

Evaluasi Efisiensi *Riser* Untuk Bentuk *Riser* Samping yang Berbeda Menggunakan Metode Simulasi *Casting*

Galuh Bahari^{1*}, Benidiktus Tulung Prayoga²

^{1,2}Departemen Teknik Mesin, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada

^{1,2}Jalan Yacarana, Sekip Unit IV Yogyakarta, Indonesia

E-mail: galuh.bahari@ugm.ac.id¹, beni@ugm.ac.id²

Info Naskah:

Naskah masuk: 30 Mei 2023

Direvisi: 26 Juni 2023

Diterima: 29 Juni 2023

Abstrak

Ketika proses solidifikasi mencapai area pusat panas, tidak ada logam cair yang tersisa dan rongga susut yang disebut *shrinkage* terbentuk. Untukantisipasi *shrinkage* ditambahkan *riser*. Desain *riser* yang optimal menghasilkan komponen yang bebas dari *shrinkage*. Salah satu faktor yang mempengaruhi efisiensi *riser* adalah bentuk *riser*. Penelitian ini bertujuan mencari bentuk *riser* yang paling efisien dengan menggunakan *software* simulasi untuk bentuk *riser* samping. Bentuk *riser* yang digunakan dalam penelitian ini yaitu; tabung, tabung dengan setengah bola di bagian atas, setengah bola, tabung konus, tabung dengan penampang oval, dan kubus. Volume pada semua tipe *riser* dibuat konstan. Bentuk *riser* yang paling efisien adalah tabung. Dengan volume yang sama, bentuk *riser* tabung menghasilkan modulus yang lebih besar. Pada bentuk *riser* tabung pembekuan terarah terjadi. Pola yang sama dapat dilihat pada niyama kriteria dan temperatur solidifikasi, dimana untuk bentuk *riser* tabung memiliki pola yang lebih kontinyu/tidak terputus jika dibandingkan dengan bentuk *riser* lain.

Keywords:

riser shape;
riser efficiency;
casting simulation;
shrinkage;
side riser;

Abstract

As the solidification reaches the hot spot area, no molten metal remains and shrinkage is formed. To anticipate the shrinkage, a riser is added to the casting system. An optimal riser design would produce free shrinkage components. One of the factors that affect riser efficiency is the riser shape. This study aims to find the most efficient side riser shape by using simulation software. The riser shape of tubes, tubes with a half sphere on top, hemispheres, conical tubes, tubes with an oval cross-section, and cubes are used in this experiment, with the volume of all risers kept constant. The most efficient shape of the riser is the tube. The tube riser produces a larger modulus. The tube riser generated directional solidification. The same pattern can be seen in the niyama criteria and solidification temperature, where the tube riser has a more continuous pattern compared to other riser shapes.

*Penulis korespondensi:

Galuh Bahari

E-mail: galuh.bahari@ugm.ac.id

1. Pendahuluan

Pengecoran logam sering digunakan untuk memproduksi komponen dengan bentuk yang kompleks, yang sulit atau memakan waktu apabila diproses dengan proses manufaktur lain. Pengecoran logam adalah salah satu proses manufaktur yang paling rumit [1]. Dalam proses pengecoran logam banyak parameter yang perlu dikontrol secara bersamaan, semua parameter tersebut harus benar, karena kegagalan hanya di satu parameter proses akan menyebabkan proses pengecoran gagal.

Salah satu tahap penting dalam proses pengecoran logam adalah proses solidifikasi ketika logam cair dituangkan ke dalam rongga cetak. Ketika proses solidifikasi mencapai area pusat panas, tidak ada logam cair yang tersisa dan rongga susut yang disebut *shrinkage* terbentuk [2]. Untukantisipasi *shrinkage* tersebut ditambahkan *riser* yang berfungsi mengompensasi cairan untuk mengisi rongga susut yang terbentuk saat proses solidifikasi. *Riser* bertindak sebagai reservoir logam cair dan sumber suplai cairan untuk menghilangkan *shrinkage* [3]. Desain *riser* yang optimal akan menghasilkan komponen *casting* yang bebas dari *shrinkage*. Salah satu faktor yang mempengaruhi efisiensi *riser* adalah bentuk *riser* [4].

Penggunaan *software* simulasi *casting* untuk mencegah *defect shrinkage* secara umum sudah banyak digunakan [5]–[7]. Penggunaan *software* simulasi terbukti berhasil memberikan gambaran saat proses desain sehingga *defect shrinkage* yang diakibatkan oleh rancangan coran dapat dihindari.

Pemodelan matematis dan analisa numerik terkait pengaruh dari bentuk *riser* terhadap efektifitas *feeding* sudah dilakukan oleh beberapa peneliti [8], [9]. Untuk bentuk *riser* silindris, sesaat sebelum proses solidifikasi berakhir, garis pembekuan terdapat di bagian atas dari komponen *casting*, dimana pada bagian tersebut terdapat *shrinkage*. Untuk bentuk *riser* konus fenomena tersebut tidak ditemukan. Pada bentuk *riser* ini pembekuan terakhir terjadi di *riser*, sehingga *shrinkage cavity* terdapat di *riser* bukan pada komponen *casting*. Bentuk *riser* konus menghasilkan komponen *casting* yang bebas dari *defect shrinkage*.

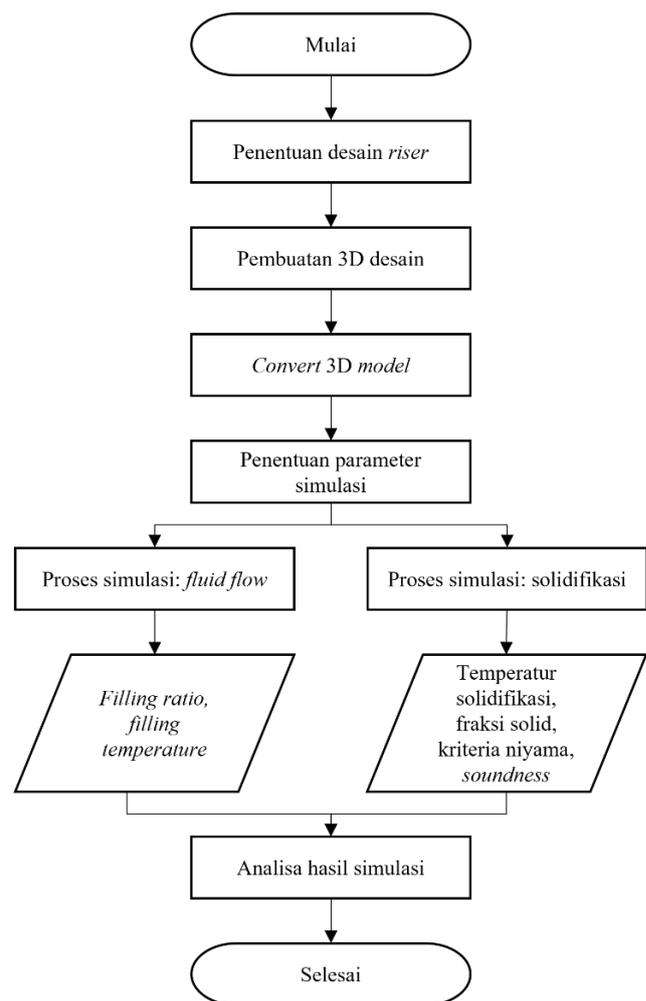
Beberapa penelitian lain menggunakan pendekatan simulasi CAE untuk mengukur tingkat efisiensi dan efektifitas bentuk *riser*. Shuvo dan Manogharan (2021) melakukan penelitian pengaruh tiga bentuk *riser* berbeda; *ellipsoid*, *spherical*, dan silindris untuk aplikasi pada *riser* atas [3]. Penelitian lain yang dilakukan oleh Malik dkk (2020) membandingkan bentuk *riser taper* silindris dan silindris untuk aplikasi pada *riser* atas dengan *riser* juga diposisikan sebagai *sprue* [10]. Wang dan Yao (2022) membandingkan bentuk *riser* silindris, silindris dengan *riser neck*, dan *riser-less* untuk aplikasi *riser* atas [11]. Seo dkk (2018) mebandingkan bentuk *riser* silindris, *taper* silindris, dan silindris ber-step untuk aplikasi *riser* atas pada komponen *turbine housing* [12]. Penelitian-penelitian tersebut mengamati pengaruh bentuk *riser* terhadap efisiensi *riser* untuk bentuk-bentuk *riser* atas. Perubahan pada bentuk *riser* akan memengaruhi proses solidifikasi dan posisi *shrinkage*.

Pada produksi skala besar penggunaan *riser* atas terbatas, terutama pada mesin cetak otomatis dengan dengan

belahan horizontal. Penggunaan *riser* samping lebih efisien dalam pembuatan cetakan karena arah kemiringan komponen dan *riser* searah, sehingga tidak perlu proses tambahan dalam pembuatan cetakan, dan mesin bisa dijalankan secara otomatis. Tujuan dari penelitian ini adalah mencari bentuk *riser* yang paling efisien dengan menggunakan *software* simulasi *casting* untuk mencegah terjadinya *shrinkage* pada komponen *casting* untuk bentuk *riser* samping. Diharapkan dengan *riser* yang efisien dapat menghasilkan komponen *casting* yang bebas dari *defect shrinkage* dengan menghasilkan *yield casting* yang tinggi.

2. Metode

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode simulasi *casting*. Alur proses penelitian dapat dilihat pada diagram alir di Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.1 Material

Software simulasi CAE yang digunakan pada penelitian ini adalah ADSTEFAN dengan ukuran *mesh* yang digunakan 1,3 mm. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah FC200 dengan temperatur *pouring* 1425 °C. Jenis pasir yang digunakan pada saat simulasi adalah *greensand* dengan *material properties* seperti pada Tabel 1. *Material*

properties FC200 yang digunakan saat simulasi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Material properties pasir greensand

Parameter	Nilai
Density (g/cm ³)	1,5
Thermal conductivity (cal/cm.s.°C)	0,00196
Specific heat (cal/g.°C)	0,251
Initial temperature (°C)	20

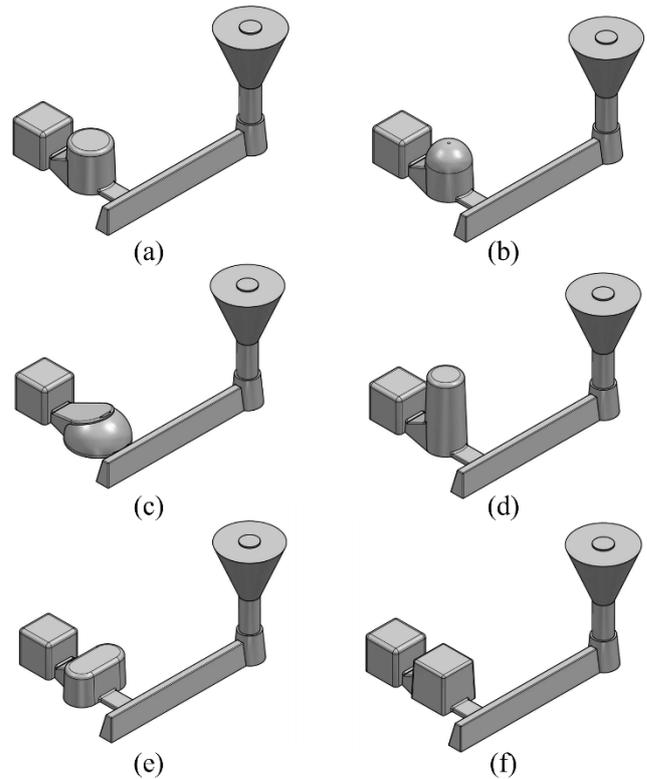
Tabel 2. Material properties FC200

Parameter	Nilai
Density (g/cm ³)	7,25
Thermal conductivity (cal/cm.s.°C)	0,07
Specific heat (cal/g.°C)	0,17
Initial temperature (°C)	1425
Liquidus temperature (°C)	1182
Solidus Temperature (°C)	1140
Latent Heat (cal/g)	48
Surface Tension (dyn/cm)	1870
Kinematic Viscosity (cm ² /s)	0,0089
Shrinkage ratio (%)	0,5
Crit. Solid fraction for fluid flow	0,3
Crit. Solid fraction for solidification	0,8
Thermal expansion (1/°C)	1,35E-05

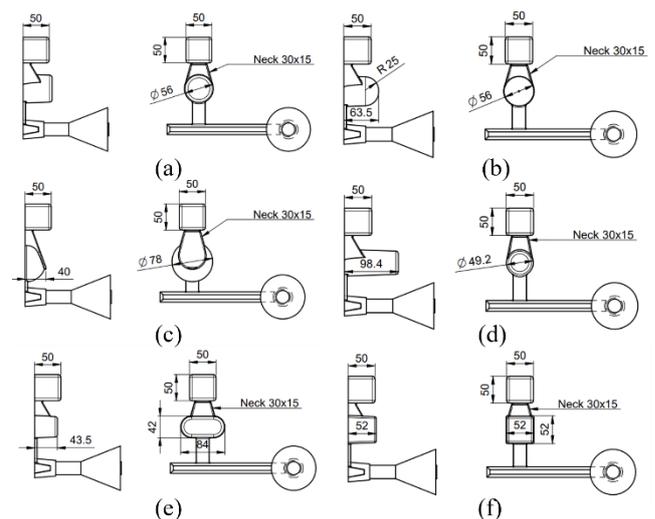
2.2 Desain CAD

Enam bentuk riser yang digunakan untuk penelitian dirancang bisa dicetak langsung dengan mesin cetak belahan horizontal tanpa ada bagian lepas atau *undercut*. Bentuk riser yang digunakan dalam penelitian ini yaitu; tabung, tabung dengan setengah bola di bagian atas, setengah bola, tabung konus, tabung dengan penampang oval, dan kubus. Volume pada semua tipe riser dibuat konstan. Volume untuk semua tipe riser adalah 128,5 cm³.

Gating system yang terdiri dari *sprue cup*, *sprue*, *runner*, dan *ingate* digunakan untuk menyalurkan cairan dari proses *pouring* ke riser dan komponen. Komponen *casting* berbentuk kubus dengan dimensi konstan dengan kemiringan positif 2° di semua sisi kontak vertikal dengan cetakan. Pada bagian sudut diberi radius tuang 5mm, kecuali pada area belahan pisah. Pada area kontak antara riser dan komponen terdapat riser neck dengan dimensi konstan untuk semua bentuk riser. Dimensi komponen adalah 50x50x50 mm. Gambar riser, komponen, dan *gating system* dapat dilihat di Gambar 2. Dimensi dari riser dapat dilihat di Gambar 3.



Gambar 2. Gambar riser, komponen, dan *gating system* yang digunakan untuk bentuk riser tabung (a), tabung dengan setengah bola di bagian atas (b), setengah bola (c), tabung konus (d), tabung dengan penampang oval (e), kubus (f)



Gambar 3. Dimensi riser (mm) tabung (a), tabung dengan setengah bola di bagian atas (b), setengah bola (c), tabung konus (d), tabung dengan penampang oval (e), kubus (f)

3. Hasil dan Pembahasan

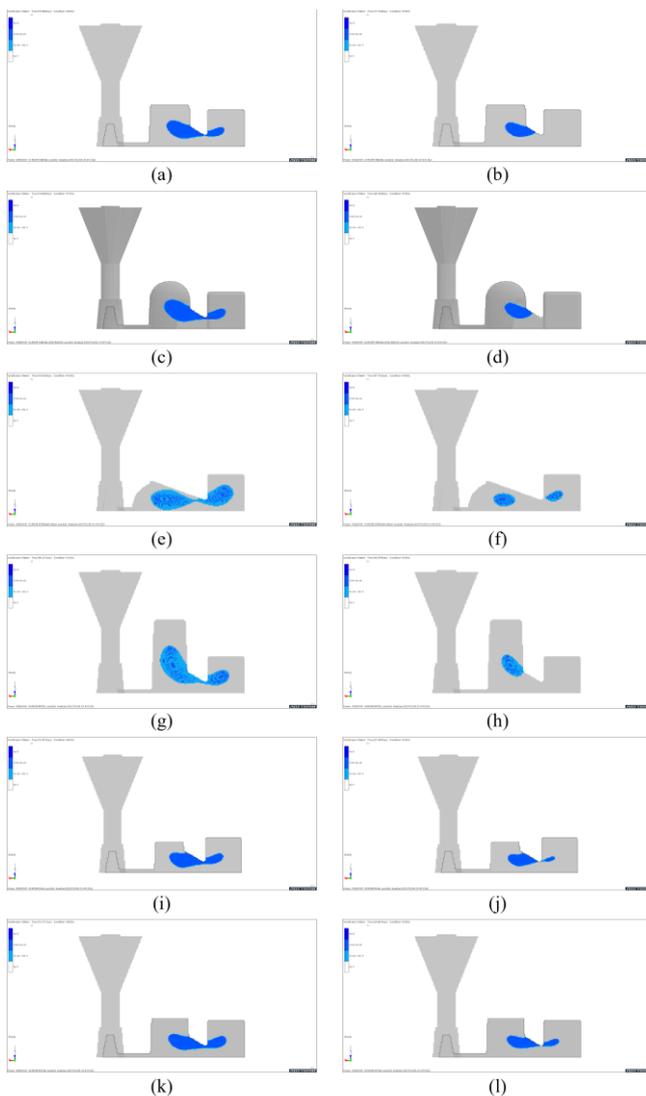
3.1 Fraksi Solid

Fraksi solid adalah presentasi *volume* padatan yang terbentuk pada saat solidifikasi. Fase padat dan porositas tidak berpindah tempat, keduanya tidak bisa pindah saat proses solidifikasi. Namun, pada nilai fraksi solid dibawah

limit koherensi, fraksi solid dapat berubah menjadi porositas [13].

Tabel 3. Waktu pembekuan untuk masing-masing bentuk *riser*

Jenis bentuk <i>riser</i>	Waktu pembekuan (s)
Tabung	360,82
Tabung dengan setengah bola di bagian atas	370,15
Setengah bola	331,85
Konus	374,56
Tabung penampang oval	354,93
Kubus	348,05



Gambar 4. Fraksi solid untuk untuk *riser* tabung pada solidifikasi 98% dan 99% (a,b), *riser* tabung dengan setengah bola dibagian atas pada solidifikasi 97% dan 99% (c,d), *riser* setengah bola pada solidifikasi 95% dan 99% (e,f), *riser* konus pada solidifikasi 95% dan 99% (g,h), *riser* tabung penampang kotak pada solidifikasi 98% dan 99% (i,j), dan *riser* kubus pada solidifikasi 98% dan 99%.

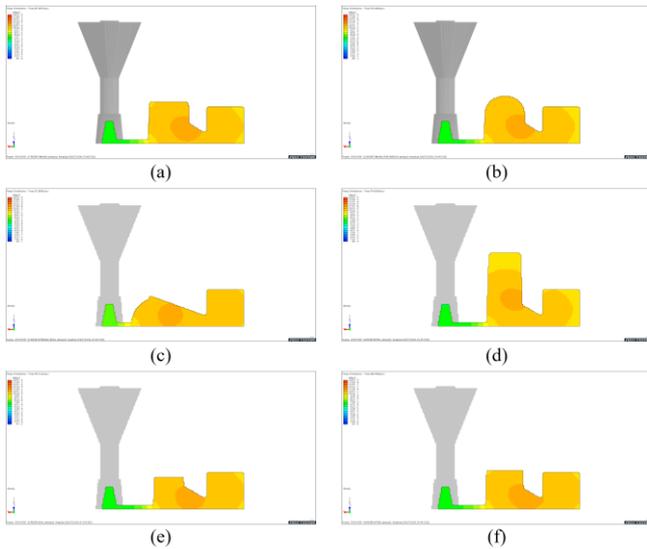
Dapat dilihat pada Gambar 4, pembekuan terakhir untuk masing-masing bentuk *riser* berbeda. Untuk bentuk *riser* tabung, tabung dengan penampang oval, dan kubus, pembekuan terarah terjadi sampai 98% solidifikasi. Untuk bentuk tabung, pada solidifikasi 99% komponen 100% solid, tidak ada pembekuan terputus, pembekuan terakhir terjadi di *riser*. Untuk bentuk tabung penampang oval dan kubus, komponen belum 100% solid pada solidifikasi 99%, terjadi pembekuan terputus. Untuk bentuk *riser* tabung dengan tambahan setengah bola di bagian atas, pembekuan terarah terjadi sampai 97% solidifikasi, pada solidifikasi 98% pembekuan terputus. Komponen 100% solid pada 99% solidifikasi. Untuk bentuk setengah bola dan konus, pembekuan terarah terjadi sampai 95% solidifikasi, pembekuan terputus terjadi sampai 99% solidifikasi. Komponen belum 100% solid pada solidifikasi 99% untuk bentuk setengah bola, sedangkan untuk bentuk konus komponen 100% solid pada solidifikasi 99%.

Waktu pembekuan untuk masing-masing bentuk *riser* dapat dilihat pada Tabel 3. *Riser* setengah bola memiliki waktu pembekuan paling cepat, yaitu selama 331,85 s. *Riser* konus memiliki waktu pembekuan paling lama, yaitu 374,56 s. Secara berturut-turut berikut urutan waktu pembekuan untuk masing-masing bentuk *riser*, diurutkan dari yang paling rendah sampai paling tinggi adalah; setengah bola, kubus, tabung penampang oval, tabung, tabung dengan setengah bola di bagian atas, konus. Waktu pembekuan mengindikasikan kemampuan *riser* untuk menyimpan panas. Semakin lama waktu pembekuan, semakin baik kemampuan *riser* dalam menyimpan panas. Bentuk *riser* memiliki pengaruh terhadap kemampuannya untuk menyimpan panas.

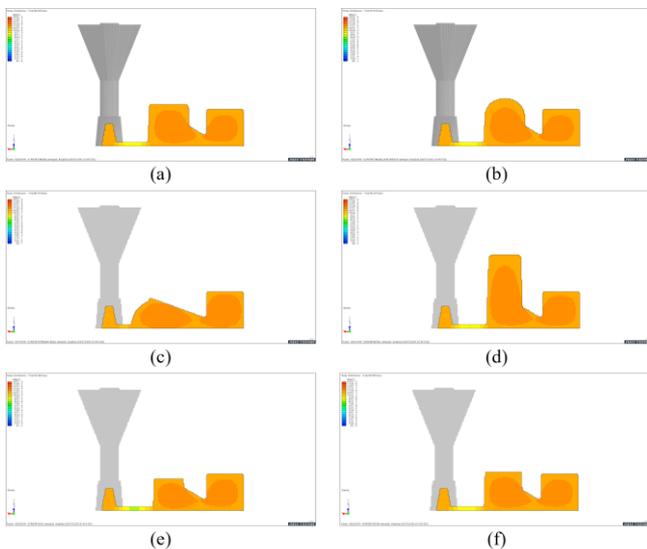
3.2 Temperatur solidifikasi

Temperatur solidifikasi untuk masing-masing bentuk *riser* dapat dilihat pada Gambar 5. Untuk semua bentuk *riser*, pada saat solidifikasi 100% temperatur yang paling tinggi berada di area *riser*. Untuk bentuk *riser* tabung dan tabung dengan setengah bola di bagian atas distribusi temperatur paling tinggi berada di area kontak antara *riser* dan *riser neck*. Area dengan temperatur paling tinggi pada *riser* tabung cenderung pada posisi permukaan lebih rendah. Untuk bentuk *riser* setengah bola dan konus distribusi temperatur paling tinggi terdapat di area *riser*. Sedangkan untuk bentuk *riser* tabung penampang oval dan kubus, distribusi temperatur paling tinggi cenderung berada di area *riser neck* dan lebih dekat dengan komponen.

Walaupun pada 100% solid area temperatur terakhir berada di area *riser*, distribusi temperatur terputus terjadi pada waktu yang berbeda untuk masing-masing bentuk *riser* seperti dapat dilihat pada Gambar 6. Area dengan warna yang lebih merah memiliki temperatur diatas temperatur likuidus, area dengan warna yang lebih oranye berada diantara temperatur likuidus dan solidus. Untuk bentuk *riser* tabung, tabung dengan setengah bola di bagian atas, tabung penampang oval, dan kubus distribusi temperatur terputus terjadi di 24% dari solidifikasi. Untuk *riser* setengah bola distribusi temperatur terputus terjadi di 16% dari solidifikasi, sedangkan untuk *riser* konus distribus temperatur terputus terjadi di 20% dari solidifikasi.



Gambar 5. Distribusi temperatur solidifikasi pada 100% solid untuk bentuk riser tabung (a), tabung dengan setengah bola di bagian atas (b), setengah bola (c), konus (d), tabung penampang oval (e), kubus (f)



Gambar 6. Distribusi temperatur untuk bentuk riser tabung pada 24% solidifikasi (a), tabung dengan setengah bola di bagian atas pada 24% solidifikasi (b), setengah bola pada 16% solidifikasi (c), konus pada 20% solidifikasi (d), tabung penampang oval pada 24% solidifikasi (e), kubus pada 24% solidifikasi (f)

3.3 Niyama kriteria

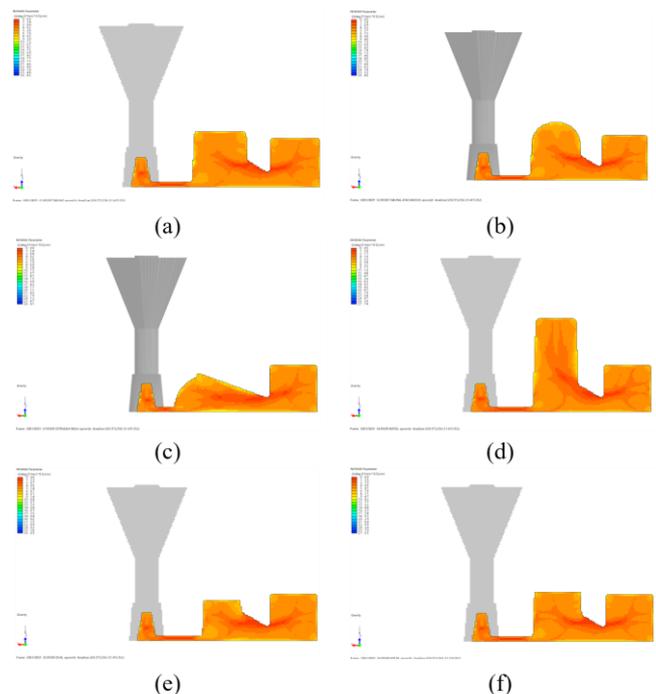
Selain simulasi langsung, berbagai kriteria digunakan untuk memperkirakan pembentukan *shrinkage* berdasarkan parameter termofisika dari proses solidifikasi [14]. Salah satu kriteria yang sering digunakan adalah Niyama kriteria [14]–[16]. Niyama kriteria adalah kriteria paling penting untuk prediksi porositas akibat *shrinkage* [15]. Niyama kriteria dipengaruhi oleh *temperature gradient* dan *cooling rate* seperti bisa dilihat pada persamaan (1).

$$Ny = G/\sqrt{T^{\circ}} \left(\frac{\sqrt{C \cdot \min}}{cm} \right) \quad (1)$$

dimana G adalah *temperature gradient* dan T° adalah *cooling rate*.

Probabilitas terbentuknya *shrinkage* akan meningkat dengan turunnya nilai Ny . Jika niyama kriteria lebih rendah dari nilai kritis, maka pembentukan *shrinkage* pasti terjadi. Namun, belum ada nilai kritis niyama kriteria yang pasti yang ditetapkan untuk macam material yang berbeda [14].

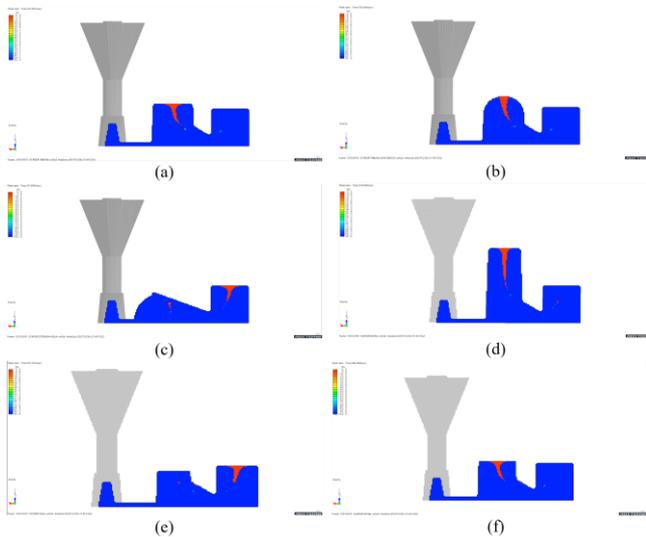
Nilai niyama kriteria yang lebih rendah ditunjukkan oleh warna merah. Pola yang sama seperti pada fraksi solid dan temperatur solidifikasi dapat dilihat pada Gambar 7. Untuk semua bentuk riser nilai niyama kriteria yang paling rendah berada pada area kontak antara komponen dan riser. Untuk bentuk riser setengah bola dan konus, area dengan nilai niyama kriteria rendah cenderung tidak menyatu, titik nilai niyama terendah terpisah di beberapa titik pada riser, riser neck, dan komponen. Untuk bentuk riser tabung, tabung dengan setengah bola di bagian atas, konus, tabung penampang oval, dan kubus memiliki pola yang sama, dimana nilai niyama kriteria terendah pada bentuk riser tersebut cenderung lebih menyatu. Posisi area niyama kriteria terendah untuk bentuk riser tabung penampang oval berada di area riser neck dan komponen. Sedangkan posisi area niyama kriteria rendah untuk bentuk riser tabung, tabung dengan setengah bola di bagian atas, dan kubus lebih menjorok ke riser. Namun, distribusi area niyama kriteria rendah yang kontinyu didapati di bentuk riser tabung dan kubus. Posisi area niyama yang berbeda dan kontinuitasnya dipengaruhi oleh *temperature gradient* dan *cooling rate*. Area yang tidak kontinyu mengindikasikan *cooling rate* dan *temperature gradient* yang berbeda. Rasio antara luas area dan tinggi juga mempengaruhi nilai niyama kriteria [15].



Gambar 7. Nilai niyama kriteria untuk bentuk riser tabung (a), tabung dengan setengah bola di bagian atas (b), setengah bola (c), konus (d), tabung penampang oval (e), dan kubus (f)

3.4 Soundness

Salah satu parameter yang digunakan untuk evaluasi kualitas coran adalah *soundness*. Kondisi dimana komponen coran bebas dari internal *defect* seperti *shrinkage*, inklusi maupun retak biasa disebut *sound casting*. Gambar *soundness* untuk bentuk *riser* yang berbeda dapat dilihat di Gambar 8. Warna merah menunjukkan rasio keterisian 0% sedangkan warna biru menunjukkan rasio keterisian 100%. Nilai rasio keterisian dibawah 100% menunjukkan titik/area tersebut tidak solid/memiliki porositas.



Gambar 8. Rasio keterisian untuk bentuk *riser* tabung (a), tabung dengan setengah bola di bagian atas (b), setengah bola (c), konus (d), tabung penampang oval (e), dan kubus (f)

