

# Perancangan dan Pembuatan Propeller Perahu Nelayan dengan Metode Investment Casting Pola Lilin dan Cetakan Pasir

Andhika Krismaintya Putera<sup>a</sup>, Agus Suprihanto<sup>b</sup>, Yusuf Umardani<sup>c</sup>

<sup>a,b,c</sup>Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro. Jl. Prof. Sudharto, SH, Tembalang, Semarang 50275  
e-mail: andhikakrismaintya@students.undip.ac.id

## Kata kunci:

Pengecoran  
*Investment*,  
Penyusutan,  
Kerataan,  
Cacat Pengecoran

## ABSTRAK

Propeller atau baling-baling adalah salah satu bagian yang penting dalam perahu nelayan. Geometri propeller yang rumit membuat proses permesinan sulit untuk dilakukan dan memerlukan banyak biaya. Tujuan penelitian ini adalah membuat propeller perahu nelayan dengan metode investment casting untuk mengurangi proses permesinan dan mendapatkan geometri produk yang akurat. Selain itu menganalisa geometri, kerataan dan cacat yang mungkin terjadi pada produk akhir pengecoran. Pemodelan dilakukan pada jenis propeller perahu nelayan yang sudah ditentukan. Cetakan master die propeller dibuat menggunakan material silicone rubber RTV 497. Cetakan investment casting yang digunakan berbahan pasir silika mesh 10 - 30 dan mesh 80-100, gypsum, serta alumina. Pola lilin yang digunakan berbahan lilin parafin. Hasil penelitian menunjukkan pada produk pengecoran ditemukan penyusutan dengan menggunakan alat ukur vernier caliper dan pengukuran kerataan permukaan daun propeller dengan menggunakan 3D Scan. Pada pengukuran kerataan permukaan daun propeller ditemukan perbedaan tingkat kerataan permukaan. Hasil identifikasi cacat pengecoran menunjukkan pada pemeriksaan visual ditemukan cacat ekor tikus, sirip, lubang jarum, membengkak, penetrasi logam, salah alir dan kekasaran erosi, sedangkan pada pemeriksaan dengan cairan dye penetrant ditemukan cacat rongga penyusutan dan udara.

## Keyword:

*Investment Casting*,  
*Shrinkage*,  
*Flatness*,  
*Casting Defects*.

## ABSTRACT

*Propeller is one of the crucial parts of a fishing boat. The complicated geometry of the propeller makes the machining process complex and costly. This research aims to create a fishing boat propeller with the investment casting method to reduce the machining process and get an accurate product geometry and analyze the geometry, flatness, and defects that may occur in the final casting product. Modeling is determined by the type commonly sold. The master dies propeller mold is made using RTV 497 silicone rubber material. The investment casting mold used is 10 - 30 mesh silica sand and 80-100 mesh, gypsum, and alumina. The wax pattern used is made of paraffin wax. The results showed that the foundry products showed shrinkage using a vernier caliper measuring instrument and 3D Scan measurements. In calculating the flatness of the surface of the propeller leaf, it was found that there were differences in the level of surface flatness. The identification of casting defects showed that defects in the rat's tail, fins, pinhole, swelling, metal penetration, wrong flow, and erosion roughness were found on visual examination. While on review with liquid dye penetrant found shrinkage cavity defects and air.*

## 1. PENDAHULUAN

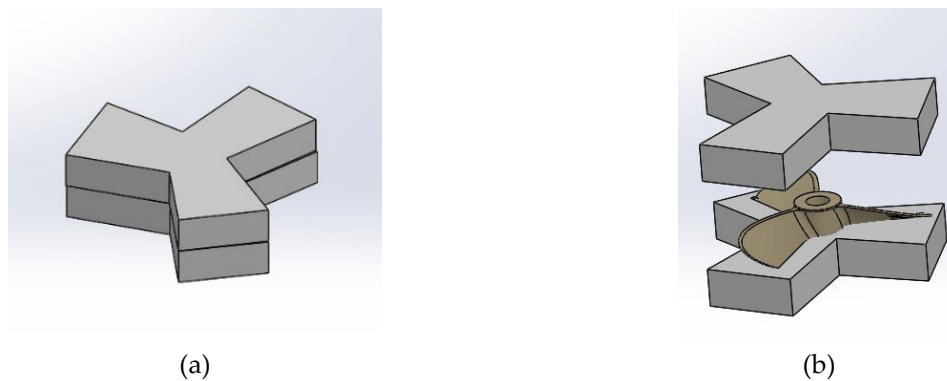
Indonesia adalah negara maritim dengan banyak orang berprofesi sebagai nelayan. Perahu adalah alat transportasi yang biasa digunakan nelayan dalam pekerjaannya. *Propeller* (atau baling-baling) adalah salah satu bagian yang penting dalam perahu nelayan. *Propeller* digunakan sebagai penerus daya, dan daya dari motor listrik melewati sejumlah mekanisme transmisi daya, yang diakhiri dengan perputaran *propeller* [1]. *Propeller* umumnya terbuat dari material dengan sifat mekanik dan kimia yang baik. Sifat mekanis seperti kekuatan, kekerasan, ketangguhan, ketahanan beban tumbukan dan ketahanan aus, sedangkan sifat kimianya dipilih dari bahan yang tidak mudah berkarat/ korosi [2]. Bentuk geometris dan dimensi sudu memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kinerja *propeller*, oleh karena itu proses manufaktur yang akurat dan efektif sangat penting [3].

Pengecoran logam dapat diartikan proses dari logam yang dicairkan, dituangkan ke dalam cetakan, kemudian dibiarkan mendingin dan membeku [4]. *Investment Casting* (juga dikenal sebagai “*lost wax casting*” atau ‘pengecoran presisi’) telah menjadi proses yang banyak digunakan selama berabad-abad. Proses pengecoran ini dikenal karena mampu menghasilkan produk akhir yang sangat baik dalam akurasi dimensi, dan bentuk kompleks seperti dinding yang tipis dan kontur yang sulit diproduksi dengan proses permesinan biasa. Hal ini sangat berguna untuk membuat produk coran dengan bentuk geometri yang kompleks [5], [6].

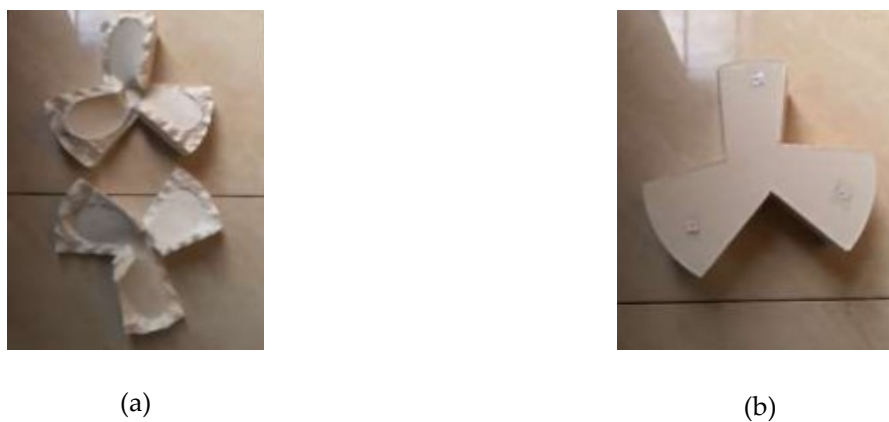
Penelitian ini akan membahas tentang perancangan dan pembuatan *propeller* perahu nelayan dengan berbahan dasar aluminium menggunakan pola lilin dan cetakan pasir. *Propeller* perahu nelayan dibuat dengan metode *investment casting* yang bertujuan untuk mengurangi proses permesinan dan mendapatkan geometri produk yang akurat.

