

Terbit online pada laman web jurnal : <http://metal.ft.unand.ac.id>

METAL: Jurnal Sistem Mekanik dan Termal

| ISSN (Print) 2598-1137 | ISSN (Online) 2597-4483 |



Artikel Penelitian

Rancang Bangun Low-Budget Autonomous Quadcopter

Budi Hartono

Politeknik Negeri Bandung, Jl. Gegerkalong Hilir, Ds. Ciwaruga, Bandung 40012, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Diterima Redaksi: 25 Maret 2021

Revisi Akhir: 10 Oktober 2021

Diterbitkan Online: 21 Oktober 2021

KATA KUNCI

autonomous quadcopter

low-budget

akurasi GPS

KORESPONDENSI

E-mail: buhar@polban.ac.id

A B S T R A C T

Quadcopter is an unstable flying vehicle. The flight controller regulates the rotational speed of the four motors, so that each propeller produces the lift required for the quadcopter to fly stable. It is interesting to know whether the use of generic quadcopter components obtained in the market can be mutually compatible. A stable and controllable quadcopter is a requirement for a quadcopter to fly autonomously. This research focusses on design a low-budget autonomous quadcopter. The research method consists of three main stages. First, the design and build phase of the quadcopter. The main frame and quadcopter arms are designed with a diagonal distance between the rotors of 45 cm. The basic components of the quadcopter are selected which are mutually compatible and assembled on the frame and arms. The flight controller is connected to the GPS, transmitter, and receiver. The autonomous system also involves a ground control system in the form of a Mission Planner. Second, the flight test stage is setting the PID constant so that the quadcopter can fly stable. PID tuning produces proportional constants of 0.088, integrals of 0.016, and derivatives of 0.008. Third, the autonomous flight test stage. The success of autonomous flying is known by analyzing the difference in input waypoint coordinates through the Mission Planner against the results of low-budget GPS receiver readings on autonomous flying missions. GPS accuracy was analyzed by calculating the 2DRMS and CEP values. The best value of 2DRMS = 1.56 meters and CEP = 0.64 meter occurred at Waypoint #2.

1. PENDAHULUAN

Quadcopter atau quadrotor merupakan wahana terbang dengan empat *brushless* DC motor yang terletak di ujung tiap lengannya. Wahana terbang multirotor ini tidak stabil. Kestabilan terbang diperoleh dengan cara pengaturan kecepatan putar tiap motor oleh *flight controller* melalui ESC. Uji terbang autonomous quadcopter dapat dilakukan, jika quadcopter terbang stabil dan terkendali.

Krishnan et al. menggunakan TUM Simulator AR Drone untuk verifikasi algoritma jalur terbang [1].

Kowsalya dan Eswaran membuat quadcopter dengan kemampuan terbang secara otomatis untuk tujuan pertanian. Perangkat lunak Proteus digunakan untuk simulasi navigasi waypoint [2]. Sementara Acharya et al. menguji sistem navigasi dengan cara melakukan simulasi terbang quadcopter dalam ruangan [3].

Penelitian quadcopter Vivek et al. dilakukan untuk misi terbang pemantauan dan pengawasan. Quadcopter pada penelitian tersebut menerapkan kendali terbang Arducopter v2.8. Komponen elektronika utama berupa modul GPS u-Blox Neo-7 dan *brushless* motor dengan rating 1000 KV.

Perangkat lunak Mission Planner digunakan untuk membuat rencana jalur terbang quadcopter [4].

Gururajan dan Bai [5, 6] melakukan penelitian autonomous quadcopter dengan 3DR Pixhawk sebagai kendali terbang. *Brushless* motor yang digunakan memiliki rating 924 KV. Uji terbang quadcopter secara otomatis yang dilakukan berbentuk angka delapan dengan waypoint sebanyak 10 dan 15 titik. Quadcopter tersebut tinggal landas menggunakan *radio control* yang dilakukan pilot. Lakshmanan et al. merakit quadcopter yang dapat terbang autonomous menggunakan *flight controller* Ardupilot v2.8 Mega dengan *brushless* motor 1400 KV [7].