Pada bentuk *riser* tabung, tabung dengan setengah bola di bagian atas, dan kubus, pada komponen tidak ditemukan titik/area dengan rasio keterisian 0%. Pada bentuk *riser* tabung tabung, tabung dengan setengah bola di bagian atas, dan kubus ditemukan titik dengan rasio keterisian 65-75% dengan volume berturut-turut 1,0767, 1,2819, dan 1,6259 mm³. Untuk bentuk *riser* konus pada komponen terdapat titik/area dengan rasio keterisian 0% dengan volume 8,7879 mm³ dan titik dengan rasio keterisian 65-75% dengan volume 0,5143 mm³. Untuk bentuk *riser* setengah bola dan tabung penampang oval terbentuk area dengan rasio keterisian 0% tinggi, yaitu 1181,9609 mm³ untuk bentuk *riser* setengah bola dan 1230,3 mm³ untuk bentuk *riser* tabung dengan penampang oval. Hal ini diakibatkan oleh dua hal, yaitu; modulus untuk kedua bentuk *riser* tersebut sama dengan komponen, dan tinggi dari kedua bentuk *riser* tersebut lebih rendah dari tinggi komponen, sehingga tekanan hidrostatik pada *riser* tidak lebih besar dari tekanan hidrostatik pada komponen. Tekanan hidrostatik *riser* yang lebih rendah mengakibatkan pada saat solidifikasi komponen yang menyuplai cairan ke *riser*. Detail volume *shrinkage* dapat dilihat pada Tabel 4.

Walaupun secara tinggi *riser* bentuk *riser* konus lebih tinggi dibanding bentuk *riser* tabung, dan tabung dengan setengah bola di bagian atas, modulus untuk bentuk *riser* tersebut lebih kecil dibandingkan dengan bentuk tabung, dan

tabung dengan setengah bola di bagian atas. Jika dibandingkan dengan bentuk *riser* kubus, walaupun secara modulus bentuk *riser* konus lebih besar modulusnya, efisiensi volume *riser* yang menyuplai komponen lebih rendah. Tinggi dan modulus untuk masing-masing bentuk *riser* dan komponen dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel 4. Volume *shrinkage* pada area *riser*, *riser neck*, dan komponen untuk masing-masing bentuk *riser*

Jenis bentuk <i>riser</i>	Volume <i>shrinkage</i> (mm ³)		
	<i>Riser</i>	<i>Riser neck</i>	Komponen
Tabung	1256,6579	2,6974	1,0767
Tabung dengan setengah bola di bagian atas	1256,6539	2,3573	1,2819
Setengah bola	44,5783	0,0000	1182,4877
Konus	1428,0206	0,0000	9,3022
Tabung penampang oval	13,1818	10,5582	1230,7918
Kubus	1247,8679	4,3939	1,6259

Tabel 5. Tinggi *riser* dan komponen

<i>Riser/komponen</i>	Tinggi (mm)
Komponen	50,00
Tabung	56,00
Tabung dengan setengah bola di bagian atas	63,50
Setengah bola	40,00
Konus	98,40
Tabung penampang oval	43,50
Kubus	53,00

Tabel 6. Modulus komponen dan *riser*

<i>Riser/komponen</i>	Modulus <i>riser</i> (cm)
Komponen	0,87
Tabung	1,04
Tabung dengan setengah bola di bagian atas	0,95
Setengah bola	0,88
Konus	0,93
Tabung penampang oval	0,87
Kubus	0,87

Efisiensi volume *riser* yang menyuplai komponen selama proses solidifikasi bisa dihitung dengan membandingkan volume *shrinkage* pada *riser* dengan volume *risernya*. Untuk bentuk *riser* konus persentase volume *riser* yang menyuplai komponen pada saat solidifikasi adalah 0,8840% sedangkan untuk bentuk *riser* kubus sebesar 0,9578%. Volume *shrinkage* (%) dapat dilihat pada Tabel 7.

Volume *shrinkage* pada komponen yang paling rendah didapati pada bentuk *riser* tabung. Modulus untuk bentuk

riser tabung lebih besar dibandingkan dengan bentuk *riser* tabung dengan setengah bola di bagian atas. Walaupun *software* simulasi sudah digunakan, modulus geometri pada *casting* adalah kriteria pertama untuk evaluasi internal *defect* dari komponen *casting* [15]. Untuk menghasilkan pembekuan terarah pada saat solidifikasi modulus *riser* harus dibuat lebih besar dari modulus *casting*. Untuk volume *riser* yang sama, modulus *riser* yang paling besar adalah untuk bentuk *riser* tabung.

Tabel 7. Volume *shrinkage* (%) pada area *riser*, dan komponen dibandingkan dengan volumenya

Jenis bentuk <i>riser</i>	Volume <i>shrinkage</i> (%)	
	<i>Riser</i>	Komponen
Tabung	0,9778	0,0009
Tabung dengan setengah bola di bagian atas	0,9791	0,0010
Setengah bola	0,0346	0,9619
Konus	0,8840	0,0076
Tabung penampang oval	0,0101	1,0012
Kubus	0,9578	0,0013

4. Kesimpulan

Efisiensi *riser* paling baik adalah pada bentuk *riser* tabung. Dapat dilihat dari volume *shrinkage* pada komponen, untuk bentuk *riser* tabung memiliki volume *shrinkage* paling kecil jika dibandingkan dengan volume *shrinkage* pada komponen untuk bentuk *riser* lainnya, yaitu sebesar 1,0767 mm³. Dengan volume yang sama, bentuk *riser* tabung menghasilkan modulus yang lebih tinggi dibandingkan dengan bentuk *riser* lainnya. Pada bentuk *riser* tabung pembekuan terarah terjadi, tidak didapati ada pembekuan terputus. Pola yang sama dapat dilihat pada niyama kriteria dan temperatur solidifikasi, dimana untuk bentuk *riser* tabung memiliki pola niyama kriteria dan temperature solidifikasi yang lebih kontinyu/tidak terputus jika dibandingkan dengan bentuk *riser* lain. Faktor lain yang mempengaruhi efisiensi adalah tinggi *riser*, untuk bentuk *riser* yang tinggi *riser*-nya tidak lebih dari tinggi komponen, *riser* tidak berfungsi secara optimal. Volume *shrinkage* pada komponen lebih tinggi dibandingkan volume *shrinkage* pada *riser*.