## 2. METODE

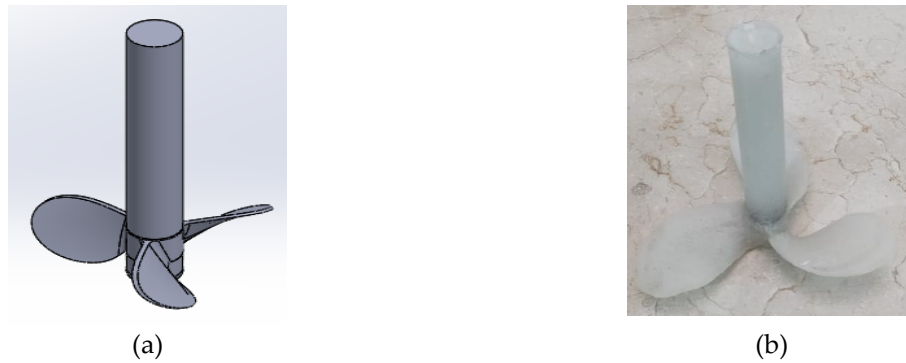
Penelitian ini terdiri dari 2 tahap yaitu tahap pengecoran *propeller* kapal dan tahap pengujian akurasi geometri dan cacat coran. Tahapan pengecoran *propeller* kapal menggunakan pola lilin meliputi beberapa tahap. Tahapan pertama adalah pembuatan cetakan induk. Cetakan ini menggunakan *propeller* asli sebagai pola cetakan, *silicone rubber* RTV 497 dan katalis. Pada penelitian ini, menggunakan katalis dengan perbandingan 1:0.05 terhadap *silicone rubber*. Proses pengerasan *silicone rubber* RTV 497 kurang lebih 12 jam. Setelah mengeras, selanjutnya mengeluarkan cetakan *propeller* yang terbuat dari *silicone rubber* RTV 497 dari wadah cetakannya dan membelah cetakan untuk mengeluarkan *propeller* asli dari dalam cetakan. Proses desain cetakan ditunjukkan pada Gambar 2.1. Sementara itu, hasil produk cetakan ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.1 Proses Desain Cetakan: a) Cetakan Tertutup, b) Cetakan Terbuka



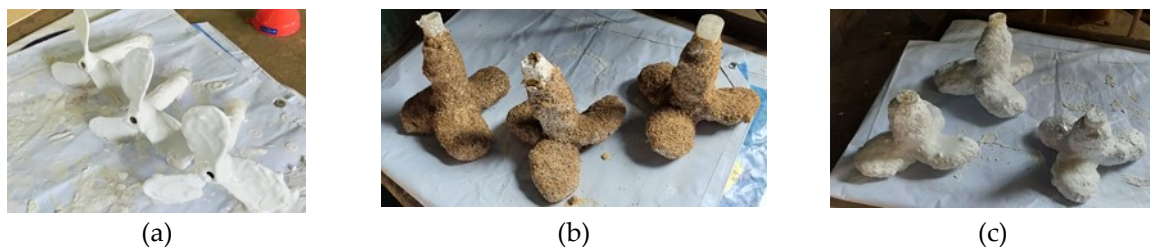
Gambar 2.2 Cetakan Induk yang Telah Siap Digunakan : a) Terbuka, b) Tertutup



Gambar 2.3 Pola Lilin: a) Desain, b) Produk Hasil Akhir Pola Lilin

Dalam proses pembuatan pola lilin bahan utama yang digunakan adalah lilin parafin. Sementara paralon 1 inci digunakan sebagai cetakan untuk *sprue*. Cetakan *silicone rubber* dan paralon bagian dalam dilapisi dengan resin anti lengket *Mirror Glaze Wax* agar pola lilin dapat dikeluarkan dari cetakan *silicone rubber*. Banyaknya lilin cair yang digunakan adalah 40 ml. Proses pengerasan lilin parafin sekitar 15 menit. Pola lilin *propeller* dan *sprue* disatukan dengan cara memanaskan bagian yang akan ditempelkan, kemudian menempelkannya dan merekatkan sisi luarnya dengan bantuan solder. Desain dan produk hasil akhir pola lilin ditunjukkan pada Gambar 2.3.

Tahapan berikutnya adalah pelapisan pola lilin. Bahan yang digunakan untuk pelapisan pola lilin adalah *ceramic slurry* dan pasir silika. Bahan yang digunakan sebagai *ceramic slurry* adalah bubuk alumina dan *gypsum* dengan perbandingan massa 1:3. Proses pelapisan terdiri dari pelapisan primer dan sekunder. Pelapisan primer menggunakan *ceramic slurry* dan pelapisan sekunder menggunakan pasir silika. Urutan pelapisan pola lilin adalah pelapisan primer (sebanyak 2 kali), pelapisan sekunder (1 kali) menggunakan pasir silika mesh 80-100, pelapisan primer (1 kali), pelapisan sekunder (1 kali) menggunakan pasir silika mesh 80 - 100, pelapisan primer (1 kali), pelapisan sekunder (1 kali) dengan pasir silika mesh 10-30, dan terakhir adalah pelapisan primer (1 kali) [7]. Hasil pelapisan pola lilin ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Hasil Pelapisan Pola Lilin : a) 2 Kali Pelapisan Primer, b) Pelapisan Sekunder, c) Hasil Akhir Pelapisan Pola Lilin

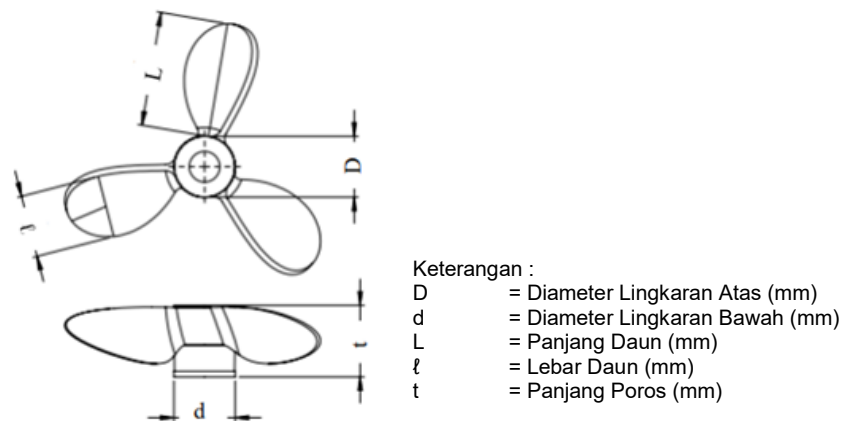
Setelah pola lilin selesai dilapisi dengan *gypsum*, maka dilakukan proses pelelehan. Proses ini bertujuan untuk menghasilkan rongga cetakan pada cetakan *gypsum*. Pelelehan dilakukan dalam tungku krusibelselama 60 menit. Selanjutnya cetakan *gypsum* dilakukan proses sintering. Proses *sintering* dilakukan dalam mesin *furnace Nabertherm* pada suhu 250 °C dan selama 30 menit. Proses ini bertujuan untuk meningkatkan kekuatan panas, kemungkinan terjadi retak pada cetakan coran dan menghilangkan sisa-sisa lilin yang mungkin masih berada di dalam cetakan.

Cetakan yang telah jadi selanjutnya siap untuk diisi dengan aluminium cair. Proses peleburan dilakukan dengan cara memanaskan 3 kg paduan Al-Si pada temperature 770°C dengan menggunakan *furnace*. Aluminium yang telah mencair segera dituang ke dalam cetakan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5. Setelah logam cair membeku, langkah selanjutnya adalah pelepasan hasil coran dari cetakan. Proses pelepasan benda coran dilakukan dengan cara menghancurkan cetakan dengan palu.



