



3D-Printed Autonomous Quadcopter

Budi Hartono

Prodi Teknik Aeronautika, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung
Jl. Gegerkalong Hilir, Ds. Ciwaruga, Bandung 40012
email : buhar@polban.ac.id

Abstrak

Struktur frame quadcopter rentan terhadap beban impak, khususnya saat quadcopter mengalami hard landing. Penelitian multirotor sebelumnya menggunakan frame dari material acrylic, komposit, plastik, dan aluminium. Pada penelitian ini, teknologi manufaktur aditif digunakan untuk membuat frame quadcopter. Frame DJI F450 digunakan sebagai frame referensi pada software Autodesk Fusion 360. Desain generatif dengan input material filamen PLA (Polylactic Acid) dilakukan pada tahap perancangan untuk memperoleh bentuk frame optimal yang menyatukan lengan quadcopter dan landing skid. Selain itu, simulasi pembebanan juga dapat dilakukan dalam Fusion. Kendala desain berupa dimensi komponen elektronika dan dimensi bed mesin 3D-printer perlu dipertimbangkan dengan baik. Bentuk frame terbaik dari studi generatif menjadi gambar kerja untuk Simplify 3D sebagai slicer software. Software ini mengatur persentase dan pola infill material dan melakukan simulasi apakah wujud akhir benda cukup kokoh atau tidak. 3D-printer FDM Inova 3D 205 digunakan untuk print dengan infill 40%. Flight controller, sistem pengolahan citra, dan semua komponen elektronika dirakit dalam 3D-printed frame. Daya motor 920KV dan diameter propeller sebanding dengan enam multirotor generasi sebelumnya. 3D-Printed Autonomous Quadcopter v4.1 dapat terbang stabil, fully autonomous, dan terbang simulasi SAR dengan menerapkan sistem pengolahan citra. Tidak terdapat kerusakan frame akibat hard landing atau benturan lainnya selama quadcopter melakukan uji terbang.

Kata kunci: quadcopter, desain generatif, 3D printing

1. Pendahuluan

Pada penelitian sebelumnya, Hartono (2015-2019) telah merancang-bangun multirotor dengan frame (rangka) menggunakan material acrylic, komposit, dan pelat aluminium pada *centre main plate* dan aluminium hollow pada lengan multirotor ^[2,3,5], sedangkan material plastik (PA66+30GF) digunakan pada penelitian quadcopter yang lain ^[4]. Flight controller yang digunakan pada penelitian tersebut adalah ArduPilot dan ArduFlyer.

Frame quadcopter terdiri dari pelat utama, lengan quadcopter, dan landing skid. Pada penelitian ini, frame quadcopter dibuat dari hasil 3D-printing. Sebelum proses manufaktur dengan 3D-printer, frame disimulasikan melalui perangkat lunak desain generatif. 3D-printing sering disebut sebagai *Additive Manufacturing*. Dalam 3D-printing, perancang membuat design suatu benda menggunakan perangkat lunak dan mesin 3D-printer membuat benda tersebut dengan cara menambahkan lapis-demi-lapis material hingga wujud akhir benda terbentuk. Benda yang dibuat dapat terbentuk dari beragam material printing, seperti plastik, serbuk, filamen, dan kertas.

Radharamanan et al. (2016) ^[7] melakukan penelitian quadcopter dari hasil 3D-printing. Dua perangkat lunak desain digunakan, 123 D Design dan MeshMixer. Dua mesin 3D-printer juga digunakan. 3D-printer MakerBot Replicator 2X digunakan untuk membuat lengan quadcopter menggunakan material ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*), sedangkan pelat

utama dan landing skid di-print menggunakan Flashforge Creator Pro dengan material PLA (*Polylactic Acid*). Quadcopter drone dirancang, dibuat, dan dilakukan uji terbang.

