect Minimization with its Experimental Validation," Elsevier Ltd., vol. 97, no. 1, pp. 1145–1154, 2014.
- [2]. M. Groover, *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems*. New York: Wiley, 2010.
- [3]. R. W. Heine, *Principles of Metal Casting*. New York: McGraw-Hill, 1976.
- [4]. S. Kalpakjian, *Manufacturing Engineering and Technology*. Massachusetts: Addison Wesley, 2009.
- [5]. M. Fachri, "Pengaruh Pengikat Cetakan Pasir Terhadap Kualitas Produk Pulley Berbahan Aluminium Daur Ulang," Skripsi Sarjana, Univ. Muhammadiyah Sumatera Utara, Medan, 2020. [Online]. Available: <http://repository.umsu.ac.id/handle/123456789/2701>
- [6]. R. Simanjuntak and E. Gustianta, "Penggunaan Metode Sand Casting pada Pengecoran Logam," 2021.
- [7]. J. Siburian, "Analisa Slip Transmisi Pulley dan V-Belt Pada Beban Tertentu Dengan Menggunakan Motor Berdaya Seperempat HP," Skripsi Sarjana, Univ. Islam Riau, 2019. <https://repository.uir.ac.id/1895/1/143310632.pdf>
- [8]. S. Lapadengan, "Pengaruh Diameter Pulley Terhadap Putaran Generator Pada Turbin Crossflow," Skripsi Sarjana, Politeknik Negeri Manado, 2019. <https://repository.polimdo.ac.id/2596/1/SABDA%20LAPADENGAN%20CDB.pdf>
- [9]. B. Ravi, *Casting Simulation and Optimisation: Benefit, Bottlenecks, and Best Practices*. IIT Bombay, Mumbai, 2008.
- [10]. T. H. Hirigo and B. Singh, "Design and Analysis of Sand Casting Process of Mill Roller," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 105, pp. 2183–2214, 2019.
- [11]. V. S. Jadhao and J. J. Salunke, "Review Paper on Simulation Based Casting," *Int. J. Innovative Research in Science Engineering*, 2014.
- [12]. H. Gunawan and S. Tjitro, "Analisa Pengaruh Bentuk Penampang Riser Terhadap Cacat Porositas," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 5, no. 1, pp. 1–4, 2003.
- [13]. G. N. Kusuma, I. Sidharta, and Socharto, "Studi Eksperimen Pengaruh Variasi Dimensi Cil Dalam (Internal Chill) Terhadap Cacat Penyusutan (Shrinkage) Pada Pengecoran Aluminium 6061," *Jurnal Teknik Pomits*, vol. 3, no. 2, pp. F-271–275, 2014.
- [14]. J. W. Liou, T. S. Lui, and L. H. Chen, "SiO₂ Particle Erosion of A356.2 Aluminum Alloy and the Related Microstructural Changes," *Wear*, vol. 211, no. 2, pp. 169–176, 1997.
- [15]. H. A. Ghufron and S. Sugiyanto, "Pengaruh Variasi Persentase Gula Tetes (Molasses) Dalam Campuran Pasir Cetak Greensand Terhadap Kuantitas Cacat Gas Hole Logam Aluminium ADC 12," *Jurnal Foundry*, vol. 5, no. 1, pp. 8–11, 2022.
- [16]. R. Shalihah, "Pengaruh Temperatur Preheating Cetakan Permanen Terhadap Cacat Coran Pulley Aluminium," Disertasi, Univ. Brawijaya, 2018.
- [17]. Taufik, "Pengaruh Bentuk Saluran Pada Proses Pengecoran Dengan Model Dari Styrofoam Terhadap Sifat Mekanis Aluminium Paduan Al-Si-Cu," *Penelitian dan Aplikasi Sistem dan Teknik Industri*, vol. 13, no. 2, pp. 177–186.
- [18]. P. I. Nanda, "Analisis Cacat Produk Coran Logam Kuningan pada Industri Pengecoran Tradisional," *SNTTM XII*, 2013, pp. 1330–1333.
- [19]. M. J. Walker et al., "Real-time process monitoring of core shifts during metal casting with wireless sensing and 3D sand printing," *Int. J. Adv.*, vol. 27, pp. 54–60, 2019.
- [20]. V. S. Deshmukh and S. S. Sarda, "The Critical Casting Defect in Cast Iron: Sand Inclusion," *Int. J. Mech. Eng. Technol.*, vol. 6, no. 9, pp. 30–42, 2015.



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY).