

## Simulation of Sand Casting Process in a Machine Tool Component

Indrawanto<sup>1,\*</sup>, Yatna Yuwana Martawirya<sup>2</sup> dan Xengmoua Vaneng<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung

<sup>3</sup> Prodi Magister Teknik Mesin, Institut Teknologi Bandung

\*Corresponding author: indrawanto@ftmd.itb.ac.id

**Abstract.** Casting technology with sand mold has now emerged as a practical and commercial manufacturing method with high integrity castings approaching the final shape. Various casting processes have been widely applied to various general engineering, one of which is in the machine tool industry to make machine tool components and structures. Casting to produce products in the form of machine tools must be able to achieve the quality required including mechanical properties and zero porosity. To achieve this goal, within a limited time frame for the product development process, CAD technology combined with casting process simulation is increasingly being used as a tool to optimize the filling and solidification of mold parts. This paper discusses the use of Z-CastPro for the structure of a worktable of a benchdrill made with sand mold casting. From the results of the experiment showed a high level of confidence in the results of this simulator.

**Abstrak.** Teknologi pengecoran dengan cetakan pasir kini muncul sebagai cara manufaktur praktis dan komersial dengan coran integritas tinggi mendekati bentuk akhir. Berbagai proses pengecoran telah banyak diterapkan pada berbagai rekayasa umum, salah satunya di industri mesin perkakas untuk membuat komponen dan struktur mesin perkakas. Pengecoran untuk menghasilkan produk berupa mesin perkakas harus dapat mencapai kualitas yang diperlukan meliputi sifat mekanik dan porositas nol. Untuk mencapai tujuan tersebut, dalam kerangka waktu yang terbatas untuk proses pengembangan produk, teknologi CAD dikombinasikan dengan simulasi proses pengecoran semakin banyak digunakan sebagai alat untuk mengoptimalkan pengisian dan pembekuan pada bagian-bagian cetakan. Makalah ini membahas penggunaan Z-CastPro untuk struktur meja kerja mesin gurdi meja yang dibuat dengan pengecoran cetakan pasir. Dari hasil percobaan menunjukkan tingkat kepercayaan yang tinggi pada simulator ini.

**Keywords:** Pengecoran besi cor, model CAD, Z-CastPro, cetakan pasir, porositas

© 2017. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

### Pendahuluan

Terjadinya berbagai cacat coran adalah berhubungan langsung dengan fenomena aliran fluida selama tahap pengisian cetakan dan dalam logam cor [1]. Laju solidifikasi sangat mempengaruhi sifat mekanik seperti kekuatan, kekerasan, ketermesinan dll [2]. Satu elemen penting yang harus dipertimbangkan guna menghasilkan produk pengecoran pasir berkualitas tinggi adalah desain sistem saluran dan desain sistem riser [3-5].

Setiap desain sistem saluran dan riser yang tidak tepat menyebabkan terjadinya kebuntuan saluran karena pembekuan dan porositas penyusutan. Oleh karena itu perhatian yang memadai diperlukan dalam mendesain sistem saluran dan riser untuk meningkatkan produk coran bebas cacat. Simulasi pengecoran pada dasarnya mengantikan atau meminimalkan percobaan pengecoran untuk mencapai kualitas yang diinginkan semaksimal mungkin.

Saat ini terdapat program-program simulasi pengecoran yang meliputi ADSTEFAN, CastCAE, MAGMA, Novacast, ProCAST, SolidCAST dan Z-CastPro. Umumnya program-program tersebut menggunakan Metode Elemen Hingga untuk mendiskritikan geometri coran untuk menyelesaikan perhitungan perpindahan panas dan/atau persamaan aliran fluida [6]. Input utama meliputi geometri dari rongga cetakan (termasuk bagian rongga, pengumpulan, dan saluran), sifat termo-fisik (kepadatan, panas spesifik, dan konduktivitas termal dari logam coran serta bahan cetakan, sebagai fungsi dari suhu), kondisi batas (seperti koefisien perpindahan panas cetakan logam, termasuk cetakan normal sebagai juga sebagai alat bantu termasuk kedinginan, isolasi dan bahan eksotermik), dan parameter proses (seperti laju penuangan, waktu dan suhu). Hasil dari simulasi pembekuan termasuk pembekuan berkode kontur warna pada berbagai waktu dari mulai hingga berakhirnya pembekuan (solidifikasi). Simulasi ini dapat memberikan pemahaman yang jauh lebih baik tentang fenomena tersebut

dibandingkan percobaan langsung dengan melakukan pengecoran. Pengguna dapat memverifikasi apakah lokasi dan ukuran saluran masuk sudah memadai, dan melakukan iterasi modifikasi desain dan simulasi hingga hasil yang memuaskan diperoleh. Kadang-kadang, itu tidak mungkin untuk mencapai kualitas yang diinginkan hanya dengan melakukan perubahan metode (terutama pemasukan dan saluran) saja. Pada kondisi semacam itu, mungkin diperlukan untuk memodifikasi desain produk.

Misal, ketebalan dinding komponen dapat ditambah (disebut dengan *padding*) di lokasi yang mencekik/menghambat aliran logam cair. Modifikasi tipikal lainnya adalah menambah atau meningkatkan ketirusan untuk mendorong pembekuan searah. Namun begitu, adanya modifikasi ini akan menimbulkan tambahan biaya pemesinan. Jika analisis keteraliran dilakukan secara sistematis pada tahap desain produk, maka akan dapat diperoleh kompatibilitas proses-produk yang unggul. Hal itu akan dapat diperoleh proses pengecoran yang ramah, membuatnya lebih mudah untuk mencapai kualitas yang diinginkan dengan produkstifitas yang tinggi [7].

Shamasunder [8] membahas langkah-langkah yang diperlukan untuk simulasi, kemungkinan sumber kesalahan dan perhatian yang harus diberikan selama simulasi proses pengecoran. Menurutnya perancang harus memiliki keyakinan penuh pada alat simulasi pengecoran ini. Ini hanya bisa terjadi karena pengalaman dan penggunaan alat tersebut untuk meniru berbagai efek parameter proses. Dengan kemajuan teknologi dan pendekatan yang tepat dalam pemodelan, adalah mungkin untuk mensimulasikan cacat yang dihasilkan selama pengecoran sebelum dilakukan pengecoran yang sesungguhnya.

Lokasi dan ukuran saluran masuk dan saluran dalam cetakan adalah masukan penting untuk simulasi pembekuan (solidifikasi). Penentuan ini membutuhkan banyak pertimbangan pengalaman pemodelan dari pengguna. Selanjutnya, perancang harus membuat atau memodifikasi model saluran masuk, memasangkan ke model coran menggunakan program CAD, dan mengimportnya ke program simulasi pengecoran untuk setiap iterasi. Tugas-tugas ini membutuhkan keahlian komputer. Keakuratan hasil (seperti waktu pembekuan dan lokasi cacat penyusutan) dipengaruhi oleh model metalurgi dan ketersediaan dari database properti material yang bergantung pada temperatur. Simulasi coran yang rumit mungkin melibatkan lebih banyak waktu dan biaya daripada uji coba pengecoran langsung, dan adanya

kesalahan pada input program akan mengakibatkan penundaan dan tambahan pembiayaan.

Program simulasi pengecoran dapat digunakan oleh insinyur pengecoran untuk jaminan kualitas dan hasil optimal tanpa uji coba pengecoran langsung, serta oleh insinyur produk untuk menganalisis dan mengoptimalkan keterisian pengecoran selama fase desain itu sendiri. Saat ini tersedia berbagai program simulasi, namun untuk keberhasilannya memerlukan paling tidak ada sedikit pengalaman di bidang pengecoran. Simulator tersebut harus cepat, handal, mudah digunakan, dan ekonomis. Pada makalah ini akan dipaparkan simulasi proses pengecoran dan hasil corannya.

