

## Bell casting using Gema's local clay: Mold performance and gating design influence variations

Dedy Masnur<sup>a,1</sup>, Ashadi<sup>a</sup>, Putri Nawangsari<sup>a</sup>, Warman Fatra<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Jurusan Teknik Mesin, Universitas Riau, Pekanbaru, 28293

<sup>1</sup>Email korespondensi: [dedy.masnur@lecturer.unri.ac.id](mailto:dedy.masnur@lecturer.unri.ac.id)

**Abstract.** Indonesia has a large potential of natural clays, one of which is located in Gema Village, Lipat Kain Subdistrict, Kampar Regency, Riau Province. This study aims to evaluate the feasibility of Gema clay as a mold material for casting Al-4.5 wt.% Cu alloy using different gating system designs (single sprue, double sprue, and sprue with riser). The Gema village clay was formed into two mold halves, the lower and upper molds. Then, dried stepwise up to 359 °C for 40 minutes. Al-4.5 wt.% Cu was melted in a crucible furnace to 780 °C, then poured into the mold. The casting defects were observed, the representative dimensions and the hardness were measured. The results show Gema clay is applicable as a molding material because of low distortion and thus does not contribute to dimensional inaccuracies of the product. The design with a sprue and a riser produced the smallest dimensional deviation (0.35%) and the highest hardness (56.486 VHN), while other configurations exhibited the most significant defects. These findings suggest that the design of gating systems strongly affects casting quality, and Gema clay shows potential as an alternative mold material. Nevertheless, further characterization of mechanical properties and permeability is required for optimization.

**Keywords:** bell making, clay, gating system, ceramic mold

**Received:** 30 September 2025; **Presented:** 9 October 2025; **Publication:** 9 March 2026

DOI: <https://doi.org/10.71452/zeg34d84>

### PENDAHULUAN

Desa Gema, kecamatan Lipat Kain, kabupaten Kampar, propinsi Riau, Indonesia memiliki potensi lempung alam yang cukup besar [1]. Lempung dapat digunakan secara luas sebagai bahan keramik, bahan bangunan, bahan pelapisan kertas atau bahan farmasi. Lempung Desa Gema memiliki kandungan SiO<sub>2</sub> sebesar 53,7%. Lempung alam dengan kandungan silika yang tinggi menyebabkan ikatan antar butir lempung semakin kuat dan mudah dibentuk sehingga cocok dijadikan bahan cetakan. Lempung memiliki mampu bentuk yang baik untuk membentuk cetakan yang dapat meningkatkan kekuatan cetakan dan tahan terhadap temperatur tinggi [2], [3]. Saat ini lempung di Desa Gema belum dimanfaatkan secara optimal. Penggunaan sebagai bahan cetakan pengecoran logam berpeluang meningkatkan nilai ekonomis, seperti mengenalkan lempung sebagai salah satu material alternatif cetakan pada industri kecil pengecoran di Provinsi Riau.

Lempung dikenal sebagai salah satu material cetakan dalam pembuatan lonceng. Pembuatan lonceng telah ada sejak zaman kuno seperti pada abad ke 2 hingga ke 3 SM di India Selatan dengan menggunakan lilin sebagai pola cetakan dan dibuat dengan proses pengecoran *lost wax casting* atau dikenal dengan proses *investment casting* [4]. Metode lain ditemukan pada abad ke-11 Masehi, yaitu dengan membuat lubang pengecoran lonceng di bawah lantai Gereja Trinita di Venosa, Italia Selatan. Lonceng yang dibuat dengan menggunakan lempung sebagai bahan cetakan atau lebih dikenal dengan *ceramic casting* [5].

*Ceramic casting* adalah proses pengecoran di mana cetakannya terbuat dari bahan keramik tahan api yang dapat menahan temperatur tinggi. Teknik ini dikenal karena kemampuannya menghasilkan produk dengan cepat, detail yang tajam dan permukaan yang halus [6]. Penelitian ini menggunakan lempung alam Desa Gema sebagai material cetakan untuk pembuatan lonceng dengan beberapa variasi sistem saluran. Efek penggunaan lempung dan variasi sistem saluran yang berkaitan dengan keakuratan dimensi produk, porositas, dan kekerasan akan dikaji.

Sifat termal dan mekanik tanah liat memengaruhi kualitas hasil pengecoran, dan dampaknya akan terlihat dari produk cor. J. Kolczyk dan J. Zych menggunakan material silika koloid yang berfungsi sebagai pengikat dan bahan matriks yang sangat tahan api, oksida aluminium Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, untuk mendapatkan kekuatan cetakan lempung. Hasilnya, didapatkan kekuatan tarik keramik sebesar 0,9 MPa pada suhu 450–500 °C [2]. Kekuatan cetakan dapat ditingkatkan melalui pelapisan homogen bubuk awal dengan pengikat anorganik dan proses pabrikasi yang ditingkatkan, dengan butiran berbasis mullit yang menunjukkan sifat suhu tinggi

Tabel 1 Komposisi kimia lempung desa Gema

No.	Component	Result	Unit	El. line	Intensity	Analyzing depth
1	Total	559	mg/cm <sup>2</sup>			
2	MgO	0.908	mass%	Mg-KA	0.1170	0.0213
3	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.5	mass%	Al-KA	15.0355	0.0310
4	SiO <sub>2</sub>	53.7	mass%	Si-KA	36.2431	0.0351
5	SO <sub>3</sub>	0.0556	mass%	S -KA	0.0655	0.0407
6	K <sub>2</sub> O	3.52	mass%	K -KA	6.8787	0.1209
7	TiO <sub>2</sub>	0.865	mass%	Ti-KA	0.5794	0.2492
8	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.0233	mass%	Cr-KA	0.0433	0.4045
9	MnO	0.0225	mass%	Mn-KA	0.0726	0.5147
10	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.62	mass%	Fe-KA	7.6636	0.6512
11	CuO	0.0120	mass%	Cu-KA	0.1475	1.1721
12	ZnO	0.0136	mass%	Zn-KA	0.2282	1.4398
13	Rb <sub>2</sub> O	0.0204	mass%	Rb-KA	1.1603	5.0695
14	SrO	0.0059	mass%	Sr-KA	0.3487	5.9016
15	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.0040	mass%	Y -KA	0.5144	6.8261
16	ZrO <sub>2</sub>	0.0343	mass%	Zr-KA	2.3116	7.8162
17	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.0040	mass%	Nb-KA	0.3005	8.9025
18	Balance	70.7	mass%	Pd-KAC	8.3270	

yang superior dibandingkan dengan pasir buatan [7]. Penggunaan material seperti lempung alam Desa Gema harus memperhatikan kekuatan cetakan. Perlu dievaluasi kemampuannya dalam menahan tekanan dan suhu tinggi selama penuangan logam cair, serta kemampuannya menghasilkan permukaan coran yang halus. Komposisi kimia dan distribusi ukuran partikel tanah liat akan menentukan stabilitas dimensi cetakan, laju pendinginan, dan akhirnya kualitas lonceng yang dihasilkan.

Pembuatan lonceng dengan kualitas baik juga berkaitan dengan desain sistem saluran. Desain sistem saluran yang tidak tepat akan menyebabkan beberapa cacat corat seperti porositas penyusutan, porositas gas, dan *cold shuts* [8], [9]. Roziqin dkk . (2012) menggunakan model sistem saluran turun: satu saluran langsung (A), satu saluran turun pisah (B), dan satu saluran turun dengan penambah (C) pada proses pengecoran puli dengan pola *Styrofoam*. Hasilnya menunjukkan Sistem C menghasilkan produk bebas penyusutan, porositas minimum, dan nilai kekerasan tertinggi (77,4 HB) [10]. Ashar dkk (2012) menggunakan variasi yang sama mendapatkan sistem saluran B dan C terdapat cacat penyusutan di tengah-tengah coran dan nilai kekerasan tertinggi terdapat pada sampel tipe saluran A (75,8 HB) [11]. Kedua penelitian ini menunjukkan sistem saluran memengaruhi pembentukan cacat dan kekerasan. Sistem saluran logam cair memegang peran penting dalam hasil akhir produk. Penelitian ini akan mengkaji penggunaan lempung alam Desa Gema untuk pembuatan lonceng dengan variasi sistem saluran turun. Dampak penggunaan lempung dan variasi

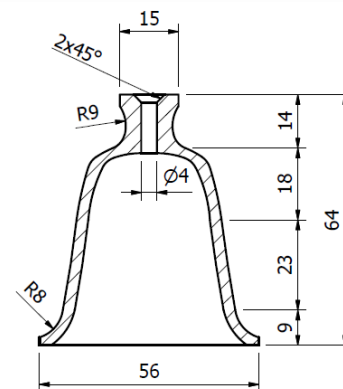
sistem saluran diobservasi melalui jenis cacat, keakurasian dimensi, dan kekerasan produk cor.

## METODOLOGI

Lempung diambil dari desa Gema Kecamatan Lipat Kain, Kabupaten Kampar, Provinsi Riau, titik koordinat (GL-0,1571233 °U, GB 101,0762391 °T). Komposisi kimia lempung berdasarkan uji X-RF ditunjukkan pada Tabel 1. Produk lonceng ditunjukkan pada Gambar 1a dan detail ukuran pada Gambar 1b.



a.

