

# ANALISIS SHRINKAGE PADA PRODUK *BUCKET TEETH* DENGAN SIMULASI SOFTWARE SOLIDCAST 8.2.5

Oleh  
Mochammad Achyarsyah, SST., MT. <sup>(1)</sup>,  
Aji Misbah<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Dosen Teknologi Pengecoran Logam, Polman Bandung.

<sup>(2)</sup>Mahasiswa Program Studi Teknik Mesin dan Manufaktur, Konsentrasi Teknologi Pengecoran Logam, Polman Bandung.

---

## ABSTRAK

Permasalahan yang umum terjadi pada produksi pengecoran baja adalah adanya *shrinkage*. Berdasarkan ukurannya cacat *shrinkage* dibedakan menjadi dua yaitu *macro porosity* dan *micro porosity*. Keduanya sangat berpengaruh pada *casting* jika terdapat cacat tersebut. Studi kasus pada penelitian ini yaitu pada produk *Bucket Teeth* model *Narrow Chisel*. Penelitian ini ditujukan untuk memastikan produk *Bucket Teeth zero defect* atau terhindar dari cacat *shrinkage* sebelum dilakukannya proses produksi. Selain diharuskan untuk *sound casting*, keberadaan *micro porosity* yaitu *centerline shrinkage* perlu diperhatikan juga. Karena dapat diprediksikan menimbulkan *crack* yang dapat mengakibatkan patahnya produk *Bucket Teeth* ini. Selain itu temperatur penuangan sangat berpengaruh terhadap keberadaan cacat *shrinkage*. *Niyama criterion* adalah analisis pada *software* simulasi untuk menunjukkan keberadaan *centerline shrinkage*. *Software* simulasi ini membantu proses perancangan coran dan membantu menganalisis cacat *shrinkage* pada coran. Karena perancangan coran yang tepat merupakan salah satu faktor yang menentukan hasil dari produk yang akan dibuat. Hasil dari penelitian rancangan coran produk *Bucket Teeth* diprediksikan *sound casting* terhindar dari cacat *shrinkage* pada temperatur penuangan 1530°C, 1555 °C, 1580 °C, dan 1605 °C (dalam analisis *software* simulasi). Penggunaan satu buah penambah atas pada masing-masing *casting* dengan diameter 80 mm membuat pembekuan terarah (*directional solidification*) ke arah penambah sudah terjadi sepenuhnya. Penggunaan penambah pada *casting design Bucket Teeth* ini juga sudah cukup baik, pada analisis *shrinkage micro porosity*. Panjang dari cacat *centerline shrinkage* yang terjadi pada daerah kritis pada benda *Bucket Teeth* semakin pendek.

Kata kunci : *Bucket Teeth, Shrinkage, Centerline Shrinkage, Niyama Criterion, SOLIDCast.*

---

## ABSTRACT

*The common problem that usually happen on the steel foundry casting is shrinkage. Based on the size of shrinkage defects can be divided into two type, macro porosity and micro porosity. Both are very influential on the casting if there are defects. The case studies in this research is the product Bucket Teeth Narrow Chisel models. This study is intended to ensure zero defect products Bucket Teeth or avoid shrinkage defects prior to production processes. Besides required for sound casting, the existence of micro centerline shrinkage porosity that should be noted. Because predictably lead to crack that can lead to fracture of the product's Bucket Teeth. Besides pouring temperature affects the existence of shrinkage defects. Niyama criterion is the analysis of software simulation to demonstrate the existence of centerline shrinkage. The simulation software helps the process of designing castings and help analyze the shrinkage defects in castings. Because the design appropriate castings is one of the factors that determine the outcome of the product to be made. The results of the research design of castings products predicted sound casting Bucket Teeth avoid shrinkage defects in the casting temperature 1530 °C, 1555 °C, 1580 °C and 1605 °C. The use a riser on the casting each with a diameter of 80 mm made directional solidification to the adder has occurred entirely. Use of an addition on Bucket Teeth casting design is also quite good, the analysis of the micro shrinkage porosity. The length of the centerline shrinkage defects that occur in critical areas on the object Bucket Teeth getting shorter.*

*Key words : Bucket Teeth, Shrinkage, Centerline Shrinkage, Niyama Criterion, SOLIDCast.*

## 1. LATAR BELAKANG

*Bucket Wheel Dredge* (BWD) adalah alat berat yang digunakan dalam kegiatan pertambangan di salah satu kapal keruk Kundur. Salah satu komponen yang paling berpengaruh pada BWD ini adalah gigi yang terdapat pada ujung ujung *bucket* yang berfungsi untuk menggali objek tambang.