Efisiensi *riser* tidak hanya dipengaruhi oleh bentuk *riser*. Rasio tinggi dan diameter, jarak terhadap komponen, dan fitur-fitur tambahan pada *riser* seperti takikan dan setengah bola di bagian bawah *riser* diketahui juga memiliki pengaruh pada efisiensi *riser*. Penelitian lanjutan yang akan dilakukan adalah mencari rasio tinggi dan diameter *riser* serta fitur-fitur *riser* tambahan yang ideal untuk menghasilkan efisiensi *riser* samping yang optimal.

Daftar Pustaka

- [1] K. Salonitis, B. Zeng, H. A. Mehrabi, and M. Jolly, "The Challenges for Energy Efficient Casting Processes," in *Procedia CIRP*, 2016. doi: 10.1016/j.procir.2016.01.043.
- [2] G. A. Hodbe and B. R. Shinde, "Design and Simulation of LM 25 Sand Casting for Defect Minimization," in *Materials Today: Proceedings*, 2018. doi: 10.1016/j.matpr.2017.12.018.
- [3] M. M. Shuvo and G. Manogharan, "Novel riser designs via 3D sand printing to improve casting performance," in *Procedia Manufacturing*, 2021. doi: 10.1016/j.promfg.2021.06.052.
- [4] T. Skrzypczak, E. Węgrzyn-Skrzypczak, and L. Sowa, "Investigation of the impact of geometry of the riser on the location and shape of shrinkage cavity," *MATEC Web of Conferences*, vol. 254, 2019, doi: 10.1051/mateconf/201925402010.
- [5] P. Futáš, A. Pribulová, G. Fedorko, V. Molnár, A. Junáková, and V. Laskovský, "Failure analysis of a railway brake disc with the use of casting process simulation," *Eng Fail Anal*, vol. 95, 2019, doi: 10.1016/j.engfailanal.2018.09.005.
- [6] H. Y. Seo, P. K. Seo, and C. G. Kang, "A study on the S/W application for a riser design process for fabricating axisymmetric large offshore structures by using a sand casting process," *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, vol. 11, no. 1, 2019, doi: 10.1016/j.ijnaoe.2018.08.003.
- [7] B. Tadele Bekele, J. Bhaskaran, S. Dufera Tolcha, and M. Gelaw, "Simulation and experimental analysis of re-design the faulty position of the riser to minimize shrinkage porosity defect in sand cast sprocket gear," *Mater Today Proc*, vol. 59, 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2021.12.090.
- [8] L. Sowa, T. Skrzypczak, and P. Kwiaton, "The influence of riser shape on feeding effectiveness of solidifying casting," *Archives of Foundry Engineering*, vol. 19, no. 4, 2019, doi: 10.24425/afe.2019.129636.
- [9] L. Sowa, T. Skrzypczak, and P. Kwiaton, "NUMERICAL EVALUATION OF THE IMPACT OF RISER GEOMETRY ON THE SHRINKAGE DEFECTS FORMATION IN THE SOLIDIFYING CASTIN," *Archives of Metallurgy and Materials*, vol. 67, no. 1, 2022, doi: 10.24425/amm.2022.137487.
- [10] I. Malik, A. A. Sani, and A. Medi, "Study on using Casting Simulation Software for Design and Analysis of Riser Shapes in a Solidifying Casting Component," in *Journal of Physics: Conference Series*, 2020. doi: 10.1088/1742-6596/1500/1/012036.
- [11] T. Wang and S. Yao, "Research of Feeding Effect of Ductile Cast Iron under Different Riser Conditions," *Metals (Basel)*, vol. 12, no. 3, 2022, doi: 10.3390/met12030412.
- [12] H. Y. Seo, C. K. Jin, and C. G. Kang, "Design of a gate system and riser optimization for turbine housing and the experimentation and simulation of a sand casting process," *Advances in Mechanical Engineering*, vol. 10, no. 8, 2018, doi: 10.1177/1687814018795045.
- [13] V. Khalajzadeh and C. Beckermann, "Simulation of Shrinkage Porosity Formation During Alloy Solidification," *Metall Mater Trans A Phys Metall Mater Sci*, vol. 51, no. 5, 2020, doi: 10.1007/s11661-020-05699-z.
- [14] E. S. Ivanina, V. P. Monastyrskiy, and M. Y. Ershov, "Quantitative Estimation of Formation of Shrinkage Porosity by the Niyama Criterion," *Inorganic Materials: Applied Research*, vol. 13, no. 1, 2022, doi: 10.1134/S2075113322010130.
- [15] A. Abootorabi, B. Korojy, and M. A. Jabbareh, "Effect of mould design on the Niyama criteria during solidification of CH3C 80t ingot," *Ironmaking and Steelmaking*, vol. 47, no. 7, 2020, doi: 10.1080/03019233.2019.1583879.
- [16] B. Zhou, D. Wu, R. Chen, and E. H. Han, "Prediction of Shrinkage Microporosity in Gravity-Cast and Low-Pressure Sand-Cast Mg-6Gd-3Y-0.5Zr Magnesium Alloys," *Adv Eng Mater*, vol. 21, no. 12, 2019, doi: 10.1002/adem.201900755.