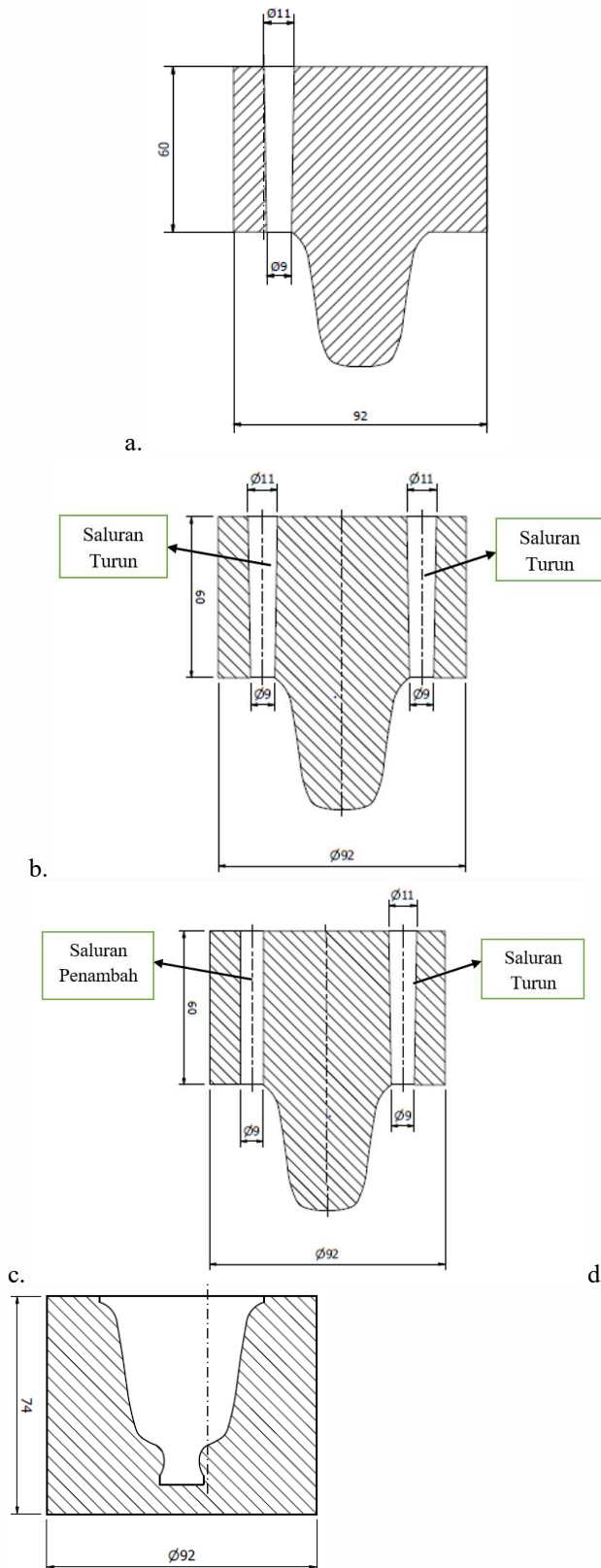


b.

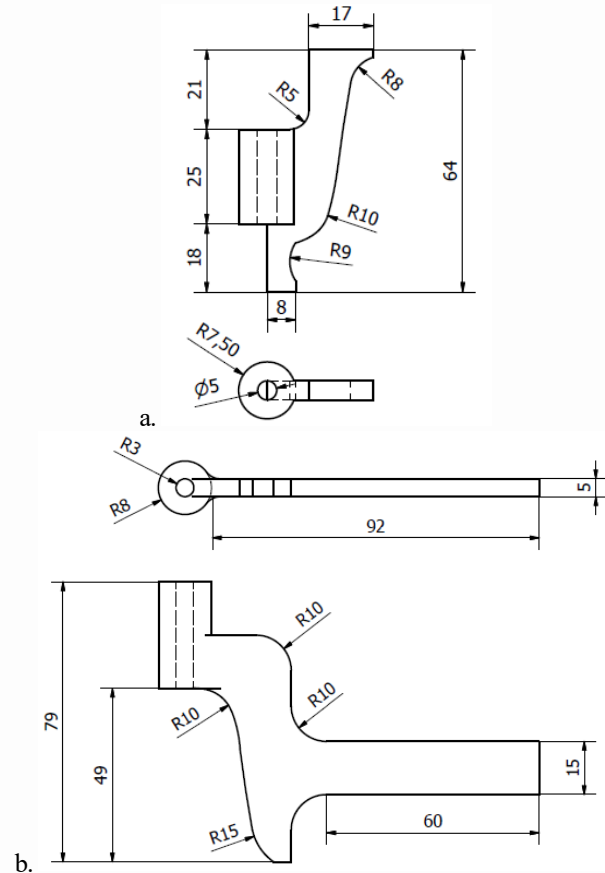
Gambar 1 Produk lonceng (a) dan detail ukuran (b)

Tiga jenis sistem saluran, yaitu satu saluran turun, dua saluran turun, dan satu saluran turun dengan penambah digunakan dalam pembuatan lonceng (**Error! Reference source not found.**).

Cetakan terdiri dari dua bagian yaitu *cup* (Gambar 2a-c) dan *drag* (Gambar 2d). Lempung dibentuk menggunakan dua mal untuk membentuk permukaan dalam (Gambar 3a) dan luar (Gambar 3b) cetakan lonceng.



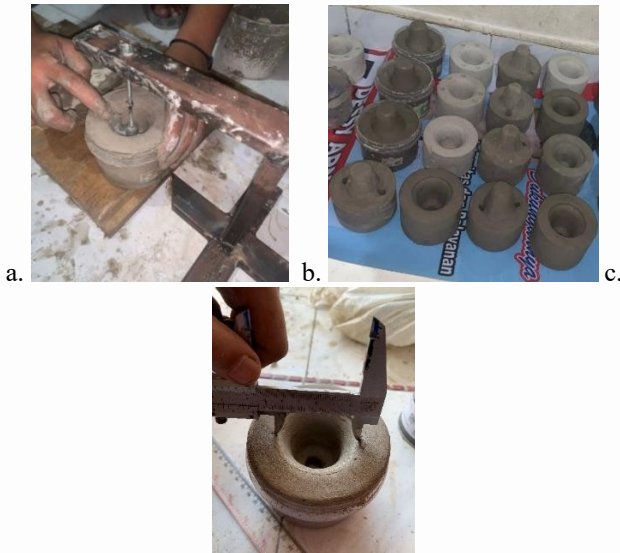
Gambar 2 Jenis sistem saluran: a. satu saluran turun, b. dua saluran turun, dan c. satu saluran turun dan satu dengan penambah; dan d. *drag*.



Gambar 3 Mal permukaan dalam (a) dan luar (b) lonceng

Mal permukaan dalam untuk membuat *drag* dan mal permukaan luar untuk membuat *cup* (Gambar 4a). Cetakan kemudian dikeringkan dengan mendiamkan di udara ruangan (Gambar 4b). Setelah kering cetakan diukur untuk memastikan kesesuaian dengan desain (Gambar 4c). Masing-masing variasi sistem saluran dibuat dengan tiga cetakan.