*Bucket Teeth* ini dibuat dengan proses pengecoran dengan material baja cor AISI 4140. Permasalahan yang umum terjadi pada produksi pengecoran baja adalah adanya *shrinkage*. Berdasarkan ukurannya cacat *shrinkage* dibedakan menjadi dua yaitu *macroporosity* dan *microporosity*. Keduanya sangat berpengaruh pada *casting* jika terdapat cacat tersebut.

Pada permasalahan ini PT Polman Swadaya akan mencoba memproduksi produk *Bucket Teeth* tersebut. Tetapi sebelum dilakukannya produksi, perlu adanya pengembangan dan penelitian lanjut mengenai cacat *shrinkage* terutama cacat *centerline shrinkage* ini (*microporosity*), karena dapat diprediksikan dapat menimbulkan *crack* yang dapat mengakibatkan patahnya produk *Bucket Teeth* ini.

Untuk memastikan produk *Bucket Teeth* terhindar dari cacat, maka perlu dilakukannya perancangan coran yang tepat. Selain dari perancangan coran permasalahan yang sering terjadi pada proses penuangan di Polman Bandung, yaitu kurang terukurnya temperatur pada proses penuangan. Oleh karena itu untuk mengoptimalkan pembuatan produk ini, maka perlu dilakukan analisis variasi temperatur penuangan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap cacat *shrinkage* yang terjadi.

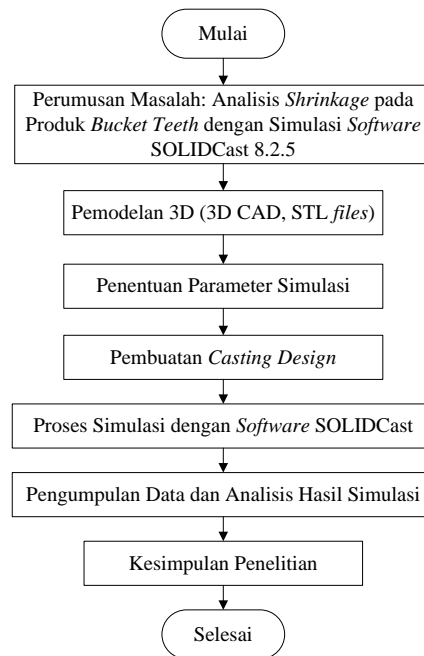
## 2. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah ;  
Menentukan rancangan coran yang tepat untuk produk *Bucket Teeth* ini agar *sound casting* terbebas dari *shrinkage* dengan melakukan analisis pada hasil simulasi, menganalisis keberadaan dan posisi adanya *centerline shrinkage* pada produk *Bucket Teeth*, mengetahui pengaruh temperatur tuang terhadap cacat *centerline shrinkage* pada produk *Bucket Teeth*.

## 3. METODE PENYELESAIAN MASALAH

Kegiatan penelitian ini menggunakan metode

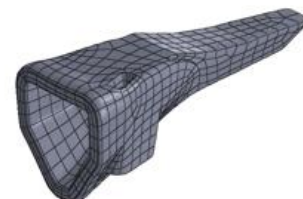
penelitian dasar untuk pencapaian tujuan penelitian, dengan pemanfaatan teknologi simulasi SOLIDCast versi 8.2.5 seperti pada **gambar 1**. Penelitian dasar ini tidak langsung memberikan informasi yang siap pakai untuk penyelesaian permasalahan akan tetapi lebih menekankan untuk pengembangan hipotesis mengenai hubungan di antara variabel-variabel tersebut. Analisis hasil dari simulasi ini untuk memberikan beberapa aspek pemikiran yang logis untuk percobaan sebelum produk ini akan diproduksi, dan untuk mengoptimalkan parameter pengecoran untuk mencapai sifat yang lebih baik untuk pengecoran material baja. Penelitian ini dilakukan dengan cara tahapan demi tahapan. Berikut merupakan tahapan mengenai penelitian ini yang dibuat dalam bentuk diagram alir pada **gambar 1**.



**Gambar 1.** Diagram alir penelitian

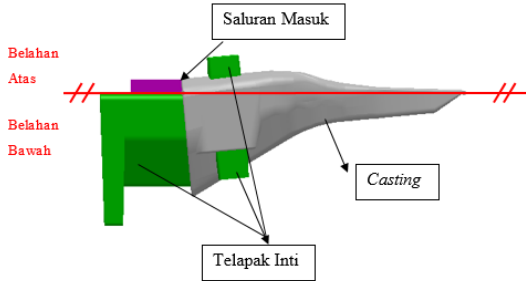
## 4. DATA DAN ANALISIS

Produk yang dipilih sebagai studi kasus pada penelitian ini adalah *Bucket Teeth* model *Narrow Chisel*.



