



Comparison Of 3d Printer and Wood Casting Pattern

Hamid Abdillah¹, Muhammad Munadi², Nur Wachid Supriyadi³

¹Politeknik Manufaktur Ceper, Departemen of Foundry Engineering, email: vici.hamid@gmail.com

²Politeknik Manufaktur Ceper, Departemen of Foundry Engineering, email: m.munadipolman@gmail.com

³Politeknik Manufaktur Ceper, Departemen of Foundry Engineering, email: nurwachidsupriyadi@gmail.com

Abstrak

Pola cor merupakan replika dari benda yang digunakan sebagai acuan dalam proses pengecoran. Pembuatan pola cor masih didominasi dengan proses konvensional menggunakan kayu. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan perbandingan antara pola cor konvensional kayu dengan pola cor yang dibuat menggunakan 3D printer. Penelitian ini dilakukan dengan melakukan pembuatan produk pola cor menggunakan metode konvensional dan 3D printer. Pembuatan pola konvensional menggunakan proses pengerjaan kayu sedangkan pola 3D printer menggunakan 3D printer sistem stereolithography (SLA). Produk pola cor konvensional dan 3D printer kemudian dibandingkan dari sisi kualitas geometri dan presisian ukuran. Hasil yang diperoleh adalah pola cor hasil pembuatan dengan 3D printer memiliki keunggulan dalam kepresisian ukuran yang lebih baik dibandingkan dengan pola konvensional. Sedangkan untuk kualitas geometri dan kekasaran permukaan kedua metode sama-sama memiliki hasil yang baik. hal ini membuka peluang untuk melakukan tinjauan lebih mendalam mengenai aplikasi 3D printer dalam sektor pengecoran logam..

Kata kunci: Pola cor, Pengecoran Logam. 3D Printer, stereolithography

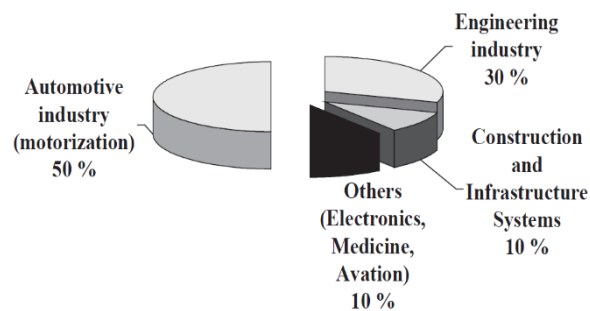
Abstract

Cast patterns are replicas of objects used as a reference in the casting process. Making cast patterns is still dominated by conventional processes using wood. This study aims to compare the conventional wood cast patterns with cast patterns made using a 3D printer. This research was conducted by making cast pattern products using conventional methods and 3D printers. Conventional pattern making uses a woodworking process while the 3D printer pattern uses a 3D printer stereolithography (SLA) system. Conventional cast patterns and 3D printer products are then compared in terms of geometric quality and size precision. The results obtained are the cast patterns made with a 3D printer have an advantage in precision the size is better than conventional patterns. As for the quality of the geometry and surface roughness both methods have good results. this opens the opportunity to conduct a more in-depth review of 3D printer applications in the metal casting sector.

Keywords: Casting Pattern, Metal Casting. 3D Printer, stereolithography

1. Pendahuluan

Dalquist, S., & Gutowski, T. industri pengecoran memiliki peranan yang kuat dalam bidang manufaktur dan pertumbuhan ekonomi, akan tetapi harus juga didukung dengan penguatan teknologi untuk menghadapi kompetitor lain [1]. Sektor pengecoran logam juga harus mampu memenuhi ekpektasi dari para pelanggan dalam penjaminan kualitas, pemangkasan waktu produksi dan harga yang kompetitif [2]. Hampir 90 % dari seluruh barang yang produksi dalam sector manufaktur dilakukan melalui proses pengecoran logam [3].



Gambar 1. Pasar sector industry pengecoran logam [4]

Proses pengecoran logam pada umumnya terdiri dari : (1) pembuatan pola coran dan cetakan, (2) peleburan, (3) penuangan dan (4) finising benda coran. Pola coran merupakan replika dari benda yang akan di cor. Pola coran menjadi acuan dalam proses pembuatan cetakan cor. Waktu pengerjaan sebuah pengecoran logam didominasi oleh persiapan pembuatan pola dan cetakan.

Pembuatan pola memakan hampir 70% dari waktu produksi Dalam proses pembuatannya, pola coran masih di domuniasi menggunakan pengerjaan konvensional dengan bahan baku kayu atau resin [5]. Waktu pengerjaan pembuatan pola ini tergantung dari tingkat kerumitan benda yang akan di cor. Semakin rumit bentuk dan ukuran benda yang akan dibuat menjadi faktor penentu durasi pembuatan pola cor. Oleh karena itu pembuatan dan kualitas pola coran menjadi kunci penting dalam proses pengecoran. Hal ini dikarenakan pembuatan pola merupakan langkah pertama dalam proses pengecoran dan pola dengan kualitas permukaan dan dimensi yang akurat akan meminimalkan cacat las[6].

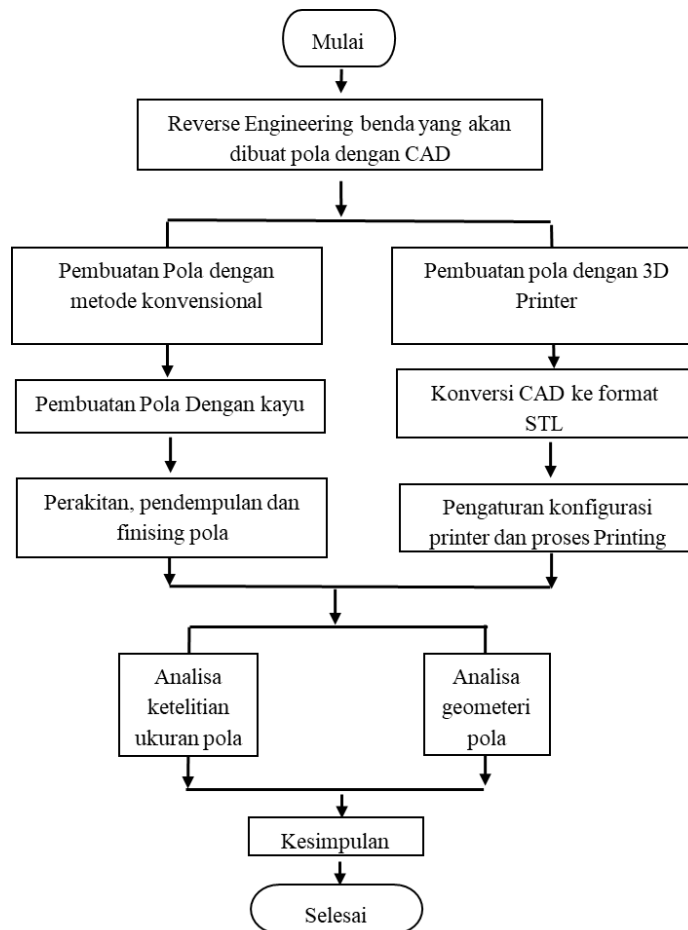
Pembuatan pola apabila ditinjau dari kualitas geometri dan dimensi pola cor ditentukan dari keterampilan pekerja dan proses finising pembuatan pola. Keterampilan pekerja menjadi penentu kualitas geometri dan dimensi dari pola cor yang dibuat sehingga semakin kompleks pola yang dibuat akan semakin tinggi pula keterampilan pekerja yang dibutuhkan. Sedangkan untuk memperoleh cetakan dan hasil cor yang baik, kualitas permukaan dari pola menjadi faktor yang berpengaruh cukup besar, sehingga dalam pembuatan pola pasti dilakukan proses finising dan pelapisan untuk memperoleh pola dengan kualitas permukaan yang baik dan memiliki durabilitas yang cukup lama. Oleh karena itu proses dan kebutuhan produksi pola tersebut berimplikasi pada waktu dan biaya produksi pola[7].

Berdasarkan penjabaran tersebut, gambaran peluang peningkatan efektivitas melalui rekayasa pembuatan pola yang lebih efektif dari segi waktu, kualitas geometri dan sisi ekonomi. Penelitian mengenai rekayasa pembuatan pola tentunya dapat memberikan kontribusi yang baik dalam pengembangan teknologi khususnya kontribusi dalam hal penyiapan dan proses manufaktur mould dan core[4], [8]. Sehingga dapat berkontribusi untuk mewujudkan sector pengecoran logam yang lebih produktif dan siap menghadapi tantangan global revolusi industry 4.0[9].

Upaya peningkatan produktifitas dalam hal pembuatan pola coran dapat dilakukan melalui integrasi teknologi rapid prototyping dan. rapid prototyping merupakan salah satu teknologi manufaktur yang menggunakan prinsip additive manufacture (AM) atau yang diartikan sebagai proses manufaktur dengan melakukan penambahan material[10], [11]. Rapid Prototyping dengan tipe Sla menggunakan bahan dasar resin[12]. Resin juga merupakan bahan dasar yang dapat digukan untuk membuat pola. Pola cor dengan resin relatif lebih mahal, tetapi memiliki permukaan dan geometri yang halus serta tahan terhadap kelembaban. Oleh karena itu perlu adanya studi mengenai perbandingan pembuatan pola dengan kayu dan pembuatan pola dengan rapid prototyping tipe Sla[13].

2. Metode dan Bahan

Peneltian ini merupakan penelitian terapan untuk penggunaan 3D printer dalam sector pengecoran logam. Penelitian yang dilakukan untuk melakukan perbandingan pembuatan pola cor secara konvensional dan pembuatan pola cor dengan 3D printer sistem SLA. Gambar 2 menampilkan bagan alir dari penelitian yang dilakukan.



Gambar 2. Bagan alir penelitian

2.1 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan untuk pembuatan pola cor secara konvensional adalah kayu multiplek dengan dimensi 2.4 m x 1.2 m x 9 mm, peralatan kerja kayu dan dempul epoxy. Sedangkan untuk pembuatan pola cor dengan 3D printer menggunakan 3D printer jenis SLA. Adapun spesifikasi dari 3D printer yang digunakan disajikan pada tabel 1 berikut:.

Tabel 1. Data spesifikasi 3D printer yang digunakan[14]

Nama	Spesifikasi
Printing Technology	LCD-based SLA 3D Printer
XY DPI	47um (2560*1440)
Y axis resolution	1.25um
Layer resolution	25 ~ 100um
Printing speed	20mm/h
Rated Power	40W
Printer size	220x200x400mm
Printing volume	115x65 x155mm (4.52"x2.56"x6.1")
Printing material	405nm photosensitive resin
Light-source	UV integrated light (wavelength 405nm)

Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan pola cor dengan 3D printer SLA ini adalah resin UV. Parameter resin UV yang digunakan dalam penelitian ini disajikan dalam tabel 2 berikut

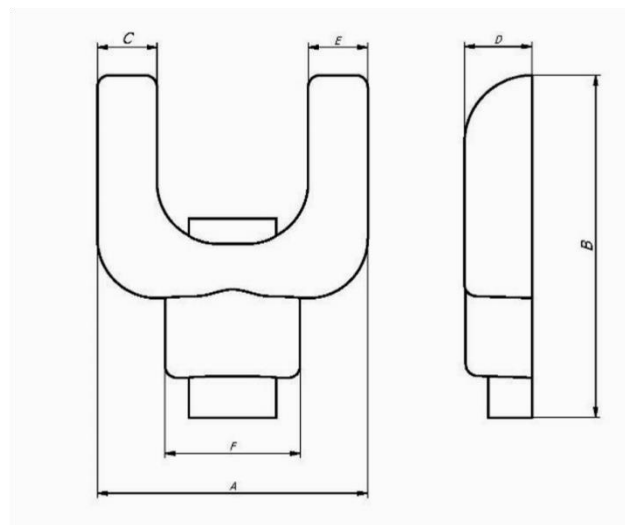
Tabel 2. Data parameter Resin UV[15]

Nama	parameter
Hardness (D)	79.0
Viscosity(25°C)	552 mpa.s
Curing wavelength	405 nm
Liquid density	1.1 g/cm ³
Solid density	1.184 g/cm ³
Shrinkage	7.1%
Tensile strength	23.4 Mpa
Curing time	6-10 s
Elongation at break	14.2%
Bottom exposure time(s)	20-60 s
Normal exposure time(s)	5-15 s

2.2 Analisis Data

Data yang diperoleh dalam penelitian ini adalah dimensi dari produk pola yang dihasilkan baik yang dibuat secara konvensional maupun dengan 3D printer. Data dimensi produk diperoleh melalui proses pengukuran menggunakan jangka sorong digital dengan ketelitian 0.01mm.

Gambar 3 digunakan sebagai acuan data dimensi yang diambil . Setiap dimensi pola yang diukur, dibagi menjadi 3 bagian (S). Hal ini dilakukan untuk memastikan homogenitas bentuk geometri dan dimensi dari bagian yang diukur[16]. Hasil pengukuran dari masing-masing bagian kemudian dirata-rata (mean) untuk menentukan dimensi final dari bagian tersebut.



Gambar 3. Lokasi pengukuran produk cor

Analisa ketelitian pola cor dilakukan dengan membandingkan mean dari masing-masing dimensi pada pola cor yang dibuat secara konvensional dan polacor yang dibuat dengan 3D printer. Hasil perbandingan mean digunakan untuk melihat tingkat ketelitian yang dicapai dari masing-masing metode pembuatan pola. Nilai mean kemudian dibandingkan dengan nilai toleransi umum ISO 2768-1: 1989 [17] sebagai penentu apakah deviasi terjadi (GO) atau tidak (NO GO) di area toleransi. Dalam penelitian, kategori toleransi ISO yang digunakan adalah fine (baik).

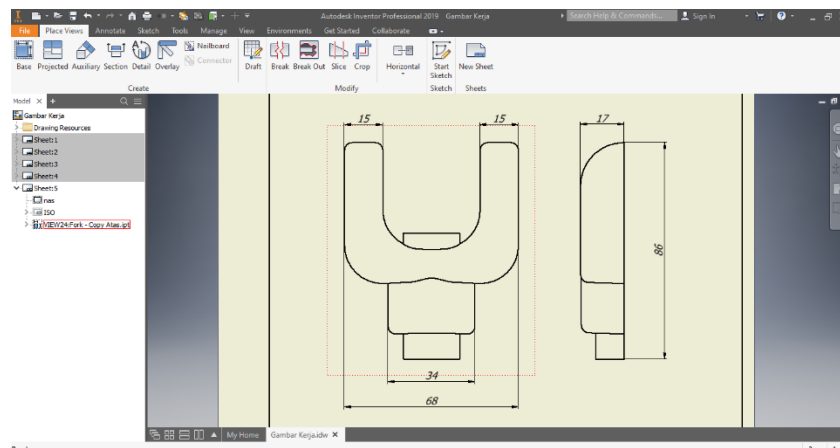
Analisa geometri pola dilakukan untuk menilai bentuk dari produk pola cor yang dibuat. Analisa geometri dilakukan secara visual dengan memperhatikan kesesuaian bentuk pola dengan gambar kerja pola. Analisa geometri juga mempertimbangkan aspek kekasaran permukaan dari masing-masing produk.

3. Hasil Dan Pembahasan

3.1 Pembuatan Pola Konvensional

Pembuatan pola cor secara konvensional dilakukan oleh jasa pembuat pola cor profesional di daerah sentra industri logam ceper. Pembuatan pola cor ini diawali dengan pembuatan gambar kerja sebagai panduan pembuat pola. Gambar 4 merupakan gambar kerja ini dibuat menggunakan Autodesk Inventor dengan model 3D fork sebagai referensi .

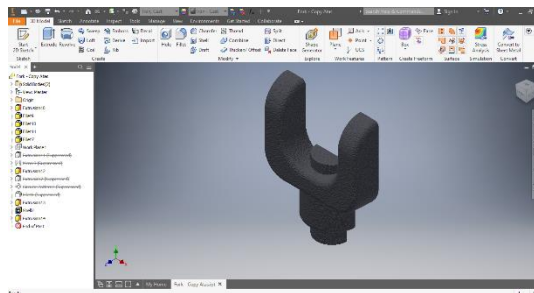
Gambar kerja yang dibuat digunakan sebagai acuan pembuat pola cor untuk menentukan langkah kerja pembuatan pola cor secara konvensional. Pembuatan pola ini menggunakan kayu multiplek sebagai bahan baku. Proses kerja yang dilakukan adalah marking, pemotongan, penyambungan lapisan multiplek sampai pola cor terbentuk. Tahap finising yang dilakukan adalah pendempulan dan pengamplasan untuk memperoleh hasil permukaan pola cor yang halus dan baik



Gambar 4. Pembuatan gambar kerja

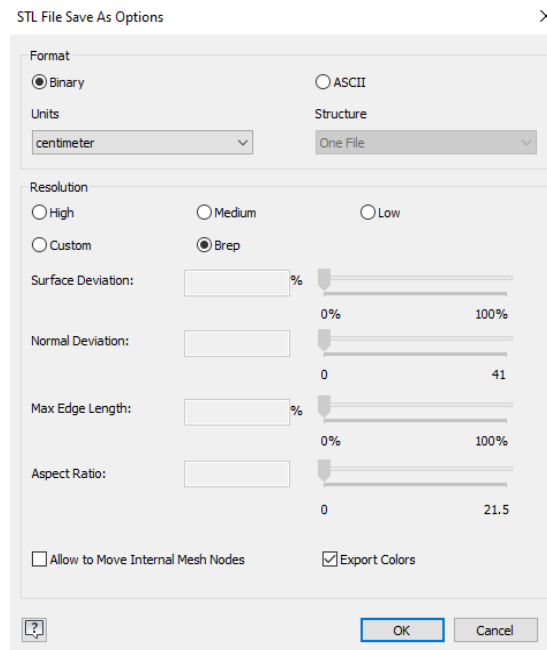
3.2 Pembuatan Pola dengan 3D Printer

Pembuatan pola dengan 3D printer diawali dengan melakukan permodelan 3D benda yang akan dibuat sebagai pola cor (gambar 5). Pola cor yang dibuat pada penelitian ini adalah pola cor fork. Fork merupakan komponen dengan bentuk sederhana dengan ukuran mayor 90x90x20 mm. Pola fork yang dibuat merupakan 2 pola belahan dengan parting line (pembagi) pada bagian tengah benda. Penggambaran 3D modeling benda dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Autodesk Inventor Profesional 2019 Education Version*.



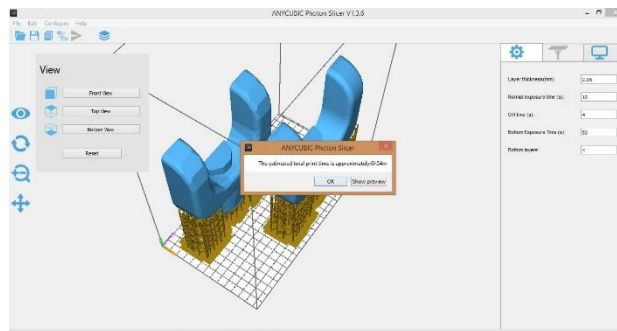
Gambar 5. Permodelan 3D pola cor fork

Langkah selanjutnya adalah melakukan konversi format dari permodelan 3D pola cor fork yang dibuat. Secara default format CAD yang dihasilkan dari *Autodesk Inventor Profesional 2019 Education Version* adalah .ipt atau .iam. Format luaran dari perangkat lunak CAD tersebut tidak dapat digunakan atau tidak compatible dengan format CAD yang digunakan dalam proses pengaturan 3D printer. Format CAD yang digunakan dalam pengaturan 3D printer adalah .stl. untuk memenuhi hal tersebut dapat dilakukan dengan melakukan penyimpanan ulang file CAD ke format .stl (gambar 6) dengan beberapa pengaturan penting seperti resolusi dan units (satuan) yang akan dihasilkan dari proses konversi.



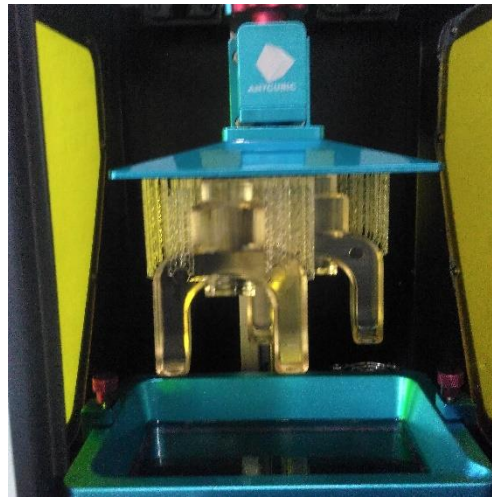
Gambar 6. Pengaturan konversi ke format STL

File STL yang sudah dibuat digunakan sebagai dasar pengaturan parameter 3D printer. Parameter diatur menggunakan aplikasi slicer default dari 3D printer (gambar 7). Aplikasi slicer yang digunakan adalah photon slicer yang merupakan bawaan dari 3D printer anycubic photon. Dalam aplikasi ini mengatur (1) normal exposure time; (2) layer thickness; (3) off time; (4) bottom exposure tim; (5) bottom layer. Estimasi waktu print yang didapat untuk proses print pola cor “fork” adalah 7 jam.



Gambar 7. Pengaturan parameter print 3D printer

Proses print dilakukan setelah pengaturan parameter print selesai (gambar 8). lama proses print dipengaruhi oleh parameter layer thickness. Hal ini dikarenakan prinsip dari format STL merupakan pembagian objek berdasarkan layer. Semakin kecil nilai layer thickness, semakin halus permukaan benda yang dihasilkan dan berimplikasi pada waktu print yang semakin lama[18]. Pembuatan pola cor “fork” ini memakan waktu 8 jam 57 menit atau lebih lama dari waktu estimasi dari photon slicer yang mengestimasi waktu print 7 jam



Gambar 8. Proses pengerjaan pola cor dengan 3D printer

3.3 Analisa Ketelitian Ukuran Pola

Analisa ketelitian ukuran pola bertujuan untuk mengukur dimensi dari pola yang telah dihasilkan. Selain itu analisa ini juga digunakan untuk menentukan tingkat ketelitian pengerjaan dari masing-masing metode pembuatan pola. Analisa ukuran pola ini menggunakan jangka sorong digital dengan ketelitian 0.01 sebagai alat ukur. Bagian dari pola yang diukur mengacu pada gambar 3 dengan menggunakan 3 sample (S) tempat pengukuran pada setiap bagian yang diukur.

Pengukuran dilakukan pada masing-produk pola. Tabel 3 menampilkan hasil pengukuran dari masing-masing produk pola.

Tabel 3. Data hasil pengukuran produk pola cor

Pola	parameter	Hasil Pengukuran					
		A	B	C	D	E	F
3D Print	S1	68	86,1	15	17,06	15	34
	S2	68	86	15	17,08	15	34
	S3	68	86	14,98	17,06	14,98	33,98
	Mean	68	86,03	14,99	17,07	14,99	33,99
	Guide	68	86	15	17	15	34
	Gap	0	-0,03	0,01	-0,07	0,01	0,01
	Tolerance	$\pm 0,15$	$\pm 0,15$	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	$\pm 0,15$
	Result	GO	GO	GO	GO	GO	GO
Manual	S1	68,3	86,2	15	16,8	14,94	34,26
	S2	68,4	86	14,9	16,7	14,9	34,3
	S3	68,3	86,5	14,92	16,9	14,82	34,13
	Mean	68,33	86,23	14,94	16,80	14,89	34,23
	Guide	68	86	15	17	15	34
	Gap	-0,33	-0,23	0,06	0,20	0,11	-0,23
	Tolerance	$\pm 0,15$	$\pm 0,15$	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	$\pm 0,15$
	Result	NO	NO	GO	NO	NO	NO

Data pengukuran tersebut menunjukkan bahwa pola cor dengan 3D printer SLA lebih presisi dibandingkan dengan pola cor konvensional [19]. Penyimpangan pola cor dengan 3D printer adalah $+0.01$ (penyimpangan atas) dan -0.07 (penyimpangan bawah). Dari data tersebut toleransi yang dimiliki oleh pola cor 3D printer adalah 0.08 mm. Sedangkan, pola cor konvensional memiliki penyimpangan sebesar $+0.20$ (penyimpangan atas) dan -0.33 (penyimpangan bawah). Sehingga toleransi yang dimiliki pola cor konvensional adalah 0.53 mm.

Pola cor 3D printer termasuk dalam kategori GO untuk mencapai dimensi produk sesuai dengan standar ISO. Pola cor manual sebagian besar dimensi linier dan sudut produk termasuk dalam batas deviasi produk ISO. Sehingga pola cor manual tidak direkomendasikan untuk digunakan. ini karena dimensi utama (produk terluar) tidak sepenuhnya dalam batas toleransi karena mereka melebihi penyimpangan maksimum yang diijinkan.

3.4 Analisa Geometri Pola

Analisa geometri pola dilakukan untuk menilai bentuk geometri dari pola yang dibuat secara visual. Hal pertama yang di analisa adalah kebenaran bentuk pola cor dengan gambar kerja dari pola cor tersebut. Gambar 9 merupakan produk akhir dari pola cor sedangkan gambar 10 merupakan produk pola cor dengan 3D printer.

Kedua, dilakukan pemeriksaan kehalusan permukaan dari masing-masing produk pola. Pola cor 3D printer dan pola cor konvensional memiliki kehalusan permukaan yang baik. Pola cor 3D printer memiliki kehalusan yang baik dikarenakan proses pembuatan yang dilakukan dengan metode mengangkat produk dengan ketebalan layer yang tipis [20]. Sedangkan pada pola cor konvensional kehalusan permukaan diperoleh melalui proses pengamplasan secara bertahap. Kehalusan permukaan merupakan hal yang penting mengingat pada proses pengecoran dengan sand casting, pola digunakan untuk membuat rongga pada cetakan pasir. Oleh karena itu, kehalusan permukaan pola cor sangat penting untuk menghasilkan permukaan benda cor yang halus dan mempermudah pelepasan pola cor dari cetakan pasir.

Selanjutnya, dilakukan pengamatan pada geometri bentuk dari masing-masing bagian pola cor. Pola cor dengan 3D printer lebih memiliki bentuk yang rata dan sama pada setiap bagiannya. Sedangkan pada pola cor konvensional memiliki bentuk yang kurang rata. Hal ini juga terlihat pada data hasil pengukuran bagian-bagian pada cor. Pada bagian C,E dan F terlihat bahwa pola cor konvensional memiliki perbedaan pada setiap sampel ukur pada bagian tersebut. Hal ini menunjukan bahwa bagian tersebut memiliki bentuk yang kurang rata. Bentuk yang kurang rata pada pola cor konvensional tersebut disebabkan oleh pengerjaan penghalusan permukaan yang baik. Sedangkan pada pola cor 3D printer juga menunjukan adanya penyusutan ukuran pada ujung benda walau penyusutan ukuran tidak terlalu besar. Hal ini terjadi dikarenakan pengaruh dari metode pembuatan produk yang mengangkat benda kearah vertikal, sehingga terjadi tendensi untuk penyusutan bagian ujung benda pada arah vertical [21].



Gambar 9. Produk pola cor konvensional



Gambar 10. Produk pola cor 3D printe

4. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah pola cor dengan 3D printer memiliki ketelitian dan bentuk geometri yang lebih baik dibandingkan dengan pola cor konvensional. Sedangkan untuk kehalusan permukaan pola cor 3D printer dengan pola cor konvensional memiliki kehalusan permukaan yang baik. Hal ini menunjukan bahwa penggunaan 3D printer dalam industri pengecoran logam, khususnya pada pembuatan pola cor, mampu meningkatkan kualitas ketelitian dan bentuk geometri pada pola cor yang dibuat.