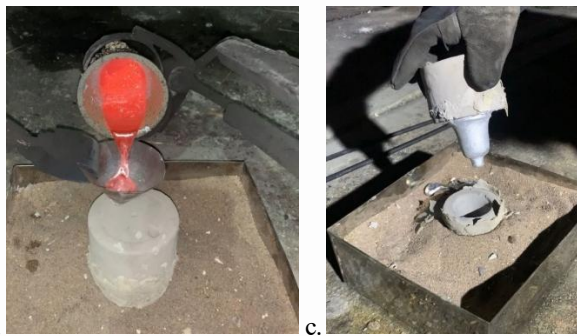
Cetakan dipanaskan pada temperatur 359 °C menggunakan *electric furnace*. Pemanasan dilakukan secara bertahap mulai dari temperatur 60 °C, 120 °C, dan 250 °C. Penahanan dilakukan selama 5 menit di tiap-tiap tahapan pemanasan. Penahanan dilakukan selama 40 menit pada temperatur 359 °C. Bahan baku Al-4,5%Cu diperoleh dengan mencampurkan aluminium murni (98,32%Al) dan tembaga murni (99,98%Cu) berdasarkan perbandingan berat.



Gambar 4 Pembuatan cetakan (a), hasil (b), dan pengukuran cetakan (c)



a.



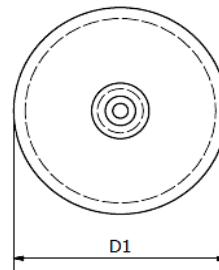
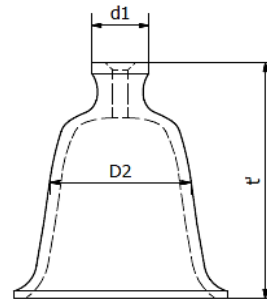
b.

c.

Gambar 5 Pemanasan cetakan (a), penuangan logam cair (b), dan pembongkaran cetakan

Pengecoran pertama dilakukan untuk desain satu saluran turun. Paduan Al-4,5%Cu dipanaskan pada sebuah tungku krusibel hingga temperatur 780 °C [12]. Sebelum dilakukan penuangan cetakan lempung dipanaskan hingga 200 °C terlebih dahulu dengan meletakkannya diatas tungku (Gambar 5a). Setelah temperatur cetakan mencapai 200 °C dan temperatur logam cair 780 °C, penuangan logam cair dilakukan ke rongga cetakan (Gambar 5b). Logam cair didinginkan dan setelah beku produk dilepaskan dari cetakan (Gambar 5c). Langkah-langkah proses pengecoran diulangi untuk desain lainnya. Benda cor diamati secara visual pada cacat, pola aliran, kemudian diukur pada beberapa dimensi acuan yaitu D1, D2, d1, dan t'

(**Error! Reference source not found.**) dengan repetisi tiga kali. Pengujian kekerasan dilakukan pada tiga titik di benda cor (Gambar 7a) dengan cara memotong bagian tersebut kemudian di-*cold mounting* (Gambar 7b). Standar pengujian mengacu pada ASTM E384, beban 50 kgf dengan waktu penahanan 10–15 detik.



Keterangan :  
D1 = Diameter lingkaran bawah (mm)  
D2 = Diameter lingkaran tengah (mm)  
d1 = Diameter lingkaran atas (mm)  
t' = Tinggi lonceng (mm)

Gambar 6 Dimensi acuan produk cor



a.

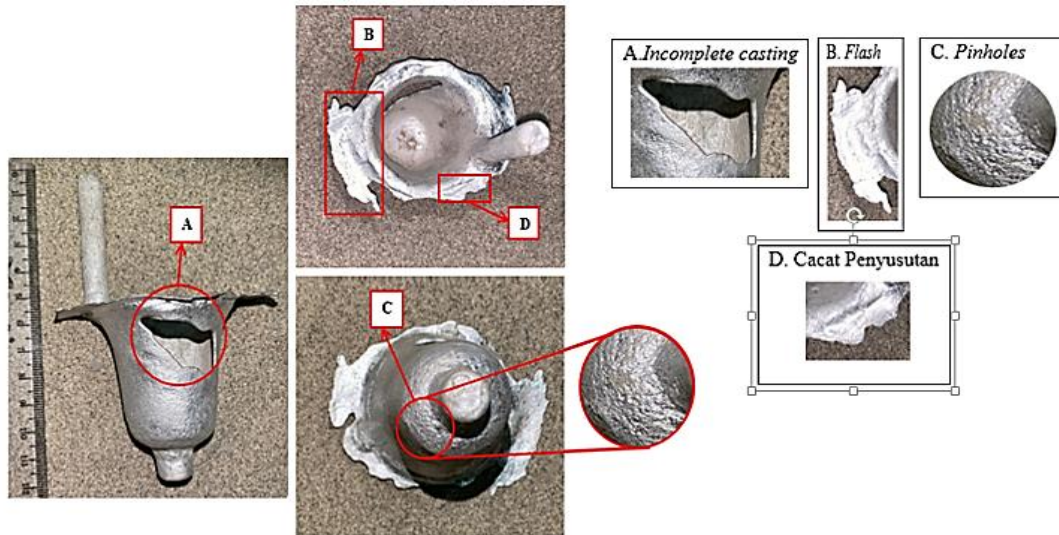
b.