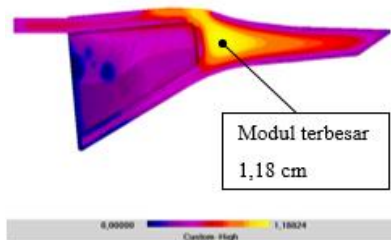
**Gambar 2.** Model 3D *Bucket Teeth* model *Narrow Chisel* hasil 3D scanning

Pemilihan *parting line* yang tepat akan mempermudah proses pembuatan cetakan, bagaimana menstabilkan inti-inti dan tidak menyulitkan pengerjaan akhir pada *casting*, sehingga mampu meningkatkan efisiensi waktu dan biaya. Rancangan pada produk *Bucket Teeth* ini dibuat dalam belahan ganda yaitu menggunakan belahan atas (*cope*) dan belahan bawah (*drag*).



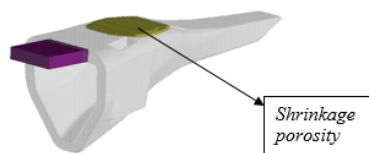
**Gambar 3.** Pemilihan *parting line* dan peletakan saluran masuk di belahan atas

Arah gradasi modulus pembekuan pada data hasil simulasi *casting only* menunjukkan bahwa modul terbesar mengarah ke bagian tengah benda. Warna kuning memiliki nilai modulus paling tinggi. Sedangkan warna biru memiliki nilai modulus paling rendah.



**Gambar Error!** No text of specified style in document.. Modulus pembekuan pada hasil simulasi *casting only*

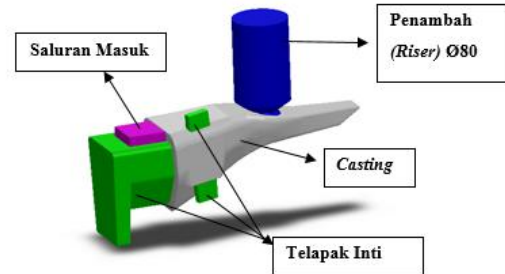
Berdasarkan hasil simulasi *casting only* juga didapatkan prediksi letak dari *shrinkage*, seperti pada **gambar 5**.



Keterangan: Warna kuning diprediksikan adanya *shrinkage porosity*

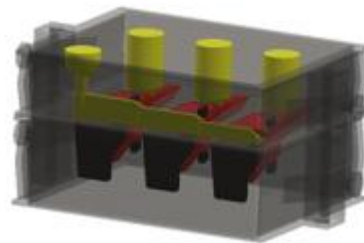
**Gambar 5.** Prediksi letak *shrinkage porosity* pada hasil simulasi *casting only*

Dari hasil pengamatan *shrinkage porosity* ini mengarah pada bagian tengah benda yang memiliki nilai modulus tertinggi pada *casting*. Serta pengamatan arah gradasi warna modulus pembekuan menjadi dasar untuk mengkonsep, sehingga penambah diletakkan pada posisi yang membutuhkan suplai cairan untuk mengantisipasi akibat dari proses penyusutan cair dan kristal.



**Gambar 6.** *Ilustrasi* peletakan penambah atas

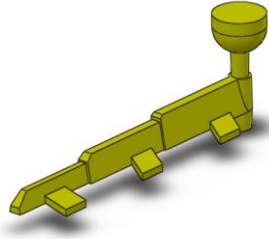
Penghematan biaya dalam proses pembuatan cetakan sangat diperlukan. Menghindarkan pembuatan cetakan yang rumit dan tidak efisien, karena akan memakan waktu serta biaya. Berbagai macam dimensi rangka cetak yang dimiliki bengkel Pengecoran Logam PT. Polman Swadaya, untuk kebutuhan pembuatan cetakan. Hal ini harus disesuaikan dengan *casting design* produk *Bucket Teeth* itu sendiri. Dengan berbagai pertimbangan, rangka cetak yang digunakan pada produksi *Bucket Teeth* yaitu pada rangka cetak ukuran 570 x 440 x 150 mm untuk belahan atas (*cope*) dan 570 x 440 x 200 mm untuk belahan bawah (*drag*).



**Gambar 7.** *Lay out* pola, penambah, dan sistem saluran pada rangka cetak

Sistem saluran dituntut untuk menghasilkan aliran cairan yang tenang. Suatu konsep dengan pengaturan rasio penampang bagian-bagian dari sistem saluran yaitu *unpressurized system*. Dengan menggunakan perbandingan luas penampang saluran turun, luas penampang saluran terak, dan luas penampang saluran masuk yaitu 1:4:4.

