



Jurnal Artikel

Analisis Hasil Pembuatan *Brake Disc* terhadap Hasil Simulasi Metode Pengecoran Logam Menggunakan Sistem Saluran Bawah

Wahyu Bagus N.S¹, Michael Hennathan Siagian², Alifka Akbari³, Malik Hakim Ash Shiddiq⁴, Rifat Hagi⁵, Muhammad Danu Radhiya Shadqi⁶, Mohammad Fayyadh⁷, Carvin Moreno⁸, Rudianto Raharjo⁹

¹Program Studi Teknik Mesin, Universitas Brawijaya

*Corresponding author – Email : wahyubagusnoor@student.ub.ac.id

Abstrak

Disc brake merupakan sistem pengereman yang beroperasi dengan mengapit kampas rem pada cakram yang berputar untuk mengurangi kecepatan kendaraan. Komponen ini banyak digunakan pada kendaraan modern karena kinerjanya yang stabil serta kemampuan disipasi panas yang baik. Pada penelitian ini, bagian disc brake berupa pelat dasar miring diproduksi menggunakan metode pengecoran pasir, yang dipilih karena biaya produksinya rendah dan mampu membentuk geometri kompleks. Proses manufaktur meliputi pembuatan pola, pembuatan cetakan, penuangan logam cair, pendinginan, dan finishing. Selain pelaksanaan proses pengecoran aktual, dilakukan simulasi menggunakan Altair Inspire Cast untuk memprediksi aliran logam cair serta potensi cacat pengecoran. Hasil pengecoran kemudian dibandingkan dengan hasil simulasi berdasarkan parameter dimensi, jenis cacat, dan kualitas permukaan guna mengevaluasi kesesuaian kedua pendekatan serta mengidentifikasi cacat yang berpotensi muncul. Temuan ini memberikan dasar untuk perbaikan desain cetakan dan optimasi parameter proses dalam produksi komponen disc brake

Kata kunci: *Disc brake, pengecoran pasir, simulasi pengecoran, cacat pengecoran*

Abstract

Disc brake is a braking system that operates by clamping brake pads onto a rotating disc to reduce vehicle speed. This component is widely used in modern vehicles due to its stable performance and effective heat dissipation capability. In this study, a tilted base plate of the disc brake assembly was produced using the sand casting method, selected for its low production cost and ability to form complex geometries. The manufacturing stages included pattern making, mold preparation, molten metal pouring, cooling, and finishing. In addition to the actual casting process, a numerical simulation was conducted using Altair Inspire Cast to predict molten metal flow behavior and potential casting defects. The experimental results were then compared with the simulation outcomes based on dimensional accuracy, defect characteristics, and surface quality to evaluate the consistency between both approaches and identify defects likely to occur during production. The findings provide insights for improving mold design and optimizing process parameters in the manufacturing of disc brake component.

Keywords: *Disc brake, sand casting, casting simulation, casting defects*

1. PENDAHULUAN

Pengecoran merupakan teknik manufaktur yang digunakan untuk menghasilkan produk dengan bentuk kompleks atau bahan material dengan nilai kekerasan tinggi, sehingga tidak bisa di proses dengan metode lainnya (Sudiyanto, 2020)

Metode pengecoran logam menggunakan cetakan sekali pakai yang mencakup 7 teknik pengecoran yang dapat digunakan, antara lain: pengecoran pasir, pengecoran cangkang, pengecoran vakum, pengecoran polistirena mengembang, pengecoran investasi, pengecoran cetakan plester dan pengecoran cetakan keramik. Dengan berbagai metode pengecoran logam yang ada, setiap metode tersebut dapat digunakan berdasarkan kebutuhannya.

Pada penelitian ini, teknik yang diterapkan adalah pengecoran pasir. Pengecoran pasir adalah teknik cetakan yang memanfaatkan pasir silika sebagai mediumnya. Metode pengecoran ini sangat umum dipakai karena sifatnya yang fleksibel dan tingkat penyusutannya yang optimal saat pendinginan, sehingga mengurangi kemungkinan kerusakan pada hasil produk. Biaya produksinya dianggap rendah. Metode ini dapat diaplikasikan untuk mencetak material ferrous dan non-ferrous dengan ukuran kapasitas yang bervariasi (Muhammad Rayhan Nurfajrie et al., 2024).

Keuntungan menggunakan pasir cor memungkinkan produksi massal, dengan membuat master produk kemudian menirunya dengan menggunakan lilin dan ditiru dengan menggunakan lilin dan dijadikan pola untuk cetakan pasir, kemudian dapat diproduksi dalam skala besar, bisa menciptakan bentuk yang ramping, maupun desain yang kompleks, mengurangi kebutuhan untuk finishing permukaan, dengan tingkat ketepatan yang baik pada cetakan pasir, sehingga proses finishing akan berkurang dan dapat mempertahankan ketepatan objek yang

dihasilkan. Kelemahannya adalah: proses pengecoran berlangsung cukup lama, sehingga tidak dapat memproduksi barang dengan cepat. Selain itu, memerlukan pasir cetak berkualitas tinggi, yang pastinya memiliki biaya yang cukup tinggi. Selain itu, ukuran produk tidak boleh terlalu besar, karena proses pembuatan dengan pasir cetak bisa rentan terhadap kerusakan.

Rem cakram adalah tipe sistem pengereman yang memanfaatkan cakram (tidak pelek atau tromol) sebagai area untuk pengereman. Tipe rem ini diterapkan pada berbagai macam kendaraan seperti mobil dan motor (Swapnil Thigale, 2016) Meskipun, geometri Disc brake simetris dan cukup umum, proses pengecoran untuk komponen ini memerlukan perencanaan yang cermat untuk menghindari cacat potensial dan memastikan akurasi dimensi.

Simulasi untuk pengecoran telah mendapatkan popularitas di industri karena membantu mempelajari pengisian cetakan, pemadatan logam, dan pendinginan bagian dalam coran (Harshwardhan et al., 2023). Dalam pengecoran logam dengan metode pengecoran pasir, terdapat kemungkinan adanya cacat pada produk yang dihasilkan, sehingga sebelum pengecoran perlu dilakukan simulasi pengecoran terlebih dahulu. Tahapan desain benda kerja perlu diperhatikan terutama pada bidang desain produk pengecoran, saat ini banyak sekali digunakan software-software yang dapat menunjang usaha, seperti software Solidworks Computer Aided Design - Computer Aided Manufacturing dan software simulasi pengecoran seperti Altair Inspire Cast (Malik et al., 2021).

Simulasi pengecoran semakin banyak digunakan sebagai alat kolaborasi antara perancang komponen dan produsen pengecoran untuk mengurangi waktu tunggu, mengembangkan desain komponen yang ramah terhadap pengecoran, dan menghasilkan pengecoran yang lebih baik. Aplikasi yang digunakan untuk mensimulasikan proses pengecoran logam adalah Altair Inspire Cast yang

mampu menampilkan potensi cacat pada proses pengecoran serta animasi aliran logam cair kedalam rongga cetakan dan proses pemadatan selama pengecoran. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan cacat pengecoran yang terdapat pada pengecoran fisik *Disc Brake* yang diproduksi dengan metode pengecoran pasir, dengan cacat yang diprediksi melalui simulasi.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Material

Material utama yang digunakan dalam proses pengecoran ini adalah paduan aluminium yang dilebur dalam tungku listrik sebelum dituangkan ke dalam cetakan pasir. Aluminium dipilih karena karakteristiknya yang ringan, tahan terhadap korosi, serta kemampuannya untuk mengalir dengan baik dalam keadaan cair. Di samping itu, sifat reaktif aluminium menjadikannya mudah mengalami oksidasi dengan oksigen, yang menghasilkan lapisan aluminium oksida yang sangat tahan terhadap korosi. Komposisi kimia paduan aluminium dalam penelitian ini terdiri dari unsur-unsur seperti Al, Fe, Zn, Mn, dan Cu, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1. Keberadaan unsur paduan seperti Fe dan Mn dapat memengaruhi sifat mekanik serta perilaku solidifikasi logam.

Karena kelarutan gas hidrogen yang tinggi dalam kondisi cair, paduan aluminium cenderung membentuk porositas, yang dapat mengurangi sifat mekanik hasil coran. Kekuatan, ketahanan aus, dan struktur mikro coran aluminium dapat dipengaruhi oleh perbedaan unsur paduan seperti besi, mangan, dan zink

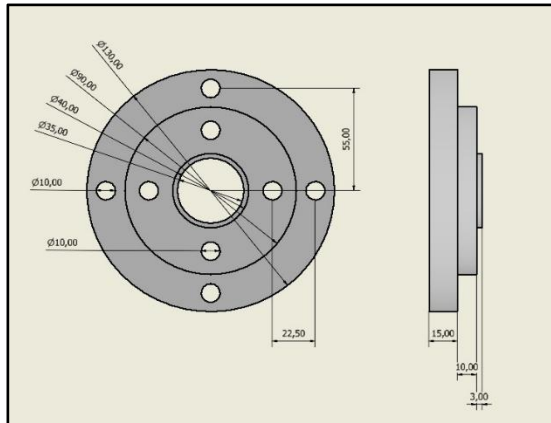
Tabel 1.1 Komposisi unsur pada benda hasil pengecoran beserta massa jenisnya

No	Unsur	Kandungan	Massa Jenis (gr/cm^3)	Materi
----	-------	-----------	---------------------------	--------

1	Al	89.859	2.6989	
2	Zn	0.884	7.133	
3	Cu	0.740	8.29	
4	Ni	0.127	8.902	
5	Fe	6.754	7.874	XRF
6	Mn	1.219	7.21	
7	Cr	0.322	51.99	
8	Pb	0.027	11.34	
9	Sn	0.018	7.29	

2.2. Desain Benda Kerja

Desain *disc brake* dibuat menggunakan perangkat lunak Autodesk Inventor dengan mempertimbangkan toleransi penyusutan dan toleransi pemesinan. Toleransi penyusutan ditambahkan untuk mengimbangi perubahan volume logam cair selama proses pendinginan, sementara toleransi pemesinan diberikan agar dimensi akhir sesuai dengan spesifikasi setelah dilakukan proses *finishing*. Toleransi penyusutan wajib diperhitungkan karena logam mengalami perubahan volume selama pendinginan, yang dapat memicu porositas jika tidak diakomodasi dalam desain pola. Desain cetakan harus dapat mengontrol aliran dan pengumpanan logam cair secara efektif karena perbedaan laju pembekuan di antara bagian-bagian cor membuat area tertentu lebih rentan terhadap kerusakan. Temperatur cetakan juga sangat memengaruhi kualitas permukaan dan akurasi dimensi hasil coran, jadi penting untuk mempertimbangkan faktor-faktor ini selama proses perancangan.



Gambar 2.1 Desain Objek Brake Disk

2.3. Cetakan Pasir

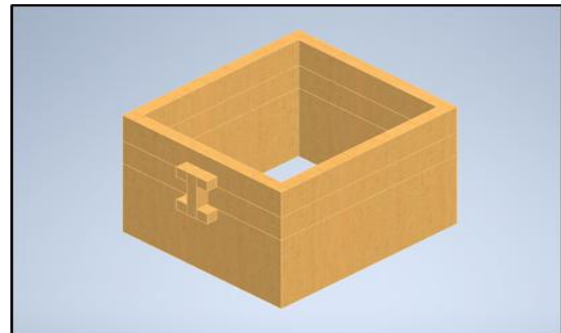
Cetakan pasir atau disebut sebagai *sand mold*, merupakan metode dalam pengecoran logam yang umum digunakan karena sifatnya yang fleksibilitas, rendahnya biaya, serta kemampuan dalam menghasilkan bentuk yang terbilang kompleks. Cetakan pasir merupakan salah satu kategori cetakan yang dapat dibuang setelah pemakaian, di mana tipe pasir yang umum digunakan adalah pasir silika. Lebih dari dua pertiga proses pengecoran pada industri yang masih mengandalkan cetakan pasir. Hal ini disebabkan karena bahan baku pasir yang mudah diperoleh, kompatibel pada berbagai jenis logam, dan dapat digunakan secara berulang (Groover, 2010) . Secara umum, pasir cetak terdiri atas pasir silika yang dicampurkan dengan bahan-bahan pengikat, termasuk bentonit atau bahan kimia spesifik dengan maksud untuk memperkuat daya tahan cetakan terhadap logam cair yang akan dituangkan.

Proses dalam pembuatan cetakan pasir dimulai dengan persiapan pola (*pattern*), pemadatan pasir pada *flask*, pembuatan sistem saluran (*gating system*), serta pengeringan cetakan sesuai dengan jenisnya. Kualitas cetakan pasir yang telah selesai dapat ditentukan berdasarkan sifat fisik pasir, seperti pada kekuatan tekan, permeabilitas, kadar kelembapan, ukuran pada butir, serta *refractoriness* (Suyitno et al., 2016) . Sifat-sifat tersebut memiliki pengaruh secara langsung terhadap kualitas hasil cor, meliputi risiko cacat

seperti porositas, *misrun*, *cold shut*, ataupun *sand inclusion*. Oleh karena itu, tahapan pengendalian pada kualitas komposisi pasir cetak dan parameter pengecoran merupakan hal penting untuk menghasilkan komponen cor yang bebas cacat.



Gambar 2.2 Pola Kayu Saluran Bawah



Gambar 2.3 Cetakan Pasir

2.4. Metode Simulasi

Metode simulasi dalam pengecoran logam adalah pendekatan berbasis komputer yang dimanfaatkan dengan tujuan memprediksi bagaimana perilaku aliran logam cair, pembekuan dalam cetakan serta perpindahan panas. Simulasi pengecoran mempermudah dalam sisi rancangan proses sebelum dilakukannya produksi dilakukan, sehingga mampu mengurangi potensi terjadinya cacat serta biaya percobaan langsung (Campbell, 2015) . Fungsi dari simulasi juga memberikan visualisasi tiga dimensi tentang aliran logam cair, pola pembekuan dan potensi terjadinya *misrun*, *cold shut*, ataupun *shrinkage porosity*, yang dinilai sulit untuk diamati secara langsung dalam proses nyata.

Teknologi pemodelan memanfaatkan pendekatan matematis seperti Metode Elemen Hingga, Metode Volume Terbatas, dan Dinamika Fluida Komputasional. dengan tujuan memperoleh hasil yang dinilai akurat. Metode ini mampu menganalisis kondisi termal dari cetakan, gradien temperatur, kecepatan aliran logam, dan tekanan internal selama berlangsungnya proses pengisian (Ravi, 2006) . Oleh sebab itu, dengan adanya parameter penting, meliputi desain *gating system*, lokasi *riser*, kecepatan tuang, serta ketebalan cetakan mampu dioptimalkan. Pemodelan numerik juga mampu digunakan untuk evaluasi efek dari variasi material cetakan dan sifat logam cair terhadap terjadi atau tidaknya cacat.

2.5. Pengecoran Logam

Pengecoran logam adalah sebuah teknik yang dianggap sangat penting dalam industri manufaktur, karena memfasilitasi kreasi bentuk-bentuk rumit yang tidak mudah dicapai dengan metode pembuatan lainnya. Selama proses pengecoran, logam dipanaskan hingga mencair di dalam tungku peleburan, selanjutnya dituangkan ke dalam cetakan yang sesuai dengan bentuk akhir produk yang diinginkan (Andika et al., 2021) Penuangan dilakukan dengan hati-hati untuk menghindari turbulensi yang dapat menyebabkan cacat seperti *blowhole* dan *sand inclusion* (Deshmukh & Sarda, 2015) Selain itu, pemilihan desain riser sangat memengaruhi kualitas hasil coran, terutama dalam mencegah cacat shrinkage akibat kurangnya suplai logam cair selama tahap pembekuan (Soejono Tjitro, 2001)



Gambar 2.4 Penuangan Logam Cair

3. Hasil Penelitian

3.1. Hubungan Waktu Pematatan dengan Suhu Pematatan Simulasi

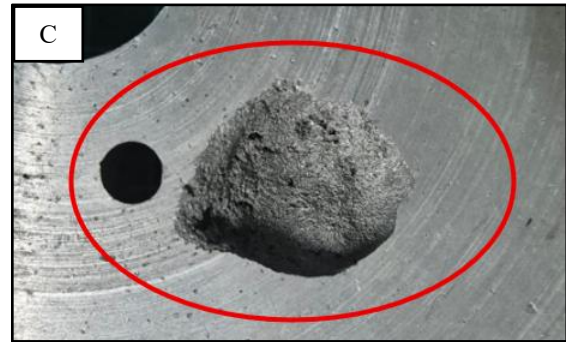
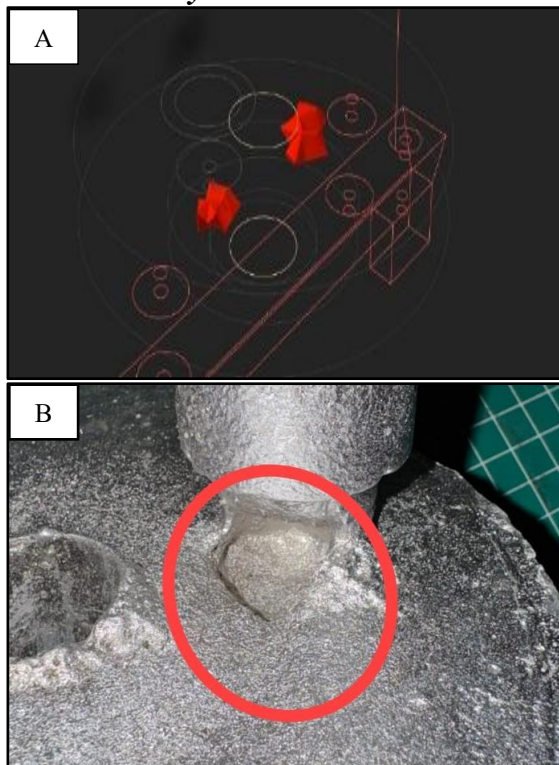
Aplikasi Inspire Cast 2024.1 pada benda kerja *disc brake*, data yang diperoleh dapat dilihat

Tabel 3.1 Temperatur Pembekuan dan Waktu

Temperatur Pembekuan (°C)	Waktu (s)
899,32	24,9
753,93	286,86
608,54	411,4
540,81	669,16
463,15	978,5
26,97	1725,1

Berdasarkan Tabel 3.1, hasil simulasi dari proses pengecoran memperlihatkan adanya variasi suhu yang signifikan seiring dengan berjalannya waktu. Pada waktu sekitar 24,9 detik, suhu benda kerja masih berada di sekitar 899,32°C. Ketika mencapai waktu 286,86 detik, suhu mulai berkurang menjadi kurang lebih 753,93°C. Penurunan suhu ini berlanjut pada 411,4 detik dengan nilai temperatur mencapai 608,54°C. Pada waktu 669,16 detik, suhu kembali menurun ke sekitar 540,81°C, dan kemudian turun lagi hingga 463,15°C pada 978,5 detik. Di akhir proses, pada 1725,1 detik, suhu benda kerja telah mencapai hampir 26,97°C. Secara keseluruhan, laju transfer panas pada fase awal relatif rendah, tetapi meningkat secara signifikan saat mendekati akhir fase pendinginan.

3.1.1. Porosity

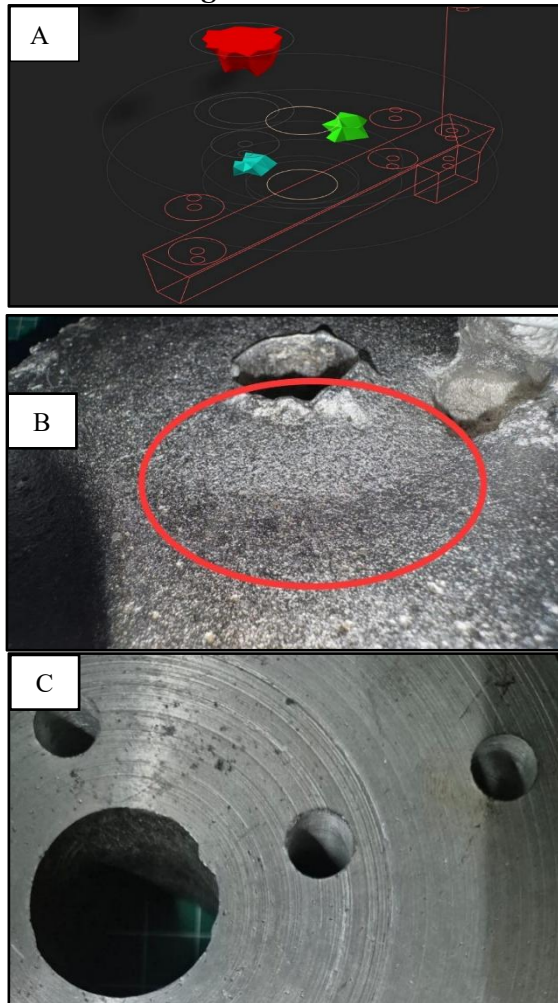


Gambar 3.1 Perbandingan Porositas antara Simulasi (A) Sebelum Finishing (B)Setelah Finishing (C)

Berdasarkan Gambar 3.1, hasil dari simulasi mengindikasikan dua tempat yang mungkin mengalami porositas pada hasil pengecoran, yaitu dua titik merah yang teridentifikasi sebagai zona dengan kemungkinan gas terjebak selama proses pengerasan. Namun, dalam kondisi nyata setelah pengecoran, hanya satu lokasi porositas yang benar-benar teridentifikasi, yakni pada area permukaan produk cor yang terletak dekat riser di bagian bawah. Hal ini terlihat jelas pada Gambar 3.1(B), di mana cacat berupa lubang berpori tampak di area yang berdekatan dengan riser.

Setelah tahap penyelesaian dilakukan seperti yang terlihat pada Gambar 3.1(C), cacat tersebut tetap terlihat dan tidak hilang, menandakan bahwa porositas telah terbentuk cukup dalam sehingga tidak dapat dihilangkan hanya melalui proses permesinan permukaan. Selain itu variasi bentuk dan penempatan riser dapat memengaruhi kecenderungan munculnya porositas pada produk cor aluminium (Hendri Gunawan & Soejono Tjitro, 2003).

3.1.2. Shrinkage



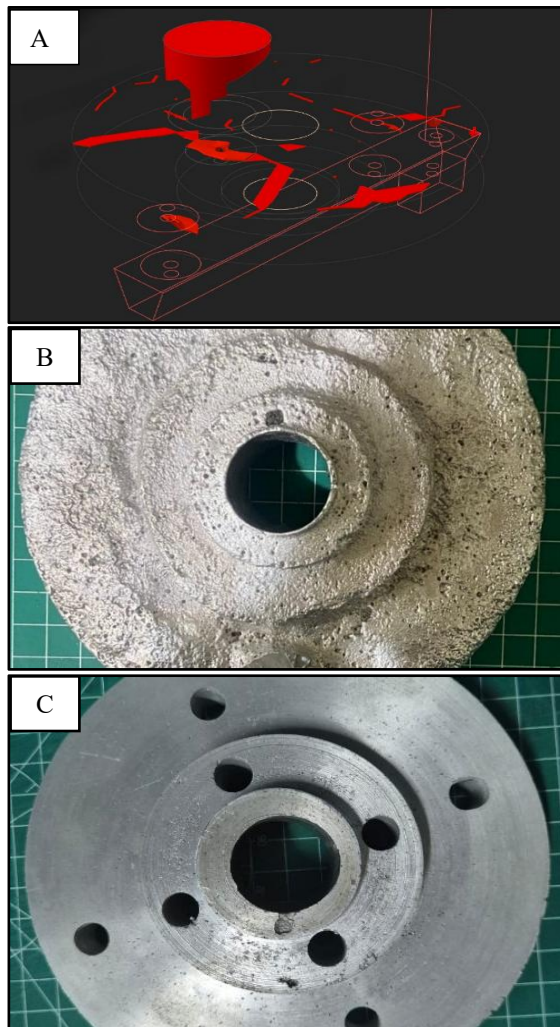
Gambar 3.2. Perbandingan Shrinkage Simulasi (A), Sebelum Finishing (B) Setelah Finishing (C)

Gambar 3.2 menunjukkan perbandingan cacat *shrinkage* antara hasil simulasi dan kondisi aktual pada produk cor berupa *disc brake*. Pada hasil simulasi, terdeteksi beberapa titik potensi terjadinya *shrinkage* pada beberapa area yang berbeda. Namun pada kondisi aktual setelah pengecoran, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.2 (B), cacat *shrinkage* hanya muncul pada satu lokasi, yaitu pada permukaan bagian atas benda kerja. Lokasi ini berbeda dengan prediksi simulasi yang memperkirakan *shrinkage* akan terjadi pada beberapa bagian lain. Setelah dilakukan proses *finishing* seperti pada Gambar 3.2 (C), cacat tersebut tidak lagi terlihat karena kedalamannya relatif dangkal sehingga hilang akibat proses permesinan permukaan.

Perbedaan antara prediksi simulasi dan hasil aktual dapat muncul karena kondisi pengecoran di lapangan tidak sepenuhnya tercakup oleh parameter simulasi. Variasi seperti perubahan temperatur penuangan, ketidakstabilan aliran logam cair, distribusi panas yang tidak merata pada cetakan, serta perbedaan kecepatan pembekuan di tiap bagian benda kerja dapat menyebabkan perpindahan titik konsentrasi panas (*hot spot*) ke lokasi yang berbeda. Selama proses pembekuan, penyusutan volume logam dapat memicu terbentuknya *shrinkage* apabila aliran logam cair dari riser tidak mampu mengimbangi kebutuhan pengisian ruang yang menyusut.

Riser berperan penting dalam memberikan suplai logam selama fase ini, sehingga jika dimensi atau penempatannya tidak optimal, peluang terjadinya penyusutan dan porositas akan bertambah, meskipun sifat mekanis seperti kekerasan tidak selalu menunjukkan perubahan yang besar (Wicaksono, 2021). Ketidakseimbangan dalam kecepatan pendinginan di berbagai segmen coran dan rancangan sistem saluran yang tidak efisien dapat mengakibatkan beberapa area tidak terisi sepenuhnya dengan logam cair, yang mengarah pada munculnya cacat penyusutan. Ketidakseimbangan dalam kecepatan pendinginan di berbagai segmen coran dan rancangan sistem saluran yang tidak efisien dapat mengakibatkan beberapa area tidak terisi sepenuhnya dengan logam cair, yang mengarah pada munculnya cacat penyusutan (Soejono Tjitro, 2001) utan yang terjadi secara lokal biasanya terjadi di wilayah lain, selain itu, penyusutan lokal cenderung muncul di bagian yang memiliki ketebalan yang berbeda-beda atau struktur yang kompleks, karena aliran logam di area tersebut tidak merata (Lutanto & Prihiantoro, 2025).