### Simulasi Pengecoran

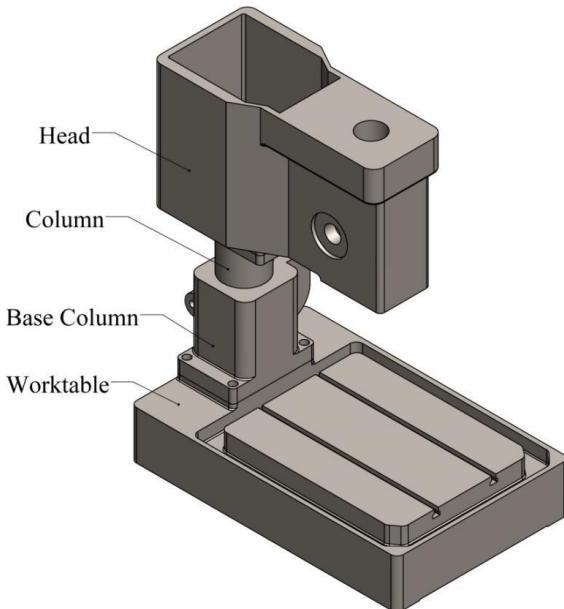
Perangkat lunak Z-CastPro adalah aplikasi komputer untuk mensimulasikan pengecoran dengan cetakan pasir. Ini adalah perangkat lunak simulasi pengecoran untuk simulasi proses pengecoran ujung ke ujung, pengisian, pembekuan, tegangan panas dan simulasi perlakuan panas. Simulasi ini meliputi pengisian cetakan, pembekuan, struktur butir, tegangan dan distorsi. Untuk itu dibutuhkan model solid dari produk dan perkakas (pemisahan cetakan, inti, tata letak cetakan, pemasukan, dan saluran), sifat ketergantung material coran dan cetakan pada suhu, dan parameter proses (suhu tuang, kecepatan, dll.). Hasil simulasi bisa ditafsirkan untuk memprediksi adanya cacat pengecoran seperti porositas penyusutan, titik-titik keras, lubang sembulan, penutupan beku, retakan dan distorsi. Hal yang perlu diperhatikan yakni masukan ke simulasi membutuhkan keahlian yang cukup dan mungkin desainer produk tidak memiliki keahlian yang memadai. Salah satu solusinya adalah melibatkan insinyur perkakas dan pengecoran pada tahap desain produk, dan mengembangkan produk, perkakas dan desain proses secara bersamaan, guna memastikan hubungan timbal balik yang kompatibel satu dengan lain. Pendekatan ini disebut sebagai rekayasa konkuren.

Tujuan utama simulasi proses pengecoran adalah untuk:

1. Memeriksa kondisi aliran logam cair.
2. Memeriksa kondisi solidifikasi pada coran.
3. Mengoptimalkan posisi sistem saluran dan termasuk riser.
4. Mengoptimalkan komponen pendukung untuk coran untuk menghindari penyusutan volume yang mengganggu pada hasil coran secara virtual.

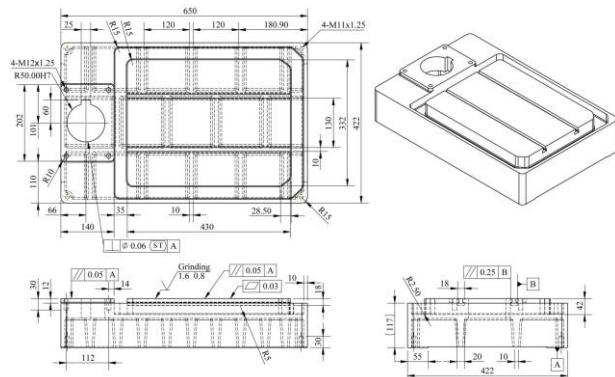
5. Optimalkan sistem desain cetakan yang baik dari masing-masing komponen untuk pengecoran nyata

**Model CAD.** Gambar 1 menunjukkan model CAD solid 3D struktur mesin gurdi meja. Pada makalah ini akan dibahas proses simulasi pengecoran salah satu bagian dari mesin gurdi ini yakni bagian meja kerja (*worktable*).