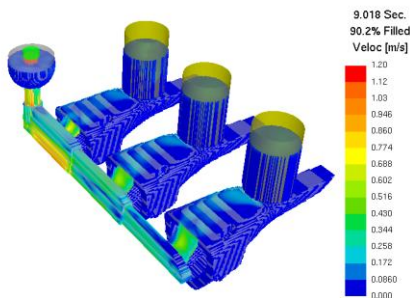
Penggunaan saluran terak bertingkat dan bersudut dibuat agar aliran cairan pada suatu desain coran relatif lebih sama ketika cairan masuk kedalam rongga *casting* dengan dimensi saluran masuk yang sama seperti pada **gambar 8**.



**Gambar 8.** Bentuk sistem saluran yang digunakan

Sebelum melakukan proses simulasi pengaturan parameter *software* harus dilakukan. Menentukan parameter simulasi adalah faktor terpenting untuk menentukan keakuratan hasil dari proses simulasi yang dilakukan. Beberapa faktor data yang harus dilakukan pendekatan untuk mendapatkan hasil simulasi yang akurat yaitu Pendekatan parameter material coran dan pasir cetak.

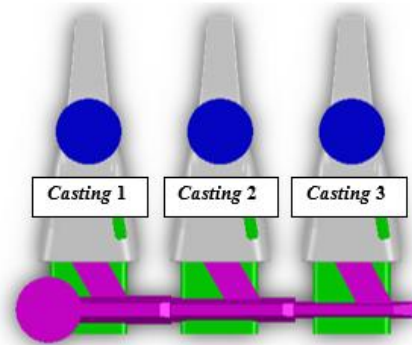
Pola pengisian cairan logam ke cetakan pada masing – masing temperatur penuangan memiliki karakteristik yang sama. Dapat dikatakan pembuatan sistem saluran sudah efektif dalam membuat aliran cairan seragam.



**Gambar 9.** Simulasi aliran cairan penuangan pada *casting design* menggunakan analisis *FLOWCast*

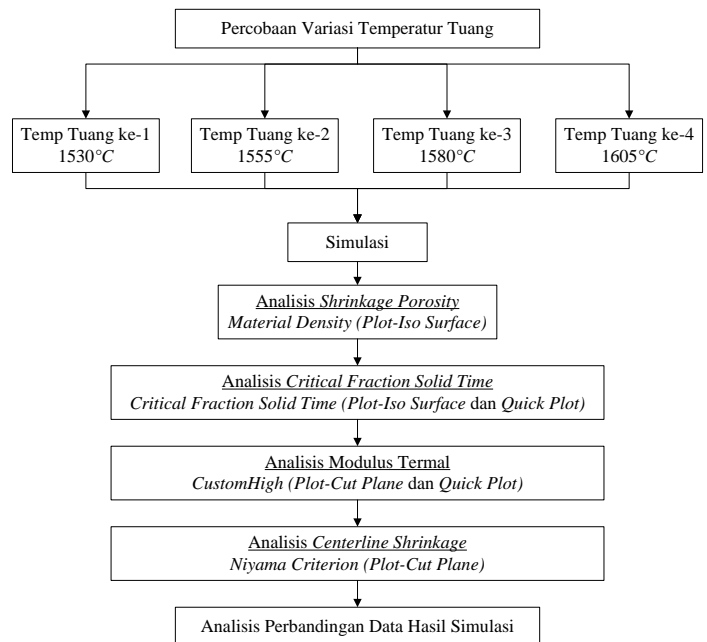
Gradasi warna menunjukkan bahwa kecepatan aliran pada *casting design* dapat dikatakan tenang karena ditunjukkan dengan warna biru. Sedangkan warna merah menunjukkan kecepatan aliran yang bergejolak. Dapat dikatakan perancangan coran sudah cukup baik untuk mengatasi aliran cairan, sehingga dapat dilakukan analisis lebih lanjut.

Analisis dan perbandingan hasil simulasi ini dilakukan pada perancangan coran yang telah dibuat dengan temperatur penuangan yang bervariasi. Perbedaan temperatur tuang ini akan menjadi analisis hasil dari simulasi yang terjadi pada *casting*. Terdapat tiga *casting* dalam satu rancangan, masing-masing akan di analisis berdasarkan temperatur penuangannya. Berikut adalah pembagian nomor urut pada *casting* yang akan di analisis;



**Gambar 10.** Nomor urut pada *casting* untuk di analisis

Berikut merupakan tahapan mengenai analisis data yang dijelaskan dalam bentuk diagram alir.