5. Daftar Pustaka

- [1] S. Dalquist and T. Gutowski, "Life cycle analysis of conventional manufacturing techniques: sand casting," in *ASME International mechanical engineering congress and exposition*, 2004, vol. 47136, pp. 631–641.
- [2] B. Ravi, "Computer-aided casting design--past, present and future," *Korea*, vol. 1, no. 1.48, p. 777, 1999.
- [3] A. Lupulescu, S. Henry, K. Marken, and S. Lampman, "Science of Casting and Solidification: ASM Handbook Contributions—Honoring Professor Doru Michael Stefanescu," in *Advances in the Science and Engineering of Casting Solidification*, Springer, 2015, pp. 3–8.
- [4] M. Holtzer, R. Dańko, and S. Żymankowska-Kumon, "Foundry industry--current state and future development," *Metalurgija*, vol. 51, no. 3, pp. 337–340, 2012.
- [5] D. Pal and B. Ravi, "Rapid tooling route selection and evaluation for sand and investment casting," *Virtual Phys. Prototyp.*, vol. 2, no. 4, pp. 197–207, 2007.
- [6] S. Lampman, "Casting design and performance," *ASM Int.*, p. 165, 2009.
- [7] H. Abdillah and U. Ulikaryani, "Aplikasi 3D Printer Fused Deposite Material (FDM) pada Pembuatan Pola Cor," *SINTEK J. J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 13, no. 2, p. 110, 2019, doi: 10.24853/sintek.13.2.110-115.
- [8] S. I. Khasanah, N. R. Sesunan, and H. Abdillah, "Study of the reclamation of waste co2 moulding sand in foundry industry," *Int. J. Emerg. Trends Eng. Res.*, vol. 8, no. 9, pp. 5454–5459, Sep. 2020, doi: 10.30534/ijeter/2020/88892020.
- [9] V. Z. Atina, A. Y. Mahmudi, and H. Abdillah, "Ceper Foundry Industries, Technology Management Readiness for Industrial Revolution 4.0," in *Brawijaya International Conference on Multidisciplinary Sciences and Technology*, 2020, pp. 14–17, Accessed: Jan. 15, 2021. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/341273660_Ceper_Foundry_Industries_Technology_Management_Readiness_for_Industrial_Revolution_40.
- [10] C. K. Chua, K. F. Leong, and C. S. Lim, *Rapid prototyping: principles and applications (with companion CD-ROM)*. World Scientific Publishing Company, 2010.

- [11] M. Vaezi, S. Chianrabutra, B. Mellor, and S. Yang, "Multiple material additive manufacturing--Part 1: a review: this review paper covers a decade of research on multiple material additive manufacturing technologies which can produce complex geometry parts with different materials," *Virtual Phys. Prototyp.*, vol. 8, no. 1, pp. 19–50, 2013.
- [12] M. Kumke, H. Watschke, and T. Vietor, "A new methodological framework for design for additive manufacturing," *Virtual Phys. Prototyp.*, vol. 11, no. 1, pp. 3–19, 2016.
- [13] A.-R. De Noon, F. Ali, and B. V Chowdary, "Analysis of part quality produced by a fused deposition modelling machine: a pragmatic study," *Int. J. Rapid Manuf.*, vol. 5, no. 3–4, pp. 234–254, 2015.
- [14] Anycubic, "anycubic photon 3d printer." <https://www.anycubic.com/collections/anycubic-photon-3d-printers/products/anycubic-photon-3d-printer>.
- [15] Anycubic, "Colored UV Resin 0.5KG." <https://www.anycubic.com/collections/uv-resin/products/copy-of-colored-uv-resin>.
- [16] H. Abdillah and M. Munadi, "Three dimensional stereolithography printer application for casting pattern development," *Int. J. Emerg. Trends Eng. Res.*, vol. 8, no. 6, pp. 2643–2649, 2020, doi: 10.30534/ijeter/2020/69862020.
- [17] D. I. N. ISO, "2768-1 DIN ISO 2768-1: Allgemeintoleranzen; Toleranzen für Längen-und Winkelmaße ohne einzelne Toleranzeintragung." Berlin: Beuth Verlag, 1991.
- [18] M. Munadi and H. Abdillah, "Pengaruh Resolusi 3D CAD STL Pada Kualitas Geometri dan Dimensi (G&D) Produk Pola Cor 3D Printer," *Infotekmesin*, vol. 11, no. 2, pp. 130–136, Aug. 2020, doi: 10.35970/infotekmesin.v11i2.225.
- [19] C. Ma, Y. Zhang, H. Zhang, L. Wu, and L. Yang, "Manufacturing of Herringbone Gear Model by 3D Printing Assisted Investment Casting," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, vol. 332, no. 4, p. 42045.
- [20] Y. Ishida and T. Miyasaka, "Dimensional accuracy of dental casting patterns created by 3D printers," *Dent. Mater. J.*, vol. 35, no. 2, pp. 250–256, 2016.
- [21] R. E. Rebong, K. T. Stewart, A. Utreja, and A. A. Ghoneima, "Accuracy of three-dimensional dental resin models created by fused deposition modeling, stereolithography, and Polyjet prototype technologies: A comparative study," *Angle Orthod.*, vol. 88, no. 3, pp. 363–369, 2018.