



PENGARUH TEKANAN VAKUM DAN JUMLAH POLA TERHADAP CACAT CORAN DENGAN METODE *LOST-RESIN CASTING* UNTUK MANUFAKTUR PROPELLER KAPAL CEPAT TANPA AWAK

Moh. Nor Ali Aziz¹, M Zidan Pradifa², Basya Prasetya F³

Program Studi Teknik Mesin, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

email: aliaziz@untag-sby.ac.id

Abstrak. Propeller merupakan komponen penting pada sistem propulsi kapal cepat tanpa awak (Unmanned Surface Vehicle/USV) yang menuntut kualitas pengecoran tinggi dan minim cacat. Metode Investment casting (*lost resin casting*) dipilih karena mampu menghasilkan bentuk kompleks dengan ketelitian dimensi yang baik, namun masih berpotensi menimbulkan cacat coran seperti porositas dan penyusutan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi tekanan vakum dan jumlah pola terhadap cacat coran pada proses investment casting propeller berbahan Aluminium 6061. Variasi tekanan vakum yang digunakan adalah 0,4 bar, 0,6 bar, dan 0,8 bar dengan jumlah pola 1, 2, dan 3 dalam satu rangkaian. Pola dibuat menggunakan teknologi 3D printing SLA berbahan resin. Evaluasi kualitas coran dilakukan melalui pengujian penyusutan, pengujian density, pengujian kekasaran permukaan dan pengujian Non-Destructive Test (NDT) metode visual dan dye penetrant. Hasil penelitian menunjukkan pada tekanan vakum 0,4 bar masih adanya cacat porositas rongga gas dan nilai densitas yang rendah pada pola 1, pola 2, pola 3. Seiring bertambahnya tekanan vakum menjadi 0,8 bar pada pola 3 cacat berkurang, nilai densitas naik menjadi $2,42 \text{ gr/cm}^3$. Dengan demikian, parameter tekanan vakum dan jumlah pola berpengaruh terhadap cacat coran.

Kata kunci: *Lost-resin Casting*, *Propeller USV*, Tekanan vakum

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi maritim akhir akhir ini mengalami akselerasi yang sangat pesat, terutama pada sistem otomasi dan platform tanpa awak. Salah satu inovasi yang mendapat perhatian besar adalah Unmanned Surface Vehicle (USV) atau kapal permukaan tanpa awak. USV merupakan wahana laut yang dapat beroperasi secara mandiri menggunakan sistem kontrol otomatis, atau dikendalikan dari jarak jauh tanpa kehadiran operator di atas kapal [1]. komponen paling vital dalam sistem propulsi USV adalah propeller. Propeller pada kapal cepat, termasuk USV, memiliki geometri yang relatif kompleks dengan profil aerodinamik dan dinding yang tipis. Kualitas propeller sangat memengaruhi efisiensi dorong, kestabilan lintasan, konsumsi energi, dan daya tahan struktur. Metode investment casting atau *Lost-resin casting* merupakan salah satu teknologi pengecoran presisi yang banyak digunakan dalam industri kedirgantaraan, otomotif, dan maritim [2].

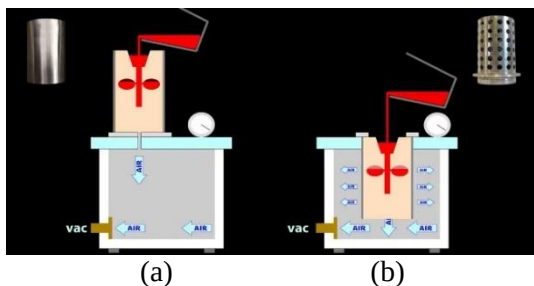
Proses *Lost-Resin Casting* memiliki potensi untuk menciptakan propeller dengan keunggulan hal presisi dan fleksibilitas desain, tetapi cacat internal seperti porositas, inklusi, dan shrinkage (rongga penyusutan) masih sering terjadi. Cacat-cacat ini dapat menurunkan kekuatan mekanik, menimbulkan titik lelah (*fatigue*) dan mengganggu performa propeller saat beroperasi [3]. Akan tetapi dalam penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh krisna pembuatan propeller, alat vakum yang dirancang khusus saat proses penuangannya belum mengalirkan logam cair secara merata [4]. Pada jumlah pola 3 dengan tekanan 0,8 bar propeller tidak terbentuk sempurna [4]. Parameter yang terbukti berpengaruh besar dalam mengurangi cacat pengecoran adalah penerapan tekanan vakum. Penggunaan vakum bertujuan mengeluarkan udara yang terperangkap di dalam cetakan sehingga mengurangi pembentukan porositas gas, meningkatkan kemampuan aliran logam [5]. Oleh karena itu dibutuhkan modifikasi alat vakum sehingga bisa menganalisa pengaruh variasi tekanan

vakum dan jumlah pola terhadap cacat coran pada proses investment casting khususnya pada pembuatan propeller kapal cepat tanpa awak. Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu menggunakan alumunium 6061.

2. METODOLOGI

2.1 Modifikasi Alat Vakum

Modifikasi alat vakum dilakukan agar meningkatkan kemampuan alat dalam menghasilkan dan mempertahankan tekanan vakum yang stabil selama proses pengecoran. Saat logam dituangkan dari wadah, vakum dari reservoir diterapkan ke ruang pengecoran dan ditransmisikan ke rongga cetakan melalui lubang-lubang pada cetakan dan pori-pori pada ceramic slurry [6].



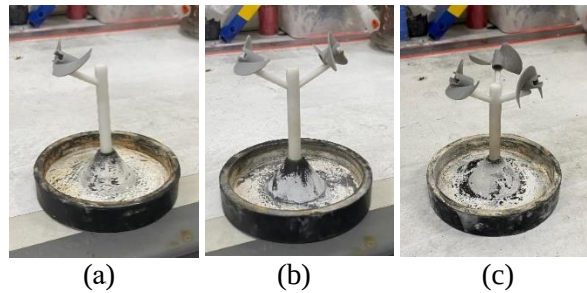
Gambar 1 (a)sebelum dimodifikasi (b)sesudah dimodifikasi

2.2 Desain Pola Induk

Desain yang telah dibuat kemudian dicetak menggunakan mesin 3D printing SLA dengan material Castable Resin. Teknologi 3D printing memungkinkan pembuatan geometri yang kompleks dengan tingkat presisi yang baik sehingga dapat dimanfaatkan sebagai pola pada proses investment casting[7]. Pola induk yang digunakan adalah propeller kapal cepat tanpa awak dengan diameter 40 mm, diameter shaft tengah 8 mm, panjang 14 mm dan tebal bilah 1 mm dengan panjang 16 mm.

2.3 Desain Pola Aliran dan Perakitan Pohon Assembly

Sistem saluran pada proses pengecoran berfungsi untuk mengarahkan aliran logam cair menuju rongga cetakan secara terkendali sehingga proses pengisian cetakan berlangsung stabil. Desain sistem saluran yang tepat dapat mengurangi kecepatan aliran yang berlebihan serta meminimalkan terjadinya turbulensi yang dapat menyebabkan cacat pengecoran seperti porositas dan oksida terperangkap pada hasil coran [8]. Pola aliran ini memiliki diameter sprue 8 mm dengan ketinggian 60 mm, diameter runner 4mm dan panjang 25mm dengan kemiringan 30°.



Gambar 2 (a) Pola 1 (b) Pola 2 (c) Pola 3

2.4 Pembuatan Cetakan Dengan Ceramic Slurry

Gypsum merupakan material mineral berbasis kalsium sulfat yang banyak digunakan sebagai bahan cetakan dalam proses pengecoran karena mampu menghasilkan detail permukaan yang baik serta memiliki stabilitas dimensi yang cukup baik pada proses pembentukan cetakan. Setelah pola induk dimasukkan ke dalam wadah cetakan, bubur gypsum dituangkan hingga seluruh pola tertutup. Selanjutnya dilakukan proses vakum menggunakan vacuum chamber untuk menghilangkan gelembung udara yang terperangkap di dalam slurry sehingga dapat meningkatkan kualitas permukaan dan mengurangi cacat pada hasil coran. Setelah proses tersebut selesai, dibiarkan selama kurang lebih 24 jam hingga mengering dan memperoleh kekuatan yang cukup sebelum digunakan pada proses pengecoran [9]. Ceramic slurry dibuat dari campuran gypsum dan air dengan perbandingan 2,6 : 1. Pada penelitian ini digunakan takaran 910 ml gypsum dan 350 ml air untuk pembuatan cetakan propeller kapal tanpa awak.

2.5 Pemanasan Pola

Setelah cetakan gypsum mengering, proses selanjutnya adalah pemanasan untuk mencairkan pola induk agar menghasilkan rongga cetakan. Pemanasan awal membutuhkan temperatur 120°C selama 60 menit kemudian dinaikkan ke temperatur 250°C dengan waktu 60 menit dan dinaikkan lagi ke 760°C selama 180 menit – 195 menit untuk melelehkan PLA dan memperkuat rongga cetakan agar tidak terjadi kerusakan pada saat penuangan logam cair [10].

2.6 Penuangan Logam Cair

Sebelum proses penuangan logam dilakukan, sistem vakum diatur menggunakan dial indikator sesuai dengan variasi tekanan vakum yang digunakan dalam penelitian, yaitu 0,3 bar, 0,6 bar, dan 0,9 bar. Setelah dituang cetakan dibiarkan diatas alat vakum selama 3 menit agar logam cair dapat mengisi seluruh rongga cetakan secara maksimal.

2.7 Mengeluarkan Hasil Produk dari Cetakan

Setelah logam membeku, produk dikeluarkan dari cetakan dengan cara merendam cetakan gypsum ke dalam air sehingga material gypsum melunak dan dapat dilepas dari produk cor. Proses ini harus dilakukan secara hati-hati agar tidak merusak hasil coran yang telah terbentuk.

2.8 Finishing

Tahap finishing dilakukan dengan memotong dan meratakan saluran masuk menggunakan gerinda mini. Penggunaan gerinda mini sesuai untuk pengerjaan komponen berukuran kecil karena memberikan kontrol pemotongan yang lebih presisi.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Inspeksi Visual

Inspeksi visual merupakan metode *Non-Destructive Testing (NDT)* yang paling dasar dan umum digunakan dalam industri pengecoran. Metode ini dilakukan dengan mengamati secara langsung kondisi permukaan coran untuk mendeteksi cacat yang terlihat seperti porositas terbuka, retak, inklusi, rongga penyusutan, *misrun*, dan *cold shut* [11].

Hasil proses pengecoran akan dicek secara visual, jika produk tidak terbentuk kurang sempurna maka akan dilakukan proses ulang. Pada percobaan kali ini produk terbentuk secara sempurna dan dapat lanjut ke proses berikutnya. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa adanya cacat gelembung (lihat gambar 1) banyak ditemukan pada variasi tekanan vakum 0,4 bar dan 0,6 bar yang diakibatkan dari terperangkapnya udara didalam cetakan. Hal ini menunjukkan bahwa efektivitas alat vakum chamber belum maksimal dalam mengeluarkan udara dari rongga cetakan. Pada gambar 2 tekanan 0,8 bar indikasi mulai mengurang karena tekanan mampu mengeluarkan sisa gas yang terperangkap didalam cetakan.



Gambar 3 (a) cacat porositas gelembung udara (b) Cacat Misrun



Gambar 4 tidak terdapat cacat

3.2 Analisis Hasil coran setelah dye penetrant

Metode pengujian yang digunakan adalah Non-Destructive Testing (NDT) dengan metode Dye Penetrant. Metode ini merupakan teknik inspeksi yang digunakan untuk mendeteksi cacat permukaan seperti retak, porositas, atau diskontinuitas pada material logam maupun nonlogam tanpa merusak material yang diuji[12]. Pada analisis dye penetrant ini menggunakan teknik berupa acceptance criteria pada indikasi kecacatan dari hasil liquid penetrant testing yang dimuat pada tabel. Acceptance criteria pada penelitian ini menggunakan standart ASME (American Society of Mechanical Engineers). Standar kriteria ukuran dan jenis indikasi yang timbul pada inspeksi liquid penetrant testing adalah sebagai berikut :

1. Indikasi linier yang relevan ($>1,5$ mm)
2. Indikasi rounded yang relevan lebih besar dari (>5 mm)
3. Empat atau lebih indikasi rounded yang relevan berjajar dalam satu garis terpisah satu sama lainnya pada jarak.

Pada bagian ini, menampilkan dan membahas gambar indikasi yang diperoleh, jenis – jenis indikasi, ukuran dari masing - masing kedua komponen, evaluasi apakah accepted atau rejected serta keterangan pada masing – masing indikasi yang akan diolah dan dimasukkan pada tabel discontinuity (kecacatan) yang nantinya bisa dikualifikasikan jenis serta ukuran indikasinya pada syarat keberterimaan kecacatan[13]

Tabel 1 Pengujian NDT

Gambar	Indikasi	Keterangan
Tekanan 0,4 bar pola 1 	Porosity rounded 1,71 mm ² ,	Accepted
Tekanan 0,4 bar pola 2 	Porosity rounded 5,42mm ² ,	Rejected
Tekanan 0,4 bar pola 3 	Blowhole	Rejected

Tekanan 0,6 bar pola 1 	Crack Linear 6,33 mm ²	Rejected
Tekanan 0,6 bar pola 2 	Porosity rounded 2,83 mm ²	Accepted
Tekanan 0,6 bar pola 3 	Porosity rounded 5,42 mm ²	Rejected
Tekanan 0,8 bar pola 1 	Porosity rounded 2,23 mm ²	Accepted
Tekanan 0,8 bar pola 2 	Porosity rounded 2,11 mm ²	Accepted
Tekanan 0,8 bar pola 3 	Porosity rounded 1,71 mm ²	Accepted

3.3 Pengujian Density

Perhitungan density dilakukan untuk mengetahui mengenai tingkat kerapatan dan kualitas hasil coran. Semakin tinggi nilai densitas dan mendekati teoritis aluminium yaitu sekitar 2,7 g/cm³, maka menunjukkan bahwa struktur material hasil coran lebih padat dan memiliki jumlah porositas yang lebih sedikit[14].

Pengujian density dilakukan dengan cara mengambil data massa spesimen di udara dan berat spesimen didalam air.

Tabel 2 massa spesimen di udara

Tekanan Vakum (Bar)	Jumlah pola		
	Pola 1	Pola 2	Pola 3
0,4 Bar	1,33 gr	1,46 gr	1,44 gr
	1,51 gr	1,44 gr	1,55 gr
	1,51 gr	1,45 gr	1,58 gr
Rata-rata	1,45 gr	1,45 gr	1,52 gr
0,6 Bar	1,57 gr	1,40 gr	1,53 gr
	1,64 gr	1,51 gr	1,33 gr
	1,46 gr	1,52 gr	1,56 gr
Rata-rata	1,55 gr	1,47 gr	1,47 gr
0,8 Bar	1,44 gr	1,68 gr	1,64 gr
	1,51 gr	1,47 gr	1,55 gr
	1,56 gr	1,57 gr	1,63 gr
Rata-rata	1,50 gr	1,57 gr	1,60 gr

Tabel 3 massa spesimen didalam air

Tekanan Vakum (Bar)	Jumlah pola		
	Pola 1	Pola 2	Pola 3
0,4 Bar	0,70 gr	0,79 gr	0,78 gr
	0,86 gr	0,80 gr	0,92 gr
	0,87 gr	0,87 gr	0,91 gr
Rata-rata	0,81 gr	0,82 gr	0,87 gr
0,6 Bar	0,91 gr	0,72 gr	0,87 gr
	0,97 gr	0,83 gr	0,71 gr
	0,82 gr	0,87 gr	0,93 gr
Rata-rata	0,90 gr	0,80 gr	0,83 gr
0,8 Bar	0,79 gr	1,01 gr	0,96 gr
	0,88 gr	0,79 gr	0,91 gr
	0,93 gr	0,92 gr	0,97 gr
Rata-rata	0,86 gr	0,90 gr	0,94 gr

Untuk mencari nilai densitas menggunakan rumus berikut :

$$\rho_{\text{m}} = \frac{m_{\text{s}}}{(m_{\text{s}} - m_{\text{g}})} \times m_{\text{air}}$$

Dimana

ρ_{m} = Densitas sampel (g)

m_{s} = Massa sampel kering (g)

m_{g} = Massa sampel yang direndam dalam air (g)

m_{air} = Massa jenis air (1 g/cm³)

- Tekanan Vakum 0,4bar pola 1

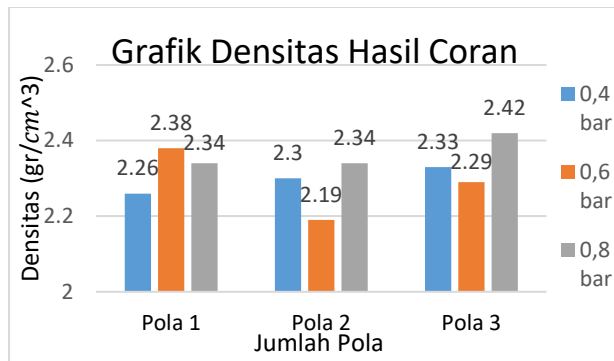
$$\rho = \frac{1,45}{(1,45 - 0,81)} \times 1 = 2,26 \text{ gr/cm}^3$$