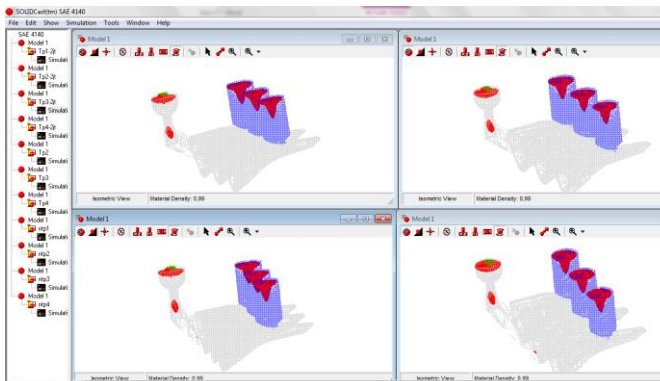


**Gambar 11.** Diagram alir analisis data

*Shrinkage porosity (macroporosity)* terjadi pada daerah penambah yaitu berada diluar produk. *Casting design* telah mencukupi untuk

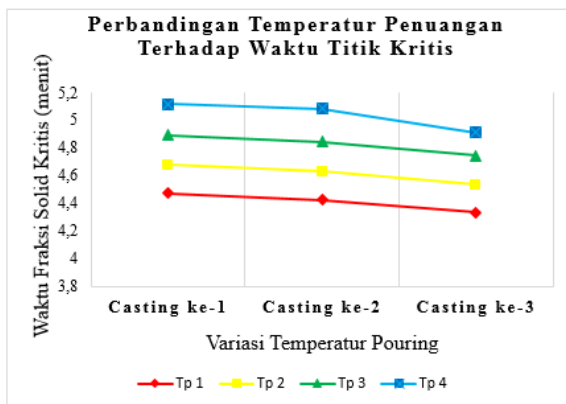
kriteria *sound casting*. Analisis *shrinkage porosity* dari hasil simulasi seperti pada **gambar 12** menunjukkan bahwa perancangan coran pada produk *Bucket Teeth* ini jika di cor pada variasi temperatur yang telah ditentukan, diprediksikan *sound casting* tidak terlihat adanya *shrinkage porosity* pada masing-masing *casting*. Perbedaannya pada setiap temperatur penuangan terdapat pada volume *shrinkage* pada penambahnya.

Analisis *shrinkage porosity* ini dikatakan *sound casting* berdasarkan prediksi analisis simulasi menurut panduan *software SOLIDCast*.



**Gambar 12.** Analisis *shrinkage porosity* pada *casting design* dengan variasi temperatur tuang - *shrinkage only at riser*

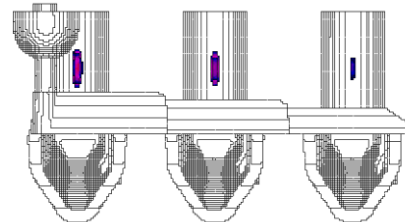
Selama proses pembekuan ketika cairan logam terus menerus semakin menjadi padat, terdapat suatu titik kritis dimana cairan logam penyuplai tidak dapat mengalir lama pada suatu bagian benda cor tersebut. Analisis *critical fraction solid time* ini digunakan untuk mengidentifikasi penyuplaian cairan dari penambah ke *casting* yang akan disuplai, apakah penyuplaiannya terputus atau tidak.



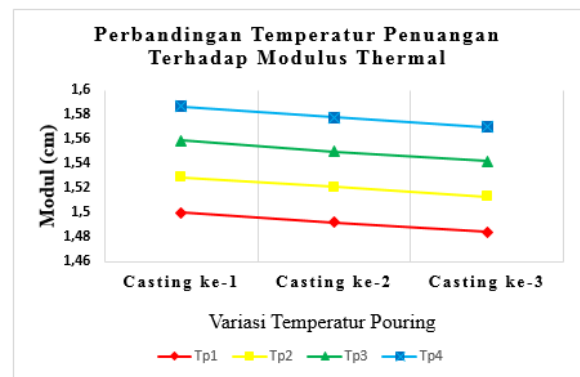
**Grafik 1.** Perbandingan temperatur penuangan terhadap waktu fraksi solid kritis

Pada nilai temperatur tuang yang tinggi, lama waktu pembekuannya juga akan semakin lama. Grafik yang terbentuk pada setiap temperatur penuangan memiliki pola yang sama, bahwa urutan pembekuan yang terjadi pada *casting* berawal pada *casting* ke-3 yang letaknya paling jauh dengan saluran turun dan pembekuan yang terakhir berada pada *casting* ke-1 yang paling dekat dengan saluran turun.