Pada penelitian ini, frame quadcopter dirancang menggunakan perangkat lunak desain generatif Autodesk Fusion 360 dari frame DJI Flame Wheel F450. Teknologi 3D-printing yang digunakan adalah Fused Deposition Modeling (FDM) dengan material PLA. Perangkat lunak pengiris (*slicer software*) yang digunakan adalah Simplify 3D. Software ini yang memberikan perintah print dengan pengaturan persentase dan pola infill. Quadcopter merupakan wahana terbang yang tidak stabil. Hal yang menarik untuk mengetahui apakah quadcopter dengan frame hasil 3D-printing ini dapat terbang dengan stabil, melakukan terbang fully autonomous, dan melakukan misi terbang simulasi SAR dengan menerapkan sistem pengolahan citra (*image processing*).

2. Metodologi

Pada penelitian ini dilakukan survey terhadap enam multirotor yang telah dibuat sebelumnya; khususnya terkait dengan jenis material frame, panjang lengan, dan massa multirotor. Studi desain generatif dilakukan melalui perangkat lunak Autodesk Fusion 360 dengan frame DJI Flame Wheel F450 sebagai referensi. Quadcopter dibuat menggunakan teknologi 3D-printing dengan metode Fused Deposition Modeling (FDM), mesin 3D-printer FDM Inova 3D 205, material filamen PLA (*Polylactic Acid*), dan 2 konfigurasi print dengan infill 15% dan 40% menggunakan perangkat lunak Simplify 3D.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Quadcopter pada Penelitian Sebelumnya

Hartono (2015-2019) telah melakukan rancang-bangun multirotor dengan spesifikasi ditunjukkan pada Tabel 1^[2,3,4,5]. Perhatikan jenis material pelat utama dan lengan multirotor, serta massa frame tiap multirotor. Semua quadcopter yang dibuat memiliki konfigurasi X. Dengan demikian, yang dimaksud jarak antar motor merupakan jarak diagonal antara sumbu motor kiri depan dan sumbu motor kanan belakang.

Tabel 1. Perbandingan fisik quadcopter yang pernah dibuat

	Quadcopter v1	Quadcopter v2.1	Quadcopter v2.2	Quadcopter v3	Quadcopter v4.2	Tricopter v1
Material pelat utama	glass fibre epoxy resin	acrylic	carbon fibre epoxy resin	PA66+30GF	PA66+30GF	aluminium plate
Material lengan	aluminium hollow	aluminium hollow	aluminium hollow	PA66+30GF	PA66+30GF	aluminium hollow
Jarak antar motor (cm)	45	44.5	52.6	45	45	30 (panjang lengan)
Massa frame (gram)	173.7	440	400	282	282	700
Massa total (gram)	915	1,500	1,365	1,312	1,250	1,700
Flight controller	ArduFlyer v2.5	ArduFlyer v2.5	ArduFlyer v2.5	ArduPilot Mega v2.8	ArduPilot Mega v2.8	Super APM v2.8
Motor (KV)	920	980	980	920	920	980
Propeller	9.5 × 4.5	10 × 4.5	10 × 4.7	10 × 4.5	10 × 4.5	10 × 4.5

Pada Tabel 1 di atas, massa frame yang dimaksud adalah penjumlahan massa pelat utama (*centre plate*), lengan quadcopter, dan landing skid. Dari keenam multirotor tersebut, Quadcopter v1 tidak memiliki landing skid, sehingga memiliki massa frame paling ringan, yakni 173.7 gram. Tricopter v1 memiliki massa frame paling berat; karena ketiga lengan dan landing skid terbuat dari aluminium hollow, sementara *centre plate* terbuat dari pelat aluminium.

Gambar 1 menunjukkan Autonomous Quadcopter v1 (kiri) dan Autonomous Tricopter v1 (kanan). Kedua wahana terbang ini mampu terbang fully autonomous; mulai dari tinggal landas (*take off*), terbang antar waypoint, hingga mendarat (*landing*).