**Gambar 1.** Model CAD solid 3D struktur mesin gurdi meja.

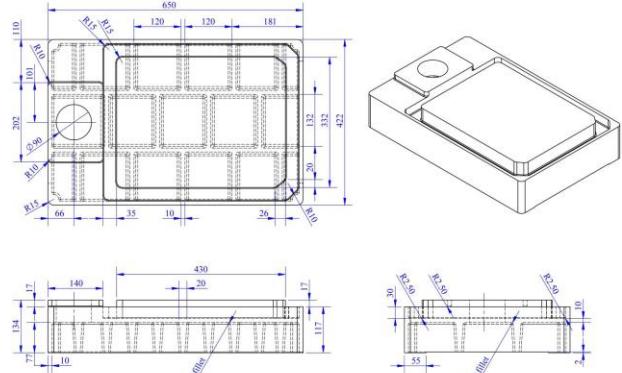
Meja kerja adalah bagian terbesar dibandingkan dengan bagian lain pada mesin gurdi meja. Gambar 2 menunjukkan ditil meja kerja mesin gurdi tersebut. Model CAD ini diperlukan untuk proses pemesinan pada langkah terakhir. Detail gambar pada bagian ini diperlukan untuk proses pemesinan.



**Gambar 2.** Model ditil CAD bagian meja kerja untuk pemesinan

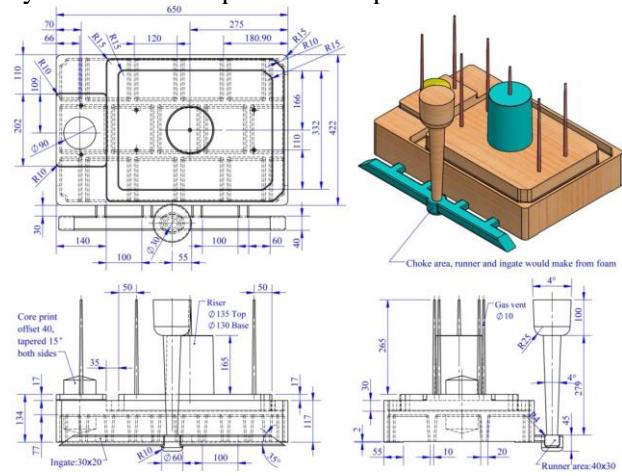
Modifikasi gambar meja kerja untuk pengecoran. Perbedaan antara model CAD ini dibandingkan dengan gambar CAD untuk permesinan adalah model CAD untuk pengecoran adalah kasar, yakni dengan bentuk geometris yang tidak lengkap sesuai dengan kebutuhan. Menurut beberapa konsep untuk membuat pola nyata dalam

proses pengecoran termasuk sistem saluran biasanya sulit, sehingga untuk menghindari fitur-fitur yang tidak mungkin dilakukan pada proses pengecoran maka geometri produk coran disederhanakan dengan menghilangkan beberapa bentuk geometris atau mengubah ukuran beberapa fitur dari produk sebenarnya. Ditil geometri bila diperlukan dapat diperoleh melalui proses pemesinan. Model CAD yang yang digunakan untuk membuat meja kerja mesin gurdi ini adalah ditunjukkan pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Model CAD meja kerja mesin gurdi untuk proses pengecoran

Sistem desain cetakan meja kerja. Langkah terakhir sebelum dilakukan simulasi pengecoran. Model CAD ini, Gambar 3, akan digunakan untuk memfokuskan pembuatan cetakan nyata. Desain cetakan meliputi desain cawan tuang (*pouring cup*), saluran turun (*sprue*), saluran penghubung (*runner*), saluran masuk (*ingate*) dan penambah (*riser*) pada cetakan. Setelah melalui beberapa iterasi didapat sistem cetakan seperti terlihat pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Sistem cetakan meja kerja

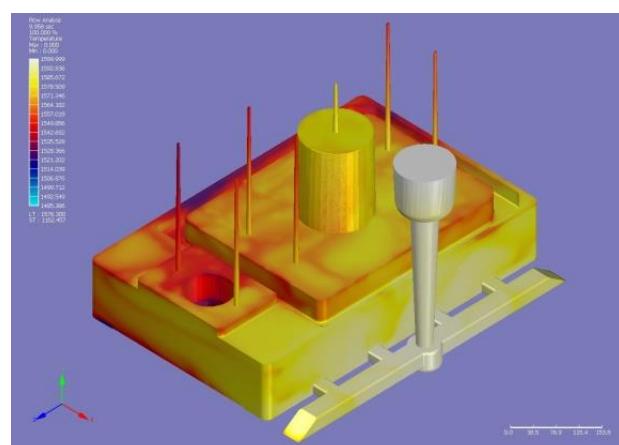
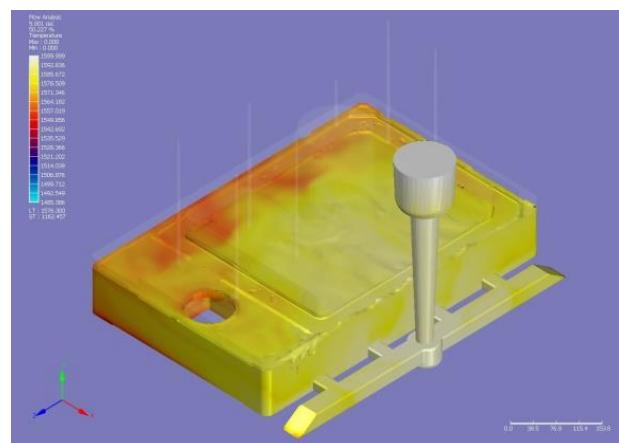
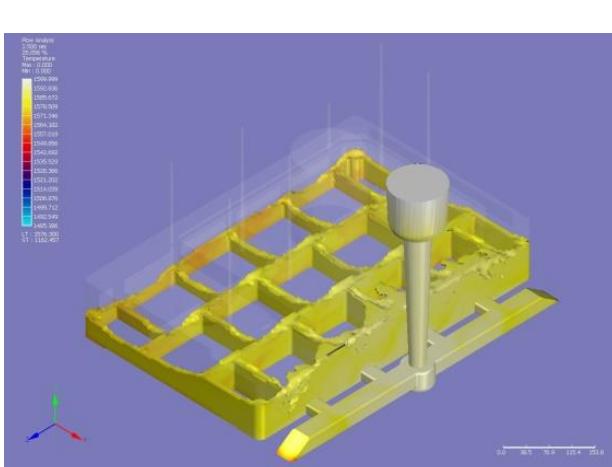
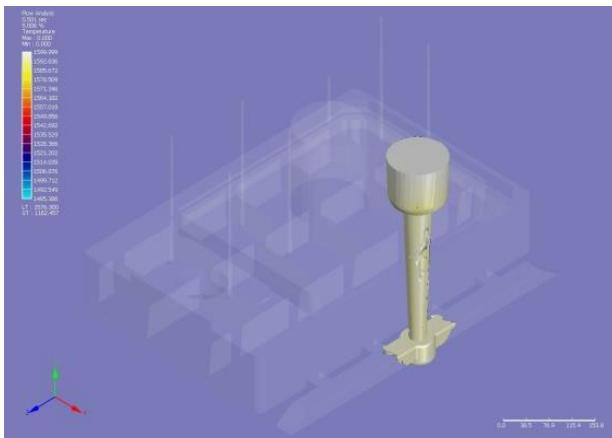
## Hasil Simulasi dan Pembahasan

**Material.** Komposisi material coran adalah ditunjukkan pada Tabel 1. di bawah ini. Pada simulasi akan digunakan jenis material sesuai dengan komposisi tersebut.

**Tabel 1.** Komposisi material coran

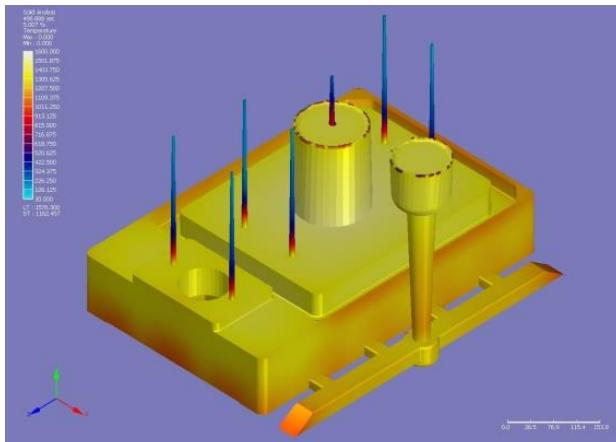
11-APR-2018 12:14:37		Task:FE (Produksi)		Method:FECAIR	
		Sample Identity:FC 250 104-18 L11			
AVG	<b>C2</b>	<b>Si1</b>	<b>Al</b>	<b>Mn3</b>	<b>Fe</b>
SD	3.35592	1.58886	0.01120	0.01583	0.67336
SD%	2.70	0.090512	0.01536	0.000339	0.001109
AVG	<b>Mo2</b>	<b>V3</b>	<b>Cu5</b>	<b>W</b>	<b>Ti4</b>
SD	0.12497	0.00240	0.01454	0.000000	0.00381
SD%	4.51	0.00694	0.000209	0.000537	0.000000
AVG	<b>Pb6</b>	<b>Sn2</b>	<b>Ilb</b>	<b>Mg1</b>	<b>Zn5</b>
SD	10.00009	0.00217	0.00081	0.00124	0.00088
SD%	141.42	0.000133	34.70	0.000753	15.69
SD%					93.3838
SD%					0.000127
SD%					0.000127
SD%					10.26
SD%					24.43
SD%					0.16
SD%					

**Aliran Logam Cair.** Gambar 5 (a),(b), (c) dan (d) menunjukkan pengisian logam ke dalam rongga cetakan, untuk memastikan kelancaran aliran logam cair dan logam dingin tidak masuk dalam rongga cetakan. Suhu penuangan untuk besi cor adalah  $1580^{\circ}\text{C}$  hingga  $1600^{\circ}\text{C}$ . Perkiraan waktu tuang untuk pengisian lengkap rongga cetakan adalah 10 detik. Setelah dilakukan beberapa iterasi, maka dari simulasi tersebut dapat diprediksi bahwa logam cair akan mengisi rongga dengan lancar, seragam tanpa turbulensi dan perbedaan suhu antara titik tuang dengan bagian terdingin adalah sekitar  $70^{\circ}\text{C}$ . Penurunan suhu di sisi terdingin ini masih dalam batas aman tidak ada kemungkinan logam dingin atau membeku sebelum seluruh rongga cetakan terisi.