Sedangkan modul diprediksikan pada setiap *casting* akan berbeda dan pada setiap variasi temperatur pun akan berbeda. Namun dapat diprediksikan modul terbesar berada di daerah penambah pada setiap *casting design* dengan variasi temperatur yang berbeda memiliki pola yang sama.



**Gambar 13.** Hasil *quick plot* nilai modulus termal pada temperatur penuangan 1530 °C



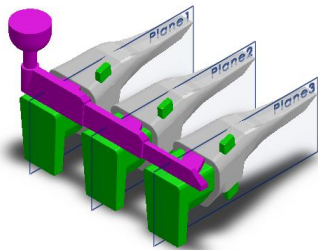
**Grafik 2.** Perbandingan temperatur penuangan terhadap *modulus thermal*

Adanya pengaruh temperatur penuangan terhadap nilai modulus pada setiap *casting*. Pada masing-masing variasi temperatur urutan besarnya nilai modul hampir sama. Pada penambah *casting* ke-1 memiliki nilai modul yang paling besar karena diprediksikan dekat dengan saluran turun sehingga memiliki temperatur yang paling tinggi. Kemudian diikuti dengan penambah pada *casting* ke-2 dan terakhir penambah pada *casting* ke-3.

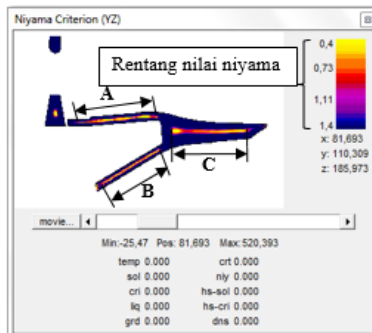
Pola grafik ini hampir sama dengan grafik yang berada pada analisis waktu fraksi solid kritis, dimana adanya kenaikan nilai setiap adanya kenaikan temperatur penuangan. Perbedaan nilai modulus ini dipengaruhi oleh nilai dari temperatur penuangan dan letak dari *casting Bucket Teeth* dari *casting design* itu sendiri.

Prediksi *centerline shrinkage* yang terdapat pada produk *Bucket Teeth* ini melalui analisis kriteria niyama atau niyama *criterion*. Kriteria ini memfokuskan analisis cacat pada *centerline shrinkage* yang terbentuk di dalam *casting*. Berlandaskan pada perhitungan gradien temperatur dan laju pendinginan. Seperti pada **Gambar 15**, yang memaparkan keberadaan dan dimensi dari *centerline shrinkage* tersebut. Analisis *centerline shrinkage* dilakukan pada setiap *casting* dengan pandangan samping dan pandangan atas.

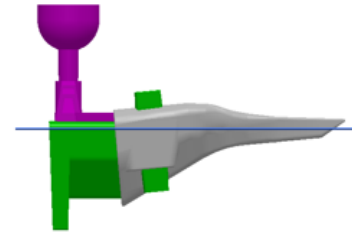
Melalui *cut-plane* gambar 2D dari kriteria niyama dapat terlihat. Gradasi warna menunjukkan nilai dari niyama tersebut. Pada kasus *Bucket Teeth* ini menggunakan nilai input  $0,7 \sqrt{^{\circ}\text{C} \cdot \text{menit/cm}}$  untuk memperlihatkan *centerline shrinkage* sesuai rekomendasi Backermann. Analisis niyama ini akan menganalisis *centerline shrinkage* pada *casting only* dan *casting dengan riser*;



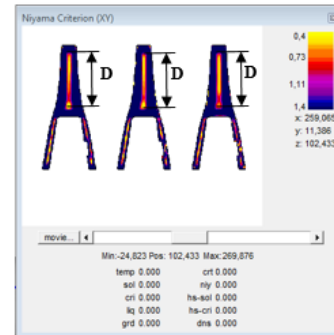
**Gambar 14.** Bagian potong pada pandangan atas untuk menganalisis *centerline shrinkage*



**Gambar 15.** Keberadaan *centerline shrinkage* yang diukur



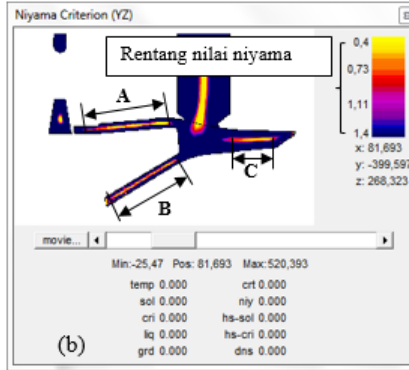
**Gambar 16.** Bagian potong pada pandangan samping untuk menganalisis *centerline shrinkage*



**Gambar 17.** Keberadaan *centerline shrinkage* yang diukur

Pengamatan terhadap *centerline shrinkage* ini akan di analisis berdasarkan perbagian (A, B, C, dan D) keberadaan *centerline shrinkage* pada *casting* di setiap temperatur penuangan. Dimensi dari *centerline shrinkage* dapat diketahui dengan cara mengukur satu persatu dari panjang cacat tersebut.