Gambar 2 menunjukkan Autonomous Quadcopter v2.1 (kiri) dan Autonomous Quadcopter v2.2 (kanan). Kedua quadcopter ini juga mampu terbang fully autonomous seperti quadcopter generasi pertama yang dibuat. Misi terbang Quadcopter v2.1 adalah ketepatan titik pendaratan, sedangkan misi terbang Quadcopter v2.2 adalah ketepatan tinggi terbang dengan menggunakan sensor barometer (*digital pressure sensor*) dan SONAR (*SOund Navigation And Ranging*).



Gambar 1. Autonomous Quadcopter v1 (kiri) dan Autonomous Tricopter v1 (kanan)



Gambar 2. Autonomous Quadcopter v2.1 (kiri) dan v2.2 (kanan)

Gambar 3 menunjukkan Anti-Collision Quadcopter v3 (kiri) dan Follow-Me Quadcopter v4.2 (kanan). Quadcopter v3 memiliki sistem anti-collision dengan menerapkan sensor ultrasonik HC-SR04. Quadcopter v4.2 berhasil melakukan misi terbang follow-me pada matra longitudinal dengan menerapkan sensor sinyal Wi-Fi menggunakan Modul ESP8266. Quadcopter v4.2 juga memiliki kemampuan obstacle avoidance dengan menerapkan sensor TF Mini LiDAR (*Light Detection And Ranging*). Selain itu, Quadcopter v4.2 juga dapat diterbangkan dengan menggunakan smartphone Android.

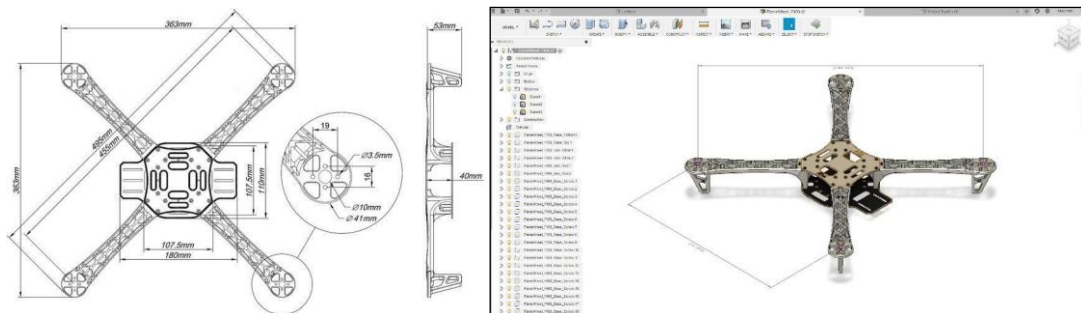


Gambar 3. Anti-Collision Quadcopter v3 (kiri) dan Follow-Me Quadcopter v4.2 (kanan)

3.2 Desain Generatif

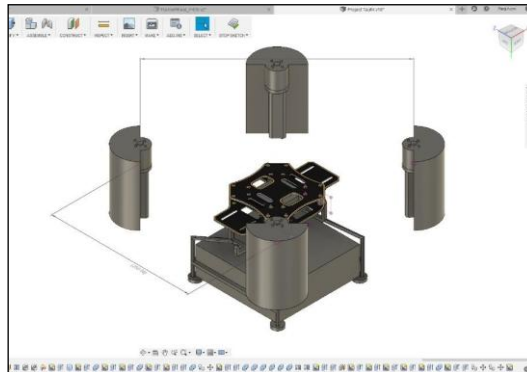
Desain generatif (*generative design*) merupakan proses eksplorasi desain. Perancang memasukkan tujuan perancangan ke dalam perangkat lunak desain generatif, bersama dengan parameter seperti persyaratan kinerja atau spasial, material, metode manufaktur, dan kendala biaya. Perangkat lunak ini mengeksplorasi semua permutasi yang mungkin dari suatu solusi, dengan cepat menghasilkan alternatif desain. Perangkat lunak ini menguji dan belajar dari setiap iterasi apa yang berhasil dan apa yang tidak [1].