3.1.3. Last Air



Gambar 3.2 Perbandingan Simulasi (A) Sebelum Finishing (B) Setelah Finishing (C)

Gambar 3.2 memperlihatkan perbandingan antara cacat last air dari hasil simulasi dengan kondisi aktual pada produk cor disc brake. Dalam simulasi, beberapa area berwarna merah mengindikasikan lokasi di mana udara mungkin terjebak dalam rongga cetakan selama proses pengisian logam cair. Area ini menunjukkan titik di mana aliran logam diprediksi akan bertemu dan mengakibatkan terjebaknya udara karena jalur masuk logam yang tidak seimbang.

Namun, dalam kondisi aktual seperti yang terlihat di Gambar 7 (B), hanya sebagian kecil dari lokasi yang diidentifikasi oleh simulasi benar-benar menunjukkan cacat last air. Cacat ini

terlihat sebagai permukaan yang kasar dan berpori di sekitar sisi luar serta beberapa titik di dekat lubang tengah.

Perbedaan ini menunjukkan bahwa tidak semua kemungkinan terjebaknya logam yang diidentifikasi dalam simulasi benar-benar terjadi selama proses pengecoran yang sesungguhnya. Ini bisa disebabkan oleh faktor-faktor nyata dalam aliran logam cair yang tidak sepenuhnya dicakup oleh simulasi, termasuk turbulensi lokal, variasi dalam kecepatan penuangan, sifat permeabilitas pasir, serta perbedaan suhu logam cair pada awal dan akhir pengisian. Pada campuran aluminium, porositas bisa terbentuk akibat akumulasi gas hidrogen yang diserap selama proses peleburan. Saat logam mulai mengeras, kemampuan larut hidrogen berkurang secara signifikan, sehingga gas tersebut terperangkap dan menciptakan rongga meskipun aliran logam cair pada simulasi tampak lancar (Purwanto et al., 2021).

Setelah tahap akhir seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 7 (C), cacat last air tidak lagi tampak di permukaan produk. Ini menunjukkan bahwa cacat terletak pada lapisan permukaan yang cukup dangkal dan dapat dihilangkan melalui proses pemesinan. Meskipun demikian, adanya cacat last air dalam kondisi aktual tetap mencerminkan ketidakidealannya aliran logam di area tersebut.

Perbedaan jumlah dan lokasi cacat antara simulasi dan kondisi nyata dapat dijelaskan oleh kerumitan perilaku aliran logam dalam cetakan pasir. Simulasi sering kali memperkirakan kondisi aliran yang sempurna dan parameter proses yang konstan, sehingga seluruh potensi turbulensi atau perangkap udara diidentifikasi sebagai zona berisiko. Namun, dalam praktiknya, ada beberapa area yang mungkin tidak mengalami turbulensi cukup kuat untuk menghasilkan cacat, atau udara bisa saja keluar melalui pori-pori pasir sebelum terperangkap. Selain itu, variasi dalam geometri lokal, kekurangan dalam proses pencetakan, dan

karakteristik permeabilitas pasir cetak dapat mengakibatkan perbedaan nyata antara lokasi cacat yang diprediksi dan yang muncul di produk yang sebenarnya.

3.2. Analisis Cacat Benda Kerja Coran Setelah Finishing

3.2.1. Porosity



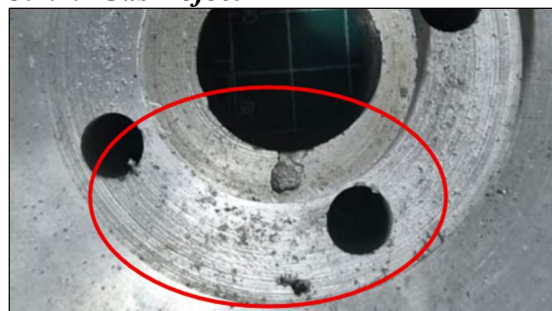
Gambar 3.3 Cacat Porositas

Porositas yang dihasilkan dalam proses pengecoran bisa muncul ketika udara terjebak di dalam logam yang masih cair, kemudian tetap terperangkap saat proses pendinginan, sehingga menciptakan ruang kosong di dalam yang mengurangi mutu dari hasil cor (Harmanto, 2016). Penyebab utama terbentuknya porositas mencakup rendahnya permeabilitas cetakan, tekanan pengecoran yang berlebihan, serta pemilihan material pengikat pasir yang menghasilkan banyak gas. Keadaan-keadaan ini menghalangi pelepasan gas dari cetakan, yang mengarah pada pembentukan lubang-lubang kecil di permukaan dan dalam coran.

Untuk mengatasi masalah porositas, langkah yang bisa diambil termasuk meningkatkan permeabilitas cetakan, menurunkan tekanan pengecoran, dan memilih bahan dengan tingkat gas yang lebih rendah. Selain itu, campuran bentonit dengan jenis gula tetes tertentu dapat mengurangi jumlah blow-hole pada permukaan pengecoran, sehingga kualitas permukaan benda yang dicor setelah proses finishing meningkat (Soejono Tjitro & Tedy Purbowo, 2003). Variasi suhu saat penuangan diketahui berdampak pada mutu hasil pengecoran lewat perubahan yang terjadi pada struktur mikro, tingkat kekerasan, dan kemungkinan timbulnya

kecacatan coran dalam proses pengecoran aluminium (Ahsanul Muttakin dan Heri Sunyoto, 2020).

3.2.2. Gas Defect



Gambar 3.4 Cacat Gas

Cacat gas terdiri dari blowholes dan pin hole. Blowholes adalah lubang yang terbentuk pada produk cor akibat aliran logam cair yang tidak stabil dan pasir yang memiliki permeabilitas rendah. Sementara itu, pin hole merujuk pada lubang-lubang kecil yang disebabkan oleh gas, terutama hidrogen, yang terperangkap dalam logam cair. Situasi ini mungkin muncul disebabkan oleh berbagai alasan, seperti saluran yang tidak teratur, kelembapan pasir yang tinggi, permeabilitas pasir yang rendah, dan kecepatan penuangan yang lambat (Sudiyanto, 2020).