Gambar 7 Bagian yang dilakukan pengujian kekerasan (a) dan sampel uji (b)

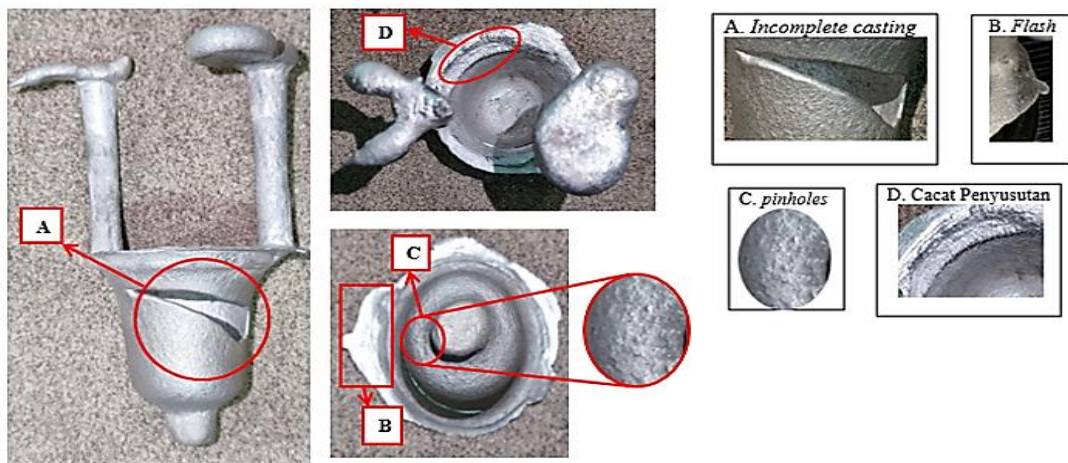
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pemeriksaan Visual

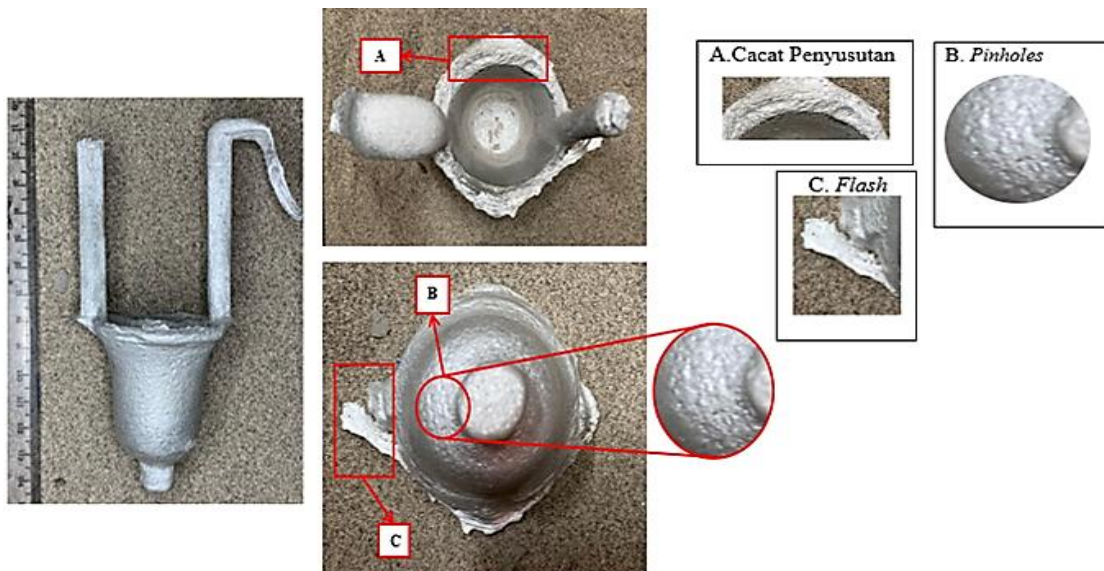
Hasil pengecoran lonceng dengan sistem satu saluran turun, dua saluran turun, dan satu saluran turun dengan penambahan disajikan pada Gambar 10 hingga Gambar 9. Kondisi yang sama ditemukan pada sistem satu saluran dan dua saluran turun, seperti logam cair tidak mengisi semua rongga-rongga cetakan (Gambar 10A) (Gambar 8A), namun tidak ditemukan pada sistem satu saluran turun dengan penambahan (Gambar 9). Sebagian kecil membentuk lapisan tipis logam yang menonjol keluar dari bagian atas lonceng pada ketiga sistem saluran tersebut (Gambar 10B) (Gambar 8B) (Gambar 9C). Lubang-lubang kecil terlihat pada permukaan lonceng (Gambar 10C),



Gambar 10 Produk Pengecoran dengan Satu Saluran Turun



Gambar 8 Produk Pengecoran dengan Dua Saluran Turun



Gambar 9 Produk Pengecoran dengan Satu Saluran Turun dengan Penambah

(Gambar 8C), (Gambar 9B). Penyusutan atau pengecilan penampang terjadi pada bagian atas

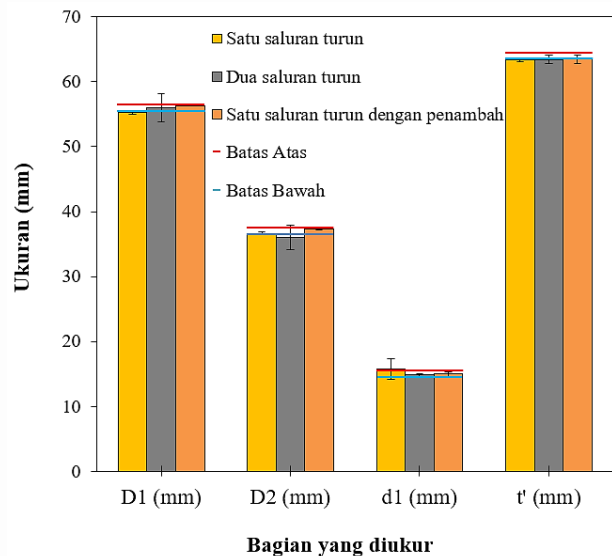
lonceng (Gambar 10D) (Gambar 8D) (Gambar 9A).

