

PERANCANGAN DAN ANALISIS KEKUATAN MEKANIK RANGKA QUADCOPTER MENGGUNAKAN MATERIAL POLYLACTIC ACID (PLA)

Zulkarnain^(1*), Fahmi Nursetiadi⁽¹⁾ dan M Ade Amsal Saputra⁽¹⁾

⁽¹⁾Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya,
Jl. Raya Palembang - Prabumulih No.KM. 32, Indralaya Indah, Kec. Indralaya,
Kabupaten Ogan Ilir, Sumatera Selatan

(*) E-mail *Corresponding Author*: zulkarnain@ft.unsri.ac.id

Abstrak

Perkembangan teknologi pesawat tanpa awak (UAV), khususnya drone, telah mendorong pemanfaatan teknologi pencetakan 3D sebagai solusi manufaktur komponen yang ringan dan memiliki kekuatan struktural yang baik. Penelitian ini menyajikan perancangan, simulasi, dan analisis eksperimental terhadap rangka quadcopter yang dibuat menggunakan printer 3D tipe fused deposition modeling (FDM) dengan material PLA. Berbagai variasi *infill* (5%, 25%, 50%, 75% dan 100% untuk simulasi dan 5%, 50%, dan 100% pengujian eksperimental) diuji untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap performa mekanik, efisiensi berat, dan biaya produksi. Metodologi mencakup pemodelan rangka berbasis CAD, simulasi pembebanan statik dengan SolidWorks, simulasi serta pengukuran gaya angkat, estimasi parameter slicing, pencetakan 3D, dan uji sprint. Hasil menunjukkan bahwa varian *infill* 50% memberikan performa paling seimbang dengan kekakuan yang cukup, displacement yang rendah, faktor keamanan (FOS) yang aman, serta waktu dan penggunaan material yang efisien. Uji sprint mengonfirmasi bahwa rangka yang lebih ringan menghasilkan akselerasi lebih cepat namun kurang stabil, sedangkan *infill* padat meningkatkan durabilitas dengan konsekuensi penurunan kecepatan. Secara keseluruhan, konfigurasi *infill* 50% direkomendasikan untuk aplikasi drone yang membutuhkan keseimbangan antara kekuatan struktural dan efisiensi operasional.

Kata Kunci: Pesawat nirawak, Drone, Polylactic acid, Simulasi SolidWorks, 3D printing

Abstract

The advancement of unmanned aerial vehicle (UAV) technology, particularly drones, has driven the adoption of 3D printing as a manufacturing solution for lightweight components with good structural strength. This study presents the design, simulation, and experimental analysis of a quadcopter frame fabricated using a fused deposition modeling (FDM) 3D printer with PLA material. Various infill densities (5%, 25%, 50%, 75% and 100% for simulation and 5%, 50%, and 100% for experimental testing) were tested to evaluate their impact on mechanical performance, weight efficiency, and production cost. The methodology includes CAD-based frame modeling, static load simulations using SolidWorks, lift force simulation and measurement, slicing parameter estimation, 3D printing, and sprint testing. The results show that the 50% infill variant offers the most balanced performance, with adequate rigidity, low displacement, a safe factor of safety (FOS), and efficient use of time and materials. Sprint tests confirmed that lighter frames achieve faster acceleration but are less stable, while denser infill improves durability at the cost of reduced speed. Overall, the 50% infill configuration is recommended for drone applications requiring a balance between structural strength and operational efficiency.

Keywords: Unmanned aerial vehicle, Drone, Polylactic Acid, SolidWorks simulation, 3D Printing

1 PENDAHULUAN

Kemajuan pada era perkembangan teknologi sangat pesat dalam berbagai sektor, salah satunya perkembangan teknologi pesawat nirawak atau yang biasa di sebut *drone*. Pesawat nirawak atau pesawat tanpa awak (*Unmanned Aerial Vehicle* atau UAV) adalah sebuah kendaraan darat, laut, atau udara yang

dikendalikan dari jarak jauh atau secara otomatis [1]. Teknologi *drone* sudah digunakan untuk memudahkan berbagai sektor pekerjaan mulai dari pertanian, perkantoran, hingga keperluan militer. Bentuk dan konfigurasi *drone* cukup beragam, mulai dari *drone* yang memiliki jumlah baling-baling yang beragam hingga bentuk yang bermacam-macam sesuai dengan kebutuhan para penggunanya. Jenis

drone dengan kemampuan untuk melakukan *vertical take-off* (VTOL) adalah jenis yang paling banyak digunakan pada lahan yang kecil untuk melakukan penerbangan serta pendaratan. Sehingga diperlukan juga pengembangan teknologi lainnya yang menunjang kemajuan teknologi dari drone itu sendiri, contohnya teknologi 3D *printer* yang merupakan salah satu perkembangan teknologi pada sektor manufaktur.

Teknologi 3D *printer* merupakan alat pendukung manufaktur yang memproses objek virtual padat tiga dimensi dalam bentuk digital dengan cara menyusun lapisan-lapisan material secara berurutan dalam berbagai bentuk. Teknologi 3D *printer* memiliki berbagai metode dalam melakukan manufakturnya diantaranya *selective laser sintering* (SLS), *stereolithography* (SLA), *digital light processing* (DLP), *electronic beam melting* (EBM), *selective laser melting* (SLM) dan *fused deposition modelling* (FDM) atau *fused filament fabrication* (FFF). Metode tersebut memiliki keunggulan dan kelemahan pada tiap prosesnya yang membuat pemilihan metode menjadi salah satu hal yang harus diperhatikan saat ingin melakukan tahap manufaktur.

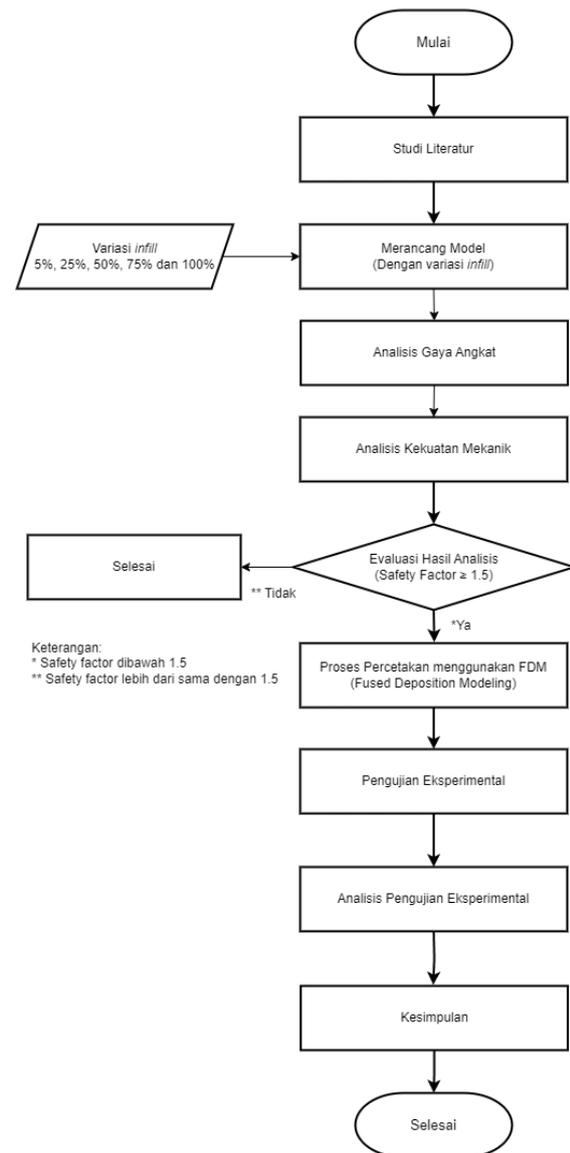
Material yang paling umum digunakan pada 3D printer dengan metode FDM adalah plastik berjenis *polylactic acid* (PLA) karena harga yang relatif murah dan lebih mudah digunakan, selain itu memiliki titik leleh yang relatif rendah jika dibandingkan dengan material *acrylonitrile butadiene styrene* (ABS) serta PLA terbuat dari bahan alami yang dapat terurai secara hayati melalui penguapan pelarut [2]. Material PLA yang digunakan pada alat 3D *printer* dengan metode FDM memiliki kekuatan sifat yang berbeda sesuai dengan variasi pengaturan pada alat 3D *printer* itu sendiri seperti variasi isian dan ketebalan lapisan [3].

Selain kemudahan perancangan prototipe *drone*, salah satu konfigurasi penting untuk mengoptimalkan kualitas dari *drone* adalah konfigurasi dari bentuk rangka *drone*. Konfigurasi pada bentuk rangka *drone* dapat mempengaruhi kualitas karena bentuk rangka dapat merubah titik seimbang dan juga dapat mempengaruhi titik tumpu saat melakukan penerbangan. Konfigurasi yang umumnya kita temui adalah konfigurasi 4 motor (*quadcopter*) dengan bentuk rangka '+', rangka '*quad-V*', rangka 'K', rangka 'X' dan rangka 'Z' [4].