Dapat disimpulkan data analisis *centerline shrinkage* pada simulasi *casting only* atau *casting design* tanpa penambah. Bahwa temperatur penuangan semakin tinggi, panjang *centerline shrinkage* semakin pendek. Temperatur penuangan rendahnya masih dalam konteks variasi temperatur penuangan yang digunakan. Hal ini dapat dihubungkan mengenai teori dari pembekuan logam, pada temperatur penuangan yang rendah waktu pembekuan logam lebih cepat. Pembentukan lengan-lengan kristal yang menuju ke tengah pun akan lebih cepat. Lengan-lengan kristal tersebut akhirnya saling bersentuhan, sehingga adanya aliran logam cair yang terhalang oleh lengan kristal yang saling bersentuhan lebih banyak. Sehingga rongga susut pada daerah tengah yang terbentuk lebih panjang dari pada cairan logam yang memiliki suplai cairan lebih lama.



**Gambar 18.** Keberadaan *centerline shrinkage* yang diukur pada simulasi *casting* dengan penambah

Disimpulkan juga data *centerline shrinkage* pada simulasi *casting* dengan penambah, hal yang sama pada *casting design* tanpa penambah bahwa temperatur penuangan semakin tinggi panjang *centerline shrinkage* semakin pendek. Penambah dalam hal ini sudah berfungsi mensuplai cairan pada daerah rongga susut yang terjadi di tengah benda *Bucket Teeth*.

Penggunaan penambah sangat berpengaruh terhadap adanya cacat *centerline shrinkage*, karena pada bagian C dan bagian D pada posisi keberadaan cacat *centerline shrinkage* di setiap *casting design* dan variasi temperatur penuangan. Bagian tersebut adalah bagian yang diprediksikan kritis pada benda *Bucket Teeth*, jika terdapat cacat *centerline shrinkage*. Penambah mempunyai pengaruh yang sangat signifikan bagi timbulnya *centerline shrinkage* pada bagian kritis pada benda *Bucket Teeth*. Dapat dilihat dari data **tabel 1** selisih panjang dari *centerline shrinkage* pada *casting Bucket Teeth* sebelum menggunakan penambah dan sesudah menggunakan penambah.

**Tabel 1.** Selisih panjang *centerline shrinkage* pada *casting* sebelum penggunaan penambah dan sesudah penggunaan penambah

Temp (°C)	Part	Panjang <i>centerline shrinkage</i> pada <i>casting</i> ke-n (mm)		
		ke-1	ke-2	ke-3
1530	A	1,26	1,13	1,79
	B	0,5	0,17	0,5
	C	86,33	82,71	79,09
1555	A	1,08	0,54	1,14
	B	0,67	0,17	0,16
	C	85,74	79,1	82,72
1580	A	1,08	1,2	1,67
	B	0,83	0	0,5
	C	90,57	89,35	89,36
1605	A	2,45	2,47	2,46
	B	1,68	1,35	0,99
	C	95,98	94,18	94,18
	D	101,33	98,75	98,75

Dapat dilihat bahwa adanya pengaruh penggunaan penambah pada setiap variasi temperatur penuangan. Dengan penggunaan *casting design* dan teknik *rising* yang tepat akan memperkecil pengaruh cacat *centerline shrinkage*. Karena hasil analisis simulasi, menunjukkan perbedaan dari *centerline shrinkage* pada *casting* di setiap temperatur penuangan yang berbeda tidak terlalu signifikan.

Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian lanjut untuk melakukan kajian mengenai cacat *centerline shrinkage* ini secara langsung, agar diketahui keberadaan dari cacat *centerline shrinkage* ini. Sebaiknya dicari batas nilai toleransi untuk *centerline shrinkage* pada produk *Bucket Teeth* ini setelah dilakukan uji coba produksi dan perlunya dilakukan perbandingan hasil simulasi dengan *trial* di lapangan.

Dari analisis yang sudah dijelaskan yaitu; analisis *shrinkage macroporosity* menggunakan (*material density*), *CFS time*, dan modulus thermal, ketiganya memiliki korelasi. Bahwa nilai temperatur penuangan yang tinggi, akan mempengaruhi nilai modulus sehingga lama waktu setiap benda untuk mencapai temperatur fraksi solid pun bertambah panjang. Oleh karena itu diprediksikan *shrinkage porosity* akan meningkat.