Logam cair tidak mengisi seluruh rongga-rongga cetakan. Hal ini terjadi karena cetakan dengan satu dan dua saluran turun tidak memiliki ventilasi, sehingga udara terperangkap di dalam cetakan yang menghambat aliran logam cair mengisi seluruh rongga-rongga cetakan. Penyebab lainnya dapat berasal dari pola aliran turbulen akibat dari perubahan ukuran ketebalan rongga saluran yang cukup besar sehingga memperlambat aliran untuk mengisi keseluruhan rongga cetakan [9]. Cacat ini disebut dengan *incomplete casting* (pengecoran yang tidak selesai) [13]. Lapisan tipis logam yang menonjol keluar dari bagian atas sampel terjadi karena adanya rongga di antara cup dan drag cetakan yang tidak tertutup rapat atau permukaan cetakan bagian atas yang tidak rata, sehingga logam cair merembes keluar dari cetakan. Logam cair yang merembes keluar dari cetakan disebut *flash* atau *burr*. Lubang-lubang kecil pada permukaan logam terjadi karena gas atau udara yang terjebak di dalam cetakan pada saat penuangan logam cair. Gas-gas tersebut memiliki densitas lebih rendah daripada logam cair sehingga saat di dalam cetakan akan bergerak menuju permukaan dan berada di sana hingga pembekuan selesai. Material cetakan yang merupakan isolator panas memberikan waktu yang lebih lama untuk proses pembekuan sehingga memberikan waktu untuk gas-gas yang untuk *escaping* menuju permukaan [14]. Gas-gas tersebut tetap berada di permukaan karena material lempung tidak dapat melewatkannya menuju lingkungan karena permeabilitas yang kecil. Beeley menyatakan bentuk lubang-lubang kecil seperti ini disebut *Pinholes* (cacat lubang jarum) [15]. Penyusutan atau pengecilan penampang terjadi karena logam cair yang berada pada bagian atas lonceng mengisi bagian-bagian lonceng yang mengalami penyusutan, sehingga lonceng tidak mengalami cacat penyusutan. Perbedaan ketebalan rongga mengakibatkan ketidakeragaman temperatur. Bagian tebal akan membeku setelah bagian tipis, sehingga logam cair pada saluran turun mengisi bagian yang mengalami penyusutan [9]. Kondisi ini ditunjukkan pada ketiga desain, Penyusutan terjadi dalam jumlah kecil di permukaan sampel.

### Keakuratan Dimensi

Hasil pengukuran dapat dilihat pada Gambar 11. Penyimpangan ukuran ditandai dengan grafik yang tidak berpotongan dengan garis berwarna merah dan biru (dimensi acuan) pada grafik. Hasil pengukuran keakuratan dimensi lonceng dengan jenis sistem saluran menunjukkan bahwa penyimpangan ukuran terjadi di semua desain sistem saluran. Sistem satu saluran turun memiliki jumlah penyimpangan, yaitu 3 dimensi yang berada pada D1 (mm), d1 (mm), t' (mm). Sistem dua saluran turun memiliki jumlah

penyimpangan, yaitu 2 dimensi yang berada pada D2 (mm), t' (mm). Sistem satu saluran turun dengan penambahan memiliki jumlah penyimpangan, yaitu 1 dimensi yang berada pada t' (mm). Jumlah penyimpangan maksimum berada pada sistem satu saluran turun, sedangkan penyimpangan minimum terjadi pada satu saluran langsung dengan penambahan. Hasil pengukuran keakuratan dimensi lonceng penyimpangan pada semua sistem saluran terdapat pada dimensi t'.



Gambar 11 Hasil Pengukuran Dimensi

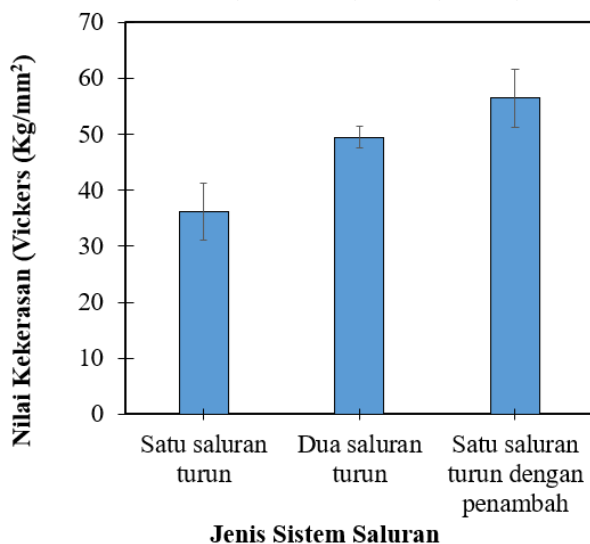
Sistem satu saluran turun memiliki penyimpangan dimensi terbanyak di antara ketiga desain. Hal ini disebabkan oleh tidak adanya ventilasi pada cetakan. Ketika logam cair masuk ke dalam rongga cetakan, cairan mendorong udara dalam rongga hingga terkumpul di satu posisi (terjebak). Udara yang terjebak memiliki tekanan sehingga tidak dapat diisi oleh logam cair. Hal ini dibuktikan dengan adanya logam yang membeku pada saluran karena tidak dapat mengisi rongga cetakan (Gambar 8A). Saat pembekuan terjadi, terjadi penyusutan yang menyebabkan penyimpangan ukuran pada hasil produk cor. Kondisi yang sama juga terjadi pada sistem dua saluran turun. Berbeda dengan dua sistem saluran sebelumnya, sistem satu saluran turun dengan penambahan memiliki penyimpangan ukuran pada tinggi t' saja. Adanya saluran penambahan membantu keluarnya udara di dalam rongga, sehingga logam cair masuk dan mengisi seluruh rongga cetakan. Penyusutan lebih kecil karena diisi oleh cairan penambah, sehingga terjadi penyimpangan ukuran yang signifikan. Roziqin dkk. menyatakan penyusutan disebabkan oleh gas dan uap air terjebak di dalam rongga cetakan yang tidak dapat keluar [10]. Adanya penambahan memastikan adanya jalur keluarnya udara dan residu dari rongga cetakan [16]. Setiap sistem