Solusi untuk mengurangi kemungkinan untuk terjadinya cacat gas mencakup pengolahan pasir yang baik, mempertahankan suhu logam cair dalam batas ideal, dan menstabilkan aliran logam saat proses pengecoran yang bertujuan untuk menghindari turbulensi yang berlebihan. Selain itu permeabilitas pasir yang rendah berkaitan dengan komposisi pengikat serta tingkat kelembapan pada pasir cetak yang bisa menghalangi pengeluaran gas dari ruang cetakan (Shieddieque et al., 2022)

4. Pembahasan

4.1. Pembahasan Hubungan Temperatur Pematatan dan Waktu Pematatan pada Hasil Simulasi

Tabel 3.1 menunjukkan hasil simulasi yang dilakukan menggunakan Simulasi Pengecoran Logam. Pada tahap pertama, pada detik ke-24,93, suhu keseluruhan

objek sekitar 899,32 °C. Pada tahap kedua, pada detik ke-286,86, terjadi penurunan suhu menjadi sekitar 753,93 °C. Pada tahap ketiga, pada detik ke-411,4, suhu menurun lebih lanjut menjadi sekitar 608,54 °C. Pada tahap keempat, pada detik ke-669,16, suhu turun menjadi sekitar 540,81 °C. Pada tahap kelima, pada detik ke-978,54, suhu menurun menjadi sekitar 463,15 °C. Pada tahap keenam, pada detik ke-1725,1, terjadi penurunan suhu menjadi sekitar 26,97 °C. Dapat disimpulkan bahwa ada pengaruh lamanya waktu terhadap penurunan suhu logam cair di dalam rongga cetakan, dimana semakin lama waktu maka suhu logam cair akan semakin menurun.

4.2. Pembahasan Perbandingan Cacat antara Hasil Simulasi dan Cacat Pengecoran Aktual

4.2.1. Porosity

Porositas di dalam coran terjadi akibat gas yang terlepas dari logam cair saat proses pemadatan dan/atau karena logam cair tidak dapat mengalir melalui area interdendritik untuk mengatasi penyusutan volume yang terjadi akibat pemadatan. (Samuel et al., 2017).

Hidrogen merupakan satu-satunya gas yang dapat larut secara signifikan dalam aluminium cair. Kelarutan yang dimiliki hidrogen terhadap aluminium cair dinilai sangat rendah, namun signifikan, khususnya pada proses pengecoran karena mampu menyebabkan peristiwa cacat, salah satunya porositas (Azwinur et al., 2020). Penurunan kelarutan hidrogen selama pemadatan menyebabkan pelepasan gas, yang menyebabkan pembentukan porositas dan pada akhirnya menurunkan sifat mekanik dan ketahanan korosi.

4.2.2. Gas Defect

Cacat ini disebabkan oleh permeabilitas pasir cetak yang terlalu rendah, desain dan penempatan riser yang kurang optimal, dan superheating yang berlebihan. Cacat *gas defect* dapat diatasi

dengan cara menentukan komposisi dan pemadatan pasir cetak yang tepat, menghitung dimensi dan penempatan riser harus tepat, dan suhu *superheating* disesuaikan dengan logam cair yang digunakan. Pengaturan jumlah saluran masuk (ingate) pada pengecoran impeller turbin crossflow juga berpengaruh terhadap cacat permukaan seperti rongga udara dan lubang jarum pada hasil coran. Penelitian menemukan bahwa penambahan jumlah ingate membuat aliran logam cair lebih merata dan memperlambat pembekuan lokal, sehingga jumlah cacat blowholes dan pinholes di permukaan coran berkurang secara signifikan. Ada beberapa solusi untuk meminimalisir cacat gas, antara lain penempatan *riser* dan jumlah *riser* harus sesuai serta komposisi dan pemadatan pasir cetak harus tepat (Trisno Wahyudi et al., n.d.).

4.2.3. Fin

Jika dibandingkan dengan hasil benda kerja aktual, terlihat adanya perbedaan cacat *fin* dibandingkan dengan hasil simulasi. Cacat ini dapat diatasi dengan memastikan perakitan *cope* dan *drag* yang tepat, pemadatan pasir cetak yang merata pada bagian *cope* dan *drag* untuk menciptakan permukaan parting yang halus tanpa celah bagi logam cair untuk masuk. Cacat sirip biasanya terjadi pada tepi pengecoran dalam bentuk tonjolan tipis seperti sirip. Cacat permukaan seperti sirip atau fin pada hasil coran dapat muncul ketika penyatuan bagian atas dan bawah cetakan tidak sejajar sempurna, atau ketika rongga cetak dan sistem saluran tidak dikerjakan dengan parameter yang jelas. Penelitian pada produk pulley menunjukkan bahwa pengendalian proses pembuatan cetakan, mulai dari pemadatan pasir, pembuatan saluran, hingga pengendalian suhu tuang, sangat penting untuk mencegah cacat permukaan yang sulit diperbaiki pada tahap finishing (Atmadja, 2006). Cacat ini dapat muncul akibat berbagai penyebab, termasuk terlalu

banyak logam cair yang dituangkan ke dalam cetakan, yang mengakibatkan logam meluber keluar melalui celah-celah cetakan dan menciptakan sirip fin (Kurniawan et al., 2013) . Hal ini juga dapat disebabkan oleh penyelarasan yang buruk atau pemasangan bagian cetakan yang tidak tepat. Solusi untuk meminimalkan cacat sirip termasuk memastikan perakitan *cope* dan *drag* yang tepat, pemadatan pasir cetak yang merata pada bagian *cope* dan *drag*, dan menerapkan lapisan yang lebih tebal.

4.2.4. Shrinkage

Cacat *shrinkage* terjadi karena sifat logam yang mengalami penyusutan volume selama proses pembekuan. Ketika logam cair mengisi cetakan dan mulai mendingin, bagian yang membeku lebih dulu cenderung membentuk lapisan padat di permukaan, sementara bagian dalam belum sepenuhnya membeku. Jika tidak ada pasokan logam cair tambahan untuk menggantikan volume yang menyusut, maka akan muncul rongga kosong atau lubang penyusutan (*shrinkage cavity*) di dalam atau dekat permukaan coran, sering kali berbentuk tak beraturan dan dapat melemahkan kekuatan struktur. Penyebabnya sering berkaitan dengan desain sistem saluran dan *riser* yang kurang tepat, dimana *riser* tidak mampu menyediakan logam cair yang cukup selama tahap solidifikasi. Selain itu, variasi ketebalan dinding coran yang terlalu besar, pendinginan tidak merata, atau temperatur penuangan yang tidak sesuai juga dapat memperparah terjadinya *shrinkage*. Cacat visual seperti permukaan kasar, cold shut, dan *shrinkage* pada produk piston die casting sangat dipengaruhi oleh temperatur cetakan yang digunakan selama pengecoran. Hasil analisis menunjukkan bahwa temperatur cetakan terlalu rendah atau terlalu tinggi dapat meningkatkan cacat penyusutan dan permukaan kasar, sedangkan temperatur sekitar 320 °C memberikan hasil

permukaan yang lebih baik dan cacat *shrinkage* yang relatif kecil (Kurniawan et al., 2013) . Pencegahannya dilakukan dengan merancang *riser* yang mampu memadat terakhir (*last to solidify*), menggunakan isolator atau *exothermic sleeve* pada *riser* agar tetap cair lebih lama, mengurangi perbedaan ketebalan produk, dan mengatur kecepatan pendinginan agar solidifikasi berlangsung terkontrol. Dengan desain termal yang benar, logam cair dapat terus mengalir ke area yang menyusut sehingga rongga *shrinkage* dapat dihindari.

