

PERBANDINGAN METODE MANUFAKTUR PROPELLER CLARK Y: 3D PRINTING DAN SILICONE MOLDING

COMPARISON OF CLARK Y PROPELLER MANUFACTURING METHODS: 3D PRINTING AND SILICONE MOLDING

Ikbal Rizki Putra¹⁾, Ll. Aghyl Anugerah Mahesa²⁾, Sehon³⁾, Gaguk Marausna⁴⁾,
Gilang Argya Dyaksa⁵⁾, Fajar Yulianto Prabowo⁶⁾, Brian Teo Putra⁷⁾

^{1,3}Program Studi Rekayasa Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan, Bantul, Indonesia

^{2,4,7}Program Studi Teknik Dirgantara, Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan, Bantul, Indonesia

⁵Program Studi Teknik Mesin, Universitas Sanata Dharma, Sleman, Indonesia

⁶Program Studi Teknologi Mesin, Universitas Akprind Indonesia, Yogyakarta, Indonesia

email: ikbal.rizki@sttkd.ac.id¹⁾, 21021616@students.sttkd.ac.id²⁾, Sehono@sttkd.ac.id³⁾

gaguk.marausna@sttkd.ac.id⁴⁾, gilangad@usd.ac.id⁵⁾, fajaryulianto@akprind.ac.id⁶⁾,

22021776@students.sttkd.ac.id⁷⁾

Received:
6 Februari 2025

Accepted:
4 Juli 2025

Published:
23 Juli 2025



Abstrak

Saat ini, industri penerbangan berkembang sangat pesat, tidak hanya pada pesawat berawak, tetapi juga dalam pengembangan pesawat tanpa awak atau *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV). Salah satu komponen krusial pada UAV adalah *propeller*. Metode yang umum digunakan dalam proses manufaktur *propeller* antara lain adalah metode *forming*, *hand lay-up*, dan *vacuum bagging*. Metode lain yang berpotensi menjadi alternatif adalah pencetakan menggunakan silikon (*silicone molding*) dan pencetakan tiga dimensi (*3D printing*). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jenis metode manufaktur yang paling sesuai untuk pembuatan *propeller* dengan tipe *airfoil* Clark Y. Penelitian dilakukan menggunakan metode simulasi, analisis geometri, dan analisis visual. Metode manufaktur *silicone molding* dapat digunakan sebagai alternatif selain *injection molding* karena perbedaan ukuran antara desain CAD dan hasil akhir dari metode ini tidak terlalu signifikan, dengan nilai penyusutan terbesar sebesar -8,77%. Sementara itu, metode *3D printing* lebih sesuai digunakan ketika ukuran *airfoil* lebih tebal.

Kata Kunci: UAV, propeler, Clark Y, cetakan silikon, *3D printing*.

Abstract

Currently, the aviation industry is experiencing rapid growth, not only in manned aircraft but also in the development of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). One of the crucial components in UAVs is the propeller. Common manufacturing methods for propellers include forming, hand lay-up, and vacuum bagging. Alternative methods with promising potential include silicone molding and three-dimensional (3D) printing. This study aims to determine the most suitable manufacturing method for producing a propeller with a Clark Y airfoil type. The research was conducted using simulation, geometric analysis, and visual analysis. The silicone molding method can serve as an alternative to injection molding, as the dimensional difference between the CAD design and

the final product is relatively minor, with the maximum shrinkage recorded at - 8.77%. Meanwhile, the 3D printing method is more appropriate when the airfoil thickness is greater.

Keywords: UAV, propeller, Clark Y, silicone molding, 3D printing.

DOI: 10.20527/sjmekinematika.v10i2.713

How to cite: Putra, I. K., Mahesa, L. A. A., Sehonon, Marausna, G., Dyaksa, G. A., Fajar Yulianto Prabowo, F. Y., & Putra, B. T., "Perbandingan Metode Manufaktur *Propeller* Clark Y: 3D *Printing* dan *Silicone Molding*". *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, 10(2), 202-214, 2025.

PENDAHULUAN

Industri penerbangan saat ini mengalami perkembangan yang sangat pesat, tidak hanya pada pesawat berawak, tetapi juga dalam pengembangan pesawat tanpa awak atau *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV). UAV telah banyak dimanfaatkan di berbagai sektor, seperti pertanian, pemetaan, keamanan, dan logistik. Meskipun demikian, tantangan utama yang masih dihadapi adalah optimasi performa, peningkatan reliabilitas sistem, serta efisiensi biaya. Salah satu komponen krusial yang sangat memengaruhi performa UAV adalah propeler. Propeler merupakan komponen yang mentransmisikan energi putar dari motor menjadi gaya dorong[1,2]. Propeler memiliki bentuk aerofoil yang umumnya mengacu pada standar desain dari National Advisory Committee for Aeronautics (NACA). Pada penelitian ini digunakan tipe aerofoil NACA Clark Y karena memiliki karakteristik aerodinamika yang baik, seperti sudut serang yang luas, rasio *lift-to-drag* yang tinggi, serta karakteristik stall yang stabil[3].

Secara umum, proses manufaktur komponen UAV menggunakan metode *forming*, *hand lay-up*, dan *vacuum bagging*[4,5]. Namun, khusus untuk propeler UAV, metode yang paling umum digunakan adalah *injection molding*, karena efisiensinya dalam produksi massal[5]. Meskipun demikian, metode ini memiliki beberapa kelemahan, seperti potensi terjadinya penyusutan (*shrinkage*), lengkungan (*warpage*), dan gelembung (*void*)[6,7]. Hedayati mengatakan, nilai penyusutan itu sendiri dapat dikurangi dengan melakukan Analisis Elemen Hingga (FEA) sebelum melakukan proses manufaktur[6].

Sebagai alternatif, terdapat dua metode manufaktur yang menjanjikan untuk produksi skala kecil, yaitu *silicone molding* dan *3D printing*. Metode *3D printing* menawarkan keunggulan dalam kebebasan desain dan efisiensi biaya untuk produksi volume rendah [8,9,10,11], sementara *silicone molding* dikenal memiliki tingkat penyusutan yang rendah (sekitar 5%), biaya produksi yang relatif murah, serta fleksibilitas desain yang baik [12,13,14].

Penelitian ini dilakukan untuk membandingkan kualitas propeler hasil manufaktur menggunakan metode *3D printing* dan *silicone molding*. Bentuk propeler sangat memengaruhi efisiensi dan keandalan sistem UAV secara keseluruhan. Metode *3D printing* mampu menghasilkan bentuk geometri kompleks, tetapi memiliki kekuatan material yang lebih rendah serta waktu cetak yang relatif lama[15]. Sebaliknya, *silicone molding* memiliki waktu produksi yang relatif cepat, namun kurang mampu mencetak bentuk geometri kompleks[16,17]. Hingga saat ini, belum banyak penelitian yang secara langsung membandingkan kedua metode tersebut dalam konteks pembuatan propeler tipe Clark Y. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi metode manufaktur yang paling sesuai untuk produksi propeler tipe Clark Y dalam volume kecil, dengan tetap mempertahankan presisi dan kualitas hasil cetak yang optimal.

METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini terdapat 3 tahapan yaitu tahapan pemodelan desain propeler, metode manufaktur serta pemilihan material dan evaluasi perbandingan geometri akhir.

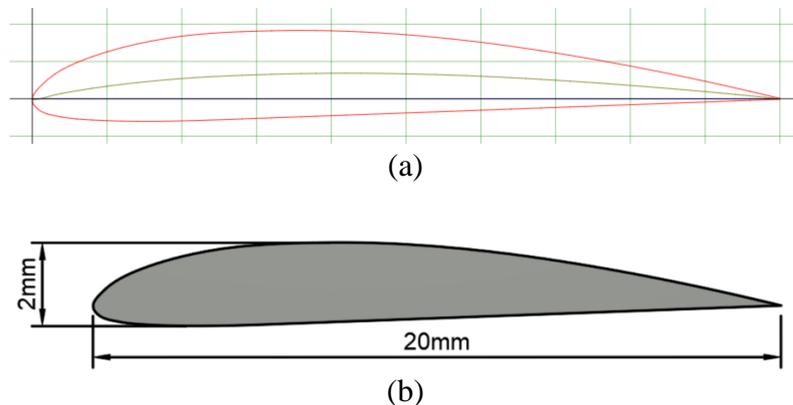
Serta ditambahkan adanya simulasi pembebanan terhadap propeler dan simulasi persebaran resin pada proses manufaktur menggunakan *silicone molding*.

Permodelan Desain Propeler

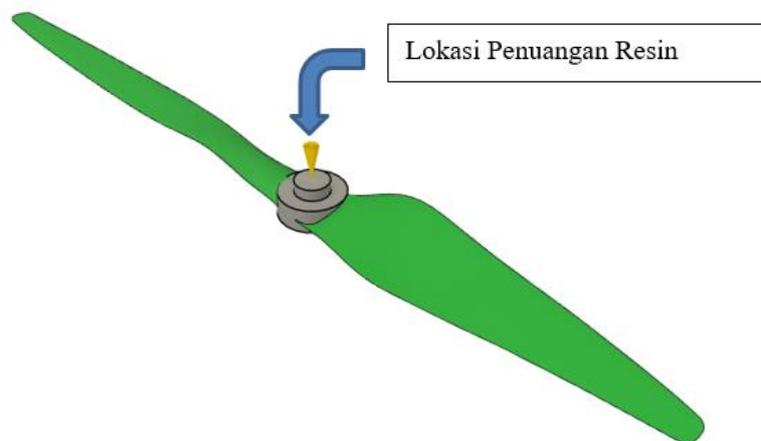
Untuk parameter desain propeler dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini. Tahapan pemodelan desain propeler dilakukan dengan aplikasi Autodesk Fusion360. Spesifikasi dari Airfoil Clark Y dapat dilihat pada Gambar 1. Gambar 1 a merupakan *Spline Dat* dari airfoil yang dijadikan acuan desain dan Gambar 1 b merupakan dimensi dari potongan desain propeler.

Tabel 1. Parameter desain propeler

Parameter	Ukuran
Jenis Airfoil	Clark Y
Diameter Propeler	248 mm
Lebar hub	18 mm
Diameter in hole	6,2 mm
Panjang tip k hub	123,34 mm
Tinggi hub	6,7 mm



Gambar 1. (a) Acuan Airfoil Clark-Y (b) dimensi gambar potongan airfoil



Gambar 2. Simulasi Persebaran Resin

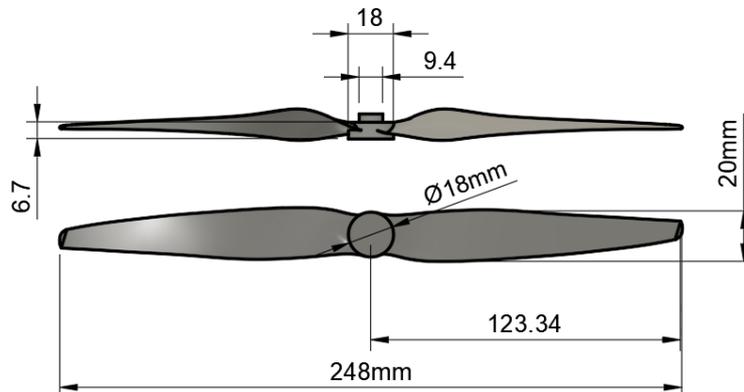
Setelah proses pemodelan desain propeler selesai, tahap berikutnya adalah simulasi, diikuti oleh pemilihan metode manufaktur dan material. Penelitian ini menggunakan dua metode manufaktur, yaitu *3D printing* dan pencetakan silikon. Material yang digunakan terdiri atas resin jenis poliester untuk metode pencetakan silikon dan Poly-Lactic Acid (PLA) untuk metode *3D printing*.

Sebelum memasuki tahap manufaktur, dilakukan simulasi proses persebaran resin menggunakan perangkat lunak Fusion 360. Parameter yang digunakan dalam simulasi ini dapat dilihat pada Tabel 2. Hasil visualisasi simulasi persebaran resin ditampilkan pada Gambar 2. Adapun dimensi propeler yang dijadikan acuan disajikan pada Gambar 3.

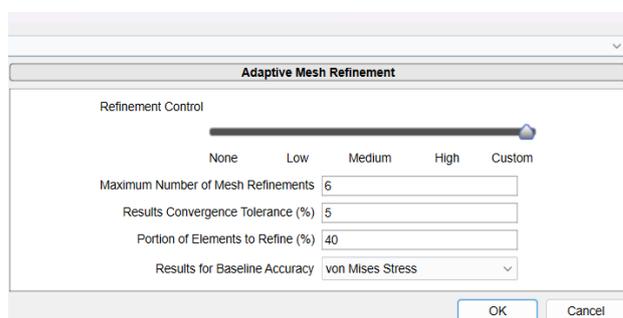
Parameter yang digunakan pada proses simulasi dapat dilihat pada Tabel 2. Untuk proses simulasi persebaran Resin ada beberapa parameter yang harus ditentukan yaitu *Material*, *Boundary Conditions*, *Melt Temperature* dan *Mold Surface Temperature*. Untuk pengaturan *mesh* yang digunakan adalah jenis linear dengan ukuran *mesh adaptive*. Maksud dari *adaptive* ini adalah ukuran *mesh* yang digunakan menyesuaikan dengan kompleksitas desain. Untuk persebaran *mesh* dan *refinement mesh* ini dapat dilihat pada Gambar 4.

Tabel 2. Parameter simulasi

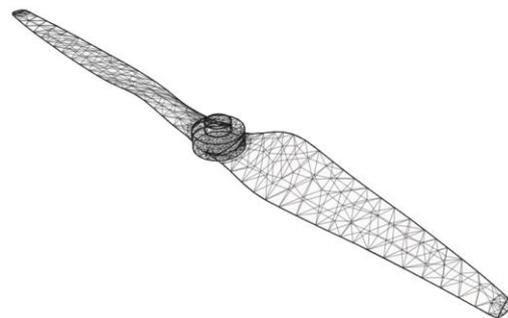
Parameter	Nilai
Material	Polyester Resin
(Boundary Condition) Lokasi Penuangan Resin	Bagian Tengah
(Boundary Condition) Aesthetic Face	4
Melt Temperature	285°C
Temperature Permukaan Mold	30°C
Lama Waktu Penuangan	Otomatis



Gambar 3. Dimensi Propeler



(a)



(b)

Gambar 4. (a) Refinement mesh (b) Display ukuran mesh adaptive

Pemilihan material dan metode manufaktur

Proses Manufaktur *Silicone Mold* diawali dengan membuat cetakan acuan dari propeler. Cetakan acuan (*Master Mold*) diawali dengan membuat bentuk propeler menggunakan tanah liat seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Pada awalnya ada 2 pilihan yaitu menggunakan pasir (*sand casting*) atau tanah liat. Tanah liat dipilih karena memiliki hasil yang lebih padat dan hasil akhirnya lebih homogen dalam pemerataan kontur dan

struktur butir[18]. Selanjutnya, campuran silikon dan pengeras dituangkan ke atas tanah liat dan ditunggu mengeras seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Hasil dari cetakan silikon yang telah mengeras dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 5. Pembuatan master mold menggunakan tanah liat



Gambar 6. Pengerasan campuran Silikon



Gambar 7. Hasil cetakan Silikon

Untuk proses manufaktur menggunakan metode *3D Printing* menggunakan beberapa parameter yaitu, jenis material, *Layer Height*, *Infill*, *Infill Density*, *Print Speed*, Suhu *Nozzle* dan Suhu *Bed*. Untuk nilai dari parameter tersebut dapat dilihat pada Tabel 3. Untuk proses pencetakan dapat dilihat pada Gambar 8.

Evaluasi produk akhir

Setelah manufaktur selesai. Selanjutnya merupakan evaluasi geometri akhir. Pada tahap ini, ukuran hasil proses *3D printing* dan *silicone molding* diukur dan dihitung menggunakan rumus *Error Absolut* dan *Error Persentase*. Perbandingan *error* atau perbedaan yang dicari adalah Diameter Propeler, Lebar Hub, Diameter in Hole, Panjang Tip ke Hub, dan Tinggi Hub. Untuk bagian-bagian yang dicek ditunjukkan pada Gambar 9.

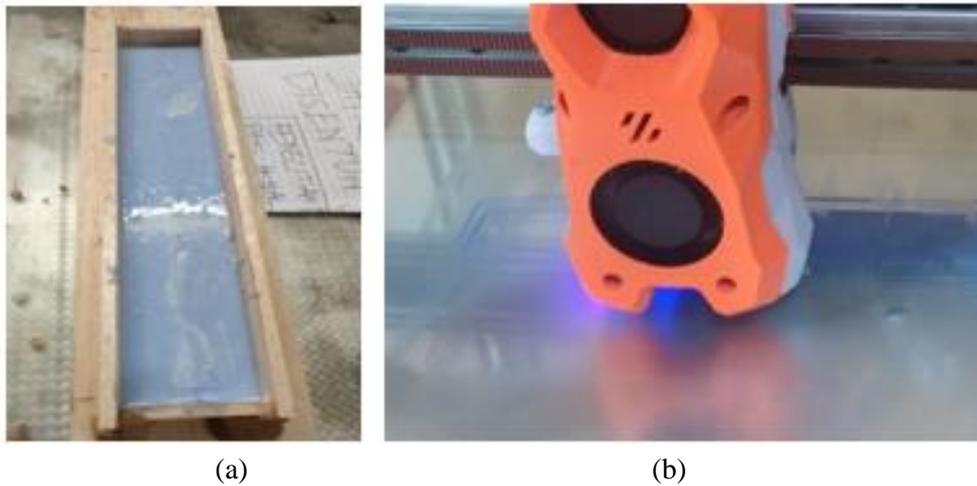
$$Error_{Absolut} = N_{hasil} - N_{desain} \quad (1)$$

$$Error_{Persentase} = \left(\frac{N_{hasil} - N_{desain}}{N_{desain}} \right) * 100\% \quad (2)$$

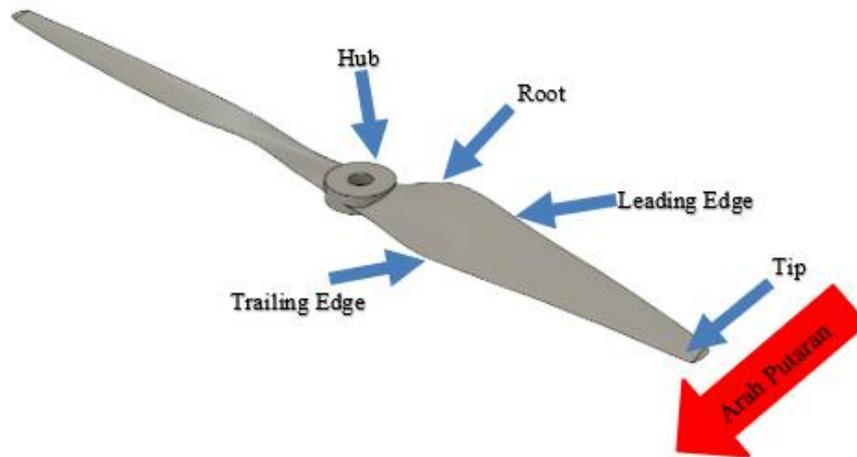
Dimana, N_{desain} adalah nilai referensi dari desain CAD, N_{hasil} adalah nilai dimensi hasil proses manufaktur.

Tabel 3. Parameter proses 3D printing

Parameter	Nilai
Material	<i>Poly-Lactic Acid (PLA)</i>
Layer Height	0,2 mm
Jenis Infill	Honeycomb
Infill Density	15%
Print Speed	100 mm/s
Suhu Nozzle	125 °C
Suhu Bed	60 °C
Jenis 3D Print	<i>Fused Deposition Modelling (FDM)</i>

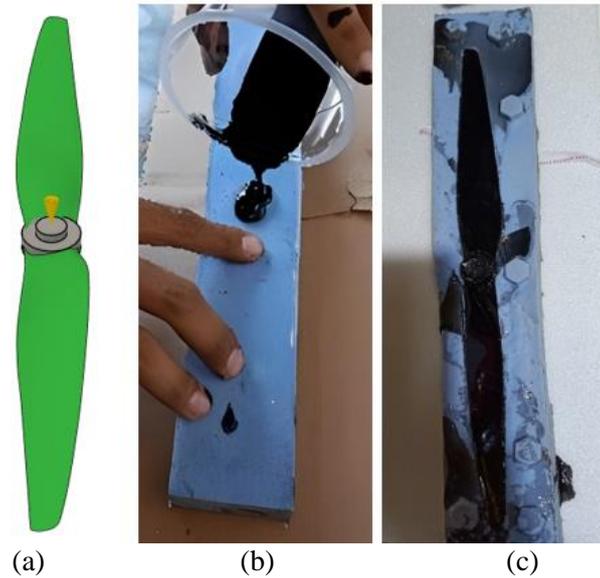


Gambar 8. Proses manufaktur (a) *Silicone molding* dan (b) 3D printing



Gambar 9. Bagian-bagian propeler

Proses simulasi yang telah dilakukan selanjutnya di validasi dengan proses aktual dari pencetakan pada cetakan silikon. Perbandingan posisi antara simulasi dan proses aktual ditunjukkan pada Gambar 10. Posisi simulasi penuangan resin ditunjukkan pada Gambar 10 (a), penuangan resin aktual ditunjukkan pada Gambar 10 (b), dan Penuangan resin dilakukan pada input yang berada di tengah cetakan silikon. Salah satu hasil dari pencetakan ditunjukkan pada Gambar 10 (c).



Gambar 10. Proses Penuangan Resin (a) Simulasi, (b) aktual, dan (c) hasil cetakan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi Persebaran Resin

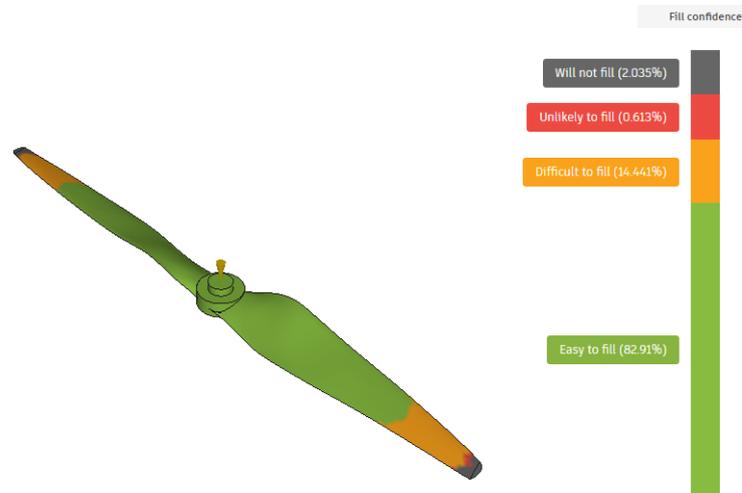
Sebelum melakukan proses manufaktur diperlukan adanya simulasi persebaran resin. Simulasi ini digunakan agar sebelum proses manufaktur dengan *Silicone Mold* dilaksanakan dapat dipastikan bahwa persebaran Resin yang diaplikasikan berjalan lancar.

Gambar 11 menyajikan hasil simulasi persebaran resin pada komponen baling-baling dengan menggunakan metode injeksi resin. Sebagian besar area (82,91%) ditampilkan dalam warna hijau, yang menunjukkan bahwa bagian tersebut mudah terisi oleh resin. Sementara itu, 14,44% area berwarna kuning menandakan bagian yang relatif sulit terisi. Selain itu, terdapat area kecil berwarna merah (0,613%) dan abu-abu (2,035%) yang berisiko tidak terisi resin sama sekali. Hasil simulasi ini menunjukkan bahwa, meskipun desain cetakan dan penempatan saluran masuk resin telah cukup optimal, masih terdapat beberapa bagian yang perlu diperbaiki untuk menghindari cacat seperti rongga (*void*) pada produk akhir.

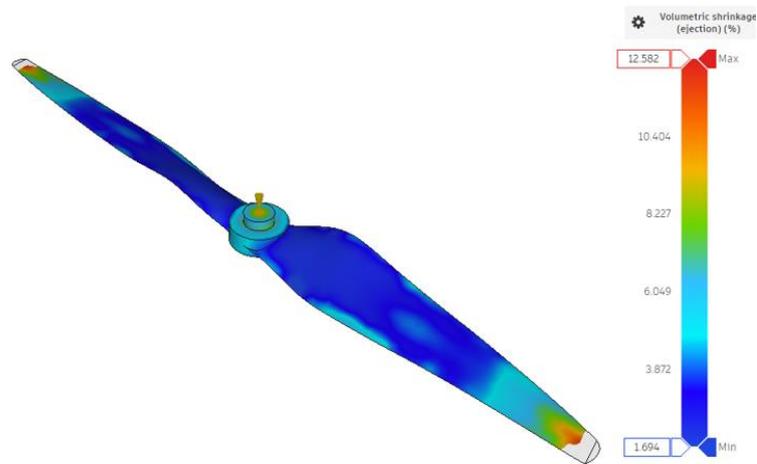
Gambar 12 menunjukkan hasil simulasi penyusutan volumetrik (*volumetric shrinkage*) pada propeler setelah proses pencetakan, yang dilakukan menggunakan perangkat lunak Fusion 360. Warna pada gambar merepresentasikan besar kecilnya nilai penyusutan, dengan gradasi dari biru (penyusutan rendah) hingga merah (penyusutan tinggi). Dari hasil simulasi, terlihat bahwa fenomena penyusutan terjadi secara tidak merata pada seluruh bagian propeler. Penyusutan terbesar mencapai 12,58% (warna merah), terjadi pada bagian ujung propeler yang ditunjukkan dengan warna merah. Sementara itu, penyusutan terkecil, sebesar 1,69% (warna biru), terjadi pada area luar penampang sayap dan ditunjukkan dengan warna biru muda. Simulasi ini memberikan informasi penting terkait potensi cacat dimensi pada hasil akhir cetakan, serta dapat dijadikan dasar untuk melakukan penyesuaian desain atau parameter proses guna meminimalkan deformasi akibat penyusutan.

Gambar 13 memperlihatkan perbandingan antara hasil cetakan awal propeler (atas) dan hasil simulasi penyusutan resin (bawah). Secara visual, terdapat kesesuaian yang cukup baik antara keduanya, terutama pada area-area yang mengalami cacat. Cacat pada bagian ujung propeler, seperti ditunjukkan oleh lingkaran merah, terlihat serupa dengan hasil simulasi. Pada simulasi, area ini ditandai dengan warna oranye hingga merah, yang

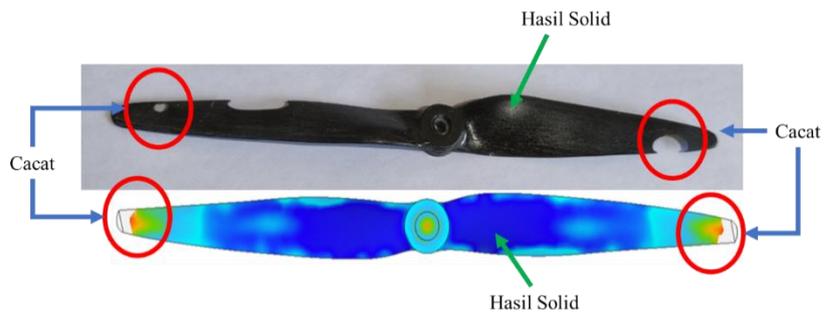
mengindikasikan tingkat penyusutan volumetrik tertinggi. Hasil cetakan menunjukkan bahwa bagian tersebut tidak terisi resin secara sempurna, sehingga menimbulkan celah atau lubang pada ujung baling-baling. Selain itu, area di sekitar lubang tengah juga menunjukkan korespondensi antara simulasi dan hasil cetak, yang diperjelas dengan penanda panah hijau. Ketidaktepatan pengisian resin pada bagian-bagian ini menguatkan hasil prediksi simulasi sebelumnya.



Gambar 11. Hasil simulasi persebaran resin



Gambar 12. Penyusutan (*Shrinkage*) yang terjadi



Gambar 13. Perbandingan hasil cetak resin dan simulasi sebelum optimasi

Perbandingan kuantitatif antara dimensi hasil cetak dan simulasi ditampilkan pada Tabel 5. Hasil ini memvalidasi bahwa simulasi yang dilakukan menggunakan perangkat

lunak mampu memprediksi dengan baik area kritis pada proses manufaktur propeler, khususnya dalam hal persebaran dan penyusutan resin.

Komparasi/Perbandingan Geometri

Setelah proses manufaktur selesai. Selanjutnya, propeler hasil kedua metode *Silicone molding* dan *3D Printing* akan diukur dan ditimbang. Dapat dilihat pada Tabel 4, dari kedua proses manufaktur yang dilakukan memiliki ukuran geometri akhir yang berbeda dengan desain propeler diawal. Sebagai contoh, ukuran diameter in-hole yang pada desain CAD adalah 6,2 mm, ukuran hasil *Silicone molding* adalah 5,7 mm, dan ukuran hasil *3D Printing* adalah 5,5 mm. Perbedaan ukuran ini dikarenakan adanya penyusutan pada saat proses manufaktur. Penyusutan yang terjadi sebesar 12,73% antara desain CAD dan hasil *3D Printing* dan sebesar 8,77% antara desain CAD dan hasil *Silicone Molding*.

Tabel 4. Komparasi ukuran desain CAD propeler dan hasil metode manufaktur

Parameter	Desain CAD	Metode Manufaktur	
		3D Printing	Silicone Molding
Diameter propeler	249 mm	250 mm	245 mm
Lebar Hub	18 mm	18 mm	17,4 mm
Diameter <i>in hole</i>	6,2 mm	5,5 mm	5,7 mm
Panjang <i>tip ke hub</i>	115,5 mm	117,4 mm	115,2 mm
Tinggi <i>hub</i>	6,7 mm	6,9 mm	6,8 mm
Berat propeler		10,2 gram	12,1 gram

Tabel 5. Komparasi ukuran desain dan hasil akhir silicone mold

Parameter	Ukuran Desain CAD	Hasil <i>Silicone Molding</i>	Persentase perbedaan
Diameter Propeler	249 mm	245 mm	-1,63 %
Lebar <i>hub</i>	18 mm	17,4 mm	-3,45 %
Diameter <i>in hole</i>	6,2 mm	5,7 mm	-8,77 %
Panjang <i>tip ke hub</i>	115,5 mm	115,2 mm	-0,26%
Tinggi <i>hub</i>	6,7 mm	6,8 mm	1,47 %

Perbandingan perubahan geometri yang terjadi pada hasil Metode *Silicone molding* dapat dilihat pada Tabel 5. Dapat dilihat bahwa dari semua parameter yang kami ukur mengalami penyusutan kecuali tinggi hub dari propeler. Penyusutan ini terjadi karena adanya beberapa faktor seperti suhu ruangan yang tidak terjaga dan tingginya kelembaban[7]. Suhu ruangan pada penelitian ini adalah sekitar 29-31°C dan tingkat kelembaban 70-75%.

Dapat dilihat bahwa perbedaan ukuran antara desain CAD dan *Silicone Mold* menunjukkan indikator minus (-). Indikator menunjukkan adanya penyusutan atau *Shrinkage*. Nilai penyusutan pada penelitian ini jauh lebih baik dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Hedayati pada tahun 2024. Hedayati menggunakan metode *injection molding* untuk memmanufaktur propelernya dengan nilai penyusutan minimum adalah -16,42% dari ukuran awal[6]. Nilai ini masih lebih besar dari nilai penyusutan maksimum pada penelitian ini yaitu -8,77%.

Selain membandingkan dimensi antara desain CAD dan hasil cetakan menggunakan metode *silicone molding*, penelitian ini juga menyajikan perbandingan ukuran antara desain CAD dan hasil manufaktur menggunakan metode *3D printing*, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 6. Perbedaan dimensi ini dipengaruhi oleh beberapa parameter proses pencetakan, seperti pemilihan tingkat *infill*, *layer height*, dan penggunaan *support layer* [15,19,20].

Berdasarkan hasil pengukuran, seluruh dimensi propeler yang dicetak dengan metode 3D *printing* mengalami peningkatan ukuran dibanding desain aslinya, kecuali pada diameter in hole, yang justru mengalami penyusutan sebesar -12,73%. Penyusutan ini diduga disebabkan oleh penumpukan lapisan (*layer stacking*) akibat penggunaan *layer height* yang terlalu tipis. Akibatnya, lapisan bagian bawah tertimpa oleh lapisan atas sebelum sempat mengeras secara sempurna selama proses pencetakan berlangsung.

Tabel 6. Komparasi ukuran desain CAD dan hasil akhir 3D *printing*

Parameter	Ukuran Desain CAD	Hasil 3D <i>Printing</i>	Persentase perbedaan
Diameter propeler	249 mm	250 mm	0,4 %
Lebar <i>hub</i>	18 mm	18 mm	0 %
Diameter in <i>hole</i>	6,2 mm	5,5 mm	-12,73 %
Panjang <i>tip</i> ke <i>hub</i>	115,5 mm	117,4 mm	1,62 %
Tinggi <i>hub</i>	6,7 mm	6,9 mm	2,9 %

Analisa Visual

Setelah dilakukan proses komparasi geometri berdasarkan ukuran. Selanjutnya, untuk mendukung hasil data diatas. Dilakukan Analisa hasil akhir manufaktur propeler dengan metode analisa visual. Pada Gambar 14 ditunjukkan (a) Propeler komersial yang kami jadikan acuan desain CAD, (b) Propeler hasil *Silicone Molding*, (c) Propeler hasil 3D *Printing* dengan modifikasi, dan (d) Propeler hasil 3D *Printing* tanpa modifikasi.



Gambar 14. Propeler acuan dan hasil manufaktur (a) Propeler komersial, (b) Propeler resin *Silicone molding*, (c) Propeler 3D *printing* modifikasi, dan (d) Propeler 3D *printing* non modifikasi

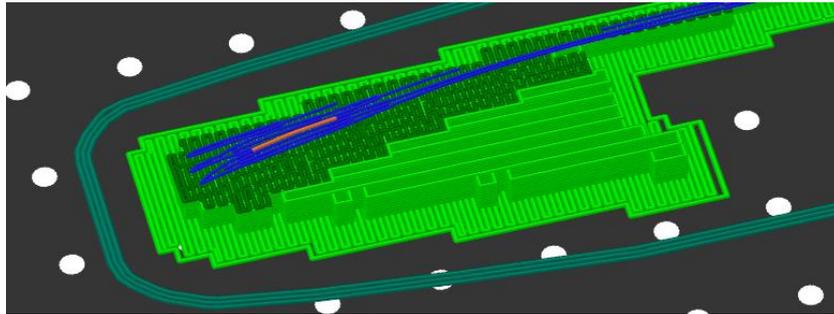
Terlihat bahwa propeler komersial acuan dan hasil *Silicone molding* secara visual tidak memiliki perbedaan. Dengan hasil permukaan yang halus sama dengan propeler komersial, propeler hasil *Silicone molding* dapat digunakan sebagai alternatif pengganti propeler komersial. Pemilihan metode *Silicone molding* sendiri digunakan untuk membuat propeler spesifik yang berbeda dengan propeler komersial namun dengan volume yang rendah. Untuk perbandingan lebih detail antara kedua propeler ini dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Perbandingan propeler komersial dan hasil *silicone molding*

Untuk hasil 3D *Printing* ditemukan adanya kendala. Kendala ini adalah untuk ukuran dari propeler dengan airfoil tipe Clark Y tidak dapat dicetak dengan maksimal. Hal ini dikarenakan bagian *Leading Edge* dari propeler terlalu tipis sehingga tidak dapat dicetak secara maksimal. Selain ketebalan yang terlalu tipis, jenis *support* juga mempengaruhi hasil

cetakan[19,20]. *Support* yang digunakan adalah jenis *Grid* dan *Spacing* atau jarak *Support*nya adalah 0,2 mm. Pada kasus penelitian ini tingkat dan jenis *infill* tidak mempengaruhi hasil akhir. Gambar 16 menunjukkan *spacing* dari *support* yang digunakan.

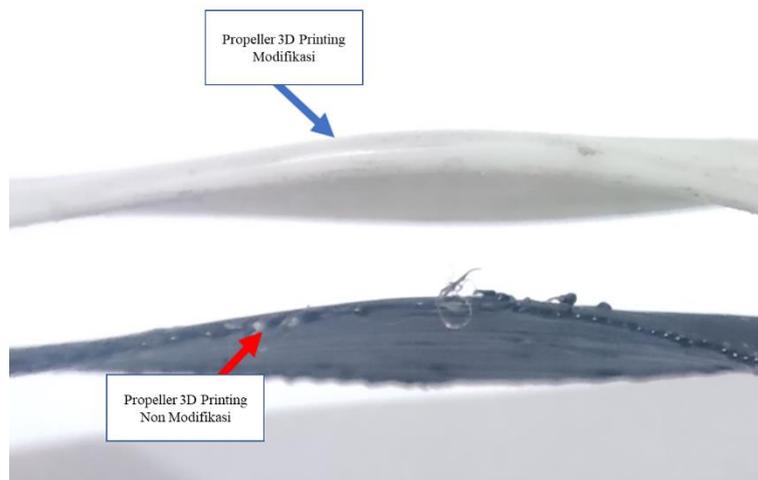


Gambar 16. *Spacing support* sebelum modifikasi

Oleh karena itu, kami melakukan modifikasi dengan mempertebal serta merubah jenis *infill* menjadi jenis *Organic* atau *Tree* untuk propeler yang akan dimanufaktur menggunakan metode *3D Printing*. Perbandingan bentuk untuk Propeler *3D Printing* modifikasi dan non-modifikasi dapat dilihat pada Gambar 17.



Gambar 17. Propeler *3D printing* modifikasi dan *non-modifikasi*



Gambar 18. Komparasi ketebalan antara propeler *3D printing* modifikasi dan *non-modifikasi*

Dapat dilihat pada Gambar 18 bahwa propeler *non* modifikasi terlihat ada lapisan atau layer yang tidak menempel. Hal ini dikarenakan ketebalan yang tipis sehingga masing-masing layer tidak dapat merekat dengan sempurna. Perbedaan ketebalan ini dapat dilihat pada Gambar 18. Sedangkan propeler yang di modifikasi dapat dicetak dengan maksimal dan menghasilkan bentuk propeler yang sempurna. Dengan penambahan ketebalan 1 mm. Namun, hal ini membuat propeler yang dihasilkan tidak sesuai dengan

ukuran airfoil Clark Y yang dijadikan acuan. Sehingga disarankan untuk penggunaan metode 3D *Printing* digunakan untuk propeler dengan airfoil yang lebih tebal.

KESIMPULAN

Metode manufaktur *silicone molding* dapat menjadi alternatif dalam pembuatan propeler selain metode *injection molding*. Keunggulan dari metode ini terletak pada selisih ukuran antara desain CAD dan hasil cetakan akhir yang tergolong kecil, dengan nilai penyusutan maksimum sebesar -8,77%. Nilai tersebut masih dapat ditekan lebih lanjut melalui pengaturan faktor-faktor proses, seperti suhu dan kelembapan ruangan selama pencetakan.

Sementara itu, metode 3D printing lebih sesuai diterapkan pada propeler dengan profil airfoil yang memiliki ketebalan lebih besar. Hasil cetakan propeler modifikasi menunjukkan kualitas yang lebih baik dibandingkan propeler tanpa modifikasi. Penambahan ketebalan sebesar 1 mm, misalnya, menghasilkan bagian *leading edge* yang tercetak lebih presisi. Namun, penyesuaian terhadap ketebalan ini menyebabkan bentuk propeler yang dihasilkan tidak sepenuhnya sesuai dengan desain awal berdasarkan referensi *Spline Dat* yang ditunjukkan pada Gambar 1(a).

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami berikan kepada Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan. Dikarenakan penelitian merupakan bagian dari Hibah Penelitian Pendanaan Internal STTKD 2024.