Desain generatif pada penelitian ini menggunakan perangkat lunak Autodesk Fusion 360. Frame quadcopter yang digunakan sebagai acuan dasar proses desain generatif adalah DJI Flame Wheel F450 (lihat Gambar 4). DJI F450 ini merupakan frame yang digunakan pada Quadcopter v3 dan v4.2



Gambar 4. Frame quadcopter DJI F450 (kiri) digunakan sebagai frame referensi di Autodesk Fusion 360 (kanan)

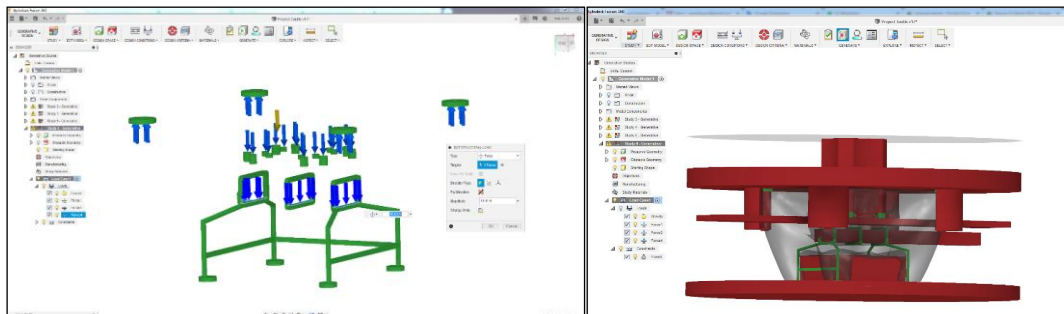
Dimensi pelat utama, lengan quadcopter, dan landing skid menjadi input sebelum proses studi generatif dilakukan. Perhatikan Gambar 5, penempatan motor brushless, modul kamera, baterai, serta semua komponen elektronika lainnya harus dipertimbangkan.



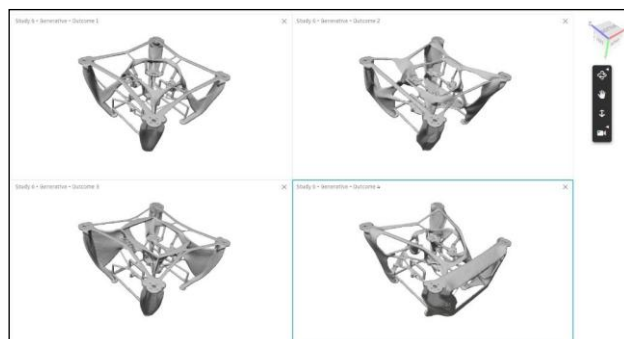
Gambar 5. Perancangan sebelum studi generatif dilakukan

Langkah selanjutnya adalah penentuan letak pembebanan (*loading*) dan penentuan kendala desain (*design constraint*) seperti ditunjukkan Gambar 6. Mesin 3D-printer milik Politeknik Negeri Bandung memiliki dimensi bed printer 250×250 milimeter. Oleh karenanya, dimensi quadcopter yang dibuat tidak melebihi dimensi bed printer.

Setelah kendala disain dan jenis material diberikan, Fusion 360 melakukan perhitungan, simulasi, dan memberikan beberapa alternatif solusi bentuk akhir benda. Gambar 7 menampilkan quadcopter hasil desain generatif. Selanjutnya, opsi desain terbaik dicetak dengan menggunakan mesin 3D-printer.



Gambar 6. Penentuan letak pembebanan (kiri) dan penentuan kendala desain (kanan)

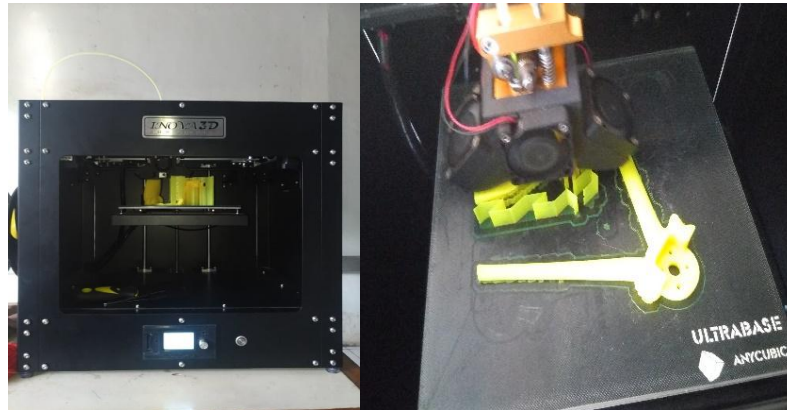


Gambar 7. Quadcopter hasil desain generatif

3.3 Proses 3D Printing

Sejak tahun 2010, American Society for Testing and Materials (ASTM) group “ASTM F42 – Additive Manufacturing”, mengembangkan satu set standard yang membuat klasifikasi proses manufaktur aditif ke dalam 7 kategori berdasarkan pada terminologi standard teknologi manufaktur aditif [8]. Salah satu diantaranya adalah ekstrusi material, yakni Fused Deposition Modeling (FDM).

Teknologi FDM bekerja menggunakan filamen plastik atau kawat logam. Material filamen tersebut dimasukkan ke nozzle ekstrusi yang dapat melepas dan menahan aliran. Nozzle dipanaskan untuk melelehkan material dan dapat digerakkan ke arah horizontal dan vertikal dengan mekanisme yang dikendalikan secara numerik, dikendalikan langsung oleh paket perangkat lunak computer-aided manufacturing (CAM). Benda diproduksi dengan mengekstrusi material yang meleleh untuk membentuk lapisan ketika material mengeras segera setelah ekstrusi dari nozzle. Teknologi ini paling banyak digunakan dengan dua tipe plastik filamen 3D-printer, ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*) dan PLA (*Polylactic Acid*).



Gambar 8. Mesin FDM Inova 3D 205 (kiri) dan proses 3D-printing (kanan)

Dalam 3D-printing, istilah “infill” mengacu pada struktur yang dicetak di dalam suatu benda. Infill ini diekstrusi dalam persentase dan pola yang ditentukan, yang diatur dalam perangkat lunak pengiris (*slicing*). Persentase dan pola infill mempengaruhi berat cetak, penggunaan bahan, kekuatan, waktu cetak, dan terkadang sifat dekoratif [6]. Secara umum, semakin tinggi persentase infill, semakin kuat hasil cetak; tetapi semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk mencetak. Software Simplify 3D mengatur infill filamen dan memberi perintah print melalui G-code ke 3D-printer. Konfigurasi print dengan infill 15% dan 40% telah dilakukan. Infill layer 15% menghasilkan frame yang tidak kokoh. Gambar 8 menunjukkan mesin 3D-printer yang digunakan dan proses 3D-printing dengan infill 40%.

3.4 3D-Printed Autonomous Quadcopter v4.1

Gambar 9 menunjukkan frame hasil 3D-printing PLA. Semua komponen yang sebelumnya disimulasikan dalam Fusion 360, dapat diletakkan pada posisi masing-masing dengan mudah. Kamera diletakkan menghadap ke bawah. *Brushless* motor dan propeller yang digunakan tidak jauh berbeda dengan multirotor pada penelitian sebelumnya (bandingkan dengan Tabel 1).