Gambar 2.5 Proses Penuangan Logam Cair

Pengukuran geometri *propeller* dilakukan dengan 2 cara yaitu menggunakan *vernier caliper* dan 3D *Scan* yang selanjutnya diukur dalam *solidworks*. Objek yang diukur adalah *propeller* asli dan *propeller* hasil pengecoran. Geometri yang diukur adalah diameter lingkaran luar bagian atas ( $D$ ), diameter lingkaran luar bagian bawah ( $d$ ), panjang poros ( $t$ ), panjang daun ( $L$ ) dan lebar daun ( $\ell$ ). Bagian *propeller* yang diukur ditunjukkan pada Gambar 2.6. Untuk pengukuran lebar daun dilakukan dengan menarik garis sepanjang 2 cm dari ujung daun menuju poros, kemudian menarik garis tegak lurus yang akan diukur



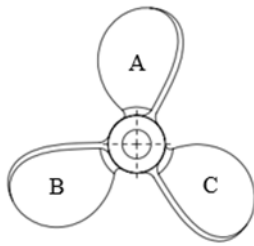
Gambar 2.6 Bagian Propeller Yang Diukur

3D *Scan* digunakan untuk memvalidasi nilai ukur dari pengukuran *vernier caliper*, di mana dengan 3D *Scan* diperoleh hasil pengukuran yang lebih akurat. Objek yang diukur adalah *propeller* asli dan *propeller* hasil pengecoran. Hasil *scanning* ditampilkan pada *software EXScan Pro*, yang kemudian dikonversikan ke *solidworks*.

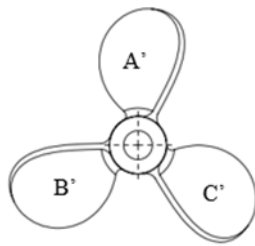
## 2.1 Pengukuran Kerataan Permukaan Daun Propeller

Pengukuran kerataan permukaan daun *propeller* dilakukan dengan menggunakan *vernier caliper* dan plat *stainless steel* berukuran (150 x 30) mm dengan tebal 0.5 mm. Langkah pertama adalah membagi daun yang akan diukur. Daun *propeller* asli dengan simbol (A, B, C) dan daun *propeller* coran dengan simbol (A', B', C'). Prinsip pengukuran kerataan permukaan daun *propeller* pada penelitian ini adalah mengukur setiap jarak garis ruas dengan plat *stainless steel* menggunakan *vernier caliper*, kemudian menghitung selisih pengukuran setiap segmen dari ujung poros sampai ujung daun. Ruas daun dibagi dengan menarik garis lurus vertikal dari ujung daun menuju lubang poros untuk masing – masing daun pada *propeller* asli dan coran, kemudian memberi tanda jarak titik pada daun *propeller* asli sebesar 1 cm, dan *propeller* coran 0.5 cm. Jumlah titik adalah 9 titik. Skema pembagian daun dan pengukuran kerataan permukaan daun *propeller* ditunjukkan pada Gambar 2.7.

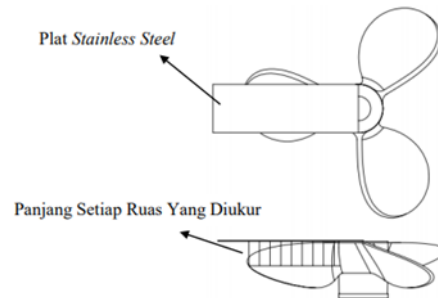
Pembagian Daun *Propeller* Asli



Pembagian Daun *Propeller*



Mekanisme Pengukuran Kerataan



Gambar 2.7 Skema Pembagian Daun *Propeller* dan Mekanisme Pengukuran Kerataan Permukaan Daun *Propeller*

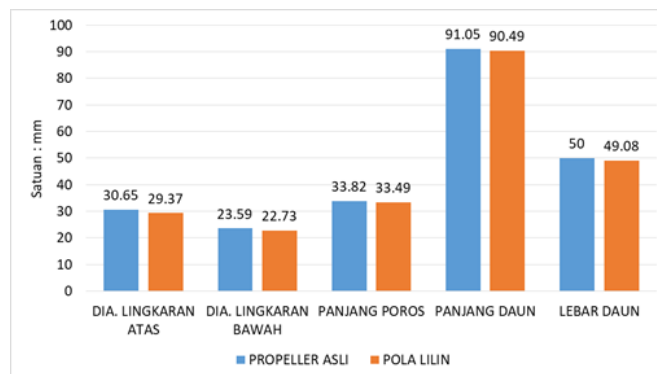
## 2.2 Pemeriksaan Cacat Coran

Pemeriksaan cacat coran pada *propeller* dilakukan secara visual dan bantuan cairan *dye penetrant*. Cairan *penetrant* terdiri dari *penetrant*, *cleaner* dan *developer*. Pengujian dengan *dye-penetran* digunakan untuk memeriksa adanya cacat coran yang tidak dapat dilihat dengan mata, berupa rongga udara ataupun penyusutan.

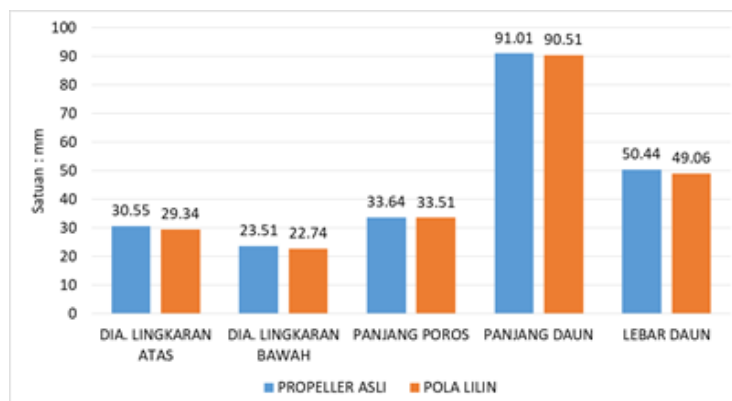
## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Hasil Pengukuran Geometri Pola Lilin

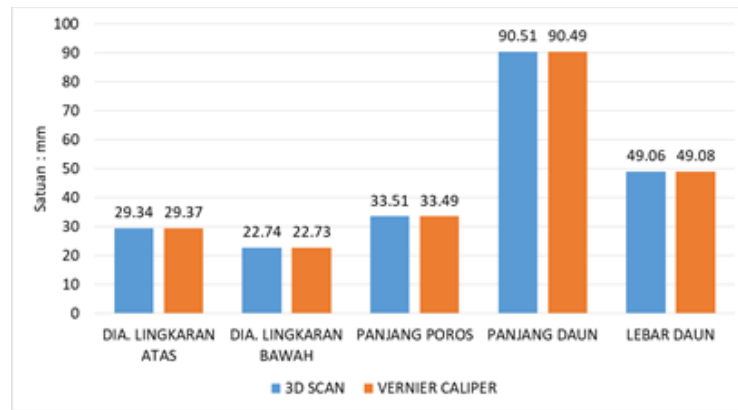
Berikut adalah hasil pengukuran geometri pola lilin dengan *vernier caliper* yang ditunjukkan pada Gambar 3.1, 3D *scan* pada Gambar 3.2, dan perbandingan pengukuran geometri pola lilin dengan *vernier caliper* dan 3D *scan* pada Gambar 3.3.



Gambar 3.1 Hasil Pengukuran Geometri Pola Lilin Dengan Vernier Caliper



Gambar 3.2 Hasil Pengukuran Geometri Pola Lilin Dengan 3D Scan



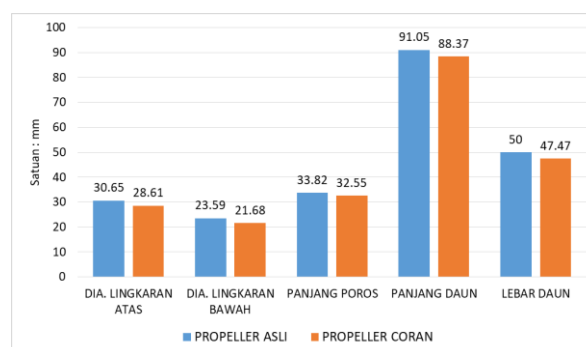
Gambar 3.3 Hasil Perbandingan Pengukuran Geometri Pola Lilin Dengan Vernier Caliper dan 3D Scan

Pada pengukuran *vernier caliper*, diameter lingkaran luar bagian atas ditemukan *error* sebesar 4.18%. Lalu pada pengukuran diameter lingkaran luar bagian bawah, memiliki nilai *error* sebesar 3.65%. Kemudian pada pengukuran panjang poros didapat nilai *error* 1%. Dilanjutkan pada panjang daun 0.62%. Kemudian pada pengukuran lebar daun, ditemukan nilai *error* sebesar 1.85 %. Keseluruhan nilai *error* pengukuran *vernier caliper* dalam skala 0.62% - 4.18%, sedangkan pada pengukuran 3D *scan*, diameter lingkaran luar bagian atas, ditemukan *error* sebesar 3.96 %. Lalu pada pengukuran diameter lingkaran luar bagian bawah, memiliki nilai *error* sebesar 3.28 %. Kemudian pada pengukuran panjang poros didapat nilai *error* 0.39 %. Dilanjutkan pada panjang daun 0.55 %. Kemudian pada pengukuran lebar daun, ditemukan nilai *error* sebesar 2.74 %. Keseluruhan nilai *error* pengukuran 3D *scan* dalam skala 0.39 % - 3.96 %. Perbedaan dimensi antara pola lilin dengan *propeller* asli ini dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti penyusutan dari material lilin, dan juga karena faktor perubahan dimensi cetakan akibat penyatuan cetakan yang kurang sempurna.

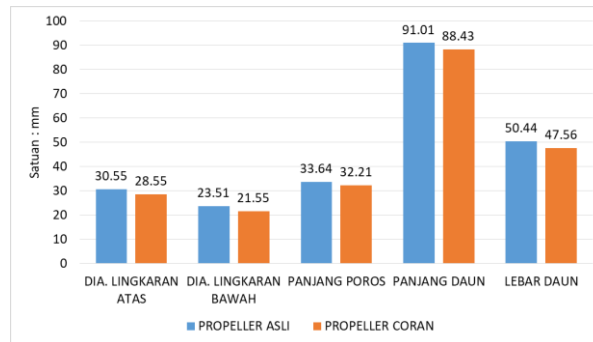
Pada perbandingan pengukuran *vernier caliper* dan 3D *scan*, diameter lingkaran luar bagian atas, ditemukan *error* sebesar 0.09 %. Lalu pada pengukuran diameter lingkaran luar bagian bawah, memiliki nilai *error* sebesar 0.04 %. Kemudian pada pengukuran panjang poros didapat nilai *error* 0.07 %, dilanjutkan pada panjang daun 0.02 %. Kemudian pada pengukuran lebar daun, ditemukan nilai *error* sebesar 0.03 %. Dapat dilihat dari keseluruhan nilai *error*, yaitu dalam skala 0.02 % - 0.09 %. Dalam skala ini menunjukkan bahwa perbedaan pengukuran *vernier caliper* dan 3D *scan* tidak terlalu jauh. Perbedaan hasil pengukuran dari 3D *scan* dan pengukuran manual disebabkan karena kemampuan alat 3D *scan* dalam memindai geometri pola lilin *propeller* yang memiliki geometri rumit dapat menjadi faktor perbedaan hasil pengukuran, juga disebabkan karena *human error* dalam pembacaan skala *vernier caliper* yang berubah-ubah dan tidak pasti.

### 3.2 Hasil Pengukuran Geometri *Propeller* Coran

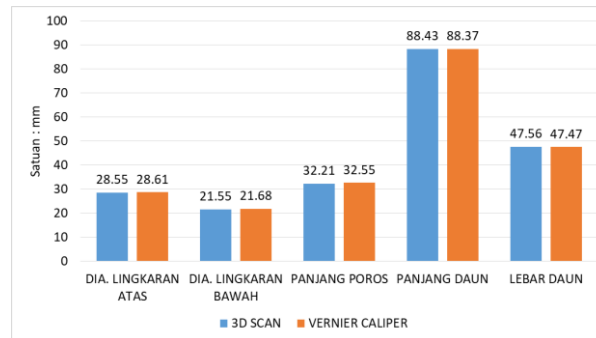
Berikut adalah hasil pengukuran geometri produk coran dengan *vernier caliper* pada Gambar 3.4, 3D *scan* pada Gambar 3.5, dan perbandingan pengukuran geometri produk coran dengan *vernier caliper* dan 3D *scan* yang ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.4 Hasil Pengukuran Geometri *Propeller* Coran Dengan Vernier Caliper



Gambar 3.5 Hasil Pengukuran Geometri Propeller Coran Dengan 3D Scan



Gambar 3.6 Hasil Perbandingan Pengukuran Geometri Propeller Coran Dengan Vernier Caliper dan 3D Scan

Pada pengukuran *vernier caliper* diameter lingkaran luar bagian atas, ditemukan *error* sebesar 6.64 %. Lalu pada pengukuran diameter lingkaran luar bagian bawah, memiliki nilai *error* sebesar 8.08 %. Kemudian pada pengukuran panjang poros didapat nilai *error* 3.76 %, dilanjutkan pada panjang daun 2.95 %. Kemudian pada pengukuran lebar daun, ditemukan nilai *error* sebesar 5.06 %. Keseluruhan nilai *error* pengukuran *vernier caliper* yaitu dalam skala 2.95 – 8.08 %. Sementara itu, pada pengukuran 3D scan, diameter lingkaran luar bagian atas, ditemukan *error* sebesar 6.55 %. Lalu pada pengukuran diameter lingkaran luar bagian bawah, memiliki nilai *error* sebesar 8.34 %. Kemudian pada pengukuran panjang poros didapat nilai *error* 4.25 %, dilanjutkan pada panjang daun 2.83 %. Kemudian pada pengukuran lebar daun, ditemukan nilai *error* sebesar 5.71 %. Keseluruhan nilai *error* pengukuran 3D scan dalam skala 2.83 % - 8.34 %. Perbedaan dimensi antara produk coran dengan *propeller* asli ini dipengaruhi oleh beberapa seperti penyusutan dari material lilin saat proses pembuatan pola dan penyusutan material aluminium saat proses pembekuan coran. Pada saat proses pembuatan pola lilin, penuangan cairan lilin yang tidak kontinyu, karena terjadi kebocoran cetakan, serta pembebanan *clamp C* yang terlalu besar juga menyebabkan perbedaan geometri produk akhir coran dengan *propeller* asli.

Pada perbandingan pengukuran *vernier caliper* dan 3D scan, diameter lingkaran luar bagian atas, ditemukan *error* sebesar 0.22 %. Lalu pada pengukuran diameter lingkaran luar bagian bawah, memiliki nilai *error* sebesar 0.62 %. Kemudian pada pengukuran panjang poros didapat nilai *error* 1.06 %, dilanjutkan pada panjang daun 0.07 %. Kemudian pada pengukuran lebar daun, ditemukan nilai *error* sebesar 0.19 %. Dapat dilihat dari keseluruhan nilai *error*, yaitu dalam skala 0.07 % - 1.06 %. Dalam skala ini menunjukkan bahwa perbedaan pengukuran *vernier caliper* dan 3D scan tidak terlalu jauh. Perbedaan hasil pengukuran dari 3D scan dan pengukuran manual disebabkan karena kemampuan alat 3D scan dalam memindai geometri produk coran *propeller* yang memiliki geometri rumit dapat menjadi faktor perbedaan hasil pengukuran. Selain itu juga disebabkan karena *human error* dalam pembacaan skala *vernier caliper* yang berubah-ubah dan tidak pasti.

Dalam pembuatan *propeller* perahu nelayan menggunakan metode *investment casting* ini variabel tambahan penyusutan dan permesinan diabaikan karena dalam proses pembuatan cetakan induk hanya memberi ruang geometri sesuai *propeller* asli. Hal ini memungkinkan terjadinya perbedaan geometri

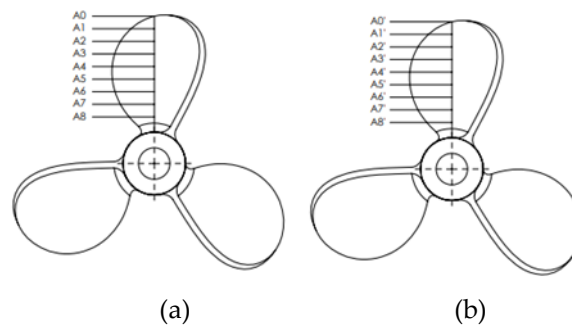
*propeller* asli dan coran sebagai akibat dari penyusutan material lilin saat proses pembuatan pola dan material alumunium saat proses penuangan alumunium cair. Namun dengan berkembangnya teknologi 3D *printing* (Hendrianto, 2018) telah mengembangkan pengganti pola lilin pada metode *investment casting* dengan filamen PLA [8]. Pengembangan ini memungkinkan untuk memberi ruang pada tambahan penyusutan dan permesinan dengan lebih akurat.

### 3.3 Hasil Pengukuran Kerataan Permukaan Daun *Propeller*

Berikut adalah hasil pengukuran kerataan daun *propeller* yang terbagi menjadi 3 daun: Daun A, Daun B, dan Daun C.

#### 3.3.1 Hasil Pengukuran Kerataan Permukaan Daun A *Propeller* Coran

Skema pembagian ruas daun A ditunjukkan pada Gambar 3.7, sedangkan hasil pengukuran daun A *propeller* ditunjukkan pada Tabel 3.1. Kemudian hasil pengukuran selisih antar ruas ditunjukkan dalam Gambar 3.8.



Gambar 3.7 Skema Pembagian Ruas Daun A : a) *Propeller* Asli, b) *Propeller* Coran

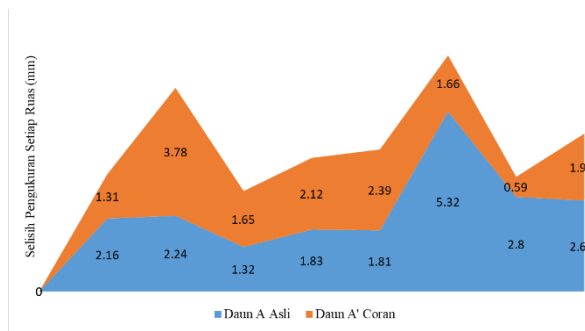
Tabel 3.1 Hasil Pengukuran Kerataan Permukaan Daun A *Propeller*

Daun A <i>Propeller</i> Asli		Daun A <i>Propeller</i> Coran	
Ruas Daun	Hasil Pengukuran (mm)	Ruas Daun	Hasil Pengukuran (mm)
A0	26,55	A0'	22,63
A1	23,86	A1'	20,65
A2	21,06	A2'	20,06
A3	15,74	A3'	18,4
A4	13,93	A4'	16,01
A5	12,1	A5'	13,89
A6	10,78	A6'	12,24
A7	8,54	A7'	8,46
A8	6,38	A8'	7,15

Dari tabel di atas diketahui bahwa ada perbedaan pengukuran ruas daun A antara *propeller* asli dan coran. Pada ruas A8 *propeller* asli didapat hasil pengukuran sebesar 6,38 mm, sedangkan pada ruas A8' *propeller* coran didapat hasil pengukuran 7,15 mm. Perbedaan nilai pengukuran pada ruas ini terjadi karena pada *propeller* coran terjadi penyusutan geometri, sehingga hasil pengukuran pada ruas A8' *propeller* coran lebih besar 0,77 mm dari ruas A8 *propeller* asli.

Pada ruas selanjutnya perbedaan pengukuran masih cenderung lebih besar *propeller* coran. Namun dalam tiga ruas terakhir mendekati ujung luar daun, pada pengukuran *propeller* coran terdapat selisih antar ruas yang tidak terlalu jauh dibandingkan dengan *propeller* asli. Hal ini disebabkan karena perbedaan kemiringan geometri antara *propeller* asli dan coran. *Propeller* coran mengalami penyusutan sehingga kemiringan geometri menjadi berkurang dan selisih antar ruas daun A' *propeller* coran pada tiga ruas terakhir menjadi lebih kecil dibandingkan tiga ruas terakhir pada ruas daun A *propeller* asli.





Gambar 3.8 Hasil Pengukuran Selisih Antar Ruas Daun A

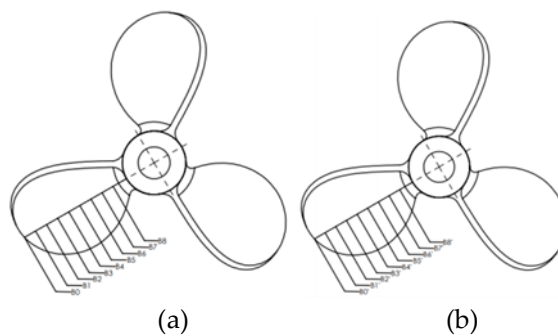
Berdasarkan Gambar 3.8 di atas terlihat kecenderungan ketidakrataan permukaan pada permukaan daun A' *propeller* coran. Pada ruas A6' dan A7' *propeller* coran terdapat selisih pengukuran sebesar 3,78 mm. Hal ini disebabkan karena pada ruas tersebut terdapat cacat pengecoran berupa cacat kekasaran permukaan, sehingga menyebabkan kenaikan selisih pengukuran sebesar 2,47 mm dari selisih ruas A7' dan A8'.

Kemudian pada tiga ruas terakhir mendekati ujung luar daun, pada selisih pengukuran ruas daun A2 dan A3 *propeller* asli terdapat peningkatan selisih pengukuran ruas sebesar 3,51 mm menjadi 5,32 mm. Hal ini disebabkan karena kemiringan geometri daun A *propeller* asli yang mengakibatkan kenaikan selisih pengukuran ruas daun sebelumnya, sedangkan pada tiga ruas terakhir mendekati ujung luar daun *propeller* coran justru terjadi penurunan yang kemudian diikuti sedikit kenaikan selisih setiap ruas karena pada ruas tersebut terjadi penyusutan saat proses pengecoran logam.

### 3.3.2 Hasil Pengukuran Kerataan Permukaan Daun B *Propeller* Coran

Skema pembagian ruas daun B ditunjukkan pada Gambar 3.9, sedangkan hasil pengukuran daun B *propeller* ditunjukkan pada Tabel 3.2. Hasil pengukuran selisih antar ruas ditunjukkan dalam Gambar 3.10.

Tabel 3.2 menunjukkan bahwa ada perbedaan pengukuran ruas daun B antara *propeller* asli dan coran. Pada ruas B8 *propeller* asli didapat hasil pengukuran sebesar 6,38 mm. Pada ruas B8' *propeller* coran didapat hasil pengukuran 14,36 mm. Perbedaan nilai pengukuran pada ruas ini terjadi karena pada *propeller* coran terjadi penyusutan geometri, sehingga hasil pengukuran pada ruas B8' *propeller* coran lebih besar 7,98 mm dari ruas B8 *propeller* asli.



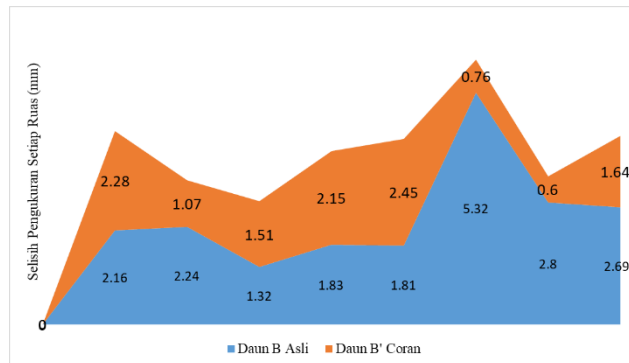
Gambar 3.9 Skema Pembagian Ruas Daun B: a) *Propeller* Asli, b) *Propeller* Coran

Tabel 3.2 Hasil Pengukuran Kerataan Permukaan Daun B *Propeller*

Daun B <i>Propeller</i> Asli		Daun B <i>Propeller</i> Coran	
Ruas Daun	Hasil Pengukuran (mm)	Ruas Daun	Hasil Pengukuran (mm)
B0	26,55	B0'	26,82
B1	23,86	B1'	25,18
B2	21,06	B2'	24,58
B3	15,74	B3'	23,82
B4	13,93	B4'	21,37

Daun B <i>Propeller Asli</i>		Daun B <i>Propeller Coran</i>	
Ruas Daun	Hasil Pengukuran (mm)	Ruas Daun	Hasil Pengukuran (mm)
B5	12,1	B5'	19,22
B6	10,78	B6'	17,71
B7	8,54	B7'	16,64
B8	6,38	B8'	14,36

Pada ruas selanjutnya perbedaan pengukuran masih cenderung lebih besar *propeller* coran. Namun dalam tiga ruas terakhir mendekati ujung luar daun, pada pengukuran *propeller* coran terdapat selisih antar ruas yang tidak terlalu jauh dibandingkan dengan *propeller* asli. Hal ini disebabkan karena perbedaan kemiringan geometri antara *propeller* asli dan coran. *Propeller* coran mengalami penyusutan sehingga kemiringan geometri menjadi berkurang dan selisih antar ruas daun B' *propeller* coran pada tiga ruas terakhir menjadi lebih kecil dibandingkan tiga ruas terakhir pada ruas daun B *propeller* asli.



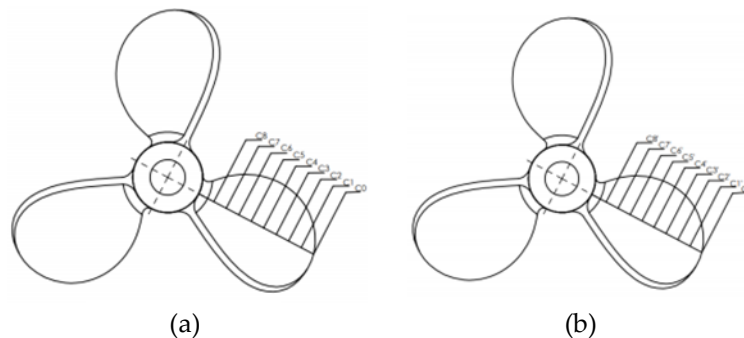
Gambar 3.10 Hasil Pengukuran Selisih Antar Ruas Daun B

Berdasarkan Gambar 3.10 di atas terlihat kecenderungan ketidakrataan permukaan pada permukaan daun B' *propeller* coran. Pada ruas B4' dan B5' *propeller* coran terdapat selisih pengukuran sebesar 2,15 mm. Hal ini disebabkan karena pada ruas tersebut terdapat cacat pengecoran berupa cacat kekasaran permukaan, sehingga menyebabkan kenaikan selisih pengukuran sebesar 0,64 mm dari selisih ruas B5' dan B6'.

Pada tiga ruas terakhir mendekati ujung luar daun, pada selisih pengukuran ruas daun B2 dan B3 *propeller* asli terdapat peningkatan selisih pengukuran ruas sebesar 3,51 mm menjadi 5,32 mm. Hal ini disebabkan karena kemiringan geometri daun B *propeller* asli yang mengakibatkan kenaikan selisih pengukuran ruas daun sebelumnya. Sebaliknya, pada tiga ruas terakhir mendekati ujung luar daun *propeller* coran justru terjadi penurunan yang kemudian diikuti sedikit kenaikan selisih setiap ruas karena pada ruas tersebut terjadi penyusutan saat proses pengecoran logam.

### 3.3.3 Hasil Pengukuran Kerataan Permukaan Daun C *Propeller Coran*

Skema pembagian ruas daun C ditunjukkan pada Gambar 3.11. Hasil pengukuran daun C *propeller* ditunjukkan pada Tabel 3.3. Hasil pengukuran selisih kerataan antar ruas ditunjukkan dalam Gambar 3.12.

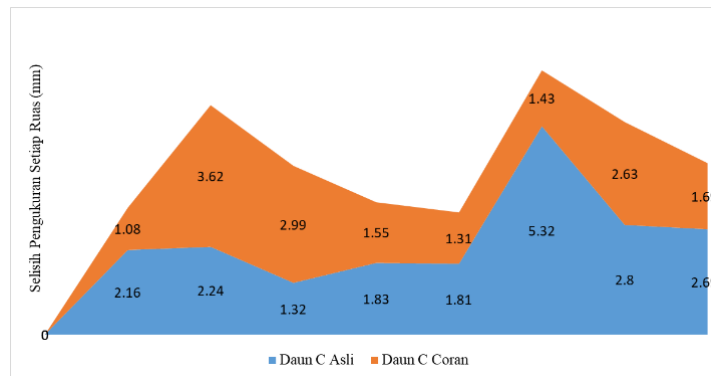


Gambar 3.11 Skema Pembagian Ruas Daun C: a) *Propeller Asli*, b) *Propeller Coran*  
Tabel 3.3 Hasil Pengukuran Kerataan Permukaan Daun C *Propeller*

Daun C <i>Propeller</i> Asli		Daun C <i>Propeller</i> Coran	
Ruas Daun	Hasil Pengukuran (mm)	Ruas Daun	Hasil Pengukuran (mm)
C0	26,55	C0'	27,66
C1	23,86	C1'	25,97
C2	21,06	C2'	23,34
C3	15,74	C3'	21,91
C4	13,93	C4'	20,6
C5	12,1	C5'	19,05
C6	10,78	C6'	16,06
C7	8,54	C7'	12,44
C8	6,38	C8'	11,36

Dari tabel di atas diketahui bahwa ada perbedaan pengukuran ruas daun C antara *propeller* asli dan coran. Pada ruas C8 *propeller* asli didapat hasil pengukuran sebesar 6,38 mm. Pada ruas C8' *propeller* coran didapat hasil pengukuran 11,36 mm. Perbedaan nilai pengukuran pada ruas ini terjadi karena pada *propeller* coran terjadi penyusutan geometri, sehingga hasil pengukuran pada ruas C8' *propeller* coran lebih besar 4,98 mm dari ruas C8 *propeller* asli.

Pada ruas selanjutnya, perbedaan pengukuran masih cenderung lebih besar *propeller* coran. Akan tetapi, dalam tiga ruas terakhir mendekati ujung luar daun, pada pengukuran *propeller* coran terdapat selisih antar ruas yang tidak terlalu jauh dibandingkan dengan *propeller* asli. Hal ini disebabkan karena perbedaan kemiringan geometri antara *propeller* asli dan coran. *Propeller* coran mengalami penyusutan sehingga kemiringan geometri menjadi berkurang dan selisih antar ruas daun C' *propeller* coran pada tiga ruas terakhir menjadi lebih kecil dibandingkan tiga ruas terakhir pada ruas daun C *propeller* asli.



Gambar 3.12 Hasil Pengukuran Selisih Antar Ruas Daun C

Berdasarkan Gambar 3.12 di atas terlihat kecenderungan ketidakrataan permukaan pada permukaan daun C' *propeller* coran. Pada ruas C6' dan C7' *propeller* coran terdapat selisih pengukuran sebesar 3,62 mm. Hal ini disebabkan karena pada ruas tersebut terdapat cacat pengecoran berupa cacat kekasaran permukaan, sehingga menyebabkan kenaikan selisih pengukuran sebesar 2,54 mm dari selisih ruas C7' dan C8'.

Kemudian pada tiga ruas terakhir mendekati ujung luar daun, pada selisih pengukuran ruas daun C2 dan C3 *propeller* asli terdapat peningkatan selisih pengukuran ruas sebesar 3,51 mm menjadi 5,32 mm. Hal ini disebabkan karena kemiringan geometri daun C *propeller* asli yang mengakibatkan kenaikan selisih pengukuran ruas daun sebelumnya. Sebaliknya, pada tiga ruas terakhir mendekati ujung luar daun *propeller* coran justru terjadi penurunan yang kemudian diikuti sedikit kenaikan selisih setiap ruas karena pada ruas tersebut terjadi penyusutan saat proses pengecoran logam.

Berdasarkan keseluruhan pengukuran kerataan permukaan daun *propeller* coran, diketahui bahwa perbedaan tingkat kerataan permukaan daun *propeller* disebabkan karena *propeller* coran mengalami penyusutan dan cacat kekasaran erosi. Pada daun A' cacat kekasaran permukaan terlihat pada selisih pengukuran ruas A6' dan A7' dimana terdapat kenaikan selisih pengukuran sebesar 2,47 mm dari selisih ruas A7' dan A8'. Pada daun B' cacat kekasaran permukaan terlihat pada selisih pengukuran ruas B4' dan B5' dimana terdapat kenaikan selisih pengukuran sebesar 0,64 mm dari selisih ruas B5' dan B6'. Pada daun

C' cacat kekasaran permukaan terlihat pada selisih pengukuran ruas C6' dan C7' di mana terdapat kenaikan selisih pengukuran sebesar 2,54 mm dari selisih ruas C7' dan C8'.

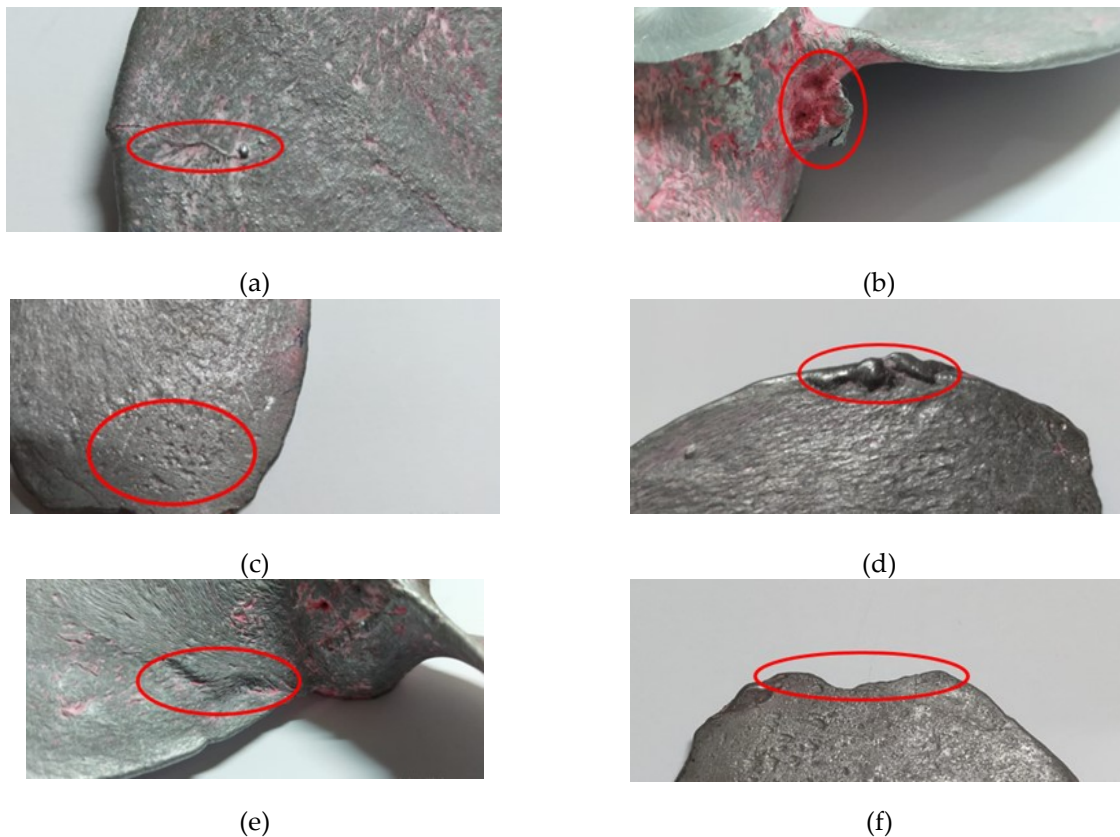
Cacat kekasaran erosi disebabkan oleh pasir yang terlepas karena erosi dari permukaan cetakan. Bagian di mana pasir terjadi erosi, terdapat kekasaran permukaan yang berbentuk gumpalan/pelat [9]. Paduan *slurry* belum cukup kering saat proses penuangan aluminium cair. Hal ini menyebabkan cetakan mengalami erosi saat proses penuangan yang mengakibatkan kekasaran permukaan produk coran. Oleh karena itu, dalam proses pelapisan pola lilin perlu dipertimbangkan mengenai pengeringan cetakan yang efektif agar memperoleh kerataan permukaan produk yang diinginkan.

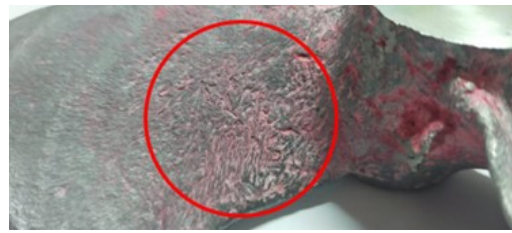
### 3.4 Hasil Identifikasi Cacat Propeller Coran

#### 3.4.1 Pemeriksaan Visual

Dalam pemeriksaan visual ditemukan beberapa cacat seperti ekor tikus, sirip, lubang jarum, pembengkakan, penetrasi logam, salah alir dan permukaan kasar yang ditunjukkan Gambar 3.13. Cacat ekor tikus terjadi karena komponen yang bersifat kental dan lumpur yang terkandung banyak dalam pasir. Cacat sirip dapat terjadi karena jumlah logam cair yang dituang ke dalam cetakan terlalu banyak, sehingga logam cair ini akan meluber dari celah – celah cetakan sehingga terbentuk sirip [10]. Cacat lubang jarum terjadi karena penuangan logam cair yang lambat, terjadinya oksidasi dan kurang keringnya cetakan coran. Selanjutnya cacat membengkak terjadi karena tekanan yang berlebih pada logam cair yang menyebabkan cetakan membengkak keluar. Cacat penetrasi logam disebabkan karena logam cair masuk ke dalam ruangan antara butir – butir pasir pada permukaan cetakan dan bercampur dengan pasir. Oleh karena itu dalam proses *sintering/baking* perlu diperhatikan waktu penahanan dan suhu yang tepat. Cacat salah alir terjadi karena kecepatan penuangan logam cair yang lambat dan bagian coran yang terlalu tipis sehingga logam cair tidak cukup mengisi rongga cetakan.

Cacat kekasaran erosi disebabkan oleh pasir yang terlepas karena erosi dari permukaan cetakan. Terjadinya erosi pasir karena terdapat komponen yang bersifat kental dan lumpur yang terkandung banyak dalam pasir. Selain itu, temperature penuangan logam cair yang terlalu tinggi dan kecepatan penuangan logam cair yang terlalu lambat juga dapat menyebabkan terjadinya erosi pasir.



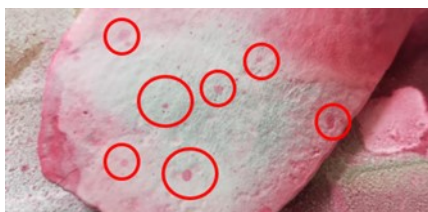


(g)

Gambar 3.13 Hasil Pemeriksaan Cacat Coran Visual : a) Ekor Tikus, b) Sirip, c) Lubang Jarum, d) Membengkak, e) Penetrasi Logam, f) Salah Alir, g) Cacat Kekasaran Erosi.

### 3.4.2 Pemeriksaan Cairan Dye Penetrant

Dalam pemeriksaan menggunakan cairan *dye penetrant* ditemukan cacat rongga udara dan rongga penyusutan yang ditunjukkan pada Gambar 3.14.



(a)



(b)

Gambar 3.14. Hasil Pemeriksaan Cacat Coran dengan Cairan Dye Penetrant : a) Rongga Udara, b) Rongga Penyusutan

Penyebab cacat rongga udara sama seperti cacat lubang jarum. Cacat ini disebabkan oleh logam cair yang mengalami oksidasi, permeabilitas cetakan kurang sempurna, cetakan kurang kering, penuangan yang terlalu lambat, sistem saluran yang basah dan tekanan di atas yang terlalu rendah. Cacat rongga penyusutan terjadi karena temperatur penuangan logam cair yang terlalu rendah, logam cair yang dioksidasi dan bagian geometri coran yang cekung, terlalu tajam atau terlalu kecil.

Dari keseluruhan cacat pengecoran yang teridentifikasi sebagian besar penyebab terjadinya cacat adalah paduan *slurry* yang belum kering, oksidasi, kecepatan penuangan yang lambat dan proses *sintering/baking* yang kurang optimal. Dalam proses penuangan logam cair disarankan untuk memastikan paduan *slurry* sudah cukup kering sebelum melakukan proses penuangan aluminium cair. Pada proses *sintering/baking* disarankan untuk memperhatikan waktu penahanan dan suhu yang tepat. Mengingat proses *slurry* dan *sintering/baking* adalah bagian dari metode pengecoran *investment casting* perlu dilakukan tinjauan dan pengembangan lebih lanjut dalam kedua proses ini agar mendapatkan produk akhir coran yang lebih optimal. Selain itu, perlu dilakukan pengembangan agar tidak terjadi penyusutan geometri dengan meninjau proses pembuatan pola lilin serta memastikan penambahan penyusutan terhadap pola lilin dan material coran.

## 4. KESIMPULAN

Produk akhir *propeller* perahu nelayan dengan metode pengecoran *investment casting* telah berhasil dibuat. Pada pola lilin ditemukan penyusutan sebesar 0.62% - 4.18% dengan menggunakan alat ukur *vernier caliper* dan 0.39 - 3.96% dengan pengukuran 3D *Scan*. Pada Produk pengecoran ditemukan penyusutan sebesar 2.95 - 8.08 % dengan menggunakan alat ukur *vernier caliper* dan 2.83 - 8.34 % dengan pengukuran 3D *Scan*. Pada pengukuran kerataan permukaan daun *propeller* ditemukan perbedaan tingkat kerataan permukaan daun *propeller* disebabkan karena *propeller* coran mengalami penyusutan dan cacat kekasaran erosi. Hasil identifikasi cacat pengecoran menunjukkan pada pemeriksaan visual ditemukan cacat ekor tikus, sirip, lubang jarum, membengkak, penetrasi logam, salah alir dan kekasaran erosi, sedangkan pada pemeriksaan dengan cairan *dye penetrant* ditemukan cacat rongga penyusutan dan udara.

Saran yang diberikan dari penelitian ini adalah perlu dilakukan pengembangan agar tidak terjadi penyusutan geometri dengan meninjau proses pembuatan pola lilin serta memastikan penambahan penyusutan terhadap pola lilin dan material coran. Selain itu juga perlu dilakukan tinjauan dan pengembangan lebih lanjut dalam proses *slurry* dan *sintering/baking* agar mendapatkan produk akhir coran yang lebih optimal. Disarankan untuk memastikan paduan *slurry* sudah cukup kering sebelum melakukan proses penuangan aluminium cair. Pada proses *sintering/baking* disarankan untuk memperhatikan waktu penahanan dan suhu yang tepat.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arbintarso, E. STUDI KASUS LAJU KOROSI BALING-BALING PERAHU NELAYAN DI DESA TANJUNG TIGA SUBANG JAWA BARAT. *JURNAL TEKNOLOGI ACADEMIA ISTA*. 2006 ; Vol. 11.
- [2] Martini, N. ANALISA PENGARUH VARIASI JENIS MATERIAL PROPELLER DAN JARAK PROPELLER DI DALAM AIR TEHADAP PERFORMANSI MESIN MOTOR PERAHU NELAYAN. *MEKANIKA - JURNAL TEKNIK MESIN*. 2016 ; Volume 2 No. 1.
- [3] Chica, E. Lost wax casting process of the runner of a propeller turbine for small hydroelectric power plants. Elsevier : *Journal of Renewable Energy*. 2013 ; 739-745.
- [4] Apriliyanto, P. ANALISIS VARIABEL PROSES PRODUK PENGECORAN LOGAM MENGGUNAKAN CETAKAN SAND CASTING. *Jurnal Teknik Mesin*. 2014 ; 70-78.
- [5] Pattnaik, S. Developments in investment casting process—A review. *Elsevier : Journal of Materials Processing Technology*. 2012 ; 2332-2348.
- [6] Kumar, P. Application of fusion deposition modelling for rapid investment casting – a review. *International Journal Materials Engineering Innovation*. 2012 ; Vol. 3, 204-227.
- [7] Setiyono, A. Studi Eksperimen pada Investment Casting dengan Komposisi Ceramic Shell yang Berbeda dalam Pembuatan Produk Toroidal Piston. *JURNAL TEKNIK ITS*. 2012 ; Vol. 1, No. 1, 102-107.
- [8] Hendrianto, R. Penggunaan Filamen PLA Sebagai Bahan Pola Pada Investment Casting. 2018; *D3 TEKNIK MESIN SV Universitas Gadjah Mada*.
- [9] Surdia, T. *Teknik Pengecoran Logam*. Jakarta: Pradnya Paramita. 1986
- [10] Kurniawan, A. Pengaruh Temperatur Cetakan Pada Cacat Visual Produk Piston Dengan Metode *Die Casting*. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Diponegoro*. 2013 ; Vol 1. No. 3