Setelah dilakukan perhitungan, nilai densitas dapat dilihat pada tabel 4

Tabel 4 Hasil Densitas

Tekanan Vakum	Jumlah pola		
	Pola 1	Pola 2	Pola 3

(Bar)			
0,4 bar	2,26 gr/cm ³	2,30 gr/cm ³	2,33 gr/cm ³
0,6 bar	2,38 gr/cm ³	2,19 gr/cm ³	2,29 gr/cm ³
0,8 bar	2,34 gr/cm ³	2,34 gr/cm ³	2,42 gr/cm ³



Gambar 5 grafik hasil density

Berdasarkan grafik dapat disimpulkan bahwa hubungan antara tekanan vakum dan densitas tidak bersifat linier. Nilai densitas dipengaruhi oleh keseimbangan antara gaya hisap vakum, kecepatan aliran logam cair, distribusi logam ke seluruh rongga cetakan, serta pembentukan porositas selama pembekuan. Pada jumlah pola yang sedikit, tekanan vakum sedang (0,6 bar) sudah cukup menghasilkan densitas optimum. Sebaliknya, pada jumlah pola yang lebih banyak (3 pola), tekanan vakum yang lebih tinggi (0,8 bar) diperlukan untuk memastikan pengisian cetakan berlangsung sempurna sehingga menghasilkan coran dengan densitas tertinggi (2,42 gr/cm³) dan tingkat porositas yang paling rendah. Penjelasan ini menunjukkan bahwa tekanan vakum optimum harus disesuaikan dengan jumlah pola dan volume logam yang dicor agar kualitas hasil pengecoran lost resin casting menjadi maksimal.

Dari data tersebut dapat hitung persentase porositas dengan rumus:

$$S = \frac{(\rho_{\text{teoritis}} - \rho_{\text{produk}})}{\rho_{\text{teoritis}}} \times 100\%$$

Dimana :

S = Persentase Porositas
 ρ_{teoritis} = Densitas Aluminium (2,7 gr/cm³)
 ρ_{produk} = Densitas produk (gr/cm³)

$$\bullet S = \frac{(2,7-2,26)}{2,7} \times 100\% = 16,2\%$$

Setelah dilakukan perhitungan persentase porositas dapat dilihat pada tabel 5

Tabel 5 Persentase Porositas

Tekanan Vakum (Bar)	Jumlah pola		
	Pola 1	Pola 2	Pola 3
0,4 bar	2,26 gr/cm ³	2,30 gr/cm ³	2,33 gr/cm ³
0,6 bar	2,38 gr/cm ³	2,19 gr/cm ³	2,29 gr/cm ³
0,8 bar	2,34 gr/cm ³	2,34 gr/cm ³	2,42 gr/cm ³

Porositas yang lebih rendah umumnya memiliki nilai densitas yang lebih tinggi, karena volume rongga di dalam material semakin sedikit. Oleh karena itu, kondisi vakum 0,8 bar dengan pola 3 dapat dikatakan sebagai parameter yang paling optimal dalam penelitian ini untuk menghasilkan propeller dengan kualitas pengecoran yang lebih baik.

3.4 Pengujian Penyusutan

penyusutan (shrinkage) merupakan fenomena alami yang terjadi ketika logam cair membeku dan mendingin hingga suhu ruang. Penyusutan ini dapat menyebabkan perubahan dimensi serta menimbulkan cacat seperti rongga penyusutan (shrinkage cavity) dan porositas penyusutan (shrinkage porosity)[15].

Perhitungan penyusutan dilakukan secara teoritis dengan dua metode pengukuran, yaitu menggunakan metode displacement air untuk menentukan volume serta pengukuran massa menggunakan timbangan dengan ketelitian 0,01 gram. Metode ini digunakan untuk mengetahui perubahan volume antara pola induk dan produk hasil pengecoran.