4.2.5. Swell

Cacat *swell* ini disebabkan oleh kurangnya pemadatan pasir cetak yang menyebabkan pasir cetak kurang kuat saat pencabutan pola, dan juga disebabkan oleh hilangnya pasir cetak akibat pencabutan pola yang menyebabkan *swelling*, serta kurangnya grafit pada pola sehingga pasir cetak menempel pada pola saat pencabutan pola. Selain itu, yang mampu menyebabkan terjadinya cacat tersebut adalah, proses pengepresan yang lemah, pasir cetakan yang tidak kuat, aliran pasir yang buruk, serta kandungan air yang tinggi (Chandra Kandpal et al., 2021) . Cacat ini dapat diselesaikan dengan meningkatkan kepadatan pasir cetak, serta menyediakan cukup grafit pada pola agar pasir cetak tidak lengket pada pola saat diangkat. Cacat *swell* pada permukaan coran dapat terjadi ketika cetakan green sand memiliki kekuatan tekan dan kemampuan bentuk yang rendah, sehingga dinding cetakan mudah rontok atau bergeser saat logam cair masuk dan menekan permukaan cetakan. Studi mengenai variasi kandungan bentonit pada cetakan pasir hijau mengindikasikan bahwa level bentonit yang tidak mencukupi dapat mengurangi kompaktilitas dan daya tahan tekan. Hal ini mengakibatkan cetakan menjadi lebih rentan terhadap erosi dan memunculkan masalah permukaan, seperti adanya pasir

terlibat dan pembengkakan lokal pada sisi cetakan (Sutiyoko & Madani, 2022) . Selain itu, kadar air dan bentonit pada pasir cetak juga berpengaruh terhadap stabilitas cetakan dan munculnya cacat permukaan maupun porositas pada hasil pengecoran. Hasil penelitian variasi kadar air 4–8% pada pasir dengan pengikat bentonit menunjukkan bahwa kelebihan kadar air menurunkan permeabilitas dan kekuatan tekan cetakan, sehingga cetakan menjadi kurang kuat saat penuangan dan lebih mudah berubah bentuk atau menghasilkan porositas yang tinggi pada coran. Solusi untuk meminimalisir cacat *swell* ada beberapa yaitu pemadatan pasir cetak harus merata dan optimal serta komposisi pasir cetak harus tepat (Liou et al., 1997).

4.2.6. *Dirt and Sand Inclusion*

Cacat *dirt and sand inclusion* adalah cacat ketika partikel asing seperti pasir, debu, kerak oksida, atau kotoran lain ikut terbawa masuk ke dalam logam cair dan akhirnya membeku bersama logam, sehingga muncul sebagai bintik-bintik keras, lapisan inklusi, atau area rapuh pada produk coran. Penyebab utama cacat ini biasanya berasal dari kualitas *mold* atau inti pasir yang tidak stabil, permukaan cetakan yang rapuh, serta teknik penuangan yang tidak terkontrol sehingga menimbulkan erosi pasir. Selain itu, kebersihan *ladle*, saluran masuk (*gating system*), dan permukaan logam cair yang tidak dibersihkan sebelum dituangkan turut memperburuk kemungkinan inklusi kotoran. Untuk mencegah cacat ini, langkah yang umum dilakukan antara lain menggunakan pasir cetak dengan kekuatan yang cukup, memastikan *molding* dipadatkan secara tepat agar tidak mudah Atererosi, membersihkan permukaan logam cair dari *slag* sebelum menuang, dan merancang sistem saluran tuang yang halus serta berbelok lembut untuk meminimalkan turbulensi. Penggunaan *filter* keramik pada saluran juga dapat

membantu menangkap partikel kotoran sehingga logam yang masuk ke rongga cetakan lebih bersih. Maka, secara keseluruhan perlu adanya fokus yang lebih terutama pada bahan cetakan, proses, dan kontaminasi lingkungan dengan tujuan mengurangi cacat *dirt* dan *sand inclusion* (Parekh & Vadher, 2018).

5. KESIMPULAN

Pengecoran pasir menggunakan material pasir silika, bentonit, dan air sebagai komponen cetakan, sedangkan inti dibuat dari pasir silika, natrium silikat, dan gas CO₂. Simulasi pengecoran dengan Altair Inspire Cast terbukti berguna dalam meramalkan kemungkinan terjadinya cacat selama fase penuangan dan pendinginan logam, sehingga bisa menjadi acuan untuk pengendalian kualitas sebelum proses pengecoran yang sebenarnya dilakukan.

Hasil pengecoran nyata pada komponen rem cakram menunjukkan adanya berbagai jenis cacat yang konsisten dengan hasil simulasi, terutama menyangkut cacat penyusutan dan cacat gas. Namun, terdapat perbedaan dalam lokasi dan jumlah cacat antara hasil simulasi dan kondisi aktual. Pada produk yang sesungguhnya, jumlah cacat lebih banyak disebabkan oleh berbagai faktor proses, seperti permukaan pemisah yang tidak rata, erosi pasir oleh logam cair, pemadatan cetakan yang tidak maksimal, serta kurangnya lapisan grafit pada pola.

Secara keseluruhan, cacat yang teridentifikasi pada benda kerja mencakup porositas, cacat gas, fin, penyusutan, pembengkakan, serta inklusi kotoran dan pasir. Penelitian ini memiliki batasan, terutama dalam hal persiapan cetakan, komposisi pasir, ketepatan pembuatan pola, dan konsistensi pemadatan pasir. Untuk penelitian mendatang, perlu dilakukan perbaikan dalam kualitas persiapan cetakan dan pemanfaatan hasil simulasi secara lebih menyeluruh guna mengurangi jumlah cacat yang ada atau kemunculan cacat baru pada proses pengecoran yang

sebenarnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahsanul Muttakin dan Heri Sunyoto. (2020). Pengaruh Temperatur Tuang Dan Penambahan Silikon Terhadap Kekerasan, Cacat Coran Dan Struktur Mikro Hasil Pengecoran Aluminium Dengan Cetakan Pasir. *Jurnal Kompetensi Teknik*, 12(1).
- Andika, N., Pane, R., & Sudiyanto, A. (2021). PROSES PENGECORAN DAN MANUFAKTUR LOGAM. *Journal of Metallurgical Engineering and Processing Technology*, 123–130. <https://doi.org/10.31315/JMEPT.V1I2.5045>
- Atmadja, S. T. (2006). *ANALISA CACAT COR PADA PROSES PENGECORAN BURNER KOMPOR* (Vol. 8).
- Azwinur, Marzuki, Usman, Jenne Syarif, & Zuhaimi. (2020). Pengaruh Arus Terhadap Sifat Mekanik Aluminium Pada Pengelasan GTAW. *Prosiding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*, 4(1).
- Campbell, John. (2015). *Complete casting handbook: metal casting processes, metallurgy, techniques and design*. Elsevier : Butterworth-Heinemann.
- Chandra Kandpal, B., Johri, N., Kumar, B., Patel, A., Pachouri, P., Alam, M., Talwar, P., Sharma, M. K., & Sharma, S. (2021). Experimental study of foundry defects in aluminium castings for quality improvement of casting. *Materials Today: Proceedings*, 46, 10702–10706. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.513>
- Deshmukh, M. V. S., & Sarda, S. S. (2015). The Critical Casting Defect in Cast Iron: Sand Inclusion-A Review. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*, 6(9), 30–42. <http://www.iaeme.com/IJMET/index.asp30http://www.iaeme.com/IJMET/issues.asp?JType=IJMET&VType=6&IType=9http://www.iaeme.com/currentissue.asp?JType=IJMET&VType=6&IType=9>
- Broover, M. P. (2010). *Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes, and systems*. John Wiley & Sons.
- Iarmanto, S. (2016). Pengaruh Temperatur Penuangan Terhadap Porositas Pada Cetakan Logam Dengan Bahan Aluminium Bekas. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 11(5).
- Iarshwardhan, L., Kaushik, R. C., Bheda, T., Somasundaram, M., & NarendraKumar, U. (2023). Simulation of Sand-Casting Process Using Altair Inspire Cast. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. https://doi.org/10.1007/978-981-19-3895-5_36
- Iendri Gunawan, & Soejono Tjitro. (2003). Analisa Pengaruh Bentuk Penampang Riser Terhadap Cacat Porositas. *Jurnal Teknik Mesin*, 5(1).
- Jurniawan, A., Widyanto, S. A., & Umardhani, Y. (2013). PENGARUH TEMPERATUR CETAKAN PADA CACAT VISUAL PRODUK PISTON DENGAN METODE DIE CASTING. In *Jurnal Teknik Mesin S-1* (Vol. 1, Issue 3).
- Jiou, J. W., Lui, T. S., & Chen, L. H. (1997). SiO₂ particle erosion of A356.2 aluminum alloy and the related microstructural changes. *Wear*, 211(2), 169–176. [https://doi.org/10.1016/S0043-1648\(97\)00105-1](https://doi.org/10.1016/S0043-1648(97)00105-1)
- Jutanto, A., & Prihiantoro, D. (2025). Prediksi dan Validasi Porositas Kipas Aluminium Hasil Pengecoran Dengan Simulasi dan Eksperimen Berbasis Finite Difference Method. *Infotekmesin*, 16(2), 441–448. <https://doi.org/10.35970/infotekmesin.v16i2.2806>
- Malik, I., Yunus, M., Arnoldi, D., Fernandes, E., Prodi,), Tmpp, D.-I., Mesin, T., & Sriwijaya, P. N. (2021). Pengenalan Penggunaan Simulasi Pengecoran Bagi Usaha Cor Logam Di Palembang. *Aptekmas Jurnal Pengabdian Pada Masyarakat*, 4(4).
- Muhammad Rayhan Nurfajrie, Fadly Tamimi, Sipahutar, D. A., Aditya Surya Dinata, & Hermanto, T. (2024). Pembuatan Gagang Sendok Bayi Menggunakan Teknik

- Pengecoran Logam Metode Sand Casting. *IRA Jurnal Teknik Mesin Dan Aplikasinya (IRAJTMA)*, 3(2), 15–19. <https://doi.org/10.56862/irajtma.v3i2.119>
- Parekh, P. V., & Vadher, J. A. (2018). A REVIEW PAPER ON SAND CASTING DEFECTS. *International Journal of Advance Engineering and Research Development*, 5(03).
- Purwanto, H., Darmanto, D., Kholis, N., & Mufidin, W. (2021). Pengaruh Variasi Temperatur Tuang pada Pengecoran Daur Ulang Al-Si terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan dengan Pola Styrofoam. *JMPM (Jurnal Material Dan Proses Manufaktur)*, 5(1). <https://doi.org/10.18196/jmpm.v5i1.12441>
- Ravi, B. . (2006). *Metal casting: computer-aided design and analysis*. Prentice-Hall.
- Samuel, A. M., Doty, H. W., Valtierra, S., & Samuel, F. H. (2017). Porosity Formation in Al–Si Sand Mold Castings. *International Journal of Metalcasting*, 11(4), 812–822. <https://doi.org/10.1007/s40962-016-0129-0>
- Shieddieque, A. D., Putra Nugraha, I., Zaenal Muttahar, M. I., & Heryana, G. (2022). Pengaruh Variasi Campuran Bentonit Terhadap Karakteristik Pasir Cetak Untuk Proses Sand Casting. *Rekayasa*, 15(3). <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v15i3.16194>
- Soejono Tjitro. (2001). PENGARUH BENTUK RISER TERHADAP CACAT PENYUSUTAN PRODUK COR ALUMINIUM CETAKAN PASIR. *Jurnal Teknik Mesin*, 3(2).
- Soejono Tjitro, & Tedy Purbowo. (2003). Studi Penambahan Gula Tetes Pada Cetakan Pasir Terhadap Kuantitas Cacat Blow-hole. *Jurnal Teknik Mesin*, 5(2).
- Sudiyanto, A. (2020). Proses Pengecoran Logam Dan Analisa Cacat Pada Produk B3x6. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952., 4(March).
- Sutiyoko, S., & Madani, F. (2022). Perubahan karakteristik cetakan green sand dan cacat inklusi pasir akibat perubahan kadar bentonit. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, Dan Material*, 6(2), 50. <https://doi.org/10.30588/jeemm.v6i2.1276>
- Suyitno, S., Salim, U. A., & Mahardika, M. (2016). 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)*, 2(1), 66. <https://doi.org/10.22146/jpkm.22218>
- Swarnil Thigale. (2016). WEIGHT REDUCTION IN BRAKE DISC USING TOPOLOGY OPTIMIZATION. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 05(10). <https://doi.org/10.15623/ijret.2016.0510037>
- Wahyudi, D., Rahmalia, M., Cyntia, W., Suci Andini, M., Ferdinan Vadilla, G., Zaina Luthfiyyah, M., & Ichsan Jaya, W. (n.d.). *PENYULUHAN PEMBUATAN UREA MOLASSES BLOCK SEBAGAI SUPLEMEN PADA TERNAK RUMINANSIA DI DESA REJO BINANGUN, KABUPATEN MESUJI* (Vol. 44).
- Vicaksono, D. (2021). ANALISIS RISER TERHADAP PENGECORAN PROPELLER DENGAN ALUMINIUM BEKAS. *Teknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, 7(1). <https://doi.org/10.56521/teknika.v7i1.264>