Gambar 9. 3D-printed frame (kiri) dan 3D-Printed Autonomous Quadcopter v4.1 (kanan)



Tabel 2. 3D-Printed Autonomous Quadcopter v4.1 memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Jarak antar motor : 36 cm	Flight controller : Pixhawk 2.4.8
Massa frame : 390 gr	Brushless motor : DJI Motor 2212 / 920KV
Massa total : 1,300 gr	Propeller : 9047 propeller, 9 × 4.7

Quadcopter ini dilengkapi sistem pengolahan citra (*image processing*) menggunakan Raspberry Pi 3 B+ dengan kamera modul 5 MP. TF Mini LiDAR (*Light Detection and Ranging*) digunakan sebagai sensor ketinggian. Semua komponen dirakit pada frame quadcopter. Quadcopter v4.1 terlihat lebih kompak dibandingkan quadcopter generasi sebelumnya. Frame hasil 3D-printing tidak mempengaruhi prestasi terbang quadcopter. Wahana ini dapat terbang stabil, terbang fully autonomous, dan melakukan misi terbang simulasi SAR menggunakan sistem pengolahan citra. Tidak terdapat kerusakan yang berarti pada frame akibat hard landing selama uji terbang dilakukan.

4. Kesimpulan

Dengan Autodesk Fusion 360, perancang dapat melakukan studi desain generatif. Alternatif desain terbaik diperoleh dengan pertimbangan kendala desain; berupa dimensi, massa frame, dan kekuatan struktur. Dari simulasi kekuatan struktur quadcopter, letak struktur yang mendapat pembebanan besar diketahui dan dapat diperbaiki sebelum proses manufaktur dilakukan. Dengan Simplify 3D, perimbangan kekuatan struktur terhadap massa frame dilakukan melalui pengaturan persentase dan pola infill. Infill filamen PLA 40% menghasilkan massa frame 390 gram yang kokoh.

Dengan 3D-printing, lengan quadcopter dan landing skid yang biasanya merupakan komponen terpisah; dengan teknologi material aditif ini keduanya menjadi satu frame terintegrasi dan kompak. 3D-Printed Quadcopter v4.1 memiliki dimensi yang lebih kecil dibandingkan quadcopter yang pernah dibuat perancang. Quadcopter v4.1 telah melakukan serangkaian uji terbang. Tidak ada kerusakan struktur yang berarti akibat benturan quadcopter dengan permukaan tanah.

Daftar Pustaka

- [1] Autodesk, 2019, *Generative Design*, 22 November 2019, <https://www.autodesk.com/solutions/generative-design>.
- [2] Hartono, B. 2017, Penerapan Kendali Terbang PID pada Fully Autonomous Quadcopter, *Rekayasa dan Aplikasi Teknik Mesin di Industri XVI*, p. TSKP 1-7.
- [3] Hartono, B. 2017, Fully Autonomous Quadcopter Menggunakan ArduFlyer, *Rekayasa dan Aplikasi Teknik Mesin di Industri XVI*, p. TSKP 8-13.
- [4] Hartono, B. 2018, Respon Gerak Kestabilan Dinamik Quadcopter Akibat Input Kendali pada Matra Longitudinal dan Lateral, *Rekayasa dan Aplikasi Teknik Mesin di Industri XVII*, p. TSKP 7-13.
- [5] Hartono, B. 2018, Pengaturan Konstanta Acro dan PID Setting pada Autonomous Tilted Tail-Rotor Tricopter, *Rekayasa dan Aplikasi Teknik Mesin di Industri XVII*, p. TSKP 14-20.
- [6] Huebner, M. 2018, *3D Printing Tech Tips: Infill Percentage and Pattern Explained*, 22 November 2019, <https://3dplatform.com/3d-printing-tech-tips-infill-percentage-and-pattern-explained/>.
- [7] Radharamanan, R. Rosa, A.C.M. Neto, B.D. and Santos, V.F.B. 2016, Use of 3D Printers to Design, Build, Test and Fly a Quadcopter Drone, *The Journal of Management and Engineering Integration*, vol.9, no.1, p. 24-27.
- [8] Strikwerda, P. 2019, *Types of 3D Printing Technologies and Processes*, 22 November 2019, <https://3dprinting.com/what-is-3d-printing/>.