Dengan perkembangan teknologi dan variasi konfigurasi *drone*, Penting bagi para pengembang untuk terus melakukan inovasi guna meningkatkan performa dan efisiensi *drone*. Penggunaan material yang tepat seperti PLA pada 3D *printer* dengan metode FDM, memungkinkan pencetakan rangka yang ringan, kuat, dan berdesain kompleks sesuai kebutuhan structural *drone*. Inovasi dalam konfigurasi rangka dan material tidak hanya meningkatkan kestabilan dan kekuatan *drone*, tetapi juga memungkinkan penyesuaian yang lebih baik

pada berbagai aplikasi, mulai dari penggunaan komersial hingga militer.

2 METODOLOGI



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

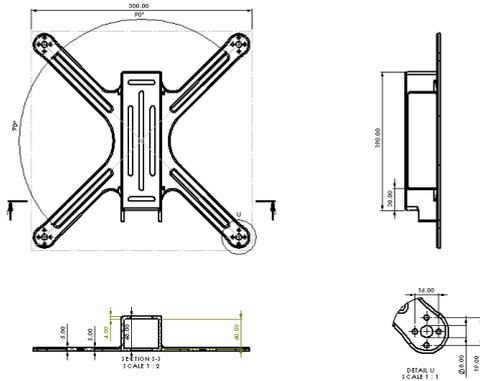
Perancangan rangka *drone* dalam bentuk model 3D dilakukan menggunakan perangkat lunak SolidWorks 2021 mengambil konfigurasi *quadcopter* berbentuk "X" sebagai basis desainnya. Sebelum membuat model, diperlukannya data mengenai ukuran modul yang akan disematkan pada rancangan *drone* ini. Untuk memaksimalkan ruang yang dipakai, maka harus dilakukan pengukuran pada tiap modul yang digunakan. Berikut adalah beberapa modul yang akan digunakan yaitu:

1. *Controller*: Pixhawk PX4
2. *Telemetry*: 500mW 433 3DR Radio Telemetry
3. *Motor*: BLDC 2212 920 KV x4
4. *Propeller*: Propeller type 8045
5. *Battery*: Battery LiPo 5300mAh

6. GPS: GPS M8N

7. Receiver: FS-IA6B receiver

Dalam pembuatan rangka ini, ditentukanlah rangka *drone* dengan ukuran 300mm x 300mm dengan 2 tingkatan pada bagian tengah untuk penempatan modul utama seperti yang ditunjukkan pada gambar 2 :



Gambar 2 Gambar teknik rangka *drone*

Setelah dibuatnya rangka, kemudian bisa dilakukan proses penempatan modul menggunakan fitur *assembly* pada SolidWorks untuk prediksi kecocokan penempatan modul pada rangka *drone* seperti yang ditunjukkan pada gambar 3:

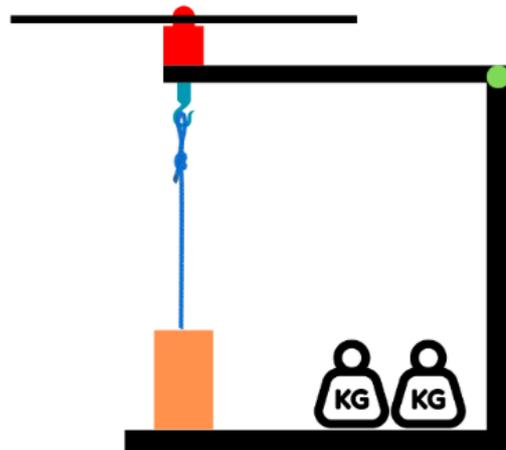


Gambar 3 Prediksi penempatan modul pada rangka *drone*

Rangka *drone* akan divariasikan *infill*nya sebesar 5%, 25%, 50% dan 75% dengan bentuk geometri *grid* (jaring-jaring) dan *infill* 100% dengan bentuk geometri *infill* garis. Pemilihan bentuk geometri *infill* jaring-jaring dipilih untuk memudahkan desain *infill* secara manual dan bentuk geometri *infill* garis dipilih karena bentuk ini memiliki tingkat kepadatan yang paling tinggi jika dibandingkan dengan bentuk *infill* lainnya.

Kemudian dengan menggunakan modul yang ada serta estimasi beban yang didapat, selanjutnya akan melakukan simulasi gaya angkat untuk memastikan bahwa dengan modul yang digunakan pada *drone* ini dapat melakukan lepas landas secara vertical sebelum dilakukan pembuatan prototipe. Simulasi ini menggunakan beban rangka *drone* dan juga estimasi RPM pada motor BLDC 2212 920 KV dengan *propeller* 8045.