saluran memiliki penyimpangan pada dimensi  $t'$ . Ini bisa disebabkan oleh penyusutan pada saat pengeringan cetakan.

Hasil sistem saluran yang menghasilkan lonceng sesuai dengan dimensi acuan terdapat pada sistem saluran langsung dengan penambahan. Hasil pengecoran ini hanya memiliki 1 penyimpangan yang terjadi pada titik  $t'$  (mm) pada grafik yang tidak berpotongan dengan garis berwarna merah dan biru (dimensi acuan) pada grafik dengan rata-rata persentase *error* sebesar 0,35%. Pembahasan juga menunjukkan bahwa *error* sebagian besar disebabkan oleh desain sistem saluran, Hal ini menunjukkan bahwa lempung Gema dapat digunakan sebagai material cetakan karena tidak mengalami distorsi sehingga tidak berkontribusi pada ketidakakurasian dimensi produk.

### Kekerasan

Hasil uji kekerasan lonceng ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12 Hasil Uji Kekerasan

Nilai kekerasan lonceng dari sistem satu saluran turun, dua saluran turun, satu saluran turun dengan penambahan adalah 36,186 VHN, 49,152 VHN, 56,486 VHN. Kekerasan lonceng tertinggi terdapat pada sistem satu saluran turun dengan penambahan, yaitu 56,486 VHN. Kekerasan lonceng terendah terdapat pada sistem satu saluran turun, yaitu 36,186 VHN.

Sistem satu saluran turun dengan penambah menghasilkan kekerasan tertinggi. Hal ini disebabkan dengan adanya saluran penambah laju aliran logam semakin cepat mengisi semua rongga cetakan dan proses pembekuannya semakin cepat sehingga benda cor lebih keras [17]. Sistem saluran langsung tidak memiliki saluran penambah sehingga menghambat laju aliran logam yang mengakibatkan semua rongga cetakan tidak terisi dan udara terjebak di dalam

cetakan, pembekuan tidak merata, dan mengakibatkan kekerasannya menurun. Fenomena ini juga identik dengan sistem dua saluran turun. Purkuncoro & Taufik menyatakan semakin banyak jumlah saluran penambah maka laju aliran logam cair semakin cepat untuk mengisi pola benda dan semakin cepat laju pembekuan maka semakin tinggi kekerasan logam, semakin lama pembekuan logam maka semakin rendah kekerasan logam [18]. Pengurangan nilai kekerasan juga dapat terjadi karena adanya oksida karena gas yang terjebak [19].

Hasil pengamatan visual pada pengecoran lonceng menggunakan tiga jenis sistem saluran mendapatkan hasil cacat pengecoran minimum. Terdapat pada sistem satu saluran turun dengan penambahan 3 jenis cacat, yaitu: cacat penyusutan (Flash atau burr), logam merembes keluar cetakan, dan cacat lubang jarum (*pinholes*). Hasil pengukuran keakuratan dimensi mendapatkan penyimpangan minimum pada sistem satu saluran turun dengan penambahan 1 titik penyimpangan yang terletak di titik  $t'$  (mm) dengan persentase *error* sebesar 0,35%. Hasil uji kekerasan mendapatkan kekerasan lonceng tertinggi pada satu saluran turun dengan penambahan, yaitu 56,486 VHN. Sistem satu saluran turun dengan penambah (Gambar 9) adalah sistem yang paling optimal untuk pengecoran lonceng karena memiliki cacat yang minimum, memiliki penyimpangan ukuran yang minimum pada setiap titik pengukuran dan memiliki tingkat kekerasan tertinggi di antara tiga sistem saluran.

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan dapat ditarik kesimpulan:

Lempung gema dapat digunakan sebagai material cetakan karena tidak mengalami distorsi sehingga tidak berkontribusi pada ketidakakurasian dimensi produk. Sistem satu saluran turun dengan penambahan adalah sistem optimal berdasarkan keakuratan dimensi dengan hanya satu titik penyimpangan pada dimensi  $t'$  (mm) dengan persentase *error* 0,35% dan tingkat kekerasan 56,486 VHN.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau atas dukungan finansial yang telah memungkinkan terbitnya publikasi.

### KONTRIBUSI PENULIS

Dedy Masnur, mengarahkan kegiatan penelitian dan menyunting naskah sebelum dipublikasikan. Ashadi, melakukan pembuatan cetakan, pengecoran, dan pengumpulan data. Putri Nawangsari, mengevaluasi literatur review dan pembahasan. Warman Fatra,

mengawasi kegiatan pengecoran dan pengambilan data.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. H. Yanti and A. Muhktar, "Karakterisasi Lempung Alam Desa Gema Teraktifasi Fisika," *Chemistry Progress*, vol. 8, no. 1, pp. 1–5, Mei 2015, doi: <https://doi.org/10.35799/cp.8.1.2015.9396>.
- [2] J. Kolczyk and J. Zych, "High temperature strength of ceramic moulds applied in the investment casting method," *Archives of Foundry Engineering*, vol. 11, no. 3, pp. 121–124, 2011.
- [3] R. Putra, Asnawi, M. Sayuti, and Muhammad, *Pengantar Pengolahan Bahan*. Alue Awe-Lhoksemawe: Sefa Bumi Persada, 2019.
- [4] R. M. Pillai, S. G. K. Pillai, and A. D. Damodaran, "The lost-wax casting of icons, utensils, bells, and other items in South India," *Jom*, vol. 54, no. 10, pp. 12–16, 2002, doi: [10.1007/BF02709214](https://doi.org/10.1007/BF02709214).
- [5] B. Robert and E. B. Brown, "Discovery Of An Elevent Century Ad Bell-Casting Mold From Venosa (Southern Italy)," vol. 267, no. 1, pp. 1–14, 2004.
- [6] S. Suyitno, U. A. Salim, and M. Mahardika, "Aplikasi Cetakan Permanen untuk Meningkatkan Produksi dan Kualitas Produk IKM Pengecoran Logam Kuningan di Ngawen, Sidokarto, Godean, Yogyakarta," *Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat (Indonesian Journal of Community Engagement)*, vol. 2, no. 1, p. 66, 2016, doi: [10.22146/jpkm.22218](https://doi.org/10.22146/jpkm.22218).
- [7] G.-H. Cho, E.-H. Kim, and Y.-G. Jung, "Improving Strength in Casting Mold by Control of Starting Material and Process," *J. Korean Ceram. Soc*, vol. 53, no. 5, pp. 541–547, Sept. 2016, doi: [10.4191/kcers.2016.53.5.541](https://doi.org/10.4191/kcers.2016.53.5.541).
- [8] A. Erbul, A. S. Vanli, A. Akdogan, and N. Durakbasa, "Gating System Design and Optimization in Sand Mold Casting of Cast Irons," in *DAAAM International Scientific Book*, 1st ed., vol. 16, B. Katalinic, Ed., DAAAM International Vienna, 2017, pp. 173–190. doi: [10.2507/daaam.scibook.2017.14](https://doi.org/10.2507/daaam.scibook.2017.14).
- [9] M. Bruna, D. Bolibruchová, R. Pastirčák, and A. Remišová, "Gating System Design Optimization for Investment Casting Process," *J. of Materi Eng and Perform*, vol. 28, no. 7, pp. 3887–3893, July 2019, doi: [10.1007/s11665-019-03933-3](https://doi.org/10.1007/s11665-019-03933-3).
- [10] K. Roziqin, H. Purwanto, and I. Syafa'at, "Pengaruh Model Sistem Saluran pada Proses Pengecoran Aluminium Daur Ulang Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Coran Pulli Diameter 76 mm dengan Cetakan Pasir," *Momentum*, vol. 8, no. 1, pp. 33–39, Apr. 2012.
- [11] L. H. Ashar, H. Purwanto, and S. M. B. Respati, "Analisis Pengaruh Model Sistem Saluran dengan Pola Styrofoam terhadap Sifat Fisis dan Kekerasan Produk Puli pada Proses Pengecoran Aluminium Daur Ulang," *Momentum*, vol. 8, no. 1, pp. 48–55, Apr. 2012, doi: <https://doi.org/10.36499/jim.v8i1.285>.
- [12] A. K. Birru, D. B. Karunakar, and M. M. Mahapatra, "A study on hot tearing susceptibility of Al-Cu, Al-Mg, and Al-Zn alloys," *Transactions of the Indian Institute of Metals*, vol. 65, no. 1, pp. 97–105, 2012, doi: [10.1007/s12666-011-0112-7](https://doi.org/10.1007/s12666-011-0112-7).
- [13] T. L. Donohue and H. Frye, "Characterization and Correction of Casting Defects," *Technical Report, Advanced Casting Technology, L.L.C.*, pp. 5–12, 1999.
- [14] Adri and D. Masnur, "Studi kekasaran permukaan produk investment casting aluminium minuman kaleng bekas dengan parameter temperatur tuang dan ukuran butir lempung," *Journal Online Mahasiswa*, vol. 3, no. 1, pp. 1–6, 2016.
- [15] P. Beeley, *Foundry Technology*. 2001.
- [16] Y.-C. Kim, N.-I. Paek, B.-G. Ri, and R.-H. O, "Improvement of quality and yield for investment casting of centrifugal pump impeller by tilting mold and optimizing runner/riser system," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 130, pp. 2369–2379, Dec. 2023, doi: <https://doi.org/10.1007/s00170-023-12839-3>.
- [17] T. Vlach and J. Cais, "The Effect of Casting Mold Material on Microstructure of Al-Si Alloys," *Manufacturing Technology*, vol. 22, no. 5, pp. 617–623, Dec. 2022, doi: [10.21062/mft.2022.072](https://doi.org/10.21062/mft.2022.072).
- [18] A. E. Purkuncoro and A. Taufik, "Pengaruh bentuk salura pada proses pengecoran dengan model dari styrofoam terhadap sifat mekanis aluminium paduan Al-Si-Cu," *Jurnal PASTI*, vol. 13, no. 2, p. 177, 2019, doi: [10.22441/pasti.2019.v13i2.007](https://doi.org/10.22441/pasti.2019.v13i2.007).

- [19] A. Sanitas, M. Bedel, and M. El Mansori, “Experimental and numerical study of section restriction effects on filling behavior in low-pressure aluminum casting,” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 254, pp. 124–134, Apr. 2018, doi: 10.1016/j.jmatprotec.2017.11.013.