Untuk mengetahui penyusutan yang terjadi, dapat di hitung dengan perhitungan persamaan persentase berikut:

$$S = \frac{(V_{\text{pola}} - V_{\text{produk}})}{V_{\text{pola}}} \times 100\%$$

Dimana :

S = Persentase Penyusutan
 V_{pola} = Volume pola cetakan (cm³)
 V_{produk} = Volume benda produk (cm³)

Untuk menghitung volume pola digunakan rumus

$$v = \frac{m}{\rho}$$

Dimana :

v = Volume (cm^3)
 m = Massa (gr)
 ρ = Density resin ($1,15 \text{ gr/cm}^3$)

$$v = \frac{0,81}{1,15} = 0,70 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

- Tekanan 0,4 bar pola 1

$$v = \frac{1,45}{2,26} = 0,64 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

Maka didapat volume sebagai berikut:

Tabel 6 volume produk

Tekanan Vakum (Bar)	Jumlah pola		
	Pola 1	Pola 2	Pola 3
0,4 bar	0,64 (gr/cm^3)	0,63 (gr/cm^3)	0,65 (gr/cm^3)
0,6 bar	0,65 (gr/cm^3)	0,67 (gr/cm^3)	0,64 (gr/cm^3)
0,8 bar	0,64 (gr/cm^3)	0,67 (gr/cm^3)	0,66 (gr/cm^3)

Menghitung nilai penyusutan

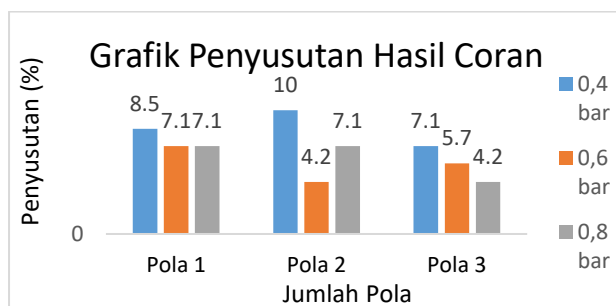
- Tekanan 0,4 bar pola 1

$$S = \frac{(0,70 - 0,64)}{0,70} \times 100\% = 8,5\%$$

Maka didapat nilai penyusutan sebagai berikut:

Tabel 7 Hasil Penyusutan

Tekanan Vakum (Bar)	Jumlah pola		
	Pola 1	Pola 2	Pola 3
0,4 bar	8,5%	10%	7,1%
0,6 bar	7,1%	4,2%	7,1%
0,8 bar	8,5%	5,7%	4,2%



Gambar 6 Grafik Penyusutan

Berdasarkan grafik penyusutan hasil pengecoran, terlihat bahwa nilai penyusutan pada setiap variasi tidak membentuk tren yang sepenuhnya linear. Kondisi ini dipengaruhi oleh beberapa keterbatasan dalam proses penelitian, yaitu volume pola resin yang diasumsikan sama pada

setiap spesimen meskipun terdapat kemungkinan perbedaan kecil akibat proses pencetakan, serta keterbatasan akurasi alat timbang yang digunakan dalam pengukuran massa benda uji. Kedua faktor tersebut dapat menyebabkan deviasi pada perhitungan volume, densitas, maupun persentase penyusutan sehingga menghasilkan fluktuasi data yang tidak sepenuhnya mengikuti pola teoritis. Meskipun demikian, secara umum data masih menunjukkan kecenderungan pengaruh parameter proses pengecoran terhadap nilai penyusutan hasil coran.

3.5 Pengujian Kekasaran Permukaan

Pengujian kekasaran permukaan merupakan salah satu metode pengujian yang digunakan untuk mengetahui tingkat kehalusan atau kekasaran suatu permukaan benda kerja. Tingkat kekasaran permukaan merupakan klasifikasi kualitas permukaan berdasarkan nilai kekasaran rata-rata (*Roughness Average* atau Ra) yang dinyatakan dalam satuan mikrometer (μm). Semakin kecil nilai Ra, maka permukaan benda semakin halus. Sebaliknya, semakin besar nilai Ra menunjukkan permukaan yang semakin kasar akibat ketidakaturan profil permukaan hasil proses manufaktur[16].

Setelah dilakukan pengujian kekasaran hasil pengujian kekasaran dapat dilihat pada Tabel 8 sebagai berikut:

Tabel 8 Hasil Kekasaran Permukaan

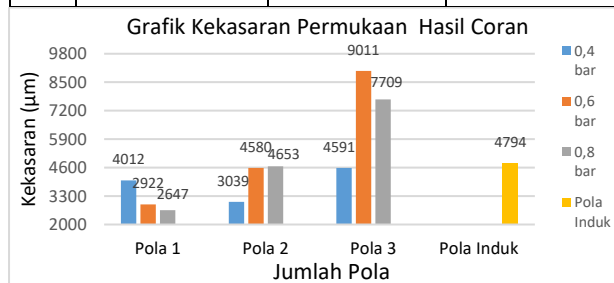
Tekanan Vakum (Bar)	Jumlah pola		
	Pola 1	Pola 2	Pola 3
0,4 Bar	4.012	3.087	4.528
	3.898	3.042	4.651
	4.90	2.988	4.594
Rata-rata	4.000	3.039	4.591
0,6 Bar	2.966	4.516	9.014
	2.924	4.582	8.942
	2.876	4.642	9.077
Rata-rata	2.922	4.580	9.011
0,8 Bar	2.598	4.717	7.714
	2.644	4.588	7.771
	2.644	4.654	7.642
Rata-rata	2.647	4.653	7.709

Dari rata-rata diatas dapat di kategorikan sebagai berikut

Tabel 9 Tingkat Kekasaran permukaan

No	Spesimen	Rata rata kekasaran (μm)	Tingkat kekasaran (N)
----	----------	---------------------------------	-----------------------

1.	Tekanan Vakum 0,4 bar pola 1	4.000	N9
2.	Tekanan Vakum 0,4 bar pola 2	3.039	N8
3.	Tekanan Vakum 0,4 bar pola 3	4.591	N9
4.	Tekanan Vakum 0,6 bar pola 1	2.922	N8
5.	Tekanan Vakum 0,6 bar pola 2	4.580	N9
6.	Tekanan Vakum 0,6 bar pola 3	9.011	N10
7.	Tekanan Vakum 0,8 bar pola 1	2.647	N8
8.	Tekanan Vakum 0,8 bar pola 2	4.653	N9
9.	Tekanan Vakum 0,8 bar pola 3	7.709	N10
10.	Pola induk Resin	4.794	N9



Gambar 7 Grafik Kekasaran Permukaan

Pada jumlah pola yang lebih banyak, khususnya tiga pola, peningkatan tekanan vakum tidak sepenuhnya meningkatkan kualitas permukaan. Kompleksitas aliran slurry, pembagian

distribusi tekanan vakum ke beberapa rongga cetakan, serta meningkatnya luas permukaan cetakan menyebabkan kepadatan investment powder menjadi kurang seragam. Ketidakhomogenan tersebut menghasilkan permukaan cetakan yang lebih kasar dan direplikasi oleh logam cair, sehingga nilai kekasaran meningkat menjadi 9011 µm pada tekanan 0,6 bar dan 7709 µm pada tekanan 0,8 bar.

Dengan demikian, kualitas permukaan hasil coran ditentukan oleh interaksi antara besar tekanan vakum dan jumlah pola yang digunakan. Tekanan vakum yang tinggi akan memberikan hasil optimal apabila distribusi vakum tetap merata dan volume cetakan tidak terlalu besar, sehingga proses pemadatan investment powder dapat berlangsung secara homogen di seluruh permukaan cetakan.

KESIMPULAN

Tekanan vakum penuangan dan jumlah pola sangat berpengaruh pada proses *lost-resin* casting untuk pembuatan propeller kapal cepat tanpa awak. Hasil visual menunjukkan pada tekanan 0,4 masih banyak cacat seperti porositas rongga gas, penyusutan produk, dan cacat gelembung karena tekanan vakum masih belum optimal untuk mengeluarkan gas yang tersisa di dalam cetakan. Pada tekanan 0,8 hasil mulai membaik karena tekanan vakum bisa mengeluarkan gas yang tersisa.

Pada hasil densitas paling rendah muncul pada tekanan vakum 0,6 bar pada pola 2, sementara densitas paling tinggi diperoleh tekanan vakum 0,8 bar pada pola 3 yang menandakan tekanan vakum mampu mengeluarkan gas yang terperangkap didalam cetakan. Penyusutan paling tinggi muncul pada tekanan 0,8 bar dengan pola 2, sementara penyusutan paling kecil ditemukan pada 0,6 bar dengan pola 2. Pada kekasaran permukaan paling rendah muncul pada tekanan vakum 0,4 bar dengan pola 3 dan yang paling tinggi pada tekanan vakum 0,8 bar dengan pola 2. Kombinasi terbaik berada pada tekanan vakum 0,8 bar dengan pola 3. Kondisi ini mampu menghasilkan propeller dengan cacat minimal, densitas tinggi, dan penyusutan yang optimal, tetapi tingkat kekasaran permukaan tinggi.

