

SKRIPSI

**RANCANG BANGUN DAN ANALISIS KEKUATAN
MEKANIK RANGKA *QUADCOPTER* BERBAHAN
DASAR *POLYLACTIC ACID***



FAHMI NURSETIADI

03051282025072

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2025

SKRIPSI

**RANCANG BANGUN DAN ANALISIS KEKUATAN
MEKANIK RANGKA *QUADCOPTER* BERBAHAN
DASAR *POLYLACTIC ACID***

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana
Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**



OLEH

FAHMI NURSETIADI

03051282025072

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2025

HALAMAN PENGESAHAN

RANCANG BANGUN DAN ANALISIS KEKUATAN
MEKANIK RANGKA *QUADCOPTER* BERBAHAN DASAR
POLYLACTIC ACID

SKRIPSI

Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin
Pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh:

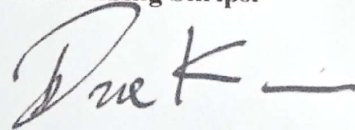
FAHMI NURSETIADI

03051282025072

Palembang, 5 Mei 2025

Diperiksa dan disetujui oleh

Pembimbing Skripsi



Zulkarnain, S.T, M.Sc., Ph.D.
NIP. 198105102005011005

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Prof. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197909272003121004

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA

Agenda No.
Diterima Tanggal
Paraf

: 008/TM/Ak/2025
: 04 Juni 2025
:

SKRIPSI

Nama : Fahmi Nursetiadi
NIM : 03051282025072
Jurusan : Teknik Mesin
Judul : Rancang Bangun dan Analisis Kekuatan Mekanik
Rangka *Quadcopter* Berbahan Dasar *Polylactic Acid*.
Dibuat Tanggal : 15 Mei 2024
Selesai Tanggal : 8 Mei 2025

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin

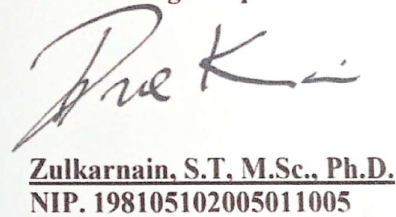


Prof. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197909272003121004

Palembang, 15 Mei 2025

Diperiksa dan disetujui oleh

Pembimbing Skripsi



Zulkarnain, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP. 198105102005011005

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi ini dengan judul "**Rancang Bangun dan Analisis Kekuatan Mekanik Rangka *Quadcopter* Berbahan Dasar *Polylactic Acid***" telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Sriwijaya pada tanggal 5 Mei 2025.

Palembang, 5 Mei 2025

Tim Penguji Karya tulis ilmiah berupa Proposal Skripsi :

Ketua :

1. Dr. Ir. Gunawan, S.T., M.T.
NIP. 197209021997021001

Sekretaris :

2. Dr. Akbar Teguh Prakoso, S.T., M.T.
NIP. 199204122022031009

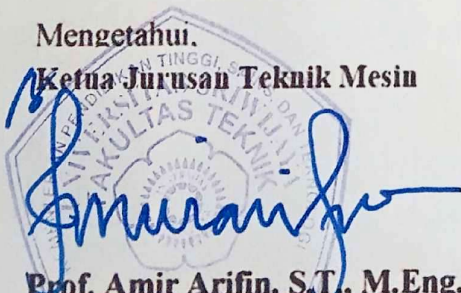
Anggota :

3. Ir. Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 1997112251997021001

(.....)
(.....)
(.....)

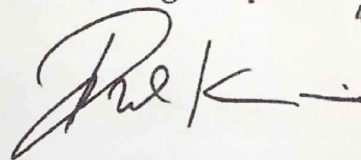
Mengetahui.

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Prof. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197909272003121004

Pembimbing Skripsi



Zulkarnain, S.T, M.Sc., Ph.D.
NIP. 198105102005011005

16/5/25

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Fahmi Nursetiadi

NIM : 03051282025072

Judul : Rancang Bangun dan Analisis Kekuatan Mekanik Rangka
Quadcopter Berbahan Dasar *Polylactic Acid*.

Menyatakan bahwa skripsi saya merupakan hasil karya saya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/plagiat dalam skripsi ini. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai dengan aturan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Palembang, 5 Mei 2025



Fahmi Nursetiadi
NIM. 03051281823026

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Fahmi Nursetiadi

NIM : 03051282025072

Judul : Rancang Bangun dan Analisis Kekuatan Mekanik Rangka
Quadcopter Berbahan Dasar *Polylactic Acid*.

Memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu 1 (satu) tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju untuk menempatkan Pembimbing sebagai penulis korespondensi (Corresponding author)

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Palembang, 5 Mei 2025

Fahmi Nursetiadi
NIM. 03051282025072

RINGKASAN

JURUSAN TEKNIK MESIN, FAKULTAS TEKNIK, UNIVERSITAS SRIWIJAYA

Fahmi Nursetiadi, dibimbing oleh Zulkarnain, S.T, M.Sc., Ph.D.

Rancang Bangun dan Analisis Kekuatan Mekanik Rangka Quadcopter Berbahan Dasar Polylactic Acid.

xxviii + 60 halaman, 28 gambar, 9 tabel

RINGKASAN

Perkembangan teknologi pesawat tanpa awak (UAV) atau drone terus meningkat dan telah dimanfaatkan di berbagai bidang, mulai dari pertanian hingga militer. Seiring dengan itu, teknologi penunjang seperti 3D *printing* juga berkembang dengan pesat, memungkinkan pembuatan prototipe secara cepat melalui model desain CAD (*Computer-Aided Design*) dengan metode pencetakan bertingkat. Material PLA (Polylactic Acid) menjadi pilihan populer karena mudah digunakan dan ekonomis. Dalam penelitian tugas akhir ini, penulis merancang dan membuat rangka drone menggunakan mesin 3D *printer* berbahan PLA dengan variasi *infill* 5%, 25%, 50%, 75%, dan 100%, lalu mengkaji performanya secara simulasi dan eksperimental. Tujuan penelitian adalah menganalisis kekuatan struktur, efisiensi material, dan performa fisik dari berbagai konfigurasi *infill*. Pengujian pada penelitian ini difokuskan pada varian *infill* 5%, 50% dan 100%. Hasil analisis menunjukkan bahwa rangka dengan *infill* 50% memberikan performa paling seimbang, dengan kekakuan yang memadai, displacement rendah, dan faktor keamanan yang aman. Selain itu, bobotnya tetap ringan, waktu cetak dan biaya produksi juga efisien, menjadikan *infill* 50% sebagai pilihan terbaik dibandingkan *infill* 5% dan 100% untuk aplikasi drone yang membutuhkan efisiensi dan kekuatan yang seimbang.

Kata kunci : Pesawat nirawak, drone, polylactic acid, simulasi SolidWorks 3D printing

Kepustakaan : 2004-2023, 22

SUMMARY

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING, FACULTY OF
ENGINEERING, SRIWIJAYA UNIVERSITY

Fahmi Nursetiadi, supervised oleh Zulkarnain, S.T, M.Sc., Ph.D.

Design and Mechanical Strength Analysis of a Quadcopter Frame Made from
Polylactic Acid.

xxviii + 60 pages, 28 figures, 9 tables

SUMMARY

The development of unmanned aerial vehicle (UAV) technology, or drones, continues to advance and has been widely utilized across various fields, from agriculture to military applications. Alongside this progress, supporting technologies such as 3D printing have also evolved rapidly, enabling fast prototyping through CAD (Computer-Aided Design) models using layer-by-layer printing techniques. PLA (Polylactic Acid) is a commonly used material due to its ease of use and cost-effectiveness. In this final project, the author designed and fabricated a drone frame using a PLA-based 3D printer with infill variations of 5%, 25%, 50%, 75%, and 100%, then evaluated its performance through both simulation and experimental testing. The aim of this research is to analyze the structural strength, material efficiency, and physical performance of different infill configurations. The experimental tests were focused on infill variations of 5%, 50%, and 100%. The analysis results show that the 50% infill frame delivers the most balanced performance, offering adequate rigidity, low displacement, and a safe factor of safety. Moreover, it maintains a relatively lightweight structure, with efficient print time and production cost, making the 50% infill the optimal choice compared to 5% and 100% for drone applications requiring both efficiency and strength.

Keywords : Unmanned aerial vehicle, drone, polylactic acid, SolidWorks simulation, 3D Printing

Citation : 2004-2023, 22

KATA PENGANTAR

Puji serta syukur penulis panjatkan kepada Allah Swt. atas rahmat-Nya seluruh curahan rahmat dan hidayat-Nya penulis mampu menyelesaikan skripsi dengan judul “Rancang Bangun dan Analisis Kekuatan Mekanik Rangka *Quadcopter* Berbahan Dasar *Polylactic Acid*.”

Dalam penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan dan dorongan dari berbagai pihak. Untuk itu saya mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Ayah Agus, ibu Kris, Kakak Andini, Adik Nailah, Adik Azmi, dan seluruh keluarga yang telah memberikan dukungan dan semangat kepada penulis;
2. Prof. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya;
3. Barlin, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya;
4. Zulkarnain, ST., MSc., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Akademik dan Dosen Pembimbing yang telah bersedia membimbing serta memberi saran kepada penulis;
5. Dosen-dosen serta Staff Jurusan Teknik Mesin Universitas Sriwijaya yang telah membekali ilmu yang bermanfaat;
6. Riski Yona sebagai sahabat yang telah menemani serta memberi masukan kepada penulis.

Penulis berharap semoga proposal skripsi ini dapat menjadi manfaat bagi pembaca di masa yang akan datang. Semoga Allah Swt. Senantiasa melimpahkan rahmat dan ridho-nya kepada kita semua.

Palembang, 5 Mei 2025

Fahmi Nursetiadi
NIM 03051282025072

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	v
HALAMAN PERSETUJUAN	vi
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI	xxi
DAFTAR TABEL	xxv
DAFTAR LAMPIRAN	xxvii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Ruang Lingkup Penelitian.....	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Studi Literatur	5
2.2 <i>Drone Quadcopter</i>	6
2.3 <i>3D Printer</i>	8
2.4 <i>Fused Deposition Modeling</i>	10
2.5 <i>Polylactic Acid</i>	11
2.6 Parameter pada Mesin <i>3D Printer</i>	12
2.7 Simulasi <i>SolidWorks</i>	12
2.8 Analisa Gaya Angkat	13
2.9 Analisa Metode Elemen Hingga	15
BAB 3 METODE PENELITIAN	19
3.1 Diagram Alir	19
3.2 Perancangan Model 3D	20
3.3 Simulasi Gaya Angkat	23
3.4 Pengujian Gaya Angkat	24
3.5 Analisis Kekuatan Mekanik	25

3.6	Proses Pencetakan	30
3.7	Pengujian Eksperimental.....	32
3.8	Tempat dan Waktu Pengujian	32
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		33
4.1	Simulasi Gaya Angkat.....	33
4.2	Uji Gaya Angkat.....	35
4.3	Pembuatan <i>Infill</i>	38
4.4	Simulasi Pembebanan	39
4.5	Proses Pencetakan	41
4.6	Pengujian Eksperimental.....	44
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		47
5.1	Kesimpulan.....	49
5.2	Saran.....	50
DAFTAR PUSTAKA.....		51
DAFTAR LAMPIRAN		54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 (a) <i>Fixed wing</i> (b) <i>Single rotor</i> (c) <i>Quadcopter</i> (d) <i>Hexacopter</i> (e) <i>Octocopter</i>	7
Gambar 2. 2 Arah Inersia Pada Sebuah <i>Propeller</i>	8
Gambar 2. 3 Metode 3D <i>Printer Stereolithography</i>	9
Gambar 2. 4 Metode 3D <i>Printer Fused Deposition modelling</i>	10
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	19
Gambar 3. 2 Prediksi penempatan modul pada rangka <i>drone</i>	20
Gambar 3. 3 (a) <i>Infill 5%</i> (b) <i>Infill 25%</i> (c) <i>Infill 50%</i> (d) <i>Infill 75%</i> (e) <i>Infill 100%</i>	21
Gambar 3. 4 Gambar teknik rangka <i>drone</i>	22
Gambar 3. 5 Parameter pada simulasi gaya angkat <i>propeller</i>	24
Gambar 3. 6 Skematik pengujian gaya angkat	25
Gambar 3. 7 Penempatan beban pada simulasi tanpa gaya angkat	27
Gambar 3. 8 Letak <i>fixture</i> pada simulasi tanpa gaya angkat	27
Gambar 3. 9 Penempatan beban pada simulasi dengan gaya angkat	28
Gambar 3. 10 Penempatan <i>fixture</i> pada simulasi dengan gaya angkat	29
Gambar 3. 11 Lapisan <i>bridging</i>	31
Gambar 4. 1 Konfigurasi <i>flow simulation</i>	35
Gambar 4. 2 Hasil simulasi <i>propeller</i>	36
Gambar 4. 3 Diagram kelistrikan alat uji gaya angkat	37
Gambar 4. 4 Rangkaian alat uji angkat	38
Gambar 4. 5 Pengambilan nilai RPM	38
Gambar 4. 6 Konfigurasi <i>infill</i> pada Ultimaker Cura 2.0	40
Gambar 4. 7 <i>Infill</i> pada SolidWorks	41
Gambar 4. 8 Perbedaan titik <i>stress</i> pada simulasi	42
Gambar 4. 9 Tampilan Peninjauan pencetakan	43
Gambar 4. 10 Proses pencetakan pada Creality CR-10 V2	45
Gambar 4. 11 Lokasi pengujian eksperimental	46
Gambar 4. 11 Pengukuran berat rangka setelah proses perakitan pada variasi <i>infill 5%</i> (a), <i>infill 50%</i> (b) dan <i>infill 100%</i> (c)	46
Gambar 4. 12 Kamera pada <i>drone</i> serta tampilannya	44

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Daftar estimasi massa modul :	26
Tabel 3. 2. Mechanical properties dari PLA (sumber :(Farah et al., 2016)	30
Tabel 3. 3. <i>Parameter</i> slicing 3D printer	31
Tabel 4. 1. Hasil pengambilan data gaya angkat :.....	37
Tabel 4. 2. Tabel hasil simulasi pembebanan :	40
Tabel 4. 3. Estimasi waktu, material dan biaya pada Ultimaker Cura:	42
Tabel 4. 4. Hasil pengukuran berat rangka:	43
Tabel 4. 5. Hasil percobaan sprint:.....	46

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Lembar Asistensi	55
Lampiran 2. Hasil Simulasi Solidworks.....	56
Lampiran 3. Hasil Perhitungan Biaya Percetakan Rangka Drone	57
Lampiran 4. Hasil Pengujian Thrust Test	58
Lampiran 5 . Tabel pengukuran berat rangka	59
Lampiran 6. Dokumentasi Pengambilan Data	60

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan pada era perkembangan teknologi sangat pesat dalam berbagai sektor, salah satunya perkembangan teknologi pesawat nirawak atau yang biasa disebut *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 (Chamayou, 2024). Tentunya dalam pengembangan *drone* banyak sekali hal-hal yang menjadi faktor pertimbangan pada perkembangannya seperti material, kelistrikan dan konfigurasi lainnya.

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 di gunakan 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 menjadikan sebuah prototipe dapat dibangun hanya dengan desain yang ditentukan tanpa menggunakan cetakan atau *mold*.

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. Secara umum metode FDM pada 3D *printer* banyak digunakan oleh berbagai kalangan, dikarenakan FDM memiliki metode pengoprasian yang sangat mudah serta biaya yang relatif murah, serta variasi material lebih banyak jika dibandingkan dengan metode yang lain.

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 (Sha et al., 2016). 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 (Samykan, 2021). Sifat pada material PLA yang telah disebutkan menghasilkan solusi alternatif terhadap proses manufaktur yang berkelanjutan serta ramah lingkungan. Adanya material PLA pada metode FDM pengguna dapat mencetak prototipe dengan bentuk yang kompleks melalui penerapan konfigurasi desain yang inovatif dengan bantuan teknologi lain seperti *computer-aided design* (CAD) yang dapat memudahkan proses perancangan prototipe *drone*.

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' (Aswin Kumar et al., 2021). Penggunaan 4 motor pada drone dapat menjadi pilihan yang

efisien karena konfigurasi ini dapat memberikan kestabilan yang optimal dengan biaya yang cukup murah.

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. Oleh karena itu, *drone* yang efektif memerlukan pendekatan yang menyeluruh dengan mempertimbangkan material, desain, dan konfigurasi untuk mencapai performa yang optimal.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan landasan yang telah dijabarkan maka dapat dirumuskan permasalahan yang akan diteliti adalah bagaimana kinerja rangka *quadcopter* dengan variasi *infill* menggunakan metode pencetakan FDM berbahan dasar PLA?

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini adalah:

1. Perancangan dan analisis menggunakan aplikasi SolidWorks 2021.
2. Material yang digunakan yaitu plastik PLA (*Polylactic Acid*).
3. Menggunakan metode pencetakan *Fused Deposition Modeling* (FDM).
4. Menggunakan media 3D *printer* Creality CR-10 V2.

5. Menggunakan konfigurasi *quadcopter* dengan rangka “X”.
6. Analisis rangka drone menggunakan *infill* 5%, 25%, 50%, 75% dan 100%.
7. Analisis kekuatan rangka drone menggunakan pengujian pembebanan statis.
8. Analisis eksperimental di lingkungan kampus dengan jarak 50 meter.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan Penelitian ini adalah:

1. Merancang dan membuat rangka *drone*.
2. Menganalisa kekuatan gaya angkat.
3. Menguji kekuatan mekanik dan karakteristik rangka *drone* secara simulasi dan eksperimental.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memperoleh hasil pengujian dari rangka *drone* dengan metode pencetakan menggunakan 3D *printer fused deposition modelling*.
2. Memberikan kontribusi terhadap perkembangan teknologi *drone* dengan media pencetakan 3D *printer*.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Studi Literatur

Penelitian yang dilakukan oleh Shelare dkk. (2021) saat membuat *quadcopter* dengan metode FDM menggunakan bahan dasar PLA dengan analisis elemen hingga (*finite element analysis*) dengan asumsi beban sebesar 25 N. Penilaian ini mendapatkan nilai rata-rata tegangan maksimum sebesar 4,924 MPa dan perpindahan maksimum sebesar 1,454 mm.

Menurut Parandha & Li (2007) saat menganalisis kekuatan rangka *drone* 4 motor dengan tipe konfigurasi lengan “X” berbahan dasar ABS disimulasi dan dianalisis dalam berbagai kondisi gaya angkat, hambatan, dan gaya dorong. Hasil dari analisis ini mendapatkan *safety factor* sebesar 2,5.

Penelitian yang dilakukan oleh Katukam (2014) pada penerapan analisis statis pada rangka *quadcopter* berbahan dasar *carbon fiber* dengan tujuan untuk mengurangi konsumsi daya dengan cara mengurangi beban pada rangka. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa merubah desain rangka dapat mengurangi beban pada *quadcopter* yang menghasilkan berkurangnya konsumsi daya yang digunakan.

Menurut Tura & Zaharia (2023) saat melakukan percobaan pembuatan *quadcopter* dengan metode FFF berbahan dasar PLA dengan menggunakan ketebalan 1 mm pada tiap bagiannya. Hasil percobaan ini memperoleh waktu pembuatan dengan durasi 54 jam dan 42 menit dengan biaya yang sedikit dan tanpa menggunakan cetakan.

Penelitian yang dilakukan oleh Umair dkk. (2022) pada analisis rangka UAV beban berat dengan konfigurasi *hexacopter* berbahan dasar carbon fiber. Hasil analisis ini didapatkan bahwa desain rangka *hexacopter* yang digunakan kuat untuk mengangkat beban sebesar 50 Kg dengan *safety factor* sebesar 2,4.

Hasil dari penelitian yang dilakukan oleh Aji Saputro & Syahbuddin (2021) saat melakukan pengujian impak, pengujian tarik, dan pengujian makro pada material PLA menggunakan metode FDM pada model standar ASTM D638-02a Tipe 1 dengan variasi kecepatan cetak 20 m/s, 40 m/s, dan 50 m/s. Hasil penelitian ini didapatkan bahwa semakin rendah kecepatan cetak memiliki nilai kekuatan tarik (*tensile strength*) dengan komposit *porous material* yang di cetak dengan kecepatan cetak yang lebih tinggi (40 m/s dan 50 m/s). Sedangkan, kekuatan luluh (*yield strength*) yang dicetak dengan kecepatan rendah (20 m/s) menunjukkan nilai yang kecil jika dibandingkan dengan kecepatan cetak yang lebih tinggi. Serta nilai ketahanan impaknya (*impact resistance*) dengan kecepatan cetak yang rendah mendapatkan nilai yang lebih tinggi dari kecepatan cetak yang lebih tinggi.

2.2 Drone Quadcopter

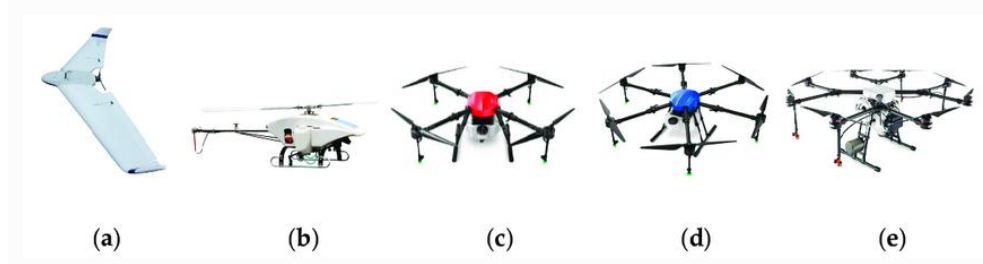
Tahun 1903 Wright Bersaudara (Orville Wright & Wilbur Wright) pertama kali melakukan penerbangan dengan menggunakan pesawat yang dapat di kontrol oleh manusia (Palik & Nagy, 2019). Momen bersejarah itu adalah awal dari perkembangan teknologi penerbangan yang sangat pesat. *Unmanned Aerial Vehicle* atau yang biasa disebut dengan *drone* merupakan salah satu perkembangan kendaraan udara yang dikendalikan oleh operator dari jarak jauh ataupun secara otomatis. *Drone* digunakan sebagai fasilitas pendukung untuk mempermudah aktifitas manusia yang membutuhkan survei udara tanpa adanya manusia yang datang langsung ke lokasi dengan menambahkan beberapa modul tambahan yang dibutuhkan seperti kamera, pengait, atau modul lainnya.

Dalam perkembangannya, *drone* memiliki berbagai jenis yang dibagi menjadi beberapa tipe, yaitu kendaraan laut, darat, dan udara. *Drone* tipe kendaraan udara juga memiliki beberapa dibagi menjadi dua jika dilihat dari cara *drone* itu lepas landas, yaitu tipe *rotary wing* dan *fixed wing* (Üçgün et al., 2022). Dimana perbedaan antara *rotary wing* dan *fixed wing* ada di cara *drone* itu lepas landas dan mendarat. *Drone* dengan tipe *rotary wing* tidak memerlukan landasan

pacu seperti pesawat pada umumnya yang cenderung memiliki kemiripan dengan helikopter dengan mekanisme gaya angkat *vertical* atau yang biasa disebut dengan *vertical takeoff and landing* (VTOL), sedangkan *fixed wing* menggunakan mekanisme gaya angkat yang ditimbulkan dari lekukan sayap. Perbedaan tipe ini juga memiliki keunggulan dan kelemahan masing-masing yang digunakan sesuai dengan kebutuhan di lapangan.

Konfigurasi yang diterapkan pada *drone* dengan tipe VTOL juga dibedakan dari jumlah baling-baling yang digunakan. Jumlah baling-baling cenderung berjumlah genap, dikarenakan baling-baling yang berputar pada *drone* memiliki aksi dan reaksi yang dapat memutar *drone* menjadi tidak terkendali. Tidak menutup kemungkinan bahwa *drone* akan menggunakan konfigurasi baling-baling dengan jumlah ganjil sesuai dengan fungsinya. Berikut adalah beberapa konfigurasi yang biasa digunakan pada *drone*, yaitu :

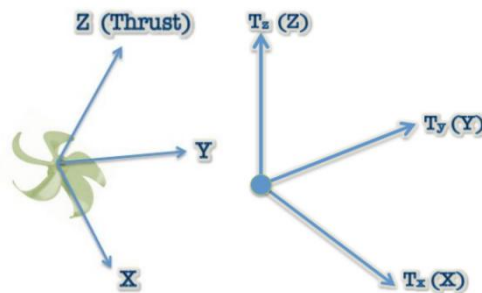
1. *Single rotor helicopter* : Konfigurasi *drone* dengan 1 baling-baling utama dan 1 baling baling tambahan untuk stabilisasi.
2. *Dual rotor helicopter* : Konfigurasi *drone* dengan 2 baling-baling utama pada aksis yang sama ataupun sejajar.
3. *Quadcopter* : Konfigurasi *drone* dengan 4 baling-baling utama.
4. *Hexacopter* : Konfigurasi *drone* dengan 6 baling-baling utama.
5. *Octocopter* : Konfigurasi *drone* dengan 8 baling-baling utama.



Gambar 2. 1 (a)*Fixed wing* (b)*Single rotor* (c)*Quadcopter* (d)*Hexacopter* (e)*Octocopter*

Penggunaan *drone* dengan konfigurasi *quadcopter* pada bentuk “X” memiliki gaya inersia yang dapat mempengaruhi pergerakannya saat melakukan manuver. Variasi kecepatan pada keempat motor memungkinkan drone dapat

dikendalikan dengan mudah sesuai keinginan pilot untuk melakukan manuver *pitch*, *roll*, *yaw*, serta pergerakan naik dan turun. Gaya inersia yang muncul dari manuver ini menjadi faktor penting dalam mengontrol kestabilan pada *drone*. Kontrol Otomatis pada *drone* sering memanfaatkan inersia sebagai acuan, terutama pada *flight controller* yang menggunakan sistem PID. Hal ini dapat memungkinkan drone untuk tetap stabil serta *responsive* selama penerbangan.



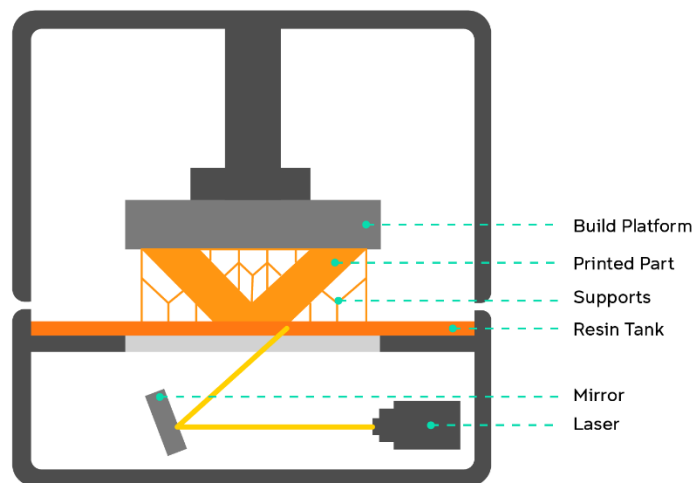
Gambar 2. 2 Arah Inersia Pada Sebuah *Propeller* (sumber : Javir dkk., 2015)

2.3 3D Printer

3D *Printer* atau dikenal juga sebagai *additive manufacturing* adalah suatu teknologi untuk merepresentasikan geometri untuk menciptakan benda nyata dengan metode menambahkan material dari lapis demi lapis. Pada proses ini, model yang ingin di representasikan dibuat menggunakan perangkat lunak CAD kemudian akan di *slice* menggunakan perangkat lunak *slicer* (Manju et al., 2019). Perangkat lunak *slicer* digunakan untuk mendapatkan format lapisan-lapisan pada model untuk mendapatkan format *G-code* dan kemudian akan diberikan kepada 3D *printer* untuk melakukan tugasnya. Teknologi canggih ini tidak luput dari perkembangan para rekayasawan yang telah berkontribusi pada perkembangan 3D *printer*.

Perkembangan teknologi 3D *printer* dimulai pada tahun 1981 di Jepang oleh Dr. Hideo Komada. Awalnya 3D *Printer* ini dibuat menggunakan sebuah prototipe dimana cairan resin dikeraskan secara bertingkat dan berurutan

menggunakan bantuan laser sebagai pembentuknya (Li et al., 2023). Metode ini biasa disebut dengan metode *stereolithography*. Tetapi Dr. Komada gagal untuk melanjutkan penelitiannya disebabkan kurangnya alat dan fasilitas yang ada. Oleh karena itu Dr. Hideo Komada berkontribusi pada perkembangan 3D *Printer* terutama awal mula pencetusan metode *stereolithography*.



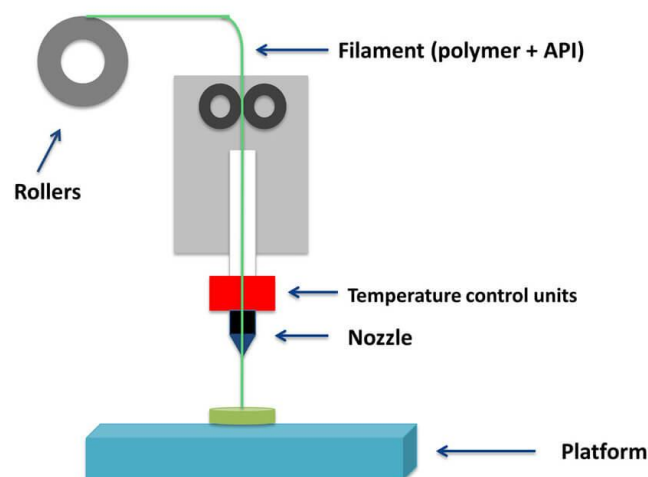
Gambar 2. 3 Metode 3D *Printer Stereolithography*

Awal perkembangan metode *stereolithography* kembali dikembangkan pada tahun 1984 oleh Charles ‘Chuck’ Hull. Perkembangan ini didasari oleh perusahaan *furniture* tempat Hull berkerja memberikan projek kepada Hull untuk menjawab masalah perusahaan mengenai proses produksi bagian *furniture* yang berukuran kecil. Dengan adanya projek tersebut, Hull dapat menyelesaikannya dalam waktu 3 minggu saja sehingga pada tahun 1986 Hull mendirikan sebuah perusahaan di California sekaligus membuat paten untuk *stereolithography* serta mengkomersilkan produknya bernama SLA-1 pada tahun 1998. Hal ini merupakan metode pertama yang digunakan pada perkembangan 3D *printer* hingga saat ini.

2. 4 Fused Deposition Modeling

Metode *fused deposition modeling* adalah salah satu dari bermacam metode yang digunakan oleh alat 3d *printer*. FDM menggunakan bahan filamen termoplastik yang dilelehkan secara bertahap dan berlapis untuk membentuk objek. Proses FDM dimulai dengan merancang suatu model 3D melalui perangkat lunak CAD lalu model itu di cacah/*slice* agar mendapatkan lapisan-lapisan untuk mendapatkan *G-code* untuk memberikan perintah pada mesin 3D. Mesin 3D *printer* memiliki kepala ekstrusi yang dipanaskan untuk melelehkan filamen termoplastik.

Pada metode ini melakukan kerjanya dengan cara melelehkan *filament* dan menyusunnya lapis demi lapis melalui kepala ekstrusi yang dipanaskan dan akan di keluarkan melalui *nozzle*. Tumpukan *filament* yang telah dilelehkan langsung mengalami proses pendinginan yang menghasilkan suatu geometri yang kokoh. Proses ini umumnya membutuhkan format *G-code* untuk memberikan perintah pada mesin 3D *printer* agar dapat melakukan gerakan-gerakan yang presisi pada *nozzle*.



Gambar 2. 4 Metode 3D Printer *Fused Deposition modelling* (sumber : <https://yasincapar.com/portfolio/3d-printer/>)

2.5 Polylactic Acid

Material *polylactic acid* adalah salah satu material komposit yang digunakan sebagai filamen pada mesin 3D *printer* dengan metode FDM. Bahan dasar PLA merupakan polimer alami yang terbuat dari sumber yang dapat diperbaharui, seperti jagung dan tanaman lainnya. Serta PLA memiliki sifat *biodegradable* yang ramah lingkungan dan tidak beracun membuat PLA populer dikalangan percetakan 3D yang peduli lingkungan. PLA memiliki titik leleh sekitar 180-220°C sehingga memudahkan pengguna untuk filamen berbahan PLA.

PLA memiliki sifat mekanis yang baik digunakan untuk kebutuhan pencetakan 3D *Printer*. Kekuatan dan kekakuan material PLA memiliki modulus elastisitas berkisar 3,6 GPa (Gigapascal) dan kekuatan tarik sekitar 70 MPa (Megapascal) dengan densitas sekitar 1,25 g/cm³ (Balakrishnan et al., 2012). Walau tidak sekuat material ABS, tetapi PLA masih cocok digunakan untuk kebutuhan 3D *Printer* dengan objek yang diberi beban ringan. Meskipun demikian, PLA masih rentan terhadap deformasi plastis pada suhu yang tinggi serta sifatnya yang tidak tahan terhadap paparan sinar UV (ultraviolet).

Deformasi plastik yang disebabkan sinar UV yang dipaparkan oleh matahari dapat mempengaruhi bentuk, tampilan, serta kekuatan material PLA. Pada selaput PLA dengan ketebalan 19,45 µm menunjukkan degradasi pada durasi sampai 4 minggu yang dipaparkan sinar UV dengan berbagai kondisi menunjukkan bahwa kekuatan tarik berkurang sebesar 38,5-68,7% pada minggu ke-2 (Bao et al., 2022). Penggunaan PLA tidak disarankan untuk keperluan di luar ruangan yang terpapar langsung oleh matahari. Oleh karena itu pada beberapa aplikasi luar ruangan yang menggunakan material PLA disarankan untuk menambah *coating* yang tahan akan sinar UV untuk mengurangi dampak dari degradasi dari sinar UV.

Selain degradasi sinar UV, material PLA juga rentan mendapatkan kegagalan material berupa *creep*. Kegagalan material *creep* (meregang) adalah deformasi permanen yang disebabkan oleh temperature dan beban yang konstan. Material PLA dapat mengalami *creep* jika terpapar langsung oleh panas matahari. Tahap *creep* primer dialami oleh PLA dengan suhu 25°C yang diberikan tegangan

sebesar 20 MPa mengalami deformasi sebesar 125 μm hingga 2000 detik pengujian yang menunjukkan bahwa fenomena *creep* sangat mudah menyerang material PLA (Dogan, 2022). Meskipun material PLA rentan terhadap *creep*, penggunaan diluar ruangan yang terkena paparan matahari dengan durasi singkat tidak berdampak signifikan terhadap deformasi plastis dengan catatan tidak digunakan dengan durasi yang lama serta beban yang tidak berlebih.

2. 6 Parameter pada Mesin 3D Printer

Parameter yang digunakan pada mesin 3D *printer* merujuk pada pengaturan dan variable yang dapat disesuaikan untuk mengontrol proses percetakan 3D. Pengaturan ini mempengaruhi berbagai aspek mulai dari kekuatan, waktu cetak, hingga konsumsi bahan yang digunakan. Berikut adalah beberapa contoh parameter penting yang digunakan pada mesin 3D *printer*, yaitu:

3. *Layer Height* (tinggi lapisan) : *Layer height* adalah parameter yang mengatur ketebalan tiap cetakan yang ditumpuk pada poses pencetakan.
4. *Infill Density* (kepadatan) : *Infill density* adalah parameter yang mengatur struktur yang mengisi ruang di antara lapisan luar (*shell*) pada objek yang akan dicetak.
5. *Print Speed* (kecepatan cetak): *Print speed* adalah parameter yang mengatur kecepatan *nozzle* berkerak saat melakukan pencetakan.