Jika hasil pada simulasi menunjukkan bahwa modul yang digunakan dapat mengangkat *drone*, maka diperlukannya pengujian gaya angkat untuk mendapatkan nilai gaya angkat, arus yang digunakan serta RPM yang asli. Alat uji pada pengujian gaya angkat menggunakan bantuan timbangan gantung, modul CCPM (*Cyclic Collective Pitch Mixing*) dan juga *tachometer* digital. Skematik pengujian gaya angkat bisa dilihat pada gambar 4 :



Gambar 4 Skematik pengujian gaya angkat

Dalam perancangan rangka *drone* perlu dilakukan simulasi pembebanan pada tiap variasi *infill* 5%, 25%, 50%, 75% dan 100% untuk mengetahui kekakuan, distribusi beba serta faktor keamanan dari resiko kegagalan. Semakin tinggi risiko kegagalan pada material maka akan semakin tinggi pula nilai faktor keamanannya (FOS) [5]. Pembuatan *infill* menggunakan parameter yang diberikan pada perangkat lunak Ultimaker Cura 2.0 yang merupakan perangkat lunak untuk proses *licer* sebelum dilakukannya pencetakan pada mesin 3D *printer*. Pada simulasi pembebanan, variasi *infill* dibuat secara manual dan hanya menggunakan 0,25 bagian dari rangka karena fokus kegagalan pada rangka ini ada pada bagian lengan. Material yang digunakan adalah *polylactic acid* (PLA). Berikut adalah *mechanical properties* dari PLA:

Tabel 1. Mechanical properties dari PLA

Properties	Nilai	Satuan
Mass Density	1250	Kg/m ²
Elastic Modulus	3500	MPa
Shear Modulus	1280	MPa
Compressive Strength	70	MPa
Yield Strength	70	MPa
Tensile Strength	59	MPa

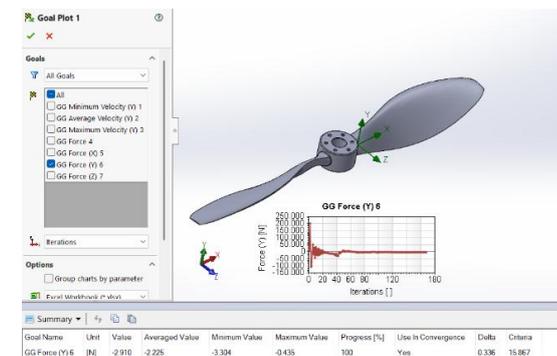
Selanjutnya Proses pencetakan pada mesin 3D printer Creality CR-10 V2 memerlukan parameter agar proses pencetakan dapat berjalan dengan baik serta mendapatkan hasil yang baik. Sebelum melakukan pencetakan, model drone harus melakukan proses slicing menggunakan perangkat lunak Ultimaker Cura 2.0. Resolusi pencetakan akan dibuat mirip dengan kondisi infill yang telah ditentukan sebelumnya. Berikut adalah parameter yang digunakan untuk pencetakan drone pada Ultimaker Cura 2.0:

Tabel 2. Parameter slicing 3d printer

Parameter	Nominal
Layer Height	0,2 mm
Line Width	0,4 mmm
Variasi Infill	5%, 25%, 50%, 75% dan 100%
Print Speed	100 mm/s
Temperature	215°C

Tahap pengujian eksperimental dilakukan dengan cara menerbangkan drone dalam lintasan sprint sejauh 50 meter, dimulai dari kondisi mendarat hingga melewati garis finish. Untuk mempermudah pengendalian selama uji coba, drone dilengkapi dengan kamera first person view (FPV), dan pengawasan dibantu oleh wasit garis guna memastikan akurasi titik mulai dan akhir. Waktu tempuh dari masing-masing percobaan dicatat untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan drone pada tiap variasi infill yang digunakan Pengujian ini dilakukan sebanyak tiga kali pada masing masing varian rangka drone yang dicetak, yaitu dengan infill 5%, 50% dan 100% yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari perbedaan kepadatan infill terhadap kecepatan dan perilaku rangka drone dari peningkatan peningkatan beban rangka menggunakan modul yang sama.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 5 Hasil simulasi gaya angkat

Pada hasil dari simulasi tersebut menunjukkan hasil simulasi gaya dalam arah Y dengan satuan Newton. Nilai gaya akhir yang diperoleh adalah -2.910 N, dengan nilai rata-rata selama simulasi sebesar -2.225 N. Gaya minimum yang terdeteksi adalah -3.304 N, sedangkan gaya maksimum yang terjadi adalah -0.435 N. Simulasi ini telah mencapai konvergensi 100%, yang berarti hasilnya sudah stabil dan dapat dipercaya. Karena nilai gaya dalam tabel menunjukkan arah negatif pada sumbu Y, kita dapat mengasumsikan bahwa sistem menggunakan orientasi sumbu yang terbalik. Jika kita membalik arah referensi sumbu Y, maka gaya yang sebelumnya negatif dapat dianggap sebagai gaya positif 2.910 N dalam arah yang berlawanan dengan sumbu Y awal. Dengan asumsi ini, gaya yang diperoleh dapat lebih mudah dipahami dalam mengenai arah yang sesuai dengan sistem referensi sumbu yang diinginkan.

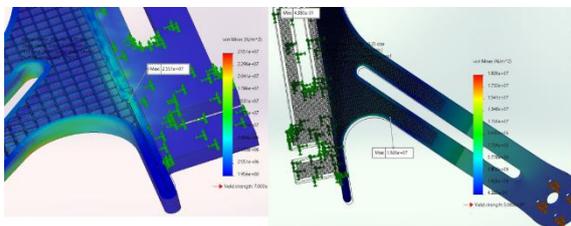
Pengujian gaya angkat menggunakan konsep vertical pull throttle untuk mendapatkan nilai gaya angkat dan arus yang digunakan pada throttle tertentu. Menggunakan multimeter DT-830B untuk mendapatkan arus listrik, timbangan digital WeiHeng WH-A08 untuk mendapat nilai gaya angkat dan modul CCPM untuk mendapat nilai arus. Tinggi dari propeller ke permukaan pada alat uji adalah 30cm untuk meminimalisir udara kotor kembali ke propeller yang dapat mengganggu performa motor sehingga alat uji coba dapat bergetar tak terkendali. Gaya maksimal yang didapat dari motor dapat terhitung dengan timbangan digital dengan memanfaatkan fitur “lock” yang mampu menghitung gaya tarik saat nilai terhitung statis pada throttle tertentu. Peningkatan throttle menggunakan putaran CCPM sebesar 0%, 25%, 50%, 75%, 100% untuk mendapatkan peningkatan gaya dan perubahan arus listrik. Pengujian ini dilakukan sebanyak 5 sesi pada tiap tesnya dengan jeda selama 10 menit untuk mencegah motor overheat dan memastikan baterai dalam kapasitas penuh dengan pengujian dimulai dengan 0% sampai 100% pada tiap sesinya serta selalu melakukan kalibrasi pada pengait dan juga timbangan dengan menekan tombol tare. Penggunaan multimeter diatur menggunakan jangkauan arus maksimal 10 ampere. Hasil pengujian gaya angkat bisa dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengambilan data gaya angkat

Uji Coba	Parameter	Throttle				
		0%	25%	50%	75%	100%
Run 1	RPM	1315	2129	5184	7268	9042
	Arus (A)	0,03	0,38	3,13	8,45	10,2
	Lift (Kg)	0	0,055	0,1	0,28	0,34
Run 2	RPM	1295	2975	5186	7221	9050
	Arus (A)	0,03	0,38	2,3	6,65	10,13
	Lift (Kg)	0	0,06	0,1	0,3	0,385
Run 3	RPM	1310	3103	5326	7359	9018
	Arus (A)	0,03	0,378	1,4	5,8	10,2
	Lift (Kg)	0	0,05	0,095	0,28	0,385
Run 4	RPM	1261	3044	5293	7332	9020
	Arus (A)	0,03	0,38	1,13	5,76	10
	Lift (Kg)	0	0,06	0,085	0,265	0,355
Run 5	RPM	1442	3023	5395	7294	9037
	Arus (A)	0,03	0,4	2,02	5,8	10,1
	Lift (Kg)	0	0,055	0,11	0,285	0,375

Pada *throttle* 0% motor tidak ada pergerakan dan multimeter menunjukkan arus *idle* sebesar 0,03 ampere dengan *lift* sebesar 0%. Nilai gaya angkat mulai terjadi pada *throttle* 10%, hal ini disebabkan oleh modul CCPM yang tidak dapat mengirim arus pada *throttle* dibawah 10%. Peningkatan pada *throttle* 75% menunjukkan gaya angkat rata-rata sebesar 0,282 Kg dengan arus sebesar 6,492 ampere dimana jika menggabungkan seluruh *propeller* sudah cukup membuat *drone* bergerak naik. Peningkatan pada *throttle* 100% mendapat gaya angkat rata-rata sebesar 0,368 Kg dengan arus sebesar 10,126 ampere dengan RPM rata-rata sebesar 9033,4 RPM. Hal ini membuktikan bahwa dari 10.212 RPM yang bisa didapat dari putaran maksimal BLDC 2212 920KV dengan efisiensi 100%, hanya mendapatkan sekitar 88,4% RPM yang didapat pada *throttle* 100% dengan *propeller* 8045 mendekati perkiraan efisiensi yang digunakan pada simulasi sebelumnya.

Proses simulasi pembebanan dapat dilanjutkan menggunakan desain dengan *infill* 5%, 25%, 50%, 75% dan 100% menggunakan gaya sebesar 2,9 Newton sesuai dengan kemungkinan gaya yang diberikan pada rangka dengan acuan nilai terbesar yang terdapat pada pengujian gaya angkat sebelumnya. Pada proses simulasi ini ditemukan bahwa lokasi titik *stress* maksimum pada tiap rangka ada yang berbeda. Hal ini disebabkan karena distribusi *infill* rangka tiap variasi *infill* berbeda dan ukuran *mesh* yang digunakan tidak baik yang membuat hasil simulasi jadi tidak akurat seperti pada gambar 6:



Gambar 6 Perbedaan titik *stress* pada simulasi

Simulasi pembebanan selanjutnya dilakukan dengan cara mengambil nilai konvergen untuk memaksimalkan akurasi dari hasil simulasi dengan cara menggunakan fitur h-adaptive methode. Fitur ini akan melakukan loop simulasi terutama pada titik kritis hingga menghasilkan hasil yang konvergen dengan mengubah ukuran pada mesh sesuai dengan jumlah loop dan error yang ditentukan. Simulasi pembebanan pada rangka quadcopter akan menggunakan metode ini dengan error maksimal sebesar 2% dan loop sebanyak 5 kali.

Tabel 4. Tabel hasil simulasi pembebanan

Hasil Simulasi	<i>Infill</i>				
	5%	25%	50%	75%	100%
<i>Stress</i> (MPa)	27,17	21,48	17,47	16,51	14,95
<i>Displacement</i> (mm)	11,76	11,37	8,897	8,76	7,736
FOS	2,57	3,259	4,01	4,24	4,682

Tabel 4 menunjukkan pengaruh variasi presentasi *infill* terhadap nilai *stress*, *displacement* dan FOS pada simulasi pembebanan menggunakan SolidWorks. Secara umum peningkatan *infill* dari 5%

hingga 100% menyebabkan penurunan nilai *stress* dan *displacement* serta peningkatan nilai FOS. Nilai tegangan tertinggi ada pada *infill* 5% sebesar 27,17 MPa, sedangkan nilai tegangan terendah terdapat pada *infill* 100% sebesar 14,95 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa struktur dengan *infill* lebih padat mampu menahan beban dengan distribusi tegangan yang lebih baik. *Displacement* juga menunjukkan hasil yang serupa, dari besar *displacement* sebesar 11,76 mm pada *infill* 5% menjadi 7,736 pada *infill* 100% yang mengindikasikan meningkatnya kekakuan rangka seiring naiknya kepadatan isi. Nilai FOS meningkat seiring bertambahnya *infill*, dari 2,57 pada *infill* 5% menjadi 4,682 pada *infill* 100%. Pertambahan nilai ini menunjukkan bahwa struktur rangka drone dengan *infill* lebih tinggi tidak hanya lebih kaku, tetapi juga lebih aman terhadap kegagalan material.

Pencetakan rangka *drone* menggunakan mesin 3D printer *Creality CR-10 V2* dengan material PLA. Prosesnya menggunakan parameter yang telah disebutkan sebelumnya dengan perbedaan pada variasi *infill*. Perbedaan *infill* dapat mempengaruhi penggunaan material, durasi pencetakan dan juga harga pasaran. Semakin tinggi persentase *infill* maka semakin lama proses pencetakan serta meningkatkan harga pasarnya.