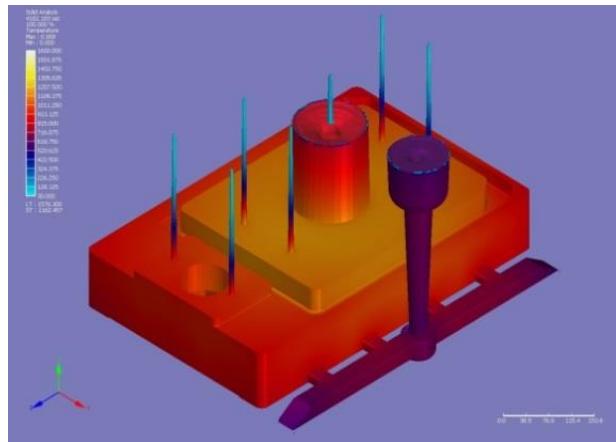


**Gambar 5.** Status aliran pengisian

**Pembekuan (Solidifikasi).** Pada proses pengecoran diperlukan untuk merancang pembekuan searah agar dapat diperoleh coran yang baik. Arah pembekuan dimulai dari bagian tertipis (bagian bawah coran) hingga yang bagian paling tebal dan yang berakhir pada riser. Pembekuan logam dimulai pada suhu likuidus dari  $1505^{\circ}\text{C}$ . Pemadatan logam berakhir di suhu solidus  $1450^{\circ}\text{C}$ . Setelah dilakukan beberapa iterasi diperoleh hasil simulasi pembekuan serarah dengan perbedaan suhu antara bagian pertama yang membeku dengan bagian terakhir tidak terlalu tinggi yang mana coran akan mendingin hampir bersamaan sehingga mengurangi potensi terjadinya porositas karena penyusutan. Gambar 6 (a), (b), (c) dan (d) menunjukkan proses pembekuan pada logam coran.

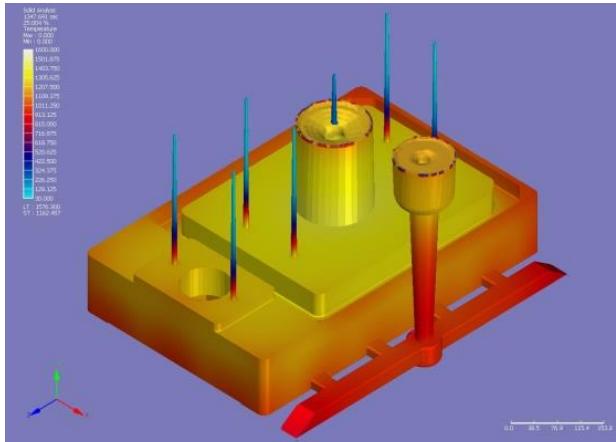


(a) Status beku pada 5%

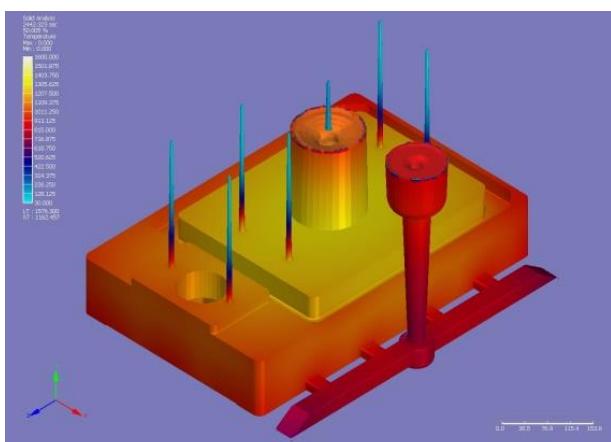


(d) Status beku pada 100%

**Gambar 6.** Status pembekuan logam cair



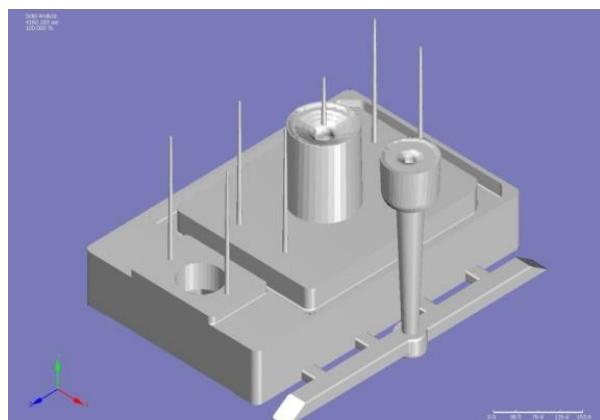
(b) Status beku pada 50%



(c) Status beku pada 50%



(a) Penyusutan pada coran



(b) Hasil akhir simulasi coran  
**Gambar 7.** Penyusutan simulasi coran

**Hasil coran.** Setelah dilakukan simulasi secara extensive selanjutnya model cetakan dari hasil simulasi ini digunakan sebagai acuan untuk

membuat pola cetakan. Kemudian dilakukan proses pengecoran dan hasil corannya terlihat pada Gambar 8. Hasil coran tidak ada porositas penyusutan sesuai dengan hasil simulasi.



(a) Coran meja kerja bagian atas



(b) Coran meja kerja bagian bawah

**Gambar 8.** Coran meja kerja

## Kesimpulan

Pemodelan dengan simulasi komputer saat ini merupakan teknologi yang mapan yang dapat digunakan untuk memprediksi perilaku sistem dinamik termasuk proses pengecoran. Dalam penelitian ini model komponen 3D telah dikembangkan menggunakan perangkat lunak simulasi pengecoran Z-ProCast untuk mengevaluasi kemungkinan adanya cacat coran pada pengecoran cetakan pasir meja kerja mesin gurdi bangku. Kesimpulan penting dari penelitian ini adalah:

Dengan mengatur sistem saluran yang tepat udara dikeluarkan tanpa terjebak dalam rongga cetakan. Simulasi menunjukkan bahwa logam cair itu mampu mengisi cetakan dalam waktu yang diinginkan. Oleh karena itu diperoleh distribusi panas fluida yang baik dan diamati tidak ada kebuntuan saluran karena pendinginan

Tidak ada porositas penyusutan pada coran. Penyusutan hanya terjadi pada bagian atas riser dan sedikit di bagian runner.

## Penghargaan

Penelitian ini didanai dari program PENELITIAN di PERGURUAN TINGGI tahun 2017-2018, simulator Z-CastPro diperoleh dari KITECH dengan dukungan komputasi PPTI-KA ITB/Kemenprind.

## Referensi

- [1] Mohd Rizuan Mohammed Shafiee, "Effects of gating design on the mechanical strength of thin section castings", ELSEVIER: Journal of Materials Processing Technology, Vol-105, Pg. 128-133, 2009.
- [2] T.Nandi, "Optimization of Riser size of Aluminium alloy (LM6) castings by using conventional method and computer simulation technique", International Journal of Scientific & Engineering Research, Vol-2, 2011, ISSN 2229- 5518. 2011
- [3] Lee, P.D, Chirazi, and See, D., "Modelling micro porosity in aluminium -silicon alloys: a review". Journal of light metals. Vol.1 Pg 15-30, 2001.
- [4] Katzarov, I.H Finite element modelling of the porosity formation in casting. International Journal of Heat and Mass Transfer. Vol 46. Pg. 1545-1552, 2003.
- [5] G.Ravi, Dr.Pradip Kumar Talapatra. Optimization of Gating System Design for Cast Iron & S.G Iron Foundries. International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT). 2017
- [6] Ravi, Metal Casting: Computer-Aided Design and Analysis, Prentice-Hall India, New Delhi, 2005.
- [7] B. Ravi, R.C. Creese and D. Ramesh, "Design for Casting – A New Paradigm to Prevent Potential Problems," Transactions of the AFS, 107, 1999.
- [8] Shamasunder S., "To believe or not to believe results of casting simulation software", ALUCAST, pp. 62-67, 2012.