Pada kasus ini *casting design* pada *Bucket Teeth* telah terjadi *directional solidification* ke arah penambah pada setiap variasi temperatur. *Directional solidification* ini terjadi karena nilai

modulus pada penambah lebih besar dari *casting* dan tidak adanya aliran cairan yang terputus pada analisis CFS *time*. Oleh karena itu *macro shrinkage* sudah teratasi dengan adanya penambah, sehingga benda diprediksikan *sound casting* pada hasil analisis simulasi.

Namun pada analisis *micro shrinkage* dengan menggunakan analisis kriteria niyama masih terdapat cacat *centerline shrinkage* pada bagian tengah benda cor. Bahwa temperatur penuangan semakin tinggi, panjang *centerline shrinkage* semakin pendek dan sebaliknya dengan nilai temperatur penuangan yang semakin rendah akan mengakibatkan panjang dari *centerline shrinkage* ini semakin panjang. Hal ini dapat dikorelasikan bahwa nilai temperatur penuangan yang tinggi memiliki waktu fraksi solid kritis yang lebih lama, sehingga diprediksikan waktu suplai cairan lebih lama juga. Oleh sebab itu rongga susut yang terjadi diprediksikan akan lebih pendek. Pada analisis niyama yang menunjukkan potensi cacat *centerline shrinkage* ini belum diyakini keberadaannya, masih dalam perkiraan.

## 5. KESIMPULAN

Dengan rancangan coran konsep pembekuan terarah pada produk *Bucket Teeth* diprediksikan *sound casting* terhindar dari cacat *shrinkage* pada setiap temperatur penuangan 1530°C, 1555 °C, 1580 °C, dan 1605 °C (dalam analisis *material density* pada *software* simulasi). Penggunaan satu buah penambah atas pada masing-masing *casting* dengan diameter 80 mm membuat pembekuan terarah (*directional solidification*) ke arah penambah sudah terjadi sepenuhnya.

Keberadaan dan posisi adanya *centerline shrinkage* pada produk *Bucket Teeth* berada pada garis sumbu tengah (*centerline axis*) dari benda cor. Variasi temperatur penuangan akan mempengaruhi panjang dari cacat *centerline shrinkage*, serta dapat disimpulkan bahwa temperatur penuangan semakin tinggi panjang *centerline shrinkage* semakin pendek.

Penggunaan penambah pada *casting design Bucket Teeth* ini juga sudah cukup baik, karena selain dapat membuat *soundcasting* pada analisis *shrinkage macroporosity*. Dimensi dari cacat *centerline shrinkage* yang terjadi pada daerah kritis pada benda *Bucket Teeth* juga semakin pendek. Namun hasil perhitungan niyama yang menunjukkan potensi cacat *centerline shrinkage* ini masih dalam perkiraan.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

1. ASM Metals Handbook, Vol 01. 1998. *Properties and Selection Irons, Steels, and High-Performance Alloy*.
2. ASM Metals Handbook, Vol 15. 2005. *Casting*.
3. Backermann. 2001. *Development of New Feeding Distance Rules Using Casting Simulation*.
4. Beeley, Peter. 2001. *Foundry Technology second edition*. Butterworth-Heinemann.
5. Surdia, Tata dan Kenji Chijiwa. 2006. *Teknik Pengecoran Logam*. Jakarta: Pradnya Paramita.
6. Daniel, M. *Casting Simulation*. University Miskolc, Penyunt.
7. Gotto, E. S. 1995. *Diktat Perancangan Tuangan I*. Bandung: Politeknik Manufaktur Negeri Bandung.
8. Guleyupoglu, S. *Casting Process Design Guidelines*. Pennsylvania: Concurrent Technologies Corporation Johnstown.
9. Nugroho, Hariyadi. 2013. *Analisis Pembekuan Terarah Pada Produk Baja Cor Dengan Bentuk Geometri Kompleks Menggunakan Bantuan Perangkat Lunak Simulasi Coran Solidcast 8.1.1*. Bandung : Polman
10. Yudianto, Oyok. 2005. *Diktat Perancangan Tuangan II*. Bandung: Polman.
11. Putra, Rangga P. 2013. *Analisis Gaya Ekskavasi dengan Mengaplikasikan Model Mckyes pada Bucket Wheel Dredge*. Bandung :Institut Teknologi Bandung
12. Training Course Workbook SOLIDCast Version 8.1.1.
13. W.J.Vlasblom. 2003. *Designing Dredging Equipment*.
14. Wlodawer, R. 1966. *Directional Solidification of Steel Castings, First English Edition*. 1966: Pergamon Press.