



Rancang Bangun Alat Bantu Pengecoran Logam Dengan Metode *Rotary*

Komang Setiawan Triyana Putra¹, E. Y. Setyawan², B.S. Widodo³

¹ Institut Teknologi Nasional Malang

² Institut Teknologi Nasional Malang

³ Institut Teknologi Nasional Malang

Kata kunci

Pengecoran Logam
Metode Rotary
Alat Bantu Pengecoran
Kualitas Produk
Sentrifugal
Design Alat

ABSTRAK

Industri pengecoran logam mengalami perkembangan pesat seiring dengan meningkatnya permintaan produk dengan kompleksitas tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan alat bantu pengecoran logam menggunakan metode rotary, yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas produk dan mengurangi cacat pengecoran. Metode rotary memanfaatkan gaya sentrifugal untuk mendistribusikan logam cair secara merata ke dalam cetakan, sehingga mengurangi cacat seperti porositas dan misrun. Metode penelitian meliputi desain alat menggunakan perangkat lunak SolidWorks, pemilihan bahan, dan pengujian dengan variasi RPM (100, 150, dan 200). Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan rotary memberikan pengaruh signifikan terhadap penurunan jumlah cacat. Pada pengecoran konvensional, jumlah total cacat mencapai 66, sedangkan pada metode rotary dengan kecepatan 200 RPM, cacat menurun drastis menjadi 28%. Ini menunjukkan terjadi penurunan cacat sebesar 57,6%, dengan porositas turun dari 60% menjadi 25% dan dross dari 5 menjadi 1%. Meski misrun meningkat dari 1% menjadi 2%, jumlahnya tetap dalam batas minimal. Dapat disimpulkan bahwa metode pengecoran rotary, khususnya pada kecepatan 200 RPM, lebih efektif dalam meningkatkan kualitas produk coran dibandingkan metode konvensional.

Komang Setiawan Triyana Putra (email: komangsetiawan888@gmail.com)

Diterima:

Disetujui:

Dipublikasikan:

1 Pendahuluan

Pengecoran logam dengan metode rotary, atau yang sering disebut sebagai pengecoran rotary, melibatkan memutar cetakan pada sumbu tertentu untuk memastikan bahwa logam cair didistribusikan secara merata di dalam cetakan. Dengan menggunakan gaya sentrifugal yang dihasilkan dari rotasi, metode ini mendistribusikan logam cair secara lebih seragam. Ini juga mengurangi cacat seperti ketidakseimbangan material dan porositas, yang merupakan rongga udara, yang terjadi pada pengecoran konvensional. Metode ini memutar cetakan berisi logam cair dengan kecepatan tertentu. Logam cair didorong ke arah dinding cetakan karena gaya rotasi sentrifugal, yang mengisi semua bagian cetakan hingga ke sudut-sudutnya. Material tersebar merata melalui proses ini, yang dapat meningkatkan daya tahan dan kepadatan produk [1]

Teknologi pengecoran rotary terus berkembang, termasuk integrasi simulasi dan optimasi proses pengecoran untuk mengurangi cacat dan meningkatkan efisiensi produksi. (Simulasi proses pengecoran dengan perangkat lunak seperti ProCAST memungkinkan perancangan sistem gerbang dan pengaturan parameter pengecoran yang ideal untuk menghasilkan produk bebas) [2]

Dalam penelitian [3] membuat spesimen pasir cetak dengan standard AFS (America Foundry Society) menggunakan alat pemadat pasir, hasil dari pembuatan spesimen akan digunakan sebagai bahan pengujian untuk uji kekuatan tekan pada pengecoran logam. Pengujian meliputi pengamatan langsung terhadap kinerjanya dalam proses pembuatan spesimen cetakan berbahan pasir. Komponen-komponen alat seperti rangka, tuas kecil, tuas besar, tuas putaran, pemberat, tumpuan tumbukan, poros, piston dan cetakan. Parameter pengujian hasil pembuatan dan ditemukan menghasilkan spesimen silinder berukuran 50 mm x 50 mm ke dalam cetakan setelah tiga kali melakukan penumbukan secara manual memakan waktu selama 3 detik

Lalu penelitian [4] dilakukan proses pembuatan cetakan logam dari penggipsuman hingga pengecoran logam. Pola yang digunakan adalah pola pejal yang merupakan hasil dari produk sol sepatu. Selain itu, dalam penelitian ini juga menganalisa pengaruh temperature penuangan, system saluran ideal yang digunakan pada saat menuangkan logam cair kedalam cetakan, serta pengaruh penyusutan pada cavity terhadap hasil cetakan logam fix plate. Kemudian dilakukan penggipsuman rongga cetak atas dengan menggunakan alas cetakan logam fix plate yang diasumsikan sejajar sehingga didapatkan hasil dimensi yang sama dengan cetakan logam fix plate. Terakhir yaitu proses menggabungkan fix plate dan moving plate dengan koreksi menggunakan plastisin pada core dan cavity.

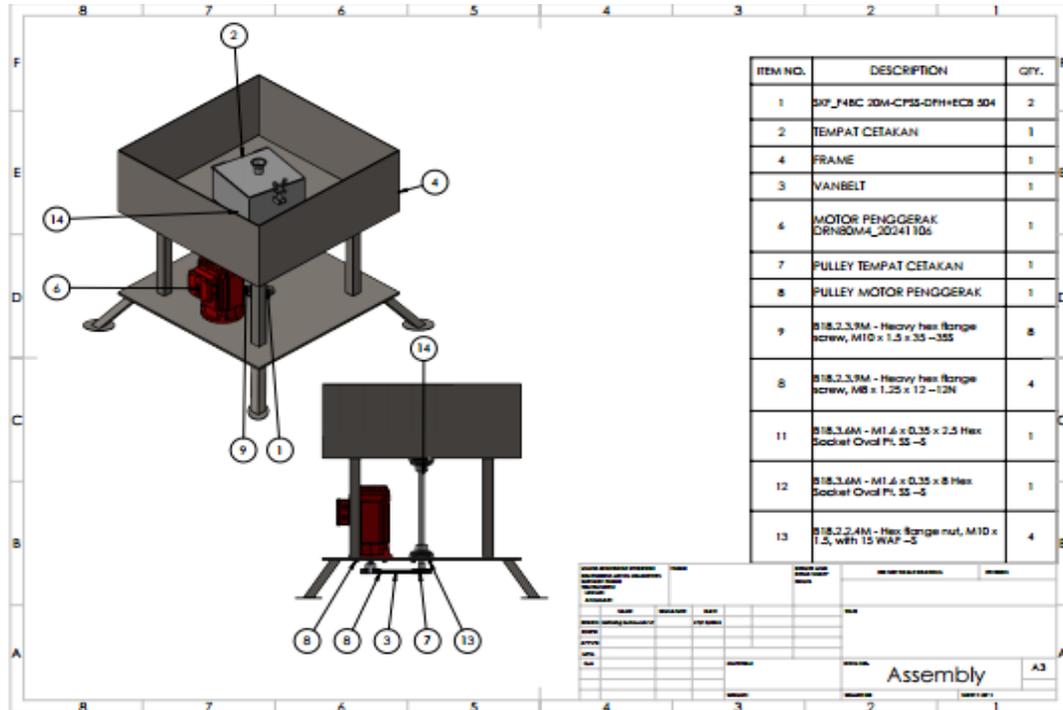
Menurut laporan Satu Data Bali tahun 2019, terdapat 84 UMKM pengecoran logam di Buleleng dan 7 di Gianyar, dengan total tenaga kerja mencapai 723 orang dan omzet gabungan lebih dari Rp 3,7 miliar [5] Meskipun sebagian masih menggunakan metode pengecoran konvensional, tren adopsi teknologi rotary piston mulai muncul sebagai upaya untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas produksi. Metode rotary piston dikenal mampu menekan cacat seperti porositas dan dross, sekaligus meningkatkan output per pekerja, yang secara potensial meningkatkan produktivitas hingga 30–40 %. Dengan mengadopsi rotary piston, UMKM di Bali dapat memperbaiki performa produksi sekaligus meningkatkan daya saing produk mereka baik di pasar lokal maupun global sejalan dengan target pembangunan industri kecil yang berbasis teknologi tepat guna.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang alat bantu pengecoran logam berbasis metode rotary untuk meningkatkan kualitas produk, mengidentifikasi parameter proses yang penting dalam pengecoran rotary dan menentukan pengoptimalan proses pengecoran rotary dapat menurunkan persentase cacat produk.

2 Metode Penelitian

Pelaksanaan penelitian dan pembuatan alat bantu pengecoran logam ini dilakukan di Manufaktur Produksi Mesin ITN Malang yang dimulai pada tanggal 12 November 2024 – 31 Februari 2025, pengujian yang dilakukan kualitas produk dinilai berdasarkan standar ASTM E505 yang meliputi porositas $\leq 5\%$, dross $\leq 1\%$, dan tidak ada misrun.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi Besi hollow 4x4, poros, pasir silica, aluminium, plat baja, baut mur, bearing, besi. Untuk alat yang digunakan diantaranya pulley, motor listrik, kamera digital, v-belt, tachometer, gerinda, kunci-kunxi, mesin bor, mesin las, pylox, meteran, dapur peleburan logam.



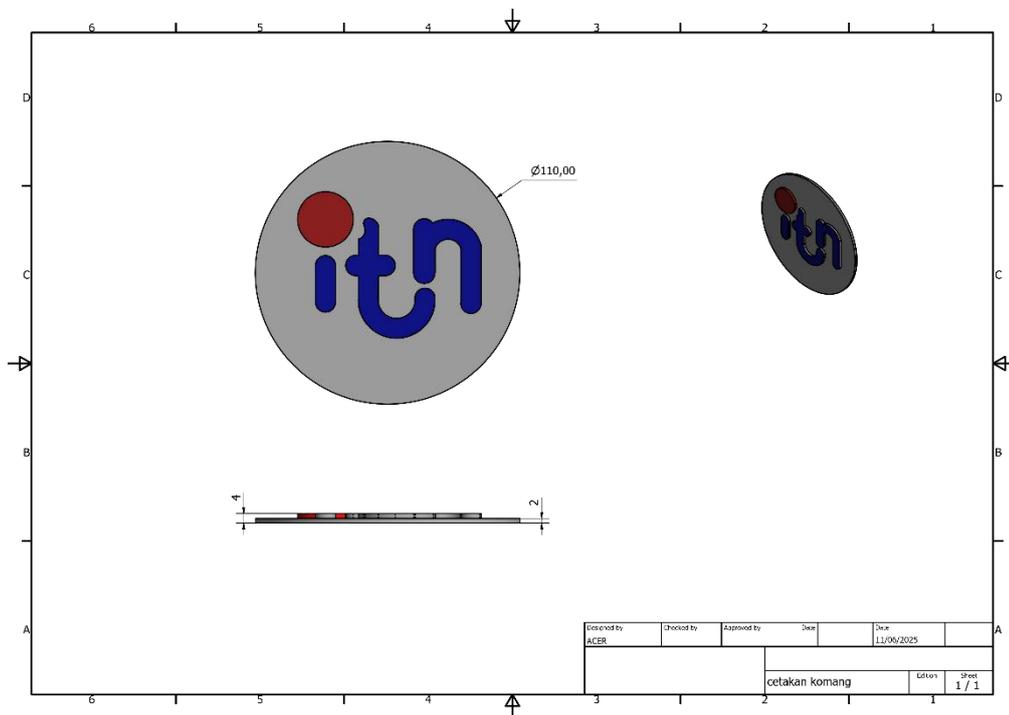
Gambar 1. Design alat bantu pengecoran logam

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini penulis mendapatkan data dengan tahap ini dilakukan analisa hasil pengolahan data untuk mengetahui rancang bangun alat bantu pengecoran logam dengan metode rotary dengan cara mengolah data mentah dari uji langsung menggunakan alat bantu pengecoran logam dengan melihat hasil kualitas dan komponen-komponen yang mempengaruhi

Prosedur penelitian ini yaitu dengan proses pengumpulan referensi terkait topik melibatkan pencarian berbagai sumber di perpustakaan Institut Teknologi Nasional Malang, perpustakaan online, dan buku yang berkaitan dengan perancangan alat. Langkah ini dianggap wajib karena berperan sebagai dasar pijakan untuk memperoleh dan membangun landasan teoritis, serta membentuk asumsi awal. Hal ini penting agar dapat mengklasifikasikan, mengorganisasi, dan menggunakan literatur-literatur yang relevan dalam bidangnya.

3 Hasil dan Pembahasan

Pola yang digunakan pada penelitian ini adalah pola berbentuk logo ITN Malang dengan penambahan ukuran untuk toleransi dan *finishing*.



Gambar 2. Design pola cetakan

Pada logo ITN terjadi proses penyusutan logam akibat perubahan temperature dari tinggi ke temperature ruang. Persentase penyusutan logam dapat diketahui sebagai berikut:

$$S = \frac{\text{Volume cetakan} - \text{Volume produk}}{\text{Volume Cetakan}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} V_{\text{Cetakan}} &= p \times l \times t \\ &= 250 \text{ mm} \times 250 \text{ mm} \times 45 \text{ mm} \\ &= 2812,500 \text{ mm}^3 \\ &= 2812,5 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{Produk}} &= p \times l \times t \\ &= 240 \text{ mm} \times 240 \text{ mm} \times 35 \text{ mm} \\ &= 2016,500 \text{ mm}^3 \\ &= 2016,5 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= \frac{(2812,5 - 2016,5)}{2812,5} \times 100\% \\ &= 0,28\% \end{aligned}$$

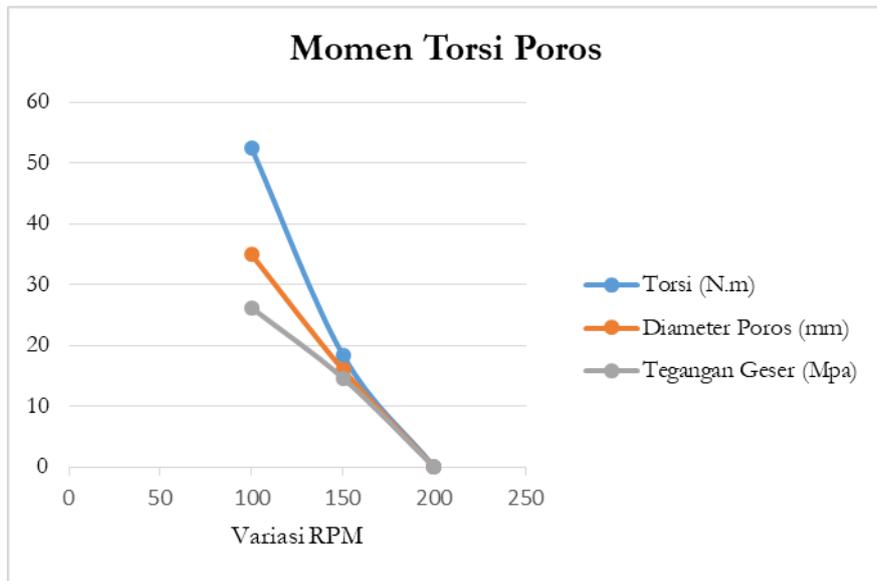
Penyusutan yang terjadi pada cetakan aluminium dengan logo ITN Malang adalah sebagai berikut:

- P awal cetakan = 250 mm
- L awal cetakan = 250 mm
- P penyusutan = 249,3 mm
- L penyusutan = 249,3 mm

Jadi, setelah penyusutan, panjang dan lebar cetakan akan menjadi sekitar 249,3 mm.

Tabel 1. Data perhitungan momen torsi poros

Rpm	Hitungan Torsi	Diameter Poros	Tegangan Geser
100	52,51 Nm	18,5 mm	0,0792 Mpa
150	35 Nm	16,1 mm	0,0528 Mpa
200	26,25 Nm	14,7 mm	0,0396 Mpa



Gambar 3. Grafik momen torsi poros terhadap variasi RPM

Maka dapat disimpulkan dari grafik momen torsi poros alat bantu pengecoran metode *rotary* ini menunjukkan bahwa kecepatan putar optimal terdapat pada 200 RPM, dapat mengurangi cacat-cacat pada bagian tertentu dan meningkatkan kualitas yang dihasilkan dari 200 RPM dibandingkan dengan 100 RPM dan 150 RPM yang masih terdapat cacat-cacat pada bagian tertentu. Oleh karena itu, desain poros pada alat rotary dapat dioptimalkan untuk menggunakan ukuran yang lebih ramping dan material yang lebih ringan tanpa mengorbankan kekuatan atau keamanan struktur. Hal ini mendukung efisiensi desain alat bantu pengecoran rotary dalam skala laboratorium.



Gambar 4. Hasil pengujian pengecoran logam konvensional

Pengecoran logam dengan metode open casting (cetakan terbuka). Pada cetakan terbuka logam cair yang dituangkan kedalam rongga cetak hingga memenuhi rongga yang terbuka. Hasil pengecoran ini menunjukkan beberapa masalah, antara lain misrun yang berada di beberapa titik hasil produk, porositas, dan dross. Misrun terjadi ketika logam cair tidak sepenuhnya mengisi cetakan, yang dapat disebabkan oleh suhu logam yang terlalu rendah atau desain cetakan yang tidak optimal. Porositas, yang berupa gelembung udara atau ruang kosong dalam logam, biasanya diakibatkan oleh gas yang terjebak saat proses pengecoran, sering kali karena pendinginan yang terlalu cepat. Sementara itu, dross adalah limbah atau slag yang terbentuk di permukaan logam cair akibat oksidasi atau kontaminasi.

Pengecoran logam dengan metode open casting memiliki tantangan yang telah diteliti dalam beberapa studi sebelumnya. Penelitian oleh [6] menunjukkan bahwa pengendalian suhu dan waktu menuang sangat mempengaruhi kualitas coran, di mana suhu yang tepat dapat mengurangi risiko misrun. Hal ini sejalan dengan hasil pengecoran yang menunjukkan adanya misrun, yang dapat diatasi dengan pengaturan suhu yang lebih baik.



Gambar 5. Hasil Pengujian alat bantu pengecoran logam dengan metode rotary dengan RPM 100

Berdasarkan hasil pengujian pada RPM 100, terlihat adanya beberapa cacat pada produk yang dihasilkan, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 4. Cacat tersebut meliputi porositas, misrun, dan dross. Porositas terjadi ketika gas terperangkap dalam logam cair selama proses pengecoran, yang terlihat dari adanya gelembung kecil pada permukaan produk. Penelitian oleh [3] menunjukkan bahwa porositas dapat disebabkan oleh kecepatan penuangan yang tidak optimal dan pengaturan suhu yang kurang tepat, di mana ketidakstabilan suhu dan kecepatan rotasi dapat mempengaruhi distribusi logam cair.

Cacat misrun, yang terjadi ketika logam cair tidak sepenuhnya mengisi rongga cetakan, juga terdeteksi pada produk. Pada gambar, tampak bagian yang tidak terisi dengan baik, menunjukkan bahwa cetakan tidak terisi sempurna [7] mengungkapkan bahwa misrun dapat terjadi akibat desain saluran penuangan yang kurang baik atau kecepatan penuangan yang terlalu lambat. Dalam konteks penelitian ini, kecepatan rotasi yang rendah mungkin menjadi faktor penyebab utama.

Selain itu, dross atau kotoran dalam logam mencerminkan adanya oksidasi pada permukaan logam cair. Penelitian oleh [4] menunjukkan bahwa dross dapat dihasilkan dari reaksi logam dengan udara atau kelembapan selama proses pengecoran. Kualitas cetakan dan kebersihan lingkungan kerja juga mempengaruhi kemunculan cacat ini.

Secara keseluruhan, kualitas produk pada RPM 100 menunjukkan bahwa meskipun terdapat cacat, alat bantu pengecoran masih mampu menghasilkan komponen logam. Namun, cacat yang ada menunjukkan bahwa masih ada ruang untuk perbaikan. Penelitian sebelumnya oleh [8] menemukan bahwa peningkatan kecepatan RPM selama proses pengecoran dapat meminimalkan cacat seperti porositas dan misrun. Selain itu, [9] menegaskan bahwa penggunaan teknik rotary dengan kecepatan yang tepat dapat meningkatkan kepadatan dan kualitas produk akhir.

Dapat disimpulkan bahwa kecepatan rotasi yang lebih tinggi mampu mengurangi kemungkinan terjadinya cacat pada produk.

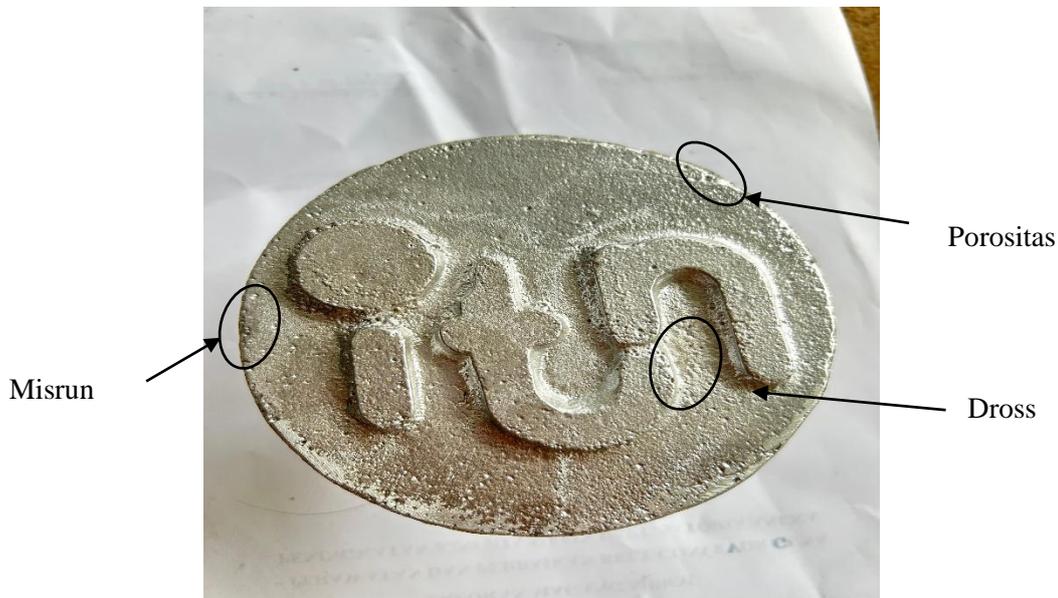


Gambar 6. Hasil pengujian alat bantu pengecoran logam dengan metode rotary dengan RPM 150

Berdasarkan hasil pengujian pada RPM 150, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5, terdapat beberapa cacat yang terdeteksi pada produk, yaitu dross, porositas, dan misrun. Dross, atau kotoran yang terlihat pada permukaan produk, menunjukkan adanya oksidasi akibat reaksi logam dengan udara atau kelembapan selama proses pengecoran. Hal ini sejalan dengan penelitian oleh [4], yang mengungkap bahwa pengendalian lingkungan dan kualitas cetakan sangat berpengaruh terhadap munculnya cacat ini. Selain itu, porositas yang terdeteksi dalam produk mencerminkan adanya gelembung gas yang terperangkap dalam logam cair. Penelitian oleh [3] menunjukkan bahwa porositas sering kali disebabkan oleh kecepatan penuangan yang tidak optimal dan suhu yang tidak stabil, sehingga mengindikasikan bahwa meskipun ada peningkatan kecepatan rotasi, masih ada faktor-faktor lain yang perlu diperbaiki untuk meminimalkan cacat.

Cacat misrun juga terlihat jelas, di mana bagian tertentu dari cetakan tidak terisi dengan baik. [7] mencatat bahwa misrun dapat terjadi akibat desain saluran penuangan yang kurang efektif, serta kecepatan penuangan yang tidak sesuai. Dalam konteks pengujian ini, meskipun peningkatan kecepatan rotasi diharapkan dapat meningkatkan kualitas produk, tampaknya ada aspek lain yang belum dioptimalkan, seperti desain cetakan dan pengaturan kecepatan penuangan.

Secara keseluruhan, meskipun hasil pengujian pada RPM 150 menunjukkan beberapa perbaikan dibandingkan dengan RPM 100, masih terdapat cacat yang perlu ditangani. Penelitian sebelumnya oleh [9] dan [1] menunjukkan bahwa peningkatan lebih lanjut dalam kecepatan rotasi, bersama dengan perbaikan dalam desain dan pengaturan proses, dapat menghasilkan kualitas produk yang lebih baik dengan mengurangi cacat. Oleh karena itu, untuk pengujian selanjutnya, disarankan agar fokus pada optimalisasi semua variabel yang terlibat dalam proses pengecoran untuk mencapai hasil yang lebih baik.



Gambar 7. Pengujian alat bantu pengecoran logam dengan metode rotary dengan RPM 200

Berdasarkan hasil pengujian pada RPM 200, yang ditunjukkan dalam Gambar 4.5, terdapat beberapa cacat yang terdeteksi pada produk, yaitu porositas, misrun, dan dross. Meskipun ada peningkatan dalam kualitas dibandingkan dengan pengujian sebelumnya, cacat-cacat ini masih menunjukkan ada ruang untuk perbaikan. Porositas yang terlihat di bagian tengah menunjukkan adanya gelembung gas yang terperangkap dalam logam cair. Hal ini sejalan dengan temuan [3] yang menekankan bahwa porositas dapat disebabkan oleh kecepatan penuangan yang tidak optimal dan suhu yang tidak stabil. Meskipun peningkatan kecepatan rotasi diharapkan dapat memperbaiki distribusi logam cair, tampaknya faktor-faktor lain seperti desain cetakan dan pengaturan suhu masih perlu dioptimalkan untuk mengurangi cacat ini.

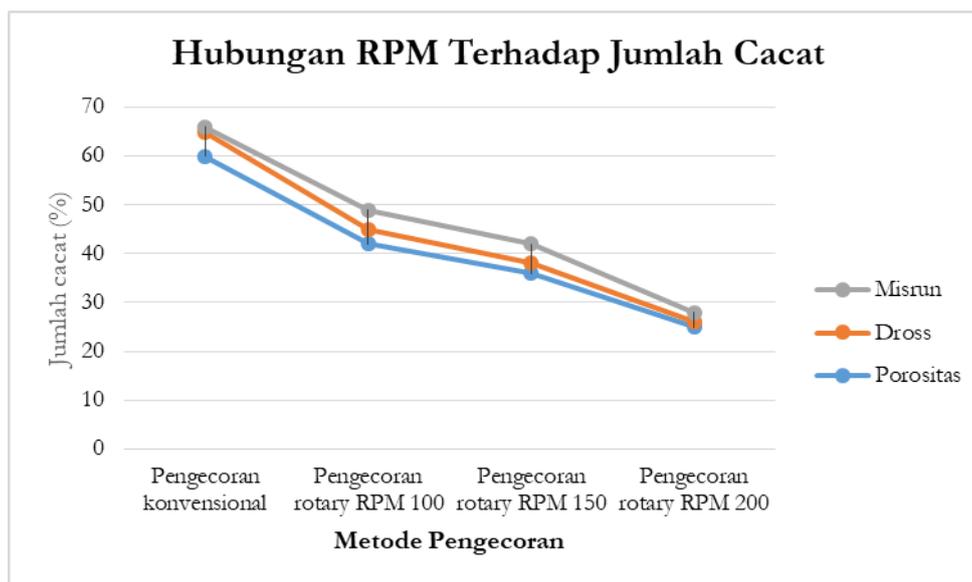
Cacat misrun, yang terlihat pada bagian bawah produk, menunjukkan bahwa ada area yang tidak terisi dengan baik. Penelitian oleh [7] menunjukkan bahwa misrun sering kali disebabkan oleh desain saluran penuangan yang kurang efektif. Dalam konteks pengujian ini, meskipun RPM 200 seharusnya memberikan hasil yang lebih baik, desain saluran penuangan yang kurang optimal mungkin masih berkontribusi pada masalah ini.

Meskipun cacat porositas berkurang pada 200 RPM, dross tetap muncul pada semua variasi RPM. Dross ini terbentuk akibat reaksi oksidasi aluminium selama peleburan dan penuangan. Menurut [4] cacat ini dapat dikurangi dengan penggunaan flux atau menciptakan atmosfer inert di sekitar logam cair.

Secara keseluruhan, meskipun hasil pengujian pada RPM 200 menunjukkan beberapa perbaikan dalam kualitas produk dibandingkan dengan RPM sebelumnya, masih terdapat cacat yang perlu ditangani. Penelitian sebelumnya oleh [6] dan [1] menunjukkan bahwa kombinasi antara peningkatan kecepatan rotasi dan optimasi desain cetakan dapat secara signifikan mengurangi cacat. Oleh karena itu, penting untuk melakukan evaluasi mendalam terhadap semua variabel yang terlibat dalam proses pengecoran untuk mencapai hasil yang lebih baik di masa mendatang.

Tabel 2. Jumlah cacat pengecoran metode rotary

Metode Pengecoran	Jumlah Cacat		
	Porositas (%)	Dross (%)	Misrun (%)
Pengecoran konvensional	60	5	1
Pengecoran rotary RPM 100	42	3	4
Pengecoran rotary RPM 150	36	2	4
Pengecoran rotary RPM 200	25	1	2



Pada proses pengecoran logam, cacat seperti porositas, dross, dan misrun merupakan hal yang umum terjadi dan sangat memengaruhi kualitas produk akhir. Berdasarkan grafik diatas dari beberapa metode pengecoran, yaitu pengecoran konvensional serta pengecoran rotary dengan kecepatan 100, 150, dan 200 RPM, terlihat bahwa jumlah cacat menurun secara signifikan seiring dengan peningkatan kecepatan putaran pada metode rotary. Pada pengecoran konvensional, jumlah porositas tercatat paling tinggi, yaitu sebanyak 60%, sedangkan pada metode rotary RPM 200 hanya tercatat 25% porositas. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan gaya sentrifugal pada metode rotary mampu mengurangi jumlah gas yang terjebak dalam logam cair selama proses pembekuan. Gaya ini membantu mendorong gas ke bagian luar cetakan sehingga tidak membentuk lubang-lubang kecil dalam produk akhir.

Cacat dross, yang merupakan hasil dari oksidasi logam cair saat bersentuhan dengan udara, juga menurun seiring peningkatan RPM, dari 5% pada pengecoran konvensional menjadi hanya 1% pada RPM 200. Meskipun demikian, dross tetap muncul di setiap metode pengecoran karena merupakan hasil alami dari reaksi logam cair dengan udara. Bahkan dengan pengadukan cepat pada metode rotary, pembentukan dross tidak dapat dihilangkan sepenuhnya karena proses oksidasi tetap terjadi selama logam berada dalam keadaan cair dan terbuka terhadap udara.

Sementara itu, misrun atau cacat akibat logam tidak mengisi seluruh cetakan sebelum membeku, menunjukkan tren yang sedikit berbeda. Pada pengecoran konvensional, jumlah misrun relatif rendah,

namun meningkat pada metode rotary dengan RPM 100 dan 150, masing-masing sebanyak 4%. Ini disebabkan oleh distribusi logam cair yang kurang optimal atau pembekuan yang terjadi terlalu cepat sebelum logam mencapai seluruh bagian cetakan. Namun, pada RPM 200, jumlah misrun kembali menurun menjadi 2%, menandakan bahwa pada kecepatan putar yang lebih tinggi, logam cair dapat terdorong dengan lebih cepat dan merata ke seluruh bagian cetakan sebelum membeku.

Hal ini dapat disimpulkan bahwa metode pengecoran rotary, terutama pada kecepatan 200 RPM, memberikan hasil yang lebih baik dalam mengurangi jumlah cacat dibandingkan metode konvensional. Penerapan gaya sentrifugal membantu memperbaiki aliran logam, mengurangi porositas dan dross, serta mengoptimalkan pengisian cetakan sehingga cacat misrun juga dapat ditekan. Namun, perlu diingat bahwa beberapa cacat seperti dross tetap tidak bisa dihindari sepenuhnya karena berkaitan langsung dengan sifat alami logam cair yang mudah teroksidasi di udara terbuka.

4 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian alat bantu pengecoran logam dengan metode rotary variasi kecepatan putaran, dapat disimpulkan beberapa hal yaitu Penelitian ini berhasil merancang dan mengembangkan alat bantu pengecoran logam dengan metode rotary. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun teknik rotary menawarkan banyak keuntungan, terdapat faktor-faktor lain seperti desain saluran penuangan dan pengaturan suhu yang perlu dioptimalkan untuk meningkatkan kualitas produk. Dari hasil pengujian, diketahui bahwa peningkatan rpm pada alat bantu pengecoran logam berpengaruh positif terhadap kualitas produk akhir. Meskipun demikian, masih terdapat cacat seperti porositas, misrun, dan dross pada produk yang dihasilkan. Optimalisasi proses pengecoran rotary, khususnya pada kecepatan 200 RPM, berhasil menurunkan total cacat produk dari 66 cacat pada metode konvensional menjadi hanya 28 cacat, atau terjadi penurunan sebesar 57,6%.

5 Referensi

- [1] Lazaro-Nebreda, J., Patel, J. B., & Fan, Z. (2021). Improved degassing efficiency and mechanical properties of A356 aluminium alloy castings by high shear melt conditioning (HSMC) technology. *Journal of Materials Processing Technology*, 294, 117146.
- [2] Kumar, R., Sharma, A., & Singh, P. (2020). *Numerical Simulation of Molten Metal Flow in Rotary Casting Molds Using CFD*. *Journal of Manufacturing Processes*, 49, 112-121. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.09.002>.
- [3] GUNAWAN, D. (2024). *RANCANG BANGUN ALAT PEMADATAN PASIR CETAK PENGECORAN LOGAM UNTUK LABORATORIUM MANUFAKTUR* (Doctoral dissertation, UNIVERSITAS MALIKUSSALEH).
- [4] Safitri, A. W. (2018). *Rancang Bangun Proses Pembuatan Cetakan Sol Sepatu Melalui Metode Pengecoran Logam*.
- [5] Purwanto, J. (2019). *Pembuatan Pola Untuk Pengecoran Tutup Pompa Rotary Sentrifugal Besi Cor Kelabu* (

Fc) Dengan Media Cetakan Pasir Co₂. 1–15. <https://eprints.ums.ac.id/79537/11/NAS PUB-3.pdf>

- [6] Gyarmati, G., Fegyverneki, G., Tokár, M., & Mende, T. (2020). Investigation on double oxide film initiated pore formation in aluminum casting alloys. *International Journal of Engineering and Management Sciences*, 5(2), 141-153.
- [7] Kurniawan, G. A. (2019). RANCANG BANGUN MESIN CENTRIFUGAL CASTING HORIZONTAL UNTUK PENGECORAN ALUMINIUM SKALA LABORATORIUM. *U NIVERSITAS DIPONEGORO*, 151, 10–17.
- [8] MANURUNG, F. F. M. (2022). Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Temperatur Pemanasan Awal Cetakan Horizontal Centrifugal Casting pada Pengecoran Al-Si Terhadap Sifat Mekanik dan Cacat Coran. *DINAMIS*, 10(2), 46-52.
- [9] Putra, L. R., & IRFAI, M. A. (2019). Pengaruh Kecepatan Putar Mesin Centrifugal Casting Pada Proses Pengecoran Aluminium Terhadap Kekerasan dan Porositas. *Jurnal Teknik Mesin*, 7(1).
- [10] Santoso, N., & Setiawan, W. (2015). Variasi perubahan putaran pada pengecoran aluminium bentuk puli dengan metode centrifugal casting terhadap peningkatan kekuatan mekanik. *Jurnal Material Teknologi Proses: Warta Kemajuan Bidang Material Teknik Teknologi Proses*, 1(1).