2. 7 Simulasi SolidWorks

Simulasi yang digunakan pada perangkat lunak *SolidWorks* adalah simulasi aliran fluida dan juga analisis pembebanan statis. Analisis ini akan digunakan untuk menghitung rangka *drone* yang digunakan termasuk aman atau tidak serta menunjukkan simulasi hasil dari analisis tersebut. Simulasi aliran fluida digunakan untuk mencari gaya angkat maksimal dengan RPM tertentu yang nantinya akan

digunakan sebagai input pembebanan pada analisis pembebanan statis. Hal ini dapat menjadi perhitungan awal sebelum rangka *drone* digunakan pada pengujian eksperimental.

2.8 Analisa Gaya Angkat

Analisis gaya angkat (*lift*) adalah gaya aerodinamis yang dihasilkan oleh pergerakan udara sekitar suatu objek yang biasanya terjadi pada *propeller* yang menyebabkan suatu objek yang mengenai fenomena tersebut bergerak naik. Gaya ini adalah faktor utama penyebab pesawat ataupun *drone* dapat melakukan penerbangan. Hukum Bernoulli adalah prinsip dasar dari Analisa gaya angkat yang menyatakan bahwa tekanan fluida berkurang saat kecepatan fluida meningkat.

Pada analisa gaya angkat *drone* yang menggunakan *propeller* lebih dari satu modul, ada beberapa hal yang harus diketahui agar mendapatkan hasil gaya angkatnya.

$$A = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 \quad (2.1)$$

Keterangan:

A = area *propeller*

D = diameter *propeller*

Luas area dari *propeller* adalah faktor utama untuk mendapatkan perhitungan gaya angkat.

$$V = RPM \cdot Pitch \cdot \frac{1}{60} \quad (2.2)$$

Keterangan:

V = kecepatan aliran udara

Penentuan nilai pada RPM dan juga *pitch* dapat ditentukan menggunakan estimasi RPM pada modul motor yang digunakan dan profil dari *propeller* yang digunakan.

$$L = C_L \frac{1}{2} \rho V^2 A \quad (2.3)$$

Keterangan:

L = gaya angkat

C_L = koefisien *lift*

ρ = densitas udara

Gaya angkat yang dihasilkan oleh *propeller* saat berputar dapat menimbulkan fenomena perbedaan tekanan pada bagian atas dengan bagian bawah *propeller*.

$$L_{total} = n \cdot L \quad (2.4)$$

Keterangan:

n = jumlah *propeller*

Variasi dari banyaknya jumlah *propeller* yang ada pada suatu *drone* ataupun media lain yang dapat menghasilkan gaya angkat, dapat dikalikan dengan jumlah *propeller* yang ada pada media tersebut.

$$RPM = KV \cdot V \quad (2.5)$$

Keterangan:

KV = *rating* pada motor yang digunakan

V = tegangan yang diberikan pada motor

Perhitungan RPM maksimal pada motor biasanya dibedakan pada *rating* (KV) yang tertera pada produk.

Untuk membuktikan bahwa gaya angkat dari *drone* dapat mengangkat *drone* itu sendiri akan menggunakan *thrust-to-weight ratio* (TWR) dengan mengambil nilai dari hasil simulasi gaya angkat. TWR adalah rasio gaya dorong maksimum terhadap suatu kendaraan terbang agar bisa terbang dari berat kendaraan itu sendiri (Putra et al., 2020). Hasil dari TWR akan menunjukkan

apakah *drone* dapat bergerak naik atau tidak bergantung pada arah gaya dorongnya. Jika nilai TWR kurang dari 1, maka *drone* tidak dapat terbang. Jika nilai TWR sama dengan 1, *drone* dapat melayang. Sedangkan jika nilai TWR lebih dari 1, *drone* dapat terbang dan bergerak naik.

$$TWR = \frac{L}{W} \quad (2.6)$$

Keterangan:

$TWR = Thrust\ to\ Weight\ Ratio$

W = berat total

2.9 Analisa Metode Elemen Hingga

Salah satu cara untuk melakukan analisis pembebanan adalah menggunakan metode elemen hingga atau yang biasa dikenal sebagai *finite element method* (FEM). Metode FEM adalah simulasi analisis *numerical* yang digunakan untuk analisis struktural (Mishra et al., 2020). Pada konteks analisis struktur, metode FEM membagi bidang struktur menjadi elemen-elemen kecil yang disebut elemen hingga dan memiliki titik-titik penghubung yang disebut nodus (*nodes*). Dengan memecah struktur menjadi elemen-elemen kecil, persamaan diferensial yang mengilustrasikan perilaku struktur menjadi persamaan aljabar yang lebih sederhana yang dapat dikerjakan secara numerik.

Terdapat beberapa tahap untuk melakukan analisis FEM hingga mendapatkan nilai dari *safety factor*. Pada awal melakukan analisis FEM satu dimensi, dibutuhkan matriks kekakuan elemen untuk membuat persamaan numerik pada elemen.

$$K_e = \frac{AE}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Keterangan:

K_e = matriks kekakuan

A = luas penampang (m)

E = modulus elastisitas material (Pa)

L = panjang elemen (m)

Dengan ditentukannya nilai matriks kekakuan, maka nilai tersebut dapat digunakan untuk mencari sistem kekakuan global.

$$K \cdot u = f \quad (2.8)$$

Keterangan:

K = matriks kekakuan global

u = vektor perpindahan nodal

f = vektor gaya nodal

Matriks kekakuan global dapat disubstitusikan menggunakan kondisi batas atau sesuatu yang telah ditetapkan, seperti gaya yang ditetapkan dan perpindahan nodal.

$$\sigma = E \cdot \epsilon \quad (2.9)$$

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} = \frac{u_1 - u_2}{L} \quad (2.10)$$

Keterangan:

σ = tegangan

ϵ = regangan

ΔL = perubahan Panjang elemen

u_1, u_2 = perpindahan pada ujung nodal

Tegangan yang telah ditetapkan dapat digunakan sebagai acuan untuk menentukan nilai faktor keamanan dari setiap elemen yang dianalisis.

$$SF = \frac{\sigma_y}{\sigma_{max}} \quad (2.11)$$

$$\sigma_{max} = \max (\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \dots, \sigma_n) \quad (2.12)$$

Keterangan:

SF = *safety factor*

σ_y = tegangan luluh

σ_{max} = tegangan maksimal

Tegangan maksimal yang didapatkan adalah tegangan tertinggi dari beberapa titik yang dianalisis. Kemudian dapat disubstitusikan sehingga mendapat nilai dari *safety factor* yang menjadi acuan keamanan suatu material.

DAFTAR PUSTAKA

- Aji Saputro, T., & Syahbuddin, S. (2021). Komposit Porous Material Berbahan Polylactic Acid (PLA). *Jurnal Syntax Admiration*, 2(10), 1985–2000. <https://doi.org/10.46799/jsa.v2i10.331>
- Aswin Kumar, V., Sivaguru, M., Rohini Janaki, B., Sumanth Eswar, K. S., Kiran, P., & Vijayanandh, R. (2021). Structural Optimization of Frame of the Multi-Rotor Unmanned Aerial Vehicle through Computational Structural Analysis. *Journal of Physics: Conference Series*, 1849(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1849/1/012004>
- Balakrishnan, H., Hassan, A., Imran, M., & Wahit, M. U. (2012). Toughening of Polylactic Acid Nanocomposites: A Short Review. In *Polymer - Plastics Technology and Engineering* (Vol. 51, Issue 2, pp. 175–192). <https://doi.org/10.1080/03602559.2011.618329>
- Bao, Q., Wong, W., Liu, S., & Tao, X. (2022). Accelerated Degradation of Poly(lactide acid)/Poly(hydroxybutyrate) (PLA/PHB) Yarns/Fabrics by UV and O₂ Exposure in South China Seawater. *Polymers*, 14(6). <https://doi.org/10.3390/polym14061216>
- Chamayou, G. (2024). *A Theory of the Drone*. www.thenewpress.com
- Dogan, O. (2022). Short-term Creep Behaviour of Different Polymers Used in Additive Manufacturing under Different Thermal and Loading Conditions. *Strojniski Vestnik/Journal of Mechanical Engineering*, 68(7–8), 451–460. <https://doi.org/10.5545/sv-jme.2022.191>
- Farah, S., Anderson, D. G., & Langer, R. (2016). Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications — A comprehensive review. In *Advanced Drug Delivery Reviews* (Vol. 107, pp. 367–392). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2016.06.012>
- Javir, A. V., Pawar, K., Dhudum, S., Patale, N., & Patil, S. (2015). Design, Analysis and Fabrication of Quadcopter. *Journal of Advance Research in Mechanical & Civil Engineering* (ISSN: 2208-2379), 2(3), 16–27. <https://doi.org/10.53555/nnmce.v2i3.342>
- Katukam, R. (2014). Design of A Quad Copter and Fabrication. In *International Journal of Innovations in Engineering and Technology (IJIET)* (Vol. 4).
- Li, W., Wang, M., Ma, H., Chapa-Villarreal, F. A., Lobo, A. O., & Zhang, Y. S. (2023). *iScience Stereolithography apparatus and digital light processing-based 3D bioprinting for tissue fabrication*. <https://doi.org/10.1016/j.isci>

- Manju, R., Deepika, R., Gokulakrishnan, T., Srinithi, K., & Mohamed, M. I. (2019). A research on 3d printing concrete. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8(2 Special Issue 8), 1691–1693. <https://doi.org/10.35940/ijrte.B1134.0882S819>
- Mascarenhas, W. N., Ahrens, C. H., & Ogliari, A. (2004). Design criteria and safety factors for plastic components design. *Materials and Design*, 25(3), 257–261. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2003.10.003>
- Mishra, A., Singh Malhi, G., Singh, P., & Pal, S. (2020). STRUCTURAL ANALYSIS OF UAV AIRFRAME BY USING FEM TECHNIQUES: A REVIEW. In *Article in International Journal of Advanced Science and Technology*. www.tjprc.org
- Palik, M., & Nagy, M. (2019). Brief history of UAV development. *Repüléstudományi Közlemények*, 31(1), 155–166. <https://doi.org/10.32560/rk.2019.1.13>
- Parandha, S. M., & Li, Z. (2007). Design and Analysis of 3D Printed Quadrotor Frame. *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology ISO*, 3297. <https://doi.org/10.17148/IARJSET>
- Putra, H. M., Fikri, M. R., Riananda, D. P., Nugraha, G., Baidhowi, M. L., & Syah, R. A. (2020). Propulsion selection method using motor thrust table for optimum flight in multirotor aircraft. *AIP Conference Proceedings*, 2226. <https://doi.org/10.1063/5.0004809>
- Samykan, M. (2021). Mechanical Property and Prediction Model for FDM-3D Printed Polylactic Acid (PLA). *Arabian Journal for Science and Engineering*, 46(8), 7875–7892. <https://doi.org/10.1007/s13369-021-05617-4>
- Sha, L., Chen, Z., Chen, Z., Zhang, A., & Yang, Z. (2016). Polylactic acid based nanocomposites: Promising safe and biodegradable materials in biomedical field. *International Journal of Polymer Science*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/6869154>
- Shelare, S. D., Aglawe, K. R., & Khope, P. B. (2021). Computer aided modeling and finite element analysis of 3-D printed drone. *Materials Today: Proceedings*, 47, 3375–3379. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.07.162>
- Ṭura, D.-M., & Zaharia, S.-M. (2023). Design, Additive Manufacturing and Testing of a Quadcopter Drone. *Land Forces Academy Review*, 28(3), 245–254. <https://doi.org/10.2478/raft-2023-0029>
- Üçgün, H., Şeyh, B., Üniversitesi, E., Ökten, I., Yüzgeç, U., Üniversitesi, B., Uçgun, H., Okten, I., Yuzgec, U., & Kesler, M. (2022). Test Platform and Graphical User Interface Design for Vertical Take-Off and Landing Drones Test Platform and Graphical User Interface Design for Vertical Take-Off and Landing Drones Test Platform and Graphical User Interface

Design for Vertical Take-Off and Landing. In *Article in Romanian Journal of Information Science and Technology* (Vol. 25, Issue 3). <https://www.researchgate.net/publication/363923815>

Umair, M., Kirmani, Q. A., & Azhar, S. (2022). DESIGN AND FABRICATION OF HEAVY LIFT DRONE. In *Proceedings of the Air University Journal of Graduate Research* (Vol. 2, Issue 1).