REFERENSI

- [1] Y. Patel, A. Gaurav, K. Srinivas, dan Y. Singh, "Review on Design and Analysis of the propeler used in UAV," vol. 605, hal. 20–23, 2017, [Daring]. Tersedia pada: www.ijapie.org
- [2] L. R. Toleos, N. J. A. B. D. Luna, M. C. E. Manuel, J. M. R. Chua, E. M. A. Sangalang, dan P. C. So, "Feasibility study for fused deposition modeling (FDM) 3D-printed propellers for unmanned aerial vehicles," *Int. J. Mech. Eng. Robot. Res.*, vol. 9, no. 4, hal. 548–558, 2020, doi: 10.18178/ijmerr.9.4.548-558.
- [3] X. Lin dan R. Yan, "Propeler flow field simulation analysis and structure optimization of multi-rotor UAV," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 2569, no. 1, 2023, doi: 10.1088/1742-6596/2569/1/012040.
- [4] I. Rizki Putra, F. Setiawan, dan Angger Bagus Prasetyo, P. Studi Teknik Mesin, dan S. Tinggi Teknologi Kedirgantaraan, "Analisis Pengaruh Metode Vacuum Bag Terhadap Geometri Sayap Uav Skywalker Analysis of Vacuum Bagging Method on Geometry of Skywalker Uav Wing," vol. 8, no. 1, hal. 36–43, 2023, doi: 10.20527/sjmeKinematika.v8i1.244.
- [5] P. H. Chung, D. M. Ma, dan J. K. Shiau, "Design, manufacturing, and flight testing of an experimental flying wing UAV," *Appl. Sci.*, vol. 9, no. 15, 2019, doi: 10.3390/app9153043.
- [6] M. Hedayati-Dezfooli, M. Moayyedean, A. Dinc, M. Abdrabboh, A. Saber, dan A. M. Amer, "Optimizing Injection Molding for Propellers with Soft Computing, Fuzzy Evaluation, and Taguchi Method," *Emerg. Sci. J.*, vol. 8, no. 5, hal. 2101–2119, 2024, doi: 10.28991/ESJ-2024-08-05-025.
- [7] J. M. Fisher, *Handbook of Molded Part Shrinkage and Warpage Second Edition*, Second. Elsevier Inc., 2013.
- [8] S. A. Khan, B. A. Siddiqui, dan M. Fahad, "Evaluation of additive manufacturing techniques for fabrication of propellers for SUAVs," *ICASE 2015 - 4th Int. Conf.*

- Aerosp. Sci. Eng.*, hal. 1–4, 2016, doi: 10.1109/ICASE.2015.7489510.
- [9] B. Rutkay dan J. Laliberté, “Design and manufacture of propellers for small unmanned aerial vehicles,” *J. Unmanned Veh. Syst.*, vol. 4, no. 4, hal. 228–245, 2016, doi: 10.1139/juvs-2014-0019.
- [10] G. D. Goh, S. Agarwala, G. L. Goh, V. Dikshit, S. L. Sing, dan W. Y. Yeong, “Additive manufacturing in unmanned aerial vehicles (UAVs): Challenges and potential,” *Aerosp. Sci. Technol.*, vol. 63, hal. 140–151, 2017, doi: 10.1016/j.ast.2016.12.019.
- [11] F. Popis, “Experimental Study of Comprehensive Performance Analysis Regarding the Dynamical / Mechanical Aspects of 3D-Printed UAV Propellers and Sound Footprint,” hal. 1–17, 2025.
- [12] C. C. Kuo, G. P. Chen, dan S. W. Huang, “Study and analysis of process parameters for silicone rubber mold,” *Medziagotyra*, vol. 24, no. 4, hal. 399–402, 2018, doi: 10.5755/j01.ms.24.4.14852.
- [13] C. C. Kuo, J. Y. Xu, Y. J. Zhu, dan C. H. Lee, “Effects of Different Mold Materials and Coolant Media on the Cooling Performance of Epoxy-Based Injection Molds,” *Polymers (Basel)*, vol. 14, no. 2, 2022, doi: 10.3390/polym14020280.
- [14] H. A. Kutty, P. Rajendran, dan A. Mule, “Performance analysis of small scale UAV propeller with slotted design,” *2017 2nd Int. Conf. Conver. Technol. I2CT 2017*, vol. 2017-Janua, no. April, hal. 695–700, 2017, doi: 10.1109/I2CT.2017.8226219.
- [15] M. Palmer dan J. Laliberte, “Effects of non-planar slicing techniques and carbon fibre material additives on the mechanical properties of 3D-printed drone propellers,” *Drone Syst. Appl.*, vol. 11, no. Rutkay, hal. 1–11, 2023, doi: 10.1139/dsa-2023-0007.
- [16] M. Bont, C. Barry, dan S. Johnston, “A review of liquid silicone rubber injection molding: Process variables and process modeling,” *Polym. Eng. Sci.*, vol. 61, no. 2, hal. 331–347, 2021, doi: 10.1002/pen.25618.
- [17] E. Haberstroh, W. Michaeli, dan E. Henze, “Journal of Reinforced Plastics and Simulation of the Filling and Curing Phase in Injection Molding of,” vol. 21, no. 5, hal. 461–471, 2002, doi: 10.1106/073168402026476.
- [18] A. T. Asmoro, “Perbandingan Kualitas Hasil Pengecoran Metode Sand Casting Dan Metode Pengembangan Lost Foam Investment Casting Dengan Variasi Bahan Pengikat Berdasarkan Analisis Hasil Pengecoran,” *J. Tek. Mesin dan Pembelajaran*, vol. 2, no. 1, hal. 117, 2019, doi: 10.17977/um054v2i1p117-123.
- [19] B. S. Rupal, K. G. Mostafa, Y. Wang, dan A. J. Qureshi, “A reverse CAD approach for estimating geometric and mechanical behavior of FDM printed parts,” *Procedia Manuf.*, vol. 34, hal. 535–544, 2019, doi: 10.1016/j.promfg.2019.06.217.
- [20] B. M. Schmitt, C. F. Zirbes, C. Bonin, D. Lohmann, D. C. Lencina, dan A. Da Costa Sabino Netto, “A comparative study of cartesian and delta 3d printers on producing PLA parts,” *Mater. Res.*, vol. 20, hal. 883–886, 2017, doi: 10.1590/1980-5373-mr-2016-1039.