

PERANCANGAN STRUKTUR *FRAME* QUADROTOR

*Joga Dharma Setiawan, Wahyu Caesarendra, Mochammad Ariyanto

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: jdharmas@yahoo.com

ABSTRAK

Perancangan frame dari pesawat tanpa awak (*Unmanned Aerial Vehicle*) khususnya yang memiliki 4 buah rotor (*quadrotor*) adalah salah satu hal yang penting untuk menunjang fungsi quadrotor sebagai wahana terbang. Dengan desain *frame* yang kuat dan kokoh diharapkan quadrotor tidak mudah hancur ketika jatuh, sehingga komponen elektronik seperti sensor dan mikrokontroler tidak hancur/rusak. Quadrotor dapat mengudara karena adanya gaya angkat yang diberikan oleh 4 rotor yang biasanya dipasang secara menyilang. Selain bisa dikendalikan dari jarak jauh, quadrotor memiliki fungsi penting yaitu dapat digunakan untuk membawa muatan/beban. Makalah ini membahas hasil studi dalam merancang frame quadrotor untuk mencari maksimum *stress*, getaran pribadi quadrotor beserta *stress* analisisnya pada kondisi quadrotor *landing* dan *take-off*.

Kata kunci: Getaran pribadi, stress analisis, quadrotor, *frame*

1. PENDAHULUAN

Quadrotor adalah salah satu jenis rotorcraft yang memiliki 4 buah rotor sebagai penggerak propeller yang menghasilkan gaya angkat. Quadrotor dapat melakukan *take off* dan *landing* secara vertikal. Helikopter, tricopter, quadcopter, dan beberapa fixed wing dengan mesin jet termasuk kategori ini. Saat ini quadrotor atau quadcopter banyak menjadi obyek penelitian[1,2,3]. Quadrotor berukuran kecil / mini yang dikendalikan melalui remote control banyak digunakan untuk fotografi, pemetaan, atau sekedar hobi. Yang akan dibahas adalah pemodelan UAV tipe quadrotor ini adalah tentang perancangan frame dari quadrotor tersebut. Quadrotor atau helicopter quadrotor adalah sebuah benda terbang yang dapat mengudara karena adanya gaya angkat yang diberikan oleh 4 rotor yang biasanya dipasang secara menyilang. Pada kesempatan ini penulis mencoba melakukan perancangan frame atau badan sebuah quadrotor untuk mencari maksimum stress getaran pribadi dan stress analisisnya sebagai tugas perancangan.

Ketika berhadapan dengan quadrotor ini, maka kita harus mempertimbangkan berat merupakan faktor utama. Materi dalam pertimbangan untuk desain meliputi aluminium, plastik, dan serat karbon. Aluminium, secara historis, telah menjadi bahan pilihan untuk helikopter RC. Aluminium ringan dan kuat, membuang panas dengan baik, dan relatif murah dibandingkan dengan beberapa kemungkinan lain. Kekurangan dari aluminium adalah bahwa ia cenderung terlalu berat untuk model pesawat kecil. Plastik menyerap getaran lebih baik aluminium disebutkan sebelumnya. Selain itu, cukup tahan lama dan akan kembali ke bentuk aslinya jika terkena beban bending. Plastik juga sangat murah, ringan, dan proses pemesinannya pun sangat mudah. Berbagai jenis plastik yang dieksplorasi, termasuk Nylon®, polypropylene, Delrin, Ultem®, polyethylene, dan ABS.

Serat karbon saat ini adalah bahan terbaik yang tersedia untuk RC helikopter. Lebih kuat dan lebih ringan daripada aluminium dan menyerap getaran yang lebih baik dari plastik. Dapat dibentuk menjadi sangat kaku dalam satu sisi dan fleksibel pada sisi yang lain. Namun material ini jauh lebih mahal daripada bahan lain. Juga, sulit untuk dalam hal proses produksinya. Berikut adalah tabel perbandingan bahan material[4]:

Tabel 1. Perbandingan bahan material untuk frame quadrotor

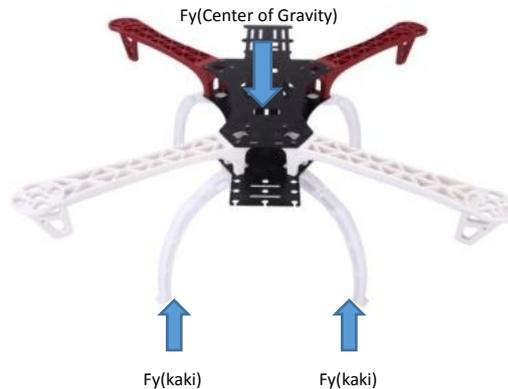
Material	Modulus of Elasticity (GPa)	Tensile Strength (MPa)	Density (g/cm ³)
Nylon 6.6	2.61	82.8	1.14
Acrylic	3.2	70	1.18
Delrin	2.55	52.4	1.42
Carbon Fiber	220	760	1.7
Stainless Steel 404	200	1790	7.80
Aluminium	71	572	2.80

2. DASAR PERHITUNGAN

2.1 Ketika Landing

Dalam mendesign quad rotor perlu dilakukan analisa pembebanan ketika quad rotor tepat akan landing. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui kemampuan kaki-kaki quad rotor dalam menahan beban apakah masih dalam batas aman atautkah dapat membahayakan struktur kaki quad rotor. Untuk menghitung beban kaki-kaki quad rotor ketika akan

landing diperlukan adanya diagram benda bebas yang menjelaskan keadaan tersebut. Gambar 1 merupakan diagram benda bebas dari quad rotor yang akan landing.



Gambar 1 Diagram benda bebas pada saat landing.

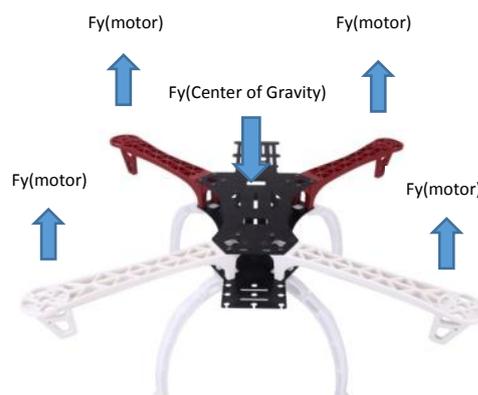
Setelah diketahui diagram benda bebas dari quad rotor yang akan landing, untuk menghitung beban yang diterima masing-masing kaki dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu dengan pemodelan langsung pada software Solid Work Premium 2012 x64 dan dengan perhitungan matematis sederhana seperti di bawah ini:

$$\sum F_y = 0 \quad (1)$$

Dalam menempatkan gaya-gaya yang bekerja pada saat analisa kekuatan kaki (stress analysis), dapat dilakukan dengan 2 cara, cara pertama dengan menjadikan kaki sebagai fix, karena kita asumsikan quad rotor sedang berada di tanah. Lalu diberikan sejumlah gaya yang besarnya tertentu yang arahnya searah dengan percepatan gravitasi dan letaknya berada pada badan quad rotor. Cara kedua yaitu dengan menjadikan badan quad rotor sebagai bagian yang fixed, dengan asumsi quad rotor ditempatkan di langit-langit ruangan, lalu kaki-kaki diberikan sejumlah gaya yang besarnya tertentu dan arahnya berlawanan dengan percepatan gravitasi.

2.2 Terbang *Hover*

Dalam mendesain quadrotor perlu dilakukan analisa pembebanan ketika quad rotor terbang di udara. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui gaya angkat yang bekerja pada quad rotor. Untuk menghitung gaya angkat quad rotor ketika terbang pada kondisi stabil diperlukan adanya diagram benda bebas yang menjelaskan keadaan tersebut. Gambar 2 merupakan diagram benda bebas dari quad rotor yang sedang terbang pada keadaan terbang hover.



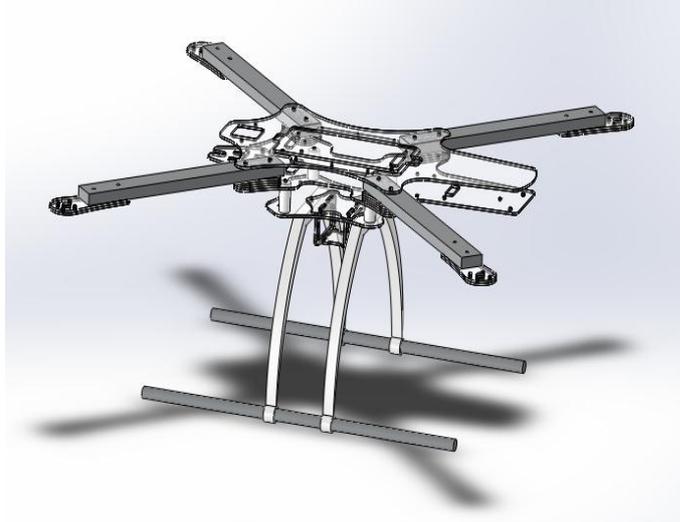
Gambar 2 Diagram benda bebas pada saat terbang kondisi stabil.

Setelah diketahui diagram benda bebas dari quad rotor yang sedang terbang pada keadaan stabil, untuk menghitung gaya angkat pada quad rotor dapat dilakukan dengan 2 cara, yaitu dengan pemodelan pada software Solid Work Premium 2012 x64, serta perhitungan matematis sederhana menggunakan persamaan berikut seperti pada persamaan (1).

3. ANALISA FRAME QUADOROTOR

3.1 Analisa Frekuensi Pribadi Quad Rotor

Frekuensi pribadi terjadi pada benda-benda yang bergetar. frekuensi pada quad rotor dihasilkan dari putaran motor pada masing-masing lengan quadrotor dan kaki penyangga quadrotor ketika dalam kondisi landing seperti pada gambar 3. Hasil perhitungan frekuensi pribadi dan mode shape menggunakan software SolidWorks dapat dilihat pada tabel 2 dan 3.



Gambar 3 Desain frame quadrotor

Tabel 2. Mode list body dan lengan sayap quadrotor take off

Frequency Number	Rad/sec	Hertz	Seconds
1	466.85	74.302	0.013459
2	1854.5	295.16	0.003388
3	1854.6	295.17	0.0033879
4	1854.7	295.18	0.0033877
5	2191.8	348.84	0.0028666

Tabel 3. Mass Participation (Normalized) body dan lengan sayap quadrotor take off

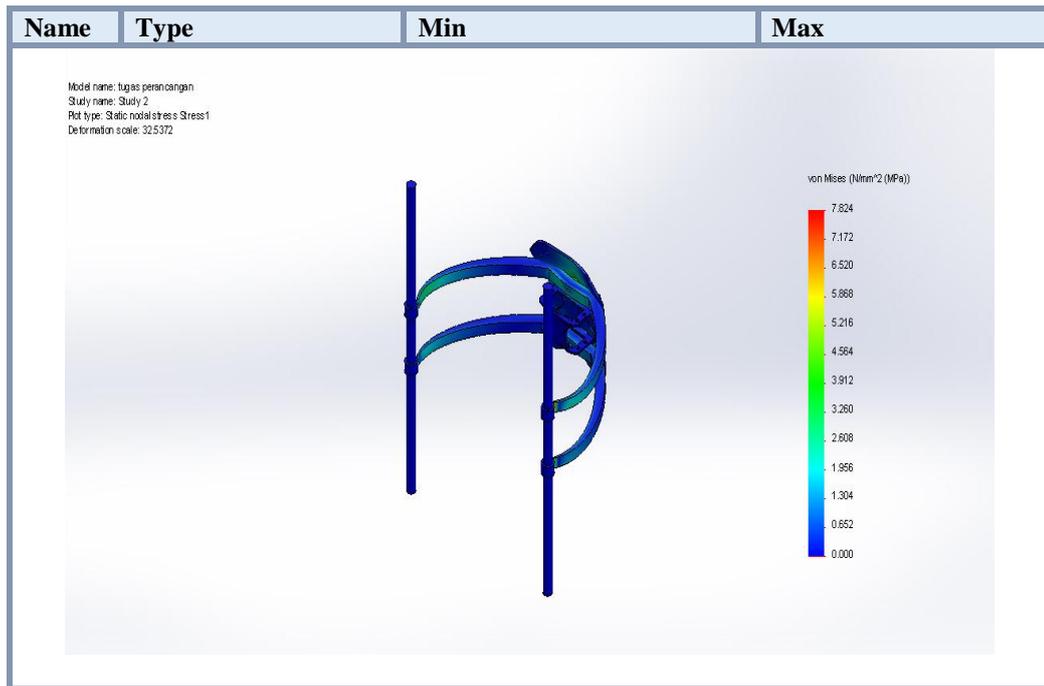
Mode Number	Frequency(Hertz)	X direction	Y direction	Z direction
1	74.302	3.04e-012	6.87e-007	0.04027
2	295.16	1.13e-008	1.09e-008	0.09965
3	295.17	2.99e-010	1.86e-009	0.06061
4	295.18	3.82e-009	1.08e-008	0.01305
5	348.84	4.34e-006	7.96e-015	5.78e-009
	Σ	4.35e-006	7.11e-007	0.2136

3.2 Analisa Pembebanan Ketika Landing dan Take-off

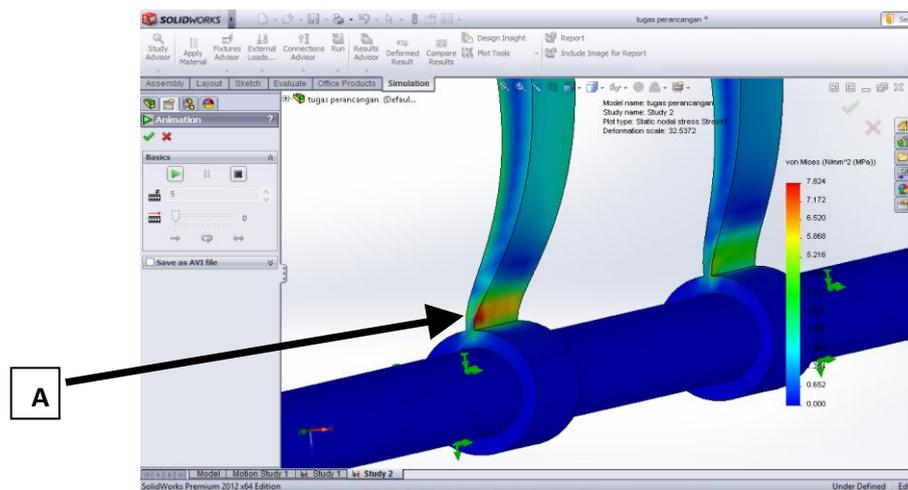
Dalam mendesign quadrotor perlu dilakukan analisa pembebanan ketika quadrotor tepat akan landing. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui kemampuan kaki-kaki quadrotor dalam menahan beban apakah masih dalam batas aman ataukah dapat membahayakan struktur kaki quad rotor. Dalam studi ini akan dilakukan pembebanan kaki-kaki quadrotor yang diberikan pembebanan dengan kondisi 3G dan 9G.

Tegangan maksimum dan tegangan minimum pembebanan pada kondisi 3G dapat dilihat pada gambar 4, sedangkan posisi dimana stress maksimum terjadi pada kaki-kaki quadrotor ditunjukkan seperti pada gambar 5.

Name	Type	Min	Max
Stress1	VON: von Mises Stress	1.75152e-008 N/mm ² (MPa) Node: 67300	7.82371 N/mm ² (MPa) Node: 43118



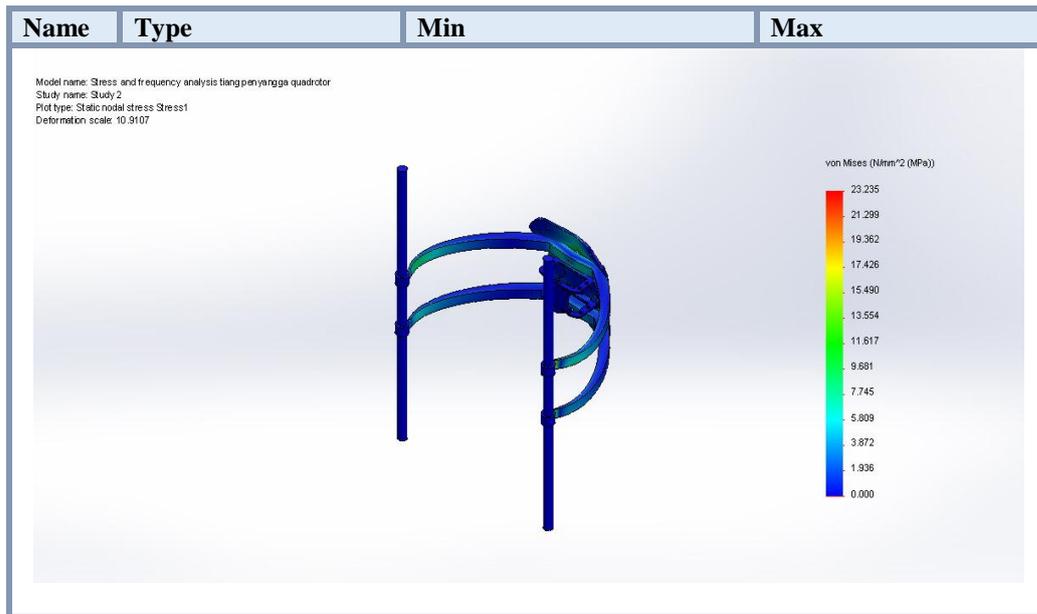
Gambar 4. Analisa stress struktur tiang penyangga quadrotor saat landing



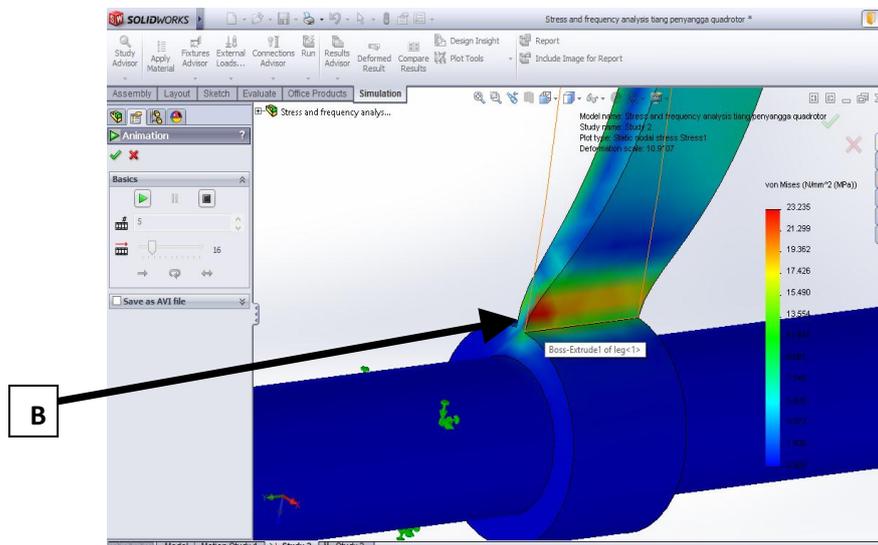
Gambar 5. Maksimum Stress tiang penyangga 3G

Pada kondisi pembebanan 9G, tegangan maksimum dan tegangan minimum dapat dilihat pada Gambar 6, sedangkan posisi dimana stress maksimum terjadi pada kaki-kaki quadrotor ditunjukkan seperti pada Gambar 7.

Name	Type	Min	Max
Stress1	VON: von Mises Stress	1.54564e-008 N/mm ² (MPa) Node: 67464	23.2349 N/mm ² (MPa) Node: 43118



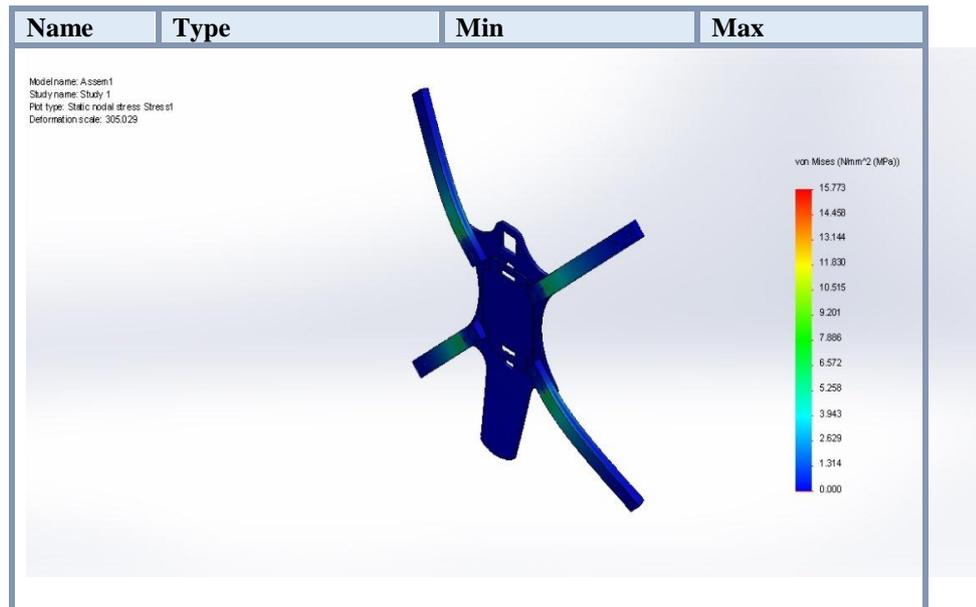
Gambar 6. Stress 1 pada tiang penyangga



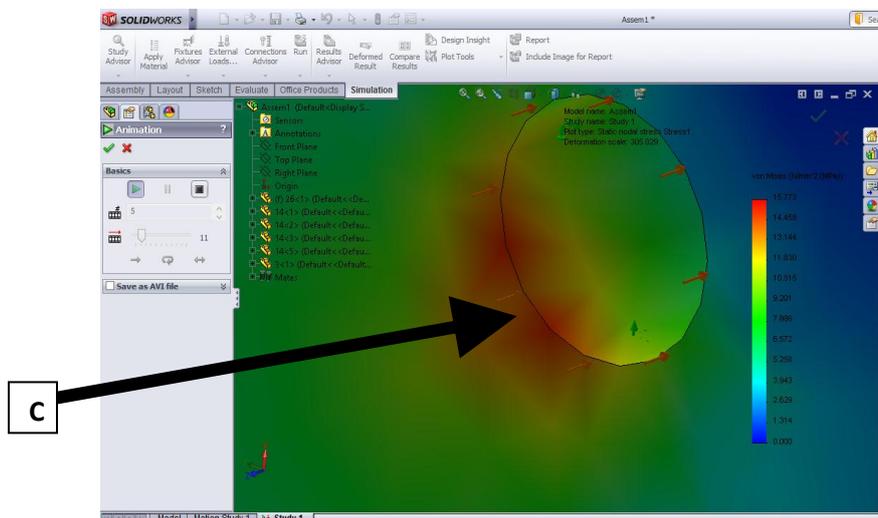
Gambar 7. Maksimum Stress tiang penyangga 9G

Dalam mendesain lengan quadrotor perlu dilakukan analisa pembebanan ketika quadrotor tepat akan take-off. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui kemampuan lengan-lengan quadrotor dalam menahan/mengangkat beban quadrotor apakah masih dalam batas aman ataukah dapat membahayakan struktur lengan quadrotor ketika mengangkat beban. Pada gambar 8 menunjukkan distribusi *stress* pada lengan-lengan quadrotor ketika mengangkat beban quadrotor sendiri pada saat take-off, sedangkan posisi *stress* maksimum dapat dilihat pada Gambar 9.

Name	Type	Min	Max
Stress1	VON: von Mises Stress	4.07674e-005 N/mm ² (MPa) Node: 86490	15.7727 N/mm ² (MPa) Node: 12085



Gambar 8. analisa stress struktur sayap quadrotor take off



Gambar 9. Maksimum Stress

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis struktur rangka quadrotor dengan Software Solidwork dilakukan pada susunan komponen quadrotor yang terdiri dari rangka tengah, empat lengan yang membentuk sudut 90° satu sama lain dan tiang penyangga quadrotor. Struktur rangka quadrotor diberi pembebanan yang terdistribusi merata dibagian ujung lengan sebesar 12 N dengan gaya angkat keempat motor masing-masing tiga kali berat total dari quadrotor sebesar 36 N, dengan tujuan yaitu analisis dilakukan saat quadrotor terbang dengan menjaga posisinya diketinggian tertentu dan untuk pembebanan 3G dan 9G pada tiang penyangga yang diberi beban 36 N dan 108 N dengan ujung penumpang di dirigidkan agar pada saat quadrotor landing bagian mana yang memiliki titik kritis. Hasil pemodelan quadrotor dengan menggunakan *software* Solidwork untuk analisis pembebanan pada tiang penyangga ditunjukkan pada gambar 4 untuk pembebanan 3G, gambar 5 untuk pembebanan 9G dan pembebanan pada lengan sayap ditunjukkan pada gambar 8. Material yang digunakan adalah acrylic untuk bagian tengah rangka, polymer untuk bagian tiang penyangga dan aluminium untuk keempat lengan quadrotor.

Dari hasil analisis pembebanan 3G untuk tiang penyangga pada Software Solidwork seperti yang ditunjukkan pada gambar 4, didapatkan bahwa tegangan (Stress) yang terjadi pada tiang penyangga quadrotor terdistribusi dengan rentang nilai ($1.75152e-008$ N/mm² (MPa) - 7.82371 N/mm² (MPa) dan ditunjukkan dengan warna biru tua hingga merah. Tegangan maksimum (maksimum stress) terdapat pada titik A yang dapat dilihat pada gambar 5 dengan nilai sebesar 7.82371 N/mm² (MPa) ditunjukkan dengan warna merah dan pembebanan 9G untuk tiang penyangga pada Solidwork seperti yang ditunjukkan pada gambar 5, didapatkan bahwa tegangan (Stress) yang terjadi pada tiang penyangga quadrotor terdistribusi dengan rentang nilai ($1.54564e-008$ N/mm² (MPa) - 23.2349 N/mm² (MPa) dan ditunjukkan dengan warna biru tua hingga merah. Tegangan maksimum (maksimum stress) terdapat pada titik B yang

dapat dilihat pada gambar 7 dengan nilai sebesar 23.2349 N/mm^2 (MPa) dan ditunjukkan dengan warna merah. Penggunaan material polimer sebagai bahan tiang penyangga dari kaki quadrotor masih dapat digunakan pada pembebanan 3G hal ini dikarenakan tegangan maksimumnya dibawah tegangan maksimum polymer yaitu 10 N/mm^2 (MPa) dan pada pembebanan 9G terjadi *crash*/patah dikarenakan tegangan maksimumnya diatas tegangan maksimum polymer.

Sedangkan analisis pembebanan yang ditunjukkan pada gambar 8, didapatkan bahwa tegangan (Stress) yang terjadi pada lengan quadrotor terdistribusi dengan rentang nilai ($4.07674\text{e-}005 \text{ N/mm}^2$ (MPa) - 15.7727 N/mm^2 (MPa) dan ditunjukkan dengan warna biru tua hingga merah. Tegangan maksimum (maksimum stress) terdapat pada titik C yang dapat dilihat pada gambar 9 dengan nilai sebesar 15.7727 N/mm^2 (MPa) dan ditunjukkan dengan warna merah. Penggunaan material aluminium sebagai bahan dari lengan quadrotor masih dapat digunakan karena tegangan maksimum yang terjadi pada lengan tersebut kurang dari tegangan maksimum yang dapat diterima oleh material aluminium, yaitu sebesar $31 \times 10^6 \text{ N/m}^2$. Frekuensi pribadi yang terjadi pada struktur lengan sayap dan tiang penyangga memiliki nilai yang relatif bagus yaitu 13.4162 Hz dan 74.3022 Hz .

5. KESIMPULAN

Material yang digunakan pada *frame* quadrotor adalah *acrylic* untuk bagian tengah rangka, polymer untuk bagian tiang penyangga dan aluminium untuk keempat lengan quadrotor. Frekuensi pribadi yang terjadi pada struktur lengan sayap dan tiang penyangga quadrotor memiliki nilai yang relatif bagus yaitu pada 13.4162 Hz dan 74.3022 Hz .

Dari hasil analisis pembebanan 3G untuk tiang penyangga pada Software Solidwork, didapatkan bahwa tegangan (Stress) yang terjadi pada tiang penyangga quadrotor terdistribusi dengan rentang nilai ($1.75152\text{e-}008 \text{ N/mm}^2$ (MPa) - 7.82371 N/mm^2 (MPa). Tegangan maksimum (maksimum stress) terdapat pada titik A dengan nilai sebesar 7.82371 N/mm^2 (MPa).

Pembebanan 9G untuk kaki penyangga quadrotor, didapatkan bahwa tegangan (Stress) yang terjadi terdistribusi dengan rentang nilai ($1.54564\text{e-}008 \text{ N/mm}^2$ (MPa) - 23.2349 N/mm^2 (MPa). Tegangan maksimum (maksimum stress) terdapat pada titik B dengan nilai sebesar 23.2349 N/mm^2 (MPa).

Pada pembebanan saat quadrotor take-off, didapatkan bahwa tegangan (Stress) yang terjadi pada lengan quadrotor terdistribusi dengan rentang nilai ($4.07674\text{e-}005 \text{ N/mm}^2$ (MPa) - 15.7727 N/mm^2 (MPa). Tegangan maksimum (maksimum stress) terdapat pada titik C dengan nilai sebesar 15.7727 N/mm^2 (MPa).

6. REFERENSI

- [1] Setiawan, J. D., Setiawan, Y. D., Ariyanto, M., Mukhtar, A., and Budiyono, A., 2012. "Development of real-time flight simulator for quadrotor," in proceedings of IEEE International Conference on Advanced Computer Science and Information System, ICACSIS 2012, Jakarta, Indonesia, pp. 59 – 64.
- [2] Joga Dharma Setiawan, Mochammad Ariyanto, Agus Mukhtar, Munadi, 2014, Pilot in the Loop Simulation for Quadrotor Flight Experiment, Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 8(4) Special 2014, Pages: 485-494.
- [3] Joga Dharma Setiawan, Mochammad Ariyanto, 2013, Pemodelan Perubahan Dinamik Lokasi Pusat Massa Quadrotor Menggunakan Mathematical Model dan Physical Model, Jurnal Rotasi.
- [4] Dicesare A., dkk. 2008. Rotor Optimization of Quad-Rotor Capable of Autonomous Flight. Worcester Polytechnic Institute. Massachusetts.

7. UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Hibah Penelitian Pembinaan dan Pemula, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.