

PERENCANAAN DAN PEMBUATAN STRUKTUR RANGKA MULTICOPTER DENGAN KONFIGURASI TIGA BALING-BALING (*TRICOPTER*)

Alfakhri Biranda^[1], Kaspul Anuar^[2], Musthafa Akbar^[3]

Laboratorium Konstruksi Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau,
Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru, 28293, Indonesia
^[1]birandaalfakhri@gmail.com, ^[2]kaspul_anuar_2@yahoo.com, ^[3]akbarmst@gmail.com

ABSTRACT

Tricopter is one type of multicopter that has advantages in terms of total mass, volume and energy consumption. To make the Atha Mapper 2150 spacecraft capable of vertical take-off and landing, it is necessary to integrate the tricopter vehicle with the Atha Mapper 2150 vehicle. Therefore, in this study the tricopter frame structure is designed to be able to transport the Atha Mapper 2150 payload with MTOW less than 6 kg. The design process begins with the study of literature to understand the theories and concepts of material related to the research topic. Then determination of Design Requirement and Objective (DRO) based on the mission to make the Atha Mapper 2150 capable of taking off and landing vertically. The tricopter frame designed by Solidworks software. The frame of tricopter is made using Carbonfiber Reinforced Polymer (CFRP) on the arm and middle plate, acrylic for clamp and Polyactic Acid (PLA) for mounting motor. after the manufacturing is complete, the make measurement of the result of manufacture. the results obtained have a total mass of 686 grams with the outline dimensions in accordance with the requirements.

Keywords : *Tricopter, frame structure, MTOW, CFRP*

1. Pendahuluan

Multicopter merupakan wahana terbang tanpa awak berbentuk seperti *helicopter* dengan motor dan baling-baling lebih dari satu [1]. Keunggulan *multicopter* jika di bandingkan dengan wahana terbang lainnya yaitu kemampuannya untuk terbang secara vertikal, kemampuan untuk diam di udara dan kemampuan terbang di ruang udara terbuka yang sempit. *Multicopter* dapat dikendalikan secara manual dengan menggunakan perangkat radio atau secara *autopilot* dengan menggunakan perangkat komputer mikro. *Multicopter* telah digunakan untuk keperluan sipil dengan berbagai macam tujuan, seperti pemetaan (*mapping*), pemantauan (*monitoring*), survey area terjadinya bencana alam, pemantauan arus lalu lintas, transportasi barang di daerah terpencil dan penelitian atmosfer udara. Salah satu jenis dari *multicopter* yang memiliki tiga motor dan tiga baling-baling disebut *tricopter*.

Atha Mapper 2150 merupakan wahana terbang karya tim robot terbang Universitas Riau yang telah rampung di rancang bangun pada akhir bulan mei 2018. Atha Mapper 2150 adalah *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) tipe *fixed wing* dengan bentang sayap sepanjang 2.150 mm dan ekor berbentuk *T-Tail* [2]. Sesuai dengan namanya, Atha Mapper 2150 digunakan untuk mendukung kegiatan pemetaan (*mapping*) suatu area, baik itu area perkebunan, pemukiman maupun hutan tanaman industri.

Penggunaan wahana terbang tipe *fixed wing* seperti Atha Mapper 2150 memiliki kelemahan pada saat melakukan lepas landas dan mendarat.

Perkembangan teknologi wahana terbang tipe *fixed wing* akhir-akhir ini sudah mengarah ke jenis *Vertical Take-Off and Landing* (VTOL). Wahana terbang VTOL *Fixed Wing* merupakan wahana hasil penggabungan antara *multicopter* dengan *fixed wing*. Kelebihan wahana ini yaitu mampu lepas landas dan mendarat secara vertikal. Kemudian, pada saat akan melakukan misi pemetaan, wahana VTOL *fixed wing* akan melakukan transisi dari mode *copter* ke mode *plane* dan terbang dengan kecepatan jelajah, sehingga efisiensi penggunaan daya baterai menjadi lebih maksimal.

Untuk menjadikan Atha Mapper 2150 mampu melakukan lepas landas dan mendarat secara vertikal, perlu dilakukan penggabungan antara Atha Mapper 2150 dengan *multicopter*. Jenis *multicopter* yang akan diintegrasikan pada Atha Mapper 2150 adalah jenis *tricopter*. Jika dibanding dengan jenis *multicopter* lainnya, *tricopter* memiliki keunggulan dalam hal massa total, volume dan konsumsi energi [3]. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dirancang bangun sebuah rangka *tricopter*. Rangka *tricopter* ini kedepan akan diintegrasikan pada wahana Atha Mapper 2150.

2. Metodologi

Metode yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan metode perancangan dan analisis

2.1 Studi Pustaka

Proses penelitian ini diawali dengan studi kepustakaan atau pengumpulan materi yang akan dijadikan teori dasar pada penelitian ini. Hal ini

dilakukan untuk mendapatkan pemahaman yang efektif mengenai teori dan konsep materi yang berhubungan dengan topik penelitian. Materi didapatkan melalui berbagai cara seperti studi literatur dari pustaka yang ada di Fakultas Teknik maupun pustaka Universitas Riau. Selain itu juga didapatkan melalui artikel ilmiah baik Nasional maupun International.

2.2 Design Requirement and Objective (DRO)

Sebelum melakukan pemodelan struktur rangka *tricopter* yang dapat diintegrasikan pada wahana terbang Atha Mapper 2150, ada beberapa persyaratan dan variabel yang perlu diketahui terlebih dahulu. Hal pertama yang diperlukan adalah spesifikasi Atha Mapper 2150. Berikut ditampilkan tabel 1, Spesifikasi Atha Mapper 2150.

Tabel 1. Spesifikasi Atha Mapper 2150

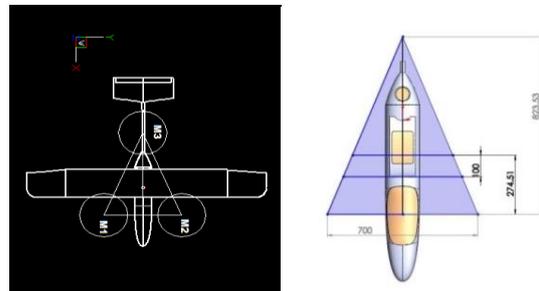
Parameter	Keterangan
Bentang sayap	2150 mm
Chord	280 mm
Panjang wahana	1680 mm
Jarak antar sumbu motor	700 mm
Maximum Take-Off Weight	4.75 kg
Material	Fiberglass, Carbon fiber dan Hardfoam
Flight time	30 menit
Propulsi	Brushless motor 980kv (twin)
Kapasitas Baterai	10.800 mAh (4 sell)

2.2.1 Estimasi Maximum Take-off Weight (MTOW) dan Perhitungan Sistem Tenaga Pendorong.

Berdasarkan tabel 1, *Maximum Take-Off Weight* (MTOW) wahana Atha Mapper 2150 bernilai sebesar 4,75 kg. Untuk dapat melakukan *take-off* secara vertikal, *tricopter* harus mampu mengangkat beban MTOW Atha Mapper 2150 ditambah dengan massa rangka *tricopter* dan massa satu paket sistem propulsi tambahan (motor, *propeller* dan ESC). Sesuai dengan batasan masalah, massa wahana VTOL *fixed wing* (Atha Mapper 2150 + *Tricopter*) tidak lebih dari 6 kg. Oleh karena itu, *tricopter* didesain memiliki gaya angkat (*thrust*) lebih besar dari 6 kg agar mampu melakukan *take-off* secara vertikal. Jadi, kebutuhan *thrust* untuk satu *motor brushless* pada *tricopter* minimal sebesar 2 kg (disarankan lebih besar). Kebutuhan gaya angkat (*thrust*) motor ini disesuaikan dengan ketersediaan produk *motor brushless* di pasaran. Setelah dilakukan pencarian, didapatkan *motor brushless* X4110S 340KV dipilih sebagai motor penggerak wahana terbang *tricopter*

2.2.2 Dimensi Rangka *Tricopter*

Dimensi rangka *tricopter* yang akan di desain harus mengacu kepada tabel spesifikasi Atha Mapper 2150 diatas. Hal ini bertujuan agar rangka *tricopter* dapat diintegrasikan pada wahana Atha Mapper 2150. Berikut ditampilkan gambar 2, Dimensi Rangka *Tricopter*.



Gambar 2. Acuan Dimensi Rangka *Tricopter*

2.2.3 Desain Rangka *Tricopter*

Pembuatan desain rangka *tricopter* harus mengacu kepada gambar 2, acuan dimensi rangka *tricopter*. Material penyusun struktur rangka *tricopter* terdiri dari; *carbonfiber*, *acrylic* dan *Polyactic Acid Filament* (PLA). Setelah didapatkan produk virtual (desain) rangka *tricopter*, kemudian dilakukan perhitungan MTOW Final dari wahana *tricopter* [4]. Berikut ditampilkan gambar 3, Desain rangka *tricopter* dan tabel 2, Perhitungan MTOW Final *Tricopter*.



Gambar 3. Desain Rangka *Tricopter*

Tabel 2. Perhitungan MTOW Final *Tricopter*

No	Komponen	Massa
1	Rangka <i>Tricopter</i>	519.3 gram
2	<i>Payload</i>	4750 gram
3	<i>Motor Brushless</i> SunnySky X4110S 340KV	148 gram
4	ESC 40 Ampare	38.5 gram
5	Motor Servo	20 gram
6	<i>Propeller</i> TM1759 (17 inch)	14.5 gram

Dari tabel diatas, diketahui bahwa *Maximum Take-Off Weight* (MTOW) final wahana *tricopter* sebesar 5490.3 gram. Dengan demikian MTOW wahana *tricopter* memenuhi kriteria yang telah ditetapkan yaitu sebesar ≤ 6 kg.

2.3 Perencanaan dan Pembuatan

Sebelum dilakukan proses pembuatan komponen penyusun rangka *tricopter*, hal pertama yang perlu dilakukan yaitu tahap perencanaan [5]. Adapun komponen-komponen dari rangka *tricopter* terdiri dari; lengan, plat tengah, *clamp* penyambung dan *mounting* motor. Material penyusun lengan dan plat tengah yaitu *Carbonfiber Reinforced Polymer* (CFRP), sedangkan untuk *clamp* penyambung terbuat dari *acrylic* dan *mounting* motor terbuat dari *Polyactic Acid* (PLA) yang dicetak menggunakan printer tiga dimensi. Berikut ditampilkan tahapan pembuatan komponen-komponen penyusun rangka *tricopter*.

1. Pembuatan cetakan lengan

Pada pembuatan lengan proses pencetakan dilakukan sebanyak 2 kali. Hal ini dilakukan karena bagian *fuselage* yang akan di cetak terdiri dari dua bagian, yaitu bagian kanan dan bagian kiri. Berikut ditampilkan gambar 5 – 8, Proses pembuatan cetakan lengan *tricopter*:

- a. Pada tahap awal pembuatan yaitu pertama sediakan *molding* lengan yaitu besi *hollow galvanis* ukuran 20 mm x 20 mm sepanjang 1 meter, kemudian pasang triplek melamin di bagian tengahnya. Kemudian lakukan pemberian lapisan *wax* pada permukaan sisi cetakan lengan. Berikut ditampilkan proses pemberian *wax* pada gambar 5.



Gambar 5. Proses pemberian *wax*

- b. Kemudian dilanjutkan dengan pemberian resin pada permukaan cetakan menggunakan resin *gelcoat* dengan takaran: *gelcoat* 150 gr, *cobalt* 0,75 ml, *katalis* 3 ml, *pigmen warna* 7.5 gr. Kemudian oleskan keseluruhan bagian permukaan *primer molding* hingga merata, lalu biarkan hingga kering. Berikut ditampilkan lapisan resin *gelcoat* pada gambar 6.



Gambar 6. Lapisan resin *gelcoat*

- d. Selanjutnya melapisi cetakan dengan *fiberglass* menggunakan resin AB. Takaran resin AB yang digunakan yaitu 2:1. Kemudian dilakukan proses vakum untuk mengurangi kelebihan resin dan menghilangkan udara yang terperangkap (*voids*) pada cetakan. Berikut ditampilkan proses *vacuum bagging* pada gambar 7.



Gambar 7. Proses *vacuum bagging*

- c. Terakhir, potong bagian sudut cetakan yang sudah kering menggunakan gerinda tangan. Setelah itu dilanjutkan dengan pembuatan lubang untuk baut pada kedua sisi cetakan agar kedua bagian dapat disambung. Berikut ditampilkan proses pemotongan pada gambar 8.



Gambar 8. Proses pemotongan

2. Pembuatan lengan *tricopter*

Adapun langkah-langkah pada proses pembuatan lengan *tricopter* yaitu:

- a. Proses pertama melakukan pemotongan serat karbon sepanjang 50 cm. Kemudian serat karbon yang telah dipotong di timbang menggunakan timbangan digital. Berikut ditampilkan proses pemotongan serat karbon pada gambar 9.



Gambar 9. Proses pemotongan serat karbon

- b. Selanjutnya pemberian lapisan *wax* pada permukaan cetakan lengan. Berikut ditampilkan proses pemberian lapisan *wax* pada gambar 10.



Gambar 10. Pemberian lapisan wax

- c. Ketiga, setelah pemberian wax kemudian serat karbon yang telah dipotong di cetak menggunakan metode *hand lay-up* sebanyak 6 lapis. Proses pencetakan menggunakan resin AB dengan takaran 2:1. Berikut ditampilkan metode *hand lay-up* pada gambar 11.



Gambar 11. Metode *hand lay-up*

- d. Selanjutnya, cetakan spesimen lengan dimasukkan kedalam *vacuum bag*, kemudian dilakukan proses vakum. Penggunaan *vacuum bag* dimaksudkan untuk mengurangi kemungkinan terjadinya *voids* pada komposit. Berikut ditampilkan proses *vacuum bagging* pada gambar 12.



Gambar 12. Proses *Vacuum bagging*

- e. Setelah spesimen lengan kering setiap bagian sudut dari spesimen akan dipotong menggunakan alat gergaji, kemudian dirapikan menggunakan gerinda tangan hingga bagian bawah spesimen rata. Berikut ditampilkan proses pemotongan pada gambar 13.



Gambar 13. Proses pemotongan spesimen lengan *tricopter*

- f. Selanjutnya proses penyambungan kedua bagian spesimen menggunakan lem *epoxy* dan didapatkan hasil seperti gambar 14.

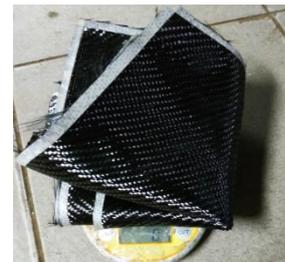


Gambar 14. Hasil penyambungan spesimen lengan

3. Pembuatan Plat Tengah *Tricopter*

Adapun langkah-langkah pembuatan plat tengah adalah sebagai berikut:

- a. Proses pertama melakukan pemotongan serat karbon. Kemudian serat karbon yang telah dipotong kemudian di timbang menggunakan timbangan digital.



Gambar 15. Proses pemotongan dan penimbangan serat karbon

- b. Kemudian, pemberian lapisan wax sebanyak 6 lapis pada permukaan cetakan plat tengah. Berikut ditampilkan proses pemberian lapisan wax pada gambar 16.



Gambar 16. Pemberian lapisan wax

- c. Selanjutnya timbang resin dan *hardener* dengan takaran 2:1. Proses penimbangan resin ditampilkan pada gambar 17.



Gambar 17. Menimbang resin dan *hardener*



Gambar 20. Proses pembuatan sambungan

- d. Setelah serat karbon dipotong dan resin ditimbang proses selanjutnya yaitu pencetakan spesimen plat tengah dengan metode *hand lay up*. Berikut ditampilkan metode *hand lay-up* pada gambar 18.



Gambar 18. Proses mengoleskan resin pada serat karbon

- e. Setelah spesimen plat tengah kering selanjutnya potong spesimen dengan menggunakan gergaji mesin. Berikut ditampilkan hasil cetakan spesimen plat tengah pada gambar 19.



Gambar 19. Proses pemotongan spesimen plat tengah

4. Sambungan plat tengah dan lengan

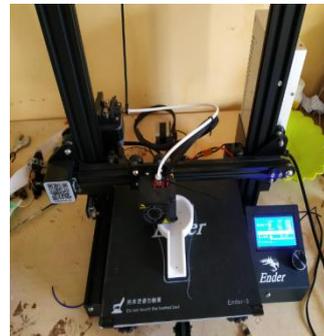
Pada awal proses pembuatan sambungan antara plat tengah dan lengan digambarkan dahulu dimensinya pada bahan *acrylic*, dimensi *acrylic* 40mm x 40mm kemudian *acrylic* dipotong membentuk sketsa ukuran yang sudah digambar. Proses pemotongan dilakukan dengan gerinda mesin, setelah itu *acrylic* dilubangi menggunakan mesin *drill* untuk pemasangan baut. Berikut ditampilkan Proses pembuatan sambungan ditampilkan pada Gambar 20.

5. Prosedur umum pembuatan *mounting* motor

Proses pembuatan *mounting* motor dilakukan menggunakan bantuan printer tiga dimensi [6]. Berikut dijelaskan prosedur umum pembuatan *mounting* motor menggunakan mesin printer 3D:

1. Langkah pertama, lakukan pemodelan atau desain *mounting* motor dengan bantuan software Solidworks secara tiga dimensi.
2. Hasil desain dikonversi ke dalam format STL, File format dimasukkan kedalam SD Card.
3. Kemudian mesin printer 3D di hubungkan ke arus listrik.
4. Tekan tombol ON.
5. Setelah itu *bed* dan *nozzle* pada mesin printer 3D dipanaskan dengan *setting* temperature 200 derajat celsius.
6. Tekan perintah print pada layar printer 3D.
7. Tunggu sampai produk *mounting* motor selesai di cetak.

Berikut ditampilkan gambar 21, Proses pencetakan *mounting* motor.

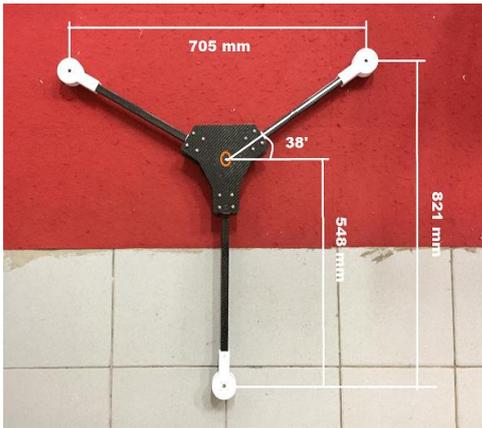


Gambar 21. Proses pencetakan *mounting* motor

3. Hasil Dan Pembahasan

3.1 Hasil Pembuatan

Setelah didapatkan hasil simulasi statik terhadap struktur rangka *tricopter*, kemudian dilanjutkan dengan proses pembuatan. Berikut ditampilkan hasil produksi dari rangka *tricopter* pada gambar 22 dan 23.



Gambar 22. Hasil pembuatan



Gambar 23. Massa total rangka tricopter

Setelah didapatkan produk rangka tricopter, kemudian dilanjutkan dengan proses pengukuran. Berikut ditampilkan tabel 3 dan tabel 4 perbandingan antara hasil desain dengan hasil produksi.

Tabel 3. Perbandingan massa komponen

No	Komponen	Jumlah	Massa Desain (gr)	Massa Aktual (gr)
1	Plat Tengah	2	164,4 gram	154 gram
2	Lengan M ₁	1	38,5 gram	52 gram
3	Lengan M ₂	1	38,5 gram	53 gram
4	Lengan M ₃	1	50,2 gram	71 gram
5	Clamp Penyambung	6	134,4 gram	126 gram
6	Mounting Motor	3	93,3 gram	156 gram
7	Baut M4	12	-	72 gram
Total			519,3 gram	686 gram

Berdasarkan tabel 3, dapat dilihat perbedaan massa total antara hasil desain dengan hasil pembuatan mencapai 164,7 gram. Penyebab dari perbedaan massa total ini yaitu massa hasil pembuatan sudah dirakit sedemikian rupa menggunakan pasangan mur dan baut, sedangkan massa desain tidak menggunakan pasangan mur dan baut dalam pemodelannya. Selain itu, penyebab massa hasil pembuatan lebih berat dibanding masa desain adalah adanya kelebihan resin pada saat proses pembuatan.

Tabel 4. Perbandingan dimensi komponen

Komponen	Dimensi desain (mm)	Dimensi produk (mm)
Panjang lengan M ₁	340	350
Panjang lengan M ₂	340	350
Panjang lengan M ₃	549	559
Tebal plat tengah	2	2
Profil penampang lengan M ₁	(20 x 20 x 1)	(20 x 20 x 1.2)
Profil penampang lengan M ₂	(20 x 20 x 1)	(20 x 20 x 1.2)
Profil penampang lengan M ₃	(20 x 20 x 1)	(20 x 20 x 1.2)
Clamp penyambung	(50 x 50 x 10)	(50 x 50 x 10)

Berdasarkan tabel 4, dapat dilihat dimensi produk telah sesuai dengan dimensi pada desain. Namun untuk hasil produksi lengan memiliki tebal yang melebihi dimensi desain. Hal ini disebabkan adanya kelebihan resin dan kesalahan pada saat proses pembuatan komponen lengan.

4 Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

- 1) Telah dihasilkan produk virtual (desain) rangka tricopter dengan dimensi secara garis besar telah sesuai dengan syarat agar bisa diintegrasikan pada wahana Atha Mapper 2150.
- 2) Setelah dilakukan pengukuran, dimensi rangka tricopter telah mendekati hasil pemodelan dengan massa total sebesar 686 gram. Rangka tricopter siap untuk diinstal perangkat elektroniknya untuk kemudian diuji performansi dan prestasi terbangnya.

5 Ucapan Terima Kasih

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah S.W.T yang telah memberikan rahmat dan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan jurnal ini. Ucapan terima kasih disampaikan kepada Workshop Serindit Aero dan Laboratorium Konstruksi Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau yang telah memberikan fasilitas pendukung sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan lancar.

6 Daftar Pustaka

- [1] Kilby, T and Belinda Kilby. 2010. *Build and Customize your own quadcopter*. San Fransisco: Maker Media
- [2] Prayitno, K. 2018. *Pembuatan Fuselage, Sayap dan Ekor Pesawat Terbang Tanpa Awak (PTTA)*. Pekanbaru: Universitas Riau
- [3] Astrov, I. Pedai, A. 2010. *Flight Control of a Trirotor mini-UAV for enhanced situational awareness*. USA : World Academy of Science, Engineering and Technology

- [4] Lukmana, Arifudin. 2012. *Rancang Bangun Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Empat Baling-Baling (Quadrotor-Arducopter)*. Surabaya : Intitut Teknologi Sepuluh Nopember
- [5] Saputra, D.R.H dan Pramujati, B. *Rancang Bangun Prototype Unmanned Aerial Vehicle dengan tiga rotor*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- [6] Fernando, Erick dan Deris Touriono. 2016. *Rancangan Model Frame Multicopter*. Jambi : STIKOM Dinamika Bangsa