Pada rancang-bangun *low-budget* autonomous quadcopter ini, komponen quadcopter yang dipilih memiliki spesifikasi lebih murah (*low-budget*) dibandingkan komponen quadcopter penelitian di atas. Kendali terbang ArduFlyer v2.5 adalah hasil kloning APM v2.5. Selain itu, motor dengan rating 920 KV dan modul GPS yang digunakan juga *low-budget*. GCS (*Ground Control Station*) berupa laptop dengan bantuan perangkat lunak Mission Planner.

Komponen elektronika quadcopter yang digunakan merupakan komponen generik serta mudah didapat. Semua komponen tersebut harus saling kompatibel. Indikator keberhasilan penelitian ini adalah quadcopter dapat terbang autonomous. Akurasi modul GPS dianalisis berdasarkan selisih kooordinat waypoint yang dimasukkan ke Mission Planner dibandingkan dengan nilai koordinat yang diindera oleh modul GPS saat quadcopter terbang autonomous.

2. METODOLOGI

Penelitian *low-budget* autonomous quadcopter ini terdiri atas tiga kegiatan utama. Tahap pertama, penelitian dimulai dengan rancang-bangun wahana terbang. Semua komponen *low-budget* quadcopter dirakit pada frame utama dan lengan quadcopter. Frame terbuat dari komposit, sedangkan lengan quadcopter dari aluminium *hollow*. ESC, GPS, dan

telemetri radio dihubungkan ke *flight controller* ArduFlyer. Sistem autonomous juga melibatkan GCS berupa laptop dengan perangkat lunak Mission Planner. Tahap kedua, quadcopter terbang perdana dengan menggunakan konstanta PID *default*. Pada uji terbang selanjutnya, pengaturan konstanta PID dilakukan pada *flight controller*. Uji terbang dengan konstanta PID hasil *tuning* membuat wahana terbang stabil dan terkendali. Tahap terakhir, quadcopter hasil rancang-bangun diterbangkan secara otomatis dari tinggal landas sampai mendarat. Akurasi modul GPS dianalisis dengan perhitungan nilai CEP 50% dan nilai 2DRMS 95% [8].

$$CEP = 0.59 \times (Std. Dev UTM E + Std. Dev UTM N) \dots\dots\dots (1)$$

$$2DRMS = 2 \times \sqrt{(Std. Dev UTM E)^2 + (Std. Dev UTM N)^2} \dots\dots\dots (2)$$

CEP didefinisikan sebagai jari-jari lingkaran yang berisi 50% dari distribusi kesalahan ketika dipusatkan di koordinat yang benar (yaitu, bebas kesalahan). Jadi, peluang bahwa besarnya kesalahan kurang dari CEP tepat 0.5. Sementara nilai 2DRMS adalah umumnya diambil sebagai batas 95% untuk besarnya kesalahan horizontal [9].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Rancang Bangun Autonomous Quadcopter

Rancang bangun *low-budget* autonomous quadcopter dimulai dengan penentuan DRO (*Design and Requirement Objectives*). Quadcopter memiliki empat lengan yang terbuat dari aluminium, sedangkan rangka utama dari komposit. Jarak melintang motor kiri depan ke motor kanan belakang sejauh 45 cm.

Low-budget flight controller yang digunakan ArduFlyer v2.5. *Flight controller* ini telah dilengkapi dengan sensor akselerometer, giroskop, barometer, dan kompas (lihat Gambar 1). Umpan-balik hasil penginderaan sensor menggunakan kendali PID.



Gambar 1. Flight controller ArduFlyer v2.5

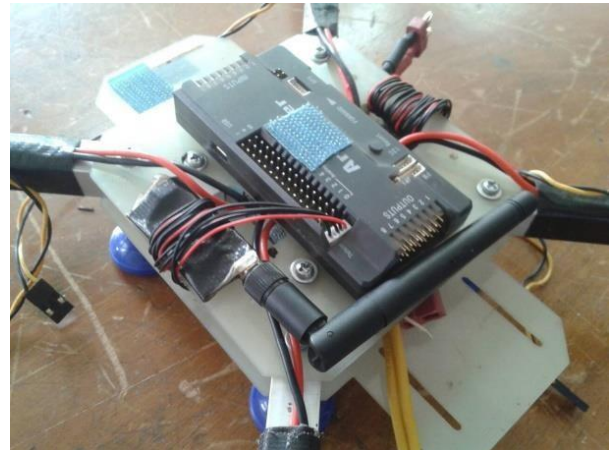
Gaya dorong (*thrust*) diperoleh dari sistem propulsi quadcopter yang diletakkan pada tiap lengan, yakni terdiri dari ESC Tiger Motor Air 20A, brushless Tiger Motor Air 2213/920 KV, dan T-9545 propeller (perhatikan Gambar 2-4). Ketiga komponen tersebut harus saling kompatibel dengan *flight controller* yang dipilih.



Gambar 2. ESC Tiger Motor Air 20A



Gambar 3. Brushless Tiger Motor Air 2213/920KV



Gambar 4. Komponen pada rangka utama

GPS *receiver* perlu menerima sinyal dari sebanyak mungkin satelit. Antena GPS diperlukan untuk meningkatkan kinerja GPS *receiver*. Terdapat dua jenis antena GPS, yakni antena GPS internal dan antena GPS eksternal. Modul GPS dan antena berkomunikasi dengan satelit untuk mendapatkan geolokasi (yaitu longitude, latitude, dan waktu) melalui sinyal untuk posisi tertentu pada waktu tertentu [10].

Low-budget modul GPS RCTimer u-Blox CN-06 berfungsi untuk mendapatkan koordinat quadcopter saat terbang autonomous (lihat Gambar 5). Gambar 6 menunjukkan *low-budget* autonomous quadcopter yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 5. Low-budget modul GPS

Untuk memastikan semua komponen elektronik yang dipilih dan dirakit saling kompatibel, maka dilakukan uji terbang perdana quadcopter. Terbang perdana dikendalikan oleh pilot melalui *radio control*.



Gambar 6. Low-budget autonomous quadcopter

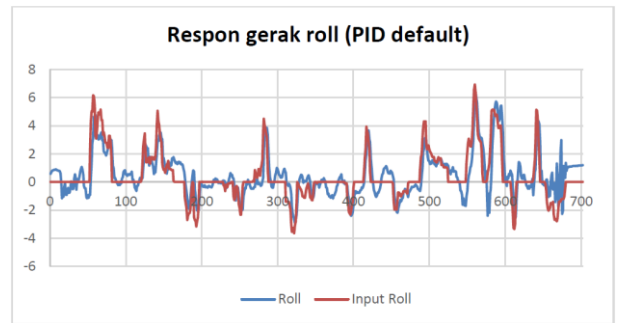
3.2. Uji Terbang Pengaturan PID

ArduFlyer merupakan mikrokontroler yang menggunakan kendali terbang PID sebagai sistem umpan-balik pengendaliannya. Sensor giroskop mengindera sikap terbang quadcopter. Pengaturan nilai konstanta PID bertujuan agar sikap terbang quadcopter mengikuti perintah terbang dari Mission Planner. Kendali terbang mengatur kecepatan putar motor, sehingga quadcopter terbang stabil dan dapat dikendalikan. Gambar 7 menunjukkan uji terbang autonomous quadcopter.

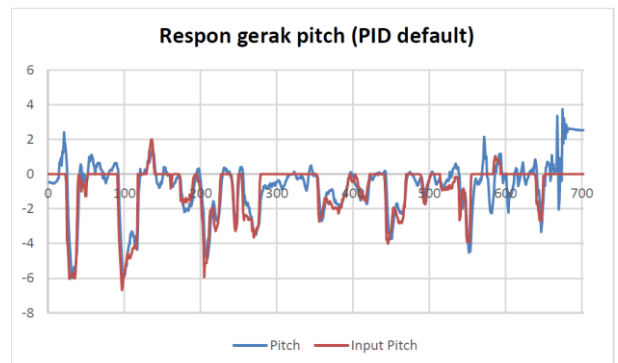


Gambar 7. Uji terbang autonomous quadcopter