Tabel 5. Tabel estimasi waktu, material dan biaya pada Ultimaker Cura

Perkiraan	<i>Infill</i>				
	5%	25%	50%	75%	100%
Waktu	11:47:00	13:47:00	14:37:00	17:46:00	19:26:00
Material (gram)	157	182	211	239	265
Biaya (Rp)	125.600	145.600	168.800	191.200	212.000

Tabel 5 menunjukkan hasil dari estimasi pencetakan dari perangkat lunak Ultimaker Cura 2.0 mengenai persentase *infill* terhadap durasi pencetakan, penggunaan material, dan biaya dalam proses 3D printing. Semakin tinggi persentase *infill*, semakin lama waktu pencetakan, dengan estimasi waktu dari 11 jam 47 menit untuk *infill* 5% hingga 19 jam 26 menit untuk *infill* 100%. Penggunaan material juga meningkat seiring dengan kenaikan *infill*, dari 157gram pada 5% hingga 265gram pada 100%. Hal ini berdampak pada biaya produksi, di mana harga meningkat dari Rp125.600 untuk *infill* 5% menjadi Rp212.000 untuk *infill* penuh (100%). Harga tersebut merupakan harga pasaran yang tersedia di e-commerce untuk harga Rp.800 per satuan gram dengan resolusi 0,2 mm.

Pengukuran berat rangka setelah pencetakan pada *Creality CR-10 V2* dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui perbedaan berat rangka yang dipengaruhi pada *infill* tanpa adanya modul yang dipasang. Hal ini untuk mengetahui berapa peningkatan beban terhadap peningkatan persentase *infill*. Penimbangan ini menggunakan timbangan digital Taffware Digipounds 3Kg dengan satuan gram sebagai satuan ukurnya.

Tabel 6. Berat rangka *drone* setelah pencetakan

Infill	Berat (gram)
5%	128,4
50%	239,1
100%	322,8

Tabel 6 menunjukkan berat total rangka dalam gram pada beberapa variasi infill yang berbeda, yaitu 5%, 50% dan 100%. Berat pada infill 5% adalah 128,4gram yang dianggap sebagai dasar berat minimum yang bertujuan untuk mencegah kegagalan yang diakibatkan oleh kosongnya rongga dalam pada rangka. Saat infill meningkat dari 5% ke 50%, berat tambahan sebesar 110,7gram yang artinya berat bertambah sebesar 2,49 gram per persen infill. Sedangkan saat infill meningkat dari 50% ke 100%, berat bertambah sebesar 83,7gram atau 1,67 gram per persen infill. Dari perhitungan ini terlihat bahwa peningkatan berat tidak selalu linier terhadap persentase infill, dimana kenaikan berat per persen infill lebih besar pada rentang 5%-50% jika dibandingkan pada rentang 50%-100%. Dan perlu di ingat, berat rangka pada tabel sebelumnya tidak menggunakan support dimana berat pada estimasi pencetakan dengan berat aslinya tidak akan sama.

Percobaan penerbangan drone menggunakan infill 5%, 50% dan 100% akan melakukan sprint dengan jarak tempuh 50meter dimulai dari darat dan dihitung waktunya menggunakan stop watch. Lokasi percobaan ini dilakukan pada lahan luas dengan bantuan seorang juri waktu. Percobaan ini bertujuan untuk melihat perbedaan waktu yang ditempuh untuk tiap rangka dengan variasi infill dengan throttle maksimal serta diamati fenomena yang dialami pada tiap rangkanya.



Gambar 7 Pengukuran berat rangka setelah proses perakitan pada variasi infill 5% (a), infill 50% (b) dan infill 100% (c)

Pada gambar 7, hasil dari proses perakitan rangka sebelumnya dengan modul yang lengkap, didapat bahwa berat rangka dengan *infill* 5% sebesar 900 gram, rangka dengan *infill* 50% sebesar 1010,7gram dan *infill* 100% sebesar 1094,4 gram.

Percobaan sprint dilakukan sebanyak 3 kali pada tiap varian secara terus menerus tanpa adanya istirahat dengan jeda 1 hari untuk proses perpindahan modul pada rangka lainnya. Hasil percobaan didapat bahwa rangka dengan infill 5% dapat menempuh jarak 50meter dengan rata-rata durasi 6,486 detik, percobaan menggunakan rangka dengan infill 50% dengan rata-rata durasi 6,666 detik dan percobaan menggunakan rangka dengan infill 100% dengan

rata-rata durasi 7,123 detik. Hasil percobaan *sprint* dapat dilihat pada tabel 8:

Tabel 7. Hasil percobaan *sprint*

Presentase	Run (detik)			Rata-rata (detik)
	1	2	3	
Infill 5%	6,48	6,36	6,62	6,486666667
Infill 50%	6,86	6,41	6,73	6,666666667
Infill 100%	7,15	7,13	7,09	7,123333333

4 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil data serta pengamatan serta perhitungan yang telah dilakukan, penelitian kali ini mendapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan penelitian dan studi yang telah dilaksanakan, pembuatan rangka drone dengan propeller 8 inci yang dicetak menggunakan metode FDM berbahan dasar PLA dengan variasi infill 5%, 50% dan 100% mendapatkan hasil yang baik dan berhasil dalam membuat rangka utuh maupun dengan variasi rongga dalam rangka drone.
2. Variasi infill secara langsung mempengaruhi kekakuan rangka drone berbahan PLA. Infill yang lebih tinggi seperti 100%, meningkatkan kekakuan struktural, membuat drone lebih tahan terhadap deformasi dan getaran selama penerbangan dengan displacement pada simulasi sebesar 7,736 mm. Sebaliknya, infill rendah seperti 5% menghasilkan rangka yang lebih fleksibel dan ringan, tetapi lebih rentan terhadap lenturan dinamis saat manuver tajam atau pendaratan keras dengan displacement pada simulasi sebesar 11,76 mm.
3. Variasi infill juga berpengaruh pada berat total drone, semakin tinggi persentase infill yang digunakan maka estimasi waktu pencetakan, jumlah material yang dibutuhkan dan biaya produksi meningkat. Pada infill 5%, waktu cetak tercatat paling singkat yaitu 11 jam 47 menit dengan penggunaan material sebesar 157gram dan biaya Rp125.600. Sementara pada infill 100%, waktu pencetakan meningkat menjadi 19 jam 26 menit dengan material sebesar 265gram dan biaya mencapai Rp212.000.
4. Berdasarkan hasil pengujian sprint, didapati bahwa semakin rendah persentase infill, semakin cepat waktu tempuh yang dicapai drone. Infill 5% memiliki waktu tempuh rata-rata tercepat yaitu 6,49 detik, disusul infill 50% dengan waktu tempuh paling lambat yaitu 7,12 detik. Hal ini menunjukkan bahwa massa total drone yang lebih ringan akibat infill rendah dapat meningkatkan akselerasi dan kecepatan gerak awal.
5. Berdasarkan hasil analisis dari aspek kekuatan struktural, efisiensi material, waktu pencetakan, biaya produksi, serta performa pengujian sprint,

rangka drone dengan infill 50% menunjukkan performa paling seimbang dan optimal. *Infill* 50% memberikan kekakuan yang cukup baik dengan nilai displacement yang rendah, serta nilai faktor keamanan (FOS) di atas batas aman. Selain itu, infill ini masih menjaga bobot drone tetap ringan, sehingga waktu tempuh saat pengujian sprint tetap kompetitif. Dari sisi produksi, *infill* 50% juga tidak memerlukan waktu dan biaya yang terlalu tinggi, menjadikannya pilihan terbaik dari seluruh aspek untuk aplikasi drone dengan kebutuhan efisiensi dan kekuatan yang seimbang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada kedua orang tua penulis, seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya, serta teman teman Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. Chamayou, “A Theory of the Drone,” 2024. [Online]. Available: www.thenewpress.com
- [2] Chia, H. N., & Wu, B. M. (2015). Recent advances in 3D printing of biomaterials. *Journal of Biological Engineering*, 9(1), 1-14. <https://doi.org/10.1186/s13036-015-0001-4>
- [3] L. Sha, Z. Chen, Z. Chen, A. Zhang, and Z. Yang, “Polylactic acid based nanocomposites: Promising safe and biodegradable materials in biomedical field,” *Int J Polym Sci*, vol. 2016, 2016, doi: 10.1155/2016/6869154.
- [4] M. Samykano, “Mechanical Property and Prediction Model for FDM-3D Printed Polylactic Acid (PLA),” *Arab J Sci Eng*, vol. 46, no. 8, pp. 7875–7892, Aug. 2021, doi: 10.1007/s13369-021-05617-4.
- [5] V. Aswin Kumar, M. Sivaguru, B. Rohini Janaki, K. S. Sumanth Eswar, P. Kiran, and R. Vijayanandh, “Structural Optimization of Frame of the Multi-Rotor Unmanned Aerial Vehicle through Computational Structural Analysis,” in *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing Ltd, Apr. 2021. doi: 10.1088/1742-6596/1849/1/012004.
- [6] W. N. Mascarenhas, C. H. Ahrens, and A. Ogliari, “Design criteria and safety factors for plastic components design,” *Mater Des*, vol. 25, no. 3, pp. 257–261, 2004, doi: 10.1016/j.matdes.2003.10.003.
- [7] Sood, A. K., Ohdar, R. K., & Mahapatra, S. S. (2010). Parametric appraisal of mechanical property of fused deposition modelling processed parts. *Materials & Design*, 31(1), 287–295. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2009.06.016>
- [8] Madenci, E., & Güner, A. (2021). Design and manufacturing of a quadcopter frame using 3D printing technology and investigation of its mechanical properties. *Materials Today*: