

Analisis Motor pada Quadcopter

Khumairowati dan Bekti Yulianti

ABSTRAK

Sebuah quadcopter dapat melakukan take-off dan landing secara vertikal. Empat brushless motor yang terdapat pada quadcopter mempunyai gerakan searah dan berlawanan arah jarum jam. Sinkronisasi dari brushless motor pada quadcopter diperlukan ketika salah satu brushless motor bermasalah. Sinkronisasi tersebut dilakukan oleh ESC (Electronic Speed Controller). ESC bertugas sebagai pengendali kecepatan dan arah putar dari brushless motor. Pemilihan ESC didasarkan pada besarnya arus maksimal dari brushless motor. Pengujian terhadap quadmotor didapat bahwa gaya yang dibutuhkan untuk terbang 3.185 kg m/s^2 , untuk dapat bergerak keatas gaya harus lebih dari 1.5925 kg m/s^2 dan gaya tidak boleh lebih dari 6.37 kg m/s^2 untuk dapat bergerak turun, dengan lama terbang 10,207 menit, efisiensi motor 91,1%, torsi 0.089 Nm dan kecepatan sinkron motor 428.57 rpm.

1. PENDAHULUAN

Quadcopter merupakan pesawat yang tak berawak dan pada saat ini banyak digunakan untuk membantu mengambil foto dari udara, melihat situasi sebuah bencana dan lain-lain. Quadcopter merupakan salah satu jenis dari robot terbang atau disebut juga dengan nama multicopter yang merupakan pengembangan dari *helicopter* yang hanya memiliki sebuah rotor.

Komponen dasar *quadcopter* tersusun dari *transmitter*, *receiver*, ESC (*Electronic Speed Controller*), motor *brushless* dan tiap motor terdapat 1 buah propeller. *Quadcopter* mempunyai beberapa dasar fungsi di antaranya pitch, roll dan yaw. Teknologi yang terdapat pada *quadcopter* menggunakan sinkronisasi antara keempat rotor yang telah dikonfigurasi dalam bentuk frame (x) dimana rotor sebelah depan kanan dan belakang kiri bergerak berlawanan arah jarum jam. Dengan adanya 4 motor yang menggerakkan *quadcopter*, maka sinkronisasi motor menjadi penting terutama disaat *quadcopter* harus melaju dengan kecepatan penuh. Permasalahan

juga bisa ditemukan ketika salah satu motor mati ketika *quadcopter* sedang melaju. Disinilah tugas ESC untuk menjaga wahana tetap stabil dan juga kecepatannya.

2. METODE PENELITIAN

Langkah pertama yang dilakukan adalah dengan melaksanakan identifikasi terhadap masalah yang ada, yaitu bagaimana sistem kendali motor pada quadmotor yang disesuaikan dengan kinerja dari brushless motor.

Langkah kedua adalah dengan melakukan studi literatur, dalam hal ini literature yang digunakan tidak hanya diambil dari perpustakaan saja, tetapi juga melalui pencarian informasi melalui internet dan studi lapangan.

Langkah ketiga adalah melakukan analisis terhadap ketahanan motor yang digunakan, gaya yang diperlukan untuk dapat membuat motor bergerak naik dan turun, periode terbang motor, torsi dan kecepatan sinkron motor.

3. KONSEP DAN PENDEKATAN ANALISIS

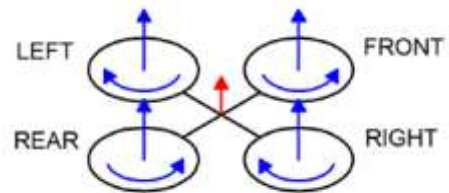
3.1. Quadcopter

Quadcopter adalah sebuah helikopter multirotor yang diangkat dan didorong oleh empat rotor. *Quadcopter* diklasifikasikan sebagai pesawat rotor, karena gaya angkat mereka dihasilkan oleh satu set rotor baling-baling yang berorientasi vertikal. Dengan mengubah kecepatan dari setiap rotor maka dimungkinkan untuk menghasilkan gaya dorong yang diinginkan, mencari pusat gaya dorong baik lateral maupun longitudinal, untuk menentukan total gaya putar yang diinginkan, atau kekuatan memutar.

Dalam melakukan terbang melayang di udara, yang dikenal dengan sebutan hover, quadcopter harus menggerakkan keempat baling-balingnya dengan kecepatan yang sama (ΩH). Setiap pasangan baling-baling memiliki arah gaya dorong yang memiliki fungsi berbeda, satu pasang sebagai pendorong (pusher) dan satu pasang sebagai penarik (puller). Dengan adanya pergerakan yang menghasilkan gaya dorong serta gaya tarik yang melawan gaya gravitasi tersebut, quadcopter dapat terbang melayang di udara dengan stabil. Beberapa pergerakan yang dapat dilakukan oleh *quadcopter* adalah :

a. Gerakan Naik Turun

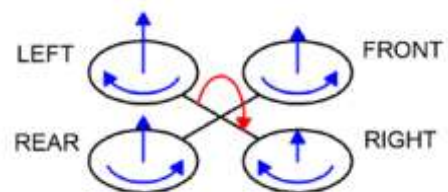
Untuk bergerak terbang ke atas dan ke bawah, quadcopter perlu menaikkan atau menurunkan kecepatan putar setiap baling-baling dengan jumlah yang sama. Menaikkan kecepatan akan mengakibatkan quadcopter terbang ke atas, dan menurunkan kecepatan akan mengakibatkan quadcopter terbang ke bawah.



Gambar 3.1 Gerakan Naik/Turun

b. Gerakan Pada Sumbu x (*roll*)

Untuk melakukan gerakan tersebut, perlu dilakukan perubahan kecepatan perputaran baling-baling pada pasangan baling-baling kiri dan kanan. Pada gambar ditunjukkan bahwa kecepatan perputaran pada baling – baling kanan dikurangi dan ditambah kecepatannya pada baling – baling kiri. Maka baling – baling kanan akan berfungsi sebagai penarik dan baling – baling kiri sebagai pendorong. Sehingga *quadcopter* akan bergerak ke arah kanan.

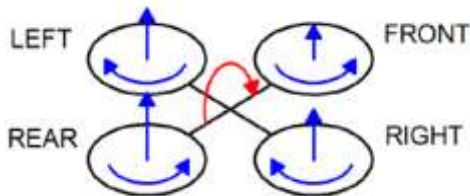


Gambar 3.2 Gerakan *Roll* (kanan – kiri)

c. Gerakan Pada Sumbu y (*pitch*)

Untuk berputar pada sumbu y (*pitch*) perubahan kecepatan dilakukan pada pasangan baling-baling depan dan belakang. Pada gambar ditunjukkan bahwa kecepatan perputaran pada baling – baling depan dikurangi dan ditambah kecepatannya pada baling – baling belakang.

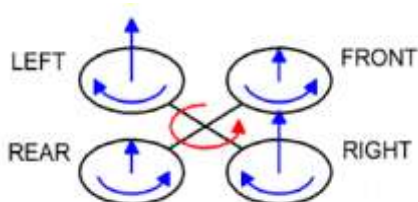
Maka baling – baling belakang akan berfungsi sebagai pendorong dan baling – baling depan sebagai penarik. Sehingga *quadcopter* akan bergerak ke arah depan.



Gambar 3.3 Gerakan *pitch* (depan – belakang)

d. Gerakan Pada Sumbu Z (*Yaw*)

Gerakan ini dilakukan dengan menurunkan kecepatan satu pasang baling-baling, depan - belakang atau kiri - kanan, dan menaikkan kecepatan satu pasangan baling-baling lainnya. Nantinya, *quadcopter* akan bergerak berputar ke arah perputaran pasangan baling-baling yang lebih lambat kecepatannya dibandingkan pasangan yang lainnya. Pada gambar ditunjukkan bahwa kecepatan putaran baling – baling depan dan belakang dikurangi sedangkan baling – baling kanan dan kiri ditambah, maka *quadcopter* akan berputar berlawanan arah jarum jam menuju ke sisi kanan depan.



Gambar 2.5 Gerakan *yaw*

3.2. Brushless Motor

Brushless motor adalah sebuah motor *synchron* 3 fasa tanpa sikat yang merupakan sebuah semikonduktor untuk merubah atau membalik arah putaran motor. Disebut motor *synchron* karena medan magnet yang dihasilkan *stator* (bagian yang tidak bergerak) dan medan magnet yang dihasilkan oleh *rotor* (bagian yang bergerak) berputar pada frekuensi yang sama.

Spesifikasi motor yang digunakan adalah sebagai berikut :

- KV
920
- Configuration
12N14P
- Shaft Diameter
3mm
- Motor Dimension(Dia.*Len)
Φ28x24
- Weight(g)
48g
- Idle current(10)@10v(A)
0.4A
- No.of Cells(Lipo)
36S
- Max Continuous current(A)180S
20A
- Max Continuous Power(W)180S
400W
- Max. efficiency current
(310A)>85%
- Internal resistance
62mΩ

Tabel 3.1. Spesifikasi motor

Tegangan	No Load		On Load			Propeler
	Arus	Kecepatan	Arus	Thrust	Power	
(V)	(A)	(rpm)	(A)	(gr)	(W)	
11,1	0,3	10200	7,2	660	79,9	CF 9,4x4,3"

Controller pada *brushless* motor berperan sebagai penunjang utama operasi. Karena *brushless* motor membutuhkan suatu trigger pulsa ke bagian elektromagnetiknya (*stator*) untuk memberikan pengaturan besar arus yang mengalir, sehingga putaran motor dapat diatur secara akurat. Motor akan dijalankan pada kecepatan sinkron, dimana rumusnya dapat dihitung dari persamaan dibawah.

$$N_s = 120 -$$

Dimana :

N_s : Kecepatan sinkron (rpm)

f : frekuensi (Hz)

p : Jumlah kutub rotor (pasang)

Gaya angkat yang diperlukan oleh sebuah *quadcopter* untuk terbang (*hover*). Gaya sebesar F (*lift*) pada keempat motor diperlukan untuk pesawat dapat mengudara, gaya yang dibutuhkan untuk menaikkan tinggi (*climb*) harus lebih besar dari massa dikali gravitasi dan gaya yang dibutuhkan untuk membuat *quadcopter* turun (*decline*) harus lebih kecil dari massa dikali gravitasi. Dimana persamaannya yang digunakan adalah:

$$F = (m \times g) / 4 \quad (\text{terbang})$$

$$F > (m \times g) / 4 \quad (\text{bergerak naik})$$

$$F < (m \times g) / 4 \quad (\text{bergerak turun})$$

Dimana:

$$F = \text{lift (kg m/s}^2)$$

$$m = \text{massa quadcopter (kg)}$$

$$g = \text{gravitasi bumi (9.8 m/s}^2)$$

3.3. Hubungan Arus Motor dengan Durasi Terbang Quadcopter

Durasi waktu terbang yang bisa dicapai oleh *quadcopter* dipengaruhi oleh kapasitas baterai. Dimana dari besarnya kapasitas baterai tersebut bisa diketahui konsumsi arus tiap motor sehingga bisa dihitung durasi waktu terbang *quadcopter*. Durasi waktu terbang itu bisa dipakai oleh *quadcopter* untuk take off, hover dan landing. Persamaan yang dapat dipakai adalah :

$$\text{Max Current} = Ah \times C$$

Dimana:

$$Ah = \text{kapasitas nominal dari baterai (Ah)}$$

$$C = \text{kapasitansi continuous discharge current (C)}$$

Dari perhitungan arus diatas dapat diketahui berapa lama waktu *quad-*

copter mengudara.

Flight Periode = Ah / A

**Lama di udara = Flight periode –
(2 x waktu terbang–spare (10%))**

3.4. Perhitungan Thrust Motor

Untuk membuat sebuah *quadcopter* terbang (*hover*) diperlukan thrust atau gaya yang dapat mengangkat ke udara. Dimana dapat diasumsikan bahwa gaya sebesar F (thrust) diperlukan untuk pesawat dapat mengudara, gaya sebesar 2F dapat menaikkan tinggi (*climb*) dan gaya sebesar 0.5F dapat membuat *quadcopter* turun (*decline*).

Untuk membuat *quadcopter* supaya dapat terbang maka dibutuhkan gaya sebesar F :

$$4 * F = 1.3 * 9.8$$
$$F = 3.185 \text{ kg m/s}^2$$

Untuk membuat *quadcopter* lebih tinggi dari posisi sebelumnya maka dibutuhkan F sebesar (di awal sudah diasumsikan bahwa untuk dapat naik dibutuhkan gaya sebesar 2F) :

$$4 * F > m * g$$
$$4 * (2F) > mg$$
$$8F > mg$$
$$F > \text{—}$$
$$F > \text{—————}$$
$$F > 1.5925 \text{ kg m/s}^2$$

Jadi dapat dianalisa bahwa untuk posisi tersebut gaya F yang diperlukan harus lebih besar dari 1.5925 kg m/s².

Untuk membuat *quadcopter* lebih rendah turun dari posisi sebelumnya maka dibutuhkan F sebesar (di awal sudah diasumsikan bahwa

untuk dapat turun dibutuhkan gaya sebesar 0.5F) :

$$4 * F < m * g$$
$$4 * (0.5F) < mg$$
$$2F < mg$$
$$F < \text{—}$$
$$F < \text{—————}$$
$$F < 6.37 \text{ kg m/s}^2$$

Jadi dapat dianalisa bahwa untuk posisi tersebut gaya F yang diperlukan harus lebih kecil dari 6.37 kg m/s².

3.5. Perhitungan Durasi Terbang Quadcopter

Durasi waktu terbang yang bisa dicapai oleh *quadcopter* sekitar 10 menit. Nilai itu merupakan nilai aman supaya *quadcopter* masih mempunyai cukup daya untuk mendarat dengan sempurna. Dari waktu perkiraan yang diberikan tersebut bisa dihitung analisa untuk memperbandingkan antara waktu perkiraan dengan waktu perhitungan. Persamaan yang dapat dipakai adalah :

$$\text{Max Current} = \text{Ah} \times \text{C}$$
$$= 2,2 \text{ Ah} \times 20$$
$$= 44\text{A}$$

Dari perhitungan *max current* diatas dapat dihitung konsumsi arus pada tiap – tiap motor.

$$\text{I motor} = \text{Max. Current} / 4$$
$$= 44\text{A} / 4$$
$$= 11\text{A}$$

Dari perhitungan arus diatas dapat diketahui berapa lama waktu *quadcopter* mengudara.

$$\text{Flight Periode} = \text{Ah} / \text{Acc}$$
$$= 2.2 / 11 \times 60$$
$$= 12 \text{ menit}$$

$$\begin{aligned} \text{Lama di udara} &= \text{Flight periode} - \\ &= (2 \times \text{waktu terbang}) - \text{spare (10\%)} \\ &= 12 - 0.593 - 1.2 \\ &= 10.207 \text{ menit} \end{aligned}$$

3.6. Perhitungan Efisiensi Motor

Untuk mengetahui efisiensi dari motor ini perlu dihitung *loss* yang dihasilkan masing – masing bahan. Efisiensi motor adalah kemampuan Efisiensi dari motor dapat menentukan seberapa baik alat tersebut berfungsi. Tentunya semakin tinggi efisiensi akan semakin baik.

$$\begin{aligned} \text{Copper Loss} &= I^2 \times R_m \\ &= 11^2 \times 0.062 \\ &= 7.502 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Iron Loss} &= V \times I_o \\ &= 11.1 \times 0.3 \\ &= 3.33 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total Loss} &= \text{copper loss} + \\ &= \text{iron loss} \\ &= 7.502 \text{ W} + 3.33 \text{ W} \\ &= 10.832 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Power in} &= V \times I \\ &= 11.1 \times 11 \\ &= 122.1 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Power out} &= \text{Power in} - \text{total} \\ &= \text{loss} \\ &= 122.1 - 10.832 \\ &= 111.268 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi} &= \frac{\text{Power out}}{\text{Power in}} \times 100\% \\ &= \frac{111.268}{122.1} \times 100\% \\ &= 91.1\% \end{aligned}$$

3.7. Perhitungan Torsi Start Motor Dan Kecepatan Sinkron Motor

Torsi awal yang dibutuhkan oleh motor supaya bisa berputar :

$$\begin{aligned} T &= k \times F \times r \\ T &= k \times 3.185 \times 0.028 \\ T &= 0.089k \text{ Nm} \end{aligned}$$

Dari percobaan yang telah dilakukan dapat dihitung kecepatan sinkron motor pada *quadcopter*

$$\begin{aligned} N_s &= 120 - \\ N_s &= 120 - \\ N_s &= 428.57 \text{ rpm} \end{aligned}$$

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapat dari analisa ini adalah sebagai berikut :

1. Dari hasil perhitungan terhadap thrust motor diperlukan gaya sebesar 3.185 kg m/s² untuk dapat membuat quadmotor terbang, gaya yang lebih besar dari 1.5925 kg m/s² untuk dapat membuat quadmotor bergerak keatas dan gaya yang lebih kecil dari 6.37 kg m/s² untuk dapat membuat quadmotor bergerak turun/kebawah.
2. Berdasarkan karakteristik motor yang digunakan maka Flight periode quadcopter yang didapat adalah 12 menit, sehingga dapat dihitung bahwa ketahanan lamanya quadcopter terbang adalah 10,207 menit, karena harus diperhitungan spare batere yang digunakan sebanyak 10% untuk proses peluncuran dan pendaratan.
3. Efisiensi motor yang dihasilkan adalah 91,1%, dengan torsi motor sebesar 0.089k Nm dan kecepatan sinkron motor 428.57 rpm.

5. DAFTAR PUSTAKA

1. Margunadi, A.R. *Pengantar Umum Elektroteknik*. PT. Dian Rakyat.1986.
2. Lister. *Electric Circuits and Machines (sixth edition)*. McGraw Hill, Inc. 1984. Alih bahasa : Gunawan, Ir. DRS

- Hanapi. *Mesin dan Rangkaian Listrik*. Erlangga. 1994.
3. Franzel, Louis E. *Communication Electronics*. Mc-Graw Hill Book Co-Singapore. 1990.
 4. Tefay, Benjamin; Bazle Eizad; Peter Crosthwaite; Surya Singh; Adam Postula. *Design of an Integrated Electronic Speed Controller for Compact Robotic Vehicles*. Robotic Aircraft Research Group School of Information Technology and Electrical Engineering. The University of Queensland, Brisbane 4072
 5. Firdaus, M.Pd; Eli Trisnowati, M.Pd. *To The Point Tuntaskan Soal Fisika*. Planet Ilmu. 2015.
 6. Antono, Djodi. *Jurnal Motor DC Brushless Tiga Fasa-Satu Kutub*. Politeknik Negeri Semarang. Vol.8 No.1 Maret 2012.
 7. Basukesti, Agus; Yuliani Indrianingsih. *Jurnal Sistem Pengendalian Jarak Terbang Pada Pesawat Quadcopter Untuk Menghindari Loss of Control*. Sekolah Tinggi Teknologi Adisutjipto. 2013.
 8. Azzumar, Muhammad. *Jurnal Pemodelan dan Simulasi BLDC Motor*. Universitas Indonesia. 2012.
 9. Putra, Rendi Aditya Wijaya; Eka Firmansyah; F Danang Wijaya. *Jurnal Metode Six Step Comutation pada Perancangan Kendali Sensored Motor BLDC*. Vol 1 No. 1. April 2014.
 10. <http://www.learnengineering.org> download tanggal 4 Januari 2016.