REFERENSI

- [1] F. Ramadhan and D. Aryawan, "Pembuatan Detail Desain Unmanned Surface Vehicle (USV) untuk Monitoring Wilayah Perairan Indonesia," vol. 6, no. 2, 2017.
- [2] H. M. T. Khaleed, I. A. Badruddin, A. N. Saquib, M. F. Addas, S. Kamangar, and T. M. Yunus Khan, "Novel approach to manufacture an AUV propeller by additive manufacturing and error analysis," *Appl. Sci.*, vol. 9, no. 20, 2019, doi: 10.3390/app9204413.
- [3] C. Pengecoran, "Perancangan dan Pembuatan Propeller Perahu Nelayan dengan Metode Investment Casting Pola Lilin dan Cetakan Pasir," vol. 5, no. 2, pp. 100–113, 2021.
- [4] K. M. Wijaya, "ANALISIS CACAT PROSES LOST PLA CASTING UNTUK MANUFAKTUR PROPELLER KAPAL CEPAT TANPA AWAK MENGGUNAKAN

- ALUMINIUM 6061 DENGAN VARIASI DIAMETER RUNNER DAN TINGGI SPRUE
Disusun Oleh : FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA,”
2025.
- [5] Paryono, T. Jurusan Mesin, P. Negeri, S. H. Jl, and S. H. Sudarto, “Aplikasi Tekanan Vakum Pada Cetakan Logam Sistem Gravitasi Untuk Menurunkan Porositas Pada Pengecoran Paduan Aluminium Alsicu,” pp. 0–3, 2019, [Online]. Available: <http://www.learneasy.info/index.html>
- [6] P. E. Gainsbury, “Jewellery investment casting machines,” *Gold Bull.*, vol. 12, no. 1, pp. 2–8, 2020, doi: 10.1007/BF03215098.
- [7] M. Mukhtarkhanov, A. Perveen, and D. Talamona, “Application of stereolithography based 3D printing technology in investment casting,” *Micromachines*, vol. 11, no. 10, 2020, doi: 10.3390/mi11100946.
- [8] K. A. Rahangmetan, “MENGURANGI CACAT CORAN PADA PENGECORAN PROPELLER KAPAL DENGAN PADUAN Al7075,” vol. 1, no. 1, pp. 30–34, 2018.
- [9] Z. Zhao, G. Zhou, S. Zhang, and B. Xiao, “Researches on Alloy form Characteristic Based on Gypsum Molding,” pp. 147–151, 2011.
- [10] E. K. A. Widian, M. Saputra, G. M. Mufid, and D. Akhdan, “TERHADAP CACAT CORAN PADA PROSES LOST WAX CASTING UNTUK MANUFAKTUR PROPELLER Disusun Oleh : FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 SURABAYA,” no. 1422200082, 2025.
- [11] D. Bańkowski and P. Młynarczyk, “Visual Testing of Castings Defects after Vibratory Machining,” vol. 20, no. 4, pp. 72–76, 2020.
- [12] Irwansyah, “DETEKSI CACAT PADA MATERIAL DENGAN TEKNIK,” vol. 2, no. 48, pp. 7–14, 2019.
- [13] M. Rahmatullah, K. Zada, I. Artikel, and N. D. Test, “ANALISIS PENGUJIAN METODE LIQUID PENETRANT TESTING BERDASARKAN ACCEPTANCE CRITERIA PENETRANT TESTING PADA KOMPONEN CESSNA 152,” vol. 02, no. 01, pp. 24–33, 2023.
- [14] A. Qohar, I. Ketut, G. Sugita, and P. Lokantara, “Pengaruh Permeabilitas dan Temperatur Tuang Terhadap Cacat dan Densitas Hasil Pengecoran Aluminium Silikon (Al-Si) Menggunakan Sand Casting,” *J. Ilm. Tek. DESAIN Mek.*, vol. 6, no. 1, pp. 1–6, 2017.
- [15] I. Malik, S. Effendi, and M. Yunus, “Identifikasi Penyusutan Hasil Coran Aluminium Paduan,” *J. Tek.*, vol. 15, no. 1, pp. 1–4, 2021.
- [16] T. J. Sains, T. Informatika, J. Tahun, S. Syach, A. S. Nurrohkeyati, and S. H. Pranoto, “Optimasi parameter untuk kekasaran permukaan pada proses pembubutan baja ST 37 dengan menggunakan metode taguchi Parameter optimization for surface roughness in ST 37 steel turning process using taguchi method,” vol. 9, pp. 113–120, 2022.