

PERENCANAAN DAN PEMBUATAN STRUKTUR RANGKA WAHANA TERBANG HEXACOPTER

April Yando^[1], Kaspul Anuar^[2] Musthafa Akbar^[3]

Laboratorium Konstruksi Dan Perancangan, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau,
Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru, 28293, Indonesia

^[1]yandoapril@yahoo.com, ^[2]kaspul_anuar_2@yahoo.com, ^[3]akbarmst@gmail.com

ABSTRACT

Hexacopter is the development of a helicopter that only has a rotor. Hexacopter has become a lot of research objects, one of them is in agriculture. This technology is feasible to be used and developed to help agriculture activities that are appropriate and efficient. One of them is to avoid direct contact with the body due to conventional use of pesticides. To minimize this risk, a special hexacopter remote control vehicle was designed to spray pesticide liquid on plants. The hexacopter used in this study is the hexacopter type X with a wheelbase dimension of 1120 mm and a diagonal of the center plate of 300 mm. Hexacopter is made using carbon fiber composite material on the arm and middle plate, acrylic material on the clamp and polyacid material on the mounting. In the process of planning and making a carbon fiber composites, it is carried out using the hand lay-up and vacuum bagging method. So, that the results obtained with a wheelbase length of 1114 mm and a diagonal of the middle plate of 295 mm.

Keywords: *Hexacopter, Composite, Hand Lay-up and Vacuum Bagging*

1. Pendahuluan

Multicopter sering disebut juga multi rotor/mulir motor dikarenakan banyak menggunakan rotor/motor sebagai penggerak terbang. Multirotor atau *unmanned aerial vehicle* (UAV) merupakan pesawat tanpa keberadaan pilot manusia di dalamnya. Multirotor sebagai subsistem dari UAV merupakan kendaraan udara menggunakan rotor dengan kemampuan lepas landas secara vertikal dan kemampuan mendarat juga secara vertikal [1]. Awalnya *multicopter* hanya digunakan untuk kebutuhan militer. Belakangan, penggunaan *multicopter* untuk kepentingan sipil berkembang kian pesat. Pada bidang sipil *multicopter* digunakan untuk misi pemetaan, pemantauan area bencana dan pengiriman logistik di area terpencil [2].

Selain untuk misi pemetaan dan pemantauan area bencana, *multicopter* juga mulai digunakan dalam aktivitas pertanian/perkebunan [3]. Salah satu contohnya yaitu *multicopter* digunakan untuk mengecek kondisi kesehatan tanaman pada area pertanian yang relatif luas. Selain itu *multicopter* juga digunakan untuk menghitung jumlah tanaman/pohon yang homogen pada area perkebunan.

Potensi lain dari penggunaan *multicopter* khususnya yang bertipe enam baling-baling (*hexacopter*) di bidang pertanian adalah digunakan dalam misi penyemprotan pestisida pada area pertanian yang luas [4,5]. Umumnya penyemprotan pestisida pada area pertanian di Indonesia masih menggunakan metode konvensional (manual). Penggunaan metode manual dapat membahayakan kesehatan petani dikarenakan peluang terjadinya kontak langsung antara petani dengan perstisida

sangat besar. Selain itu, penggunaan metode konvensional dalam penyemprotan pestisida pada area pertanian yang luas juga tidak efisien dari sisi waktu. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dikembangkan sebuah desain dan *prototype* struktur rangka (*frame*) wahana terbang *hexacopter* yang kedepan dapat digunakan untuk menjalankan misi penyemprotan pestisida [6].

2. Metodologi

Adapun tahapan dalam penelitian ini dapat dilakukan sebagai berikut:

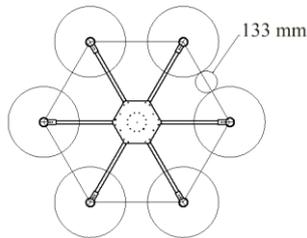
2.1 Estimasi MTOW Dan Perhitungan Sistem Tenaga Pendorong

Pada penelitian ini, rancang bangun rangka (*frame*) *hexacopter* didasarkan pada target misi wahana agar mampu terbang membawa *payload* sebanyak 4000 gram dan MTOW sebesar 7500 gram. Selanjutnya dengan menggunakan persamaan ($Total\ thrust = 2 \times MTOW$) [7], kebutuhan total gaya dorong (*thrust*) dari wahana *hexacopter* yaitu sebesar 147,15 N (15.000 gram), sehingga *thrust* yang dibutuhkan untuk setiap motor yaitu sebesar 24,525 N (2500 gram).

Thrust motor yang dibutuhkan sebesar 2500 gram disesuaikan dengan spesifikasi motor yang tersedia dipasaran. Nilai *thrust* motor yang tersedia dipasaran dan sesuai dengan *thrust* yang dibutuhkan yaitu motor *brushless* dengan spesifikasi 340 KV. Sesuai spesifikasi motor tersebut, *thrust* maksimum tersebut bisa dicapai jika menggunakan *propeller* dengan ukuran 17 *inch* dan *speed controller* (ESC) dengan spesifikasi 40A-6s.

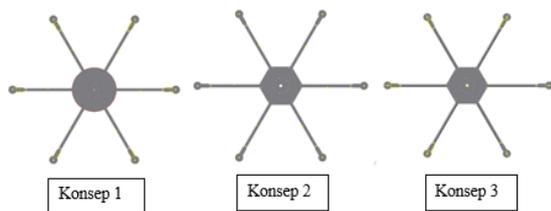
2.2 Penentuan Dimensi Rangka *Hexacopter*

Berdasarkan ukuran *propeller* yang didapatkan sebesar 17 inch, maka *hexacopter* dengan dimensi *wheelbase* sepanjang 1120 mm sudah memenuhi kriteria. Hal ini dikarenakan area kerja antar masing-masing *propeller* agar tidak bersinggungan (*clearance* 133 mm). Berikut ditampilkan Gambar 1, sketsa rangka *hexacopter* dengan dimensi *wheelbase* 1120 mm.



Gambar 1. Sketsa rangka *hexacopter*.

Setelah didapatkan dimensi rangka *hexacopter*, kemudian dilakukan pembuatan beberapa desain konsep *hexacopter* menggunakan *software Autodesk Inventor*. Desain konsep *hexacopter* divariasikan berdasarkan profil lengan dan bentuk pelat tengah (*fuselage*), variasi profil lengan dan pelat tengah ditentukan dari banyaknya penggunaannya dipasaran dan yang umum digunakan untuk membawa payload yang banyak. Sedangkan konfigurasi rangka *hexacopter* telah ditetapkan berbentuk seperti huruf X. Kemudian untuk material yang digunakan pada bagian pelat tengah dan lengan *hexacopter* dipilih material *carbon fiber* karena memiliki *density* yang rendah dengan *ultimate tensile strength* atau kekuatan tarik yang tinggi dan *young's modulus* yang besar. Berikut ditampilkan konsep desain rangka *hexacopter* pada Gambar 2.



Gambar 2. Konsep Desain Rangka *hexacopter*

Keterangan:

- Konsep 1: *Hexacopter* dengan profil lengan persegi, pelat bulat.
- Konsep 2: *Hexacopter* dengan profil lengan persegi, pelat segienam.
- Konsep 3: *Hexacopter* dengan profil lengan bulat, pelat segienam.

Setelah variasi konsep desain ditentukan, selanjutnya dilakukan proses simulasi awal untuk

mendapatkan nilai kekuatan struktur dari masing-masing konsep desain rangka *hexacopter*. Simulasi dilakukan dengan memberikan beban berupa *thrust* motor sebesar 24,525 N (2,5 kg) pada setiap lengan dengan tumpuan berjenis *fixed support* pada *center of gravity*. Tujuan simulasi ini untuk mengetahui tegangan, deformasi dan massa total dari masing-masing variasi desain *hexacopter*. Berikut ditampilkan Tabel 1, Hasil simulasi statik menggunakan *software Ansys* 16.0 [8].

Tabel 1. Hasil simulasi statik *software Ansys* 16.0

No	Desain Konsep	Von Mises Stress (Mpa)	Deformation (Mm)	Massa (Kg)
1	Desain 1	36.02	5.75	1.393
2	Desain 2	13.45	5.55	1.284
3	Desain 3	72.15	15.33	1.298

2.3 Matriks Pengambilan Keputusan

Pada tahapan ini, masing-masing konsep desain *hexacopter* diseleksi dengan menggunakan kriteria tegangan maksimum paling kecil, defleksi paling kecil, massa terkecil, kemudahan fabrikasi, kemudahan perakitan dan estetika. Berikut ditampilkan Tabel 2 matriks pengambilan keputusan pada seluruh konsep desain.

Tabel 2. Matriks Pengambilan Keputusan

NO.	KRITERIA	BOBOT (%)	KONSEP		
			1	2	3
1	Kekuatan	30	3	4	1
2	Massa Total	25	2	4	3
3	Mudah Diproduksi	25	3	4	2
4	Mudah Dirakit	10	2	3	3
5	Estetika	10	2	4	4
Total		100	2.4	3.8	2.6

Keterangan:

- 1 = Kurang Baik
- 2 = Cukup Baik
- 3 = Baik
- 4 = Sangat Baik

Penetapan persentasi bobot masing-masing parameter, kekuatan dan massa total ditetapkan paling tinggi diantara yang lain yaitu sebesar 30% karena pada bidang pesawat tanpa awak, faktor kekuatan dan massa total sangat penting dipertimbangkan. Dari tabel matriks pengambilan keputusan diatas, maka ditetapkan desain konsep 2 sebagai alternatif desain terpilih. Hal ini dikarenakan desain konsep 2 mendapatkan nilai

matriks tertinggi yaitu 3.8. Dalam hal kekuatan struktur, desain konsep 2 memiliki nilai lebih kecil dibanding dengan desain konsep 1 dan 3. Dalam hal massa total, desain konsep 2 memiliki nilai 3 karena memiliki massa rangka sedikit lebih jauh dibanding konsep 3. Dalam hal kemudahan fabrikasi desain konsep 2 dan 1 mendapatkan nilai 4 karena profil lengan yang berbentuk persegi lebih mudah dibuat dibanding bentuk lingkaran. Dalam hal massa total desain konsep 2 mendapatkan nilai 4 karena memiliki massa total yang lebih kecil dibandingkan desain lainnya.

2.4 Perhitungan Desain Rangka Terpilih

Perhitungan Massa maksimum wahana terbang *hexacopter* (MTOW) dilakukan berdasarkan spesifikasi sistem tenaga pendorong yang telah didapatkan sebelumnya, massa rangka dari desain terpilih dan target *payload* dari wahana. Berikut ditampilkan perhitungan MTOW *hexacopter* pada Tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan MTOW *Hexacopter*

No	Komponen	Keterangan	Massa (gram)
1	Rangka	Lengan, Pelat tengah, <i>acrylic</i> dan <i>mounting motor (Ansys)</i>	1284
2	Motor	Sunnysky X4110S <i>Thrust</i> 2.5 kg	888
3	<i>Payload</i>	340 kv 148 gr Pestisida	4000
4	Baterai li-ion	6S 20C 22,2 volt, 10000 mAh	1000
5	<i>Propeller</i>	TM1759 (17 inch) 14.5 gr	87
6	ESC	<i>Brushless</i> 40A 45 gr	230
Total Massa			7473

Dari tabel 3 diatas maka dapat ddapat dilihat bahwa MTOW dari desain wahana *hexacopter* terpilih memenuhi kriteria desain. Hal ini terlihat dari MTOW yang didapat yaitu ≤ 7500 gram.

2.5 Proses Produksi

Tahap awal proses pembuatan rangka *hexacopter* hal yang pertama dilakukan adalah persiapan alat dan bahan. Proses selanjutnya adalah pembuatan komposit plat tengah dan lengan *hexacopter*. Pada proses pembuatan komposit *carbon fiber* pertama menggunakan metode *Hand lay-up*. *Hand lay-up* dilakukan secara manual dengan cara meletakkan serat ke cetakan dan kemudian membasahi serat dengan kuas. Proses ini membutuhkan ketelitian agar serat pada cetakan tidak bergeser saat dilakukan pengolesan. Untuk

mengurangi jumlah resin yang digunakan dan gelembung udara (*voids*) pada proses pembuatan komposit dengan metode cetakan terbuka dapat dilakukan dengan menutup produk sebelum pengeringan resin dan menerapkan sedikit tekanan atau meletakkan pada tekanan vakum. Pemberian tekanan ini menggunakan metode *vacuum bagging*. *Vacuum Bagging* merupakan metode pembuatan komposit dimana menggunakan tekanan atmosfer sebagai penjepit untuk menekan lapisan laminasi secara bersamaan dan tekanan yang sama rata. Dengan metode *vacuum bagging* cetakan berisi komposit akan dimasukan kedalam kantong kedap udara kemudian udara didalam kantong tersebut akan dipompa keluar. Fungsinya yaitu untuk menghilangkan *void-void* dengan memaksa keluar udara yang terperangkap.

Setelah komponen lengan dan plat tengah berhasil dibuat maka langkah selanjutnya adalah pembuatan penyambungan antara lengan dan plat tengah. Proses pembuatannya dilakukan dengan proses produksi menggunakan gergaji tangan menyesuaikan desain yang telah dibuat sebelumnya. Kemudian komponen kaki *hexacopter* dibuat menggunakan material pipa PVC yang di potong dengan menggunakan gergaji dan disambung dengan sambungan T. Setelah semua komponen selesai dibuat maka semua komponen di rakit dan disambung dengan menggunakan mur dan baut.

1. Pembuatan cetakan lengan *hexacopter*

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 (A) dan bagian kiri (B). berikut dijelaskan proses pembuatan cetakan lengan *hexacopter*:

- 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. Agar permukaan cetakan tidak lengket dengan *fiberglass*, maka dilakukan proses pemberian *wax* pada permukaan cetakan dengan cara memoles secara berulang sebanyak 4 kali dengan selang waktu 10 menit. Berikut ditampilkan Gambar 3 proses pemberian *wax*.



Gambar 3. Proses pemberian *wax*

- Kedua, lakukan *waxing* pada cetakan dengan resin *gelcoat* dengan takaran: *gelcoat* 150 gr, cobalt 0,75 ml, katalis 3 ml, pigmen warna 7.5 gr. Kemudian oleskan keseluruhan bagian *primer molding fuselage* hingga merata, lalu biarkan

selama 3 jam hingga *gelcoat* mengering. Pemberian *gelcoat* dilakukan sampai 2 kali, hal ini dilakukan agar cetakan yang dihasilkan lebih kuat. Berikut ditampilkan pada Gambar 4 proses pemberian *gelcoat*.



Gambar 4. Proses pemberian *gelcoat* pada permukaan *molding*

- c. Ketiga, melapisi cetakan dengan *fiberglass*, proses pelapisan dilakukan 2 tahap agar tidak terjadi kekosongan pada cetakan bagian dalam. Melapisi cetakan dengan *fiber glass* menggunakan resin *glenzer* dengan takaran resin 2:1. pada tahap pertama 30 ml resin *glenzer* A dan 15 ml *glenzer* B, Tahap ke 2 yaitu 40 ml resin *glenzer* A dan 20 ml *glenzer* B. tahap pertama dengan 1 lapis *fiberglass* dan di vakum, lalu tunggu sampai 1 jam, setelah mulai kering lakukan pelapisan tahap ke 2 dengan 2 lapis *fiberglass* lalu di vakum lagi hingga kering. Berikut ditampilkan pada Gambar 5 proses melapisi *fiberglass*.



Gambar 5. Proses melapisi cetakan dengan *fiberglass*

- d. Keempat, melapisi cetakan dengan serat kaca 2 lapis menggunakan resin *polyester* dengan takaran Resin *Polyester* = 200 gr, katalis = 1 ml, Tepung = 100 ml. Berikut ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Melapisi cetakan dengan serat kaca

- e. Terakhir, setelah 2 bagian selesai langkah selanjutnya merapikan bagian sudut cetakan yang sudah kering menggunakan gerinda tangan. Setelah merapikan sudut cetakan hingga rapi selanjutnya pembuatan lubang untuk baut agar kedua bagian dapat disambung dengan kuat. Dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Proses pemotongan dan pemberian lubang

2. Pembuatan lengan *hexacopter*

Adapun langkah-langkah dilakukan pada proses pembuatan lengan *hexacopter*:

- 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 8.



Gambar 8. Proses pemotongan serat karbon

- b. Proses kedua, selanjutnya pemberian *wax* sebanyak 5 kali dengan rentang waktu 5 menit. Pemberian *wax* bertujuan untuk mempermudah pelepasan komposit pada saat sudah mengeras. Berikut ditampilkan proses pemberian *wax* pada cetakan pada Gambar 9.



Gambar 9. Proses pemberian *wax*

- c. Ketiga, setelah pemberian *wax* kemudian serat karbon yang telah dipotong di cetak pada cetakan. Proses pencetakan dilakukan di kedua bagian cetakan. Masing masing cetakan dilapisi dengan serat karbon sebanyak 6 lapis. Pelapisan menggunakan resin *epoxy* dan *hardener* dengan perbandingan 2:1. Banyak resin disamakan dengan berat 6 lapis serat karbon yang telah ditimbang. Proses pencetakan spesimen dengan metode *hand lay up* terlebih dahulu sebelum proses vakum Berikut ditampilkan proses pencetakan serat karbon pada Gambar 10.



Gambar 10. Proses pencetakan serat karbon

- d. Setelah proses *hand lay-up* selesai kemudian cetakan spesimen dimasukkan kedalam *vacuum bag*, Penggunaan *vacuum bag* dimaksudkan untuk mengurangi kemungkinan terjadinya *void-void* pada komposit. Proses vakum dilakukan selama 2 jam, setelah selesai dibiarkan terlebih dahulu selama 24 jam dan siap untuk dilepas dari cetakan. Adapun proses pemvakuman dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Proses vacuum bagging

- e. Setelah spesimen benar benar 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 12.



Gambar 12. Proses pemotongan spesimen

- f. Selanjutnya proses penyumbungan kedua bagian spesimen dan didapatkan hasil seperti gambar 13.

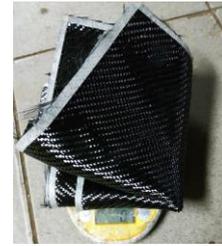


Gambar 13. Hasil komposit karbon

3. Pembuatan Pelat Tengah *Hexacopter*

Adapun langkah-langkah pembuatan pelat tengah adalah sebagai berikut:

- a. Proses pertama melakukan pemotongan serat karbon sebesar 20 mm x 20 mm. Kemudian serat karbon yang telah dipotong di timbang menggunakan timbangan digital. Berikut ditampilkan proses pemotongan serat karbon pada Gambar 14.



Gambar 14. Proses pemotongan dan penimbangan serat karbon

- b. Selanjutnya timbang resin dan *hardener* dengan perbandingan 2:1. Dengan banyak resin sama dengan berat dari serat karbon. Dimana berat Serat karbon sebanyak 6 lapis yaitu 57 gram. Berikut ditampilkan penimbangan resin dan *hardener* pada Gambar 15.



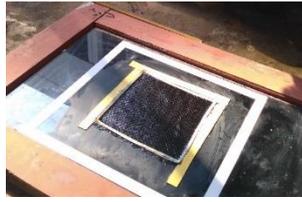
Gambar 15. Menimbang resin dan *hardener*

- c. Selanjutnya pemberian *wax* sebanyak 5 kali dengan rentang waktu 5 menit. Pemberian *wax* bertujuan untuk mempermudah pelepasan komposit pada saat sudah mengeras. Berikut ditampilkan proses pemberian *wax* pada cetakan pada Gambar 16.



Gambar 16. Proses pemberian *wax*

- d. Setelah serat karbon dipotong dan resin ditimbang proses selanjutnya yaitu pencetakan spesimen dengan metode *hand lay up* terlebih dahulu sebelum proses vakum, caranya dengan mengoleskan campuran resin dan *hardener* yang telah diaduk pada serat karbon hingga merata, oleskan resin pada serat karbon hingga 6 lapis. Setelah semua lapisan digabungkan selanjutnya biarkan spesimen selama 2 jam, setelah selesai dibiarkan terlebih dahulu selama 24 jam dan siap untuk dilepas dari cetakan. Berikut ditampilkan proses pengolesan resin pada serat karbon pada Gambar 17.



Gambar 17. Proses mengoleskan resin pada serat karbon

- e. Setelah spesimen kering selanjutnya potong spesimen dengan menggunakan gergaji mesin membentuk lingkaran. Berikut proses pemotongan spesimen pada Gambar 18.



Gambar 18. Proses pemotongan pelat tengah

4. Prosedur Umum Pembuatan *Mounting Motor*
Adapun prosedur umum pembuatan *mounting motor* wahana terbang menggunakan mesin printer 3D:
1. Gambar desain tiga dimensi dari model *mounting motor* dikonversi ke dalam format STL.
 2. File *format* dimasukkan kedalam SD Card.
 3. Sumber arus dari mesin printer 3D dihubungkan ke arus listrik.
 4. Mesin printer 3D dihidupkan dengan cara menekan tombol on.
 5. *Bed* dan *nozzle* pada mesin printer 3D dipanaskan dengan *setting* temperature 200 derajat celsius.
 6. Lakukan print desain pola cetakan *mounting motor*.

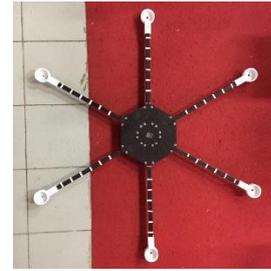


Gambar 19. Proses pencetakan *mounting motor*

3. Hasil

3.1 Hasil Pembuatan *Rangka hexacopter*

Berikut ditampilkan Hasil pembuatan rangka *hexacopter* pada Gambar 20.



Gambar 20. Hasil Pembuatan Rangka *Hexacopter*

Setelah rangka *hexacopter* dibuat maka dimensi dan massa dari rangka *hexacopter* dibandingkan dengan hasil dimensi desain yang telah direncanakan sebelumnya. Berikut di tampilkan Hasil Pengukuran Dimensi Rangka *Hexacopter* pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengukuran Dimensi Rangka *Hexacopter*

No	Nama Komponen	Dimensi Desain	Dimensi Aktual
1	<i>Wheelbase</i>	1120 mm	1114 mm
2	Lengan	20 x 20 x 2 mm	20 x 20 x 2 mm
3	Pelat tengah	300 mm	295 mm

Pada tabel 4 diatas, didapatkan hasil pengukuran komponen rangka *hexacopter* berupa panjang dan lebar hasil desain dan hasil aktual. Kemudian setelah dimensi diukur, kemudian dilakukan juga pengukuran massa tiap tiap komponen rangka *hexacopter*. Berikut ditampilkan hasil pengukuran massa rangka *hexacopter* pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengukuran Massa *hexacopter*

N o	Komponen Rangka	Jumlah	Massa (Desain)	Massa (Aktual)
1	Lengan 1	1	100 gr	88 gr
2	Lengan 2	1	100 gr	89 gr
3	Lengan 3	1	100 gr	86 gr
4	Lengan 4	1	100 gr	80 gr
5	Lengan 5	1	100 gr	88 gr
6	Lengan 6	1	100 gr	87 gr
7	<i>Clamp</i>	12	96 gr	168 gr
8	Pelat	2	330 gr	320 gr
9	<i>Mounting</i>	6	249 gr	312 gr
Massa Total			1275 gr	1318 gr

Berdasarkan hasil pengukuran dimensi dan massa rangka *hexacopter* Hasil dimensi yang didapatkan sudah saling mendekati sehingga. Perbedaannya tidak terlalu jauh, sedangkan perbedaan massa desain dan massa aktual lumayan jauh dikarenakan pada massa aktual di timbang dengan mur dan baut. Sedangkan disimulasi tidak.

4. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian kali ini yaitu:

1. MTOW dari rangka *hexacopter* terdiri dari massa rangka, massa komponen elektronik dan massa *payload*. Setelah diketahui MTOW, jenis motor dan *propeller* yang digunakan maka dihasilkan desain rangka *hexacopter* dengan *wheelbase* 1120 mm.
Dihasilkan prototipe rangka *hexacopter* dengan bentuk profil lengan persegi dengan plat tengah segienam berbahan *carbon fiber* dan dimensi *wheelbase* yang dihasilkan yaitu 1114 mm.

Daftar pustaka

- [1] Achmad. 2018. *Perbaikan Proses Pembuatan Produk Komposit Dengan Metode Vacuum Bagging*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
- [2] Anshori, Syaifudin. 2016. Rancang Bangun *Quadcopter* Untuk Pencarian Rute Optimum Pada Kebakaran Lahan Gambut Menggunakan Metode *Particle Swarm Optimization*. Malang: Universitas Negeri Islam Maulana Malik Ibrahim
- [3] ASTM D638. *Standard Test Method for Tensile Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*. ASTM International. West Conshohocken, PA
- [4] Beer, Ferdinand P., dkk. 2012. *Mechanics of Materials. Sixth Edition*. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc
- [5] Callister, W.D. 2007. *Materials Science and Engineering an Introduction. Ed.7*. New York: John Wiley and Sons.Inc
- [5] Dharmawiguna, dkk. 2017. Perancangan Prototipe Perangkat C-UAV (*Courier Unmanned Aerial Vehicle*) Berbasis GPS. Bali: UNDIKHS
- [6] Fernando, E., & Touriono, D. (2017). Rancang Model Rangka *Multicopter*: Literature Review. *Jurnal Processor*, 11(2), 861-870.
- [7] Hutahaeen, Ramses Y. 2010. *Mekanisme dan Dinamika Mesin Edisi ke-2*. Yogyakarta: Andi Offset
- [8] Lukmana, Arifudin. 2012. Rancang Bangun Rangka *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)* Empat Baling-Baling (Quadrotor-Arducopter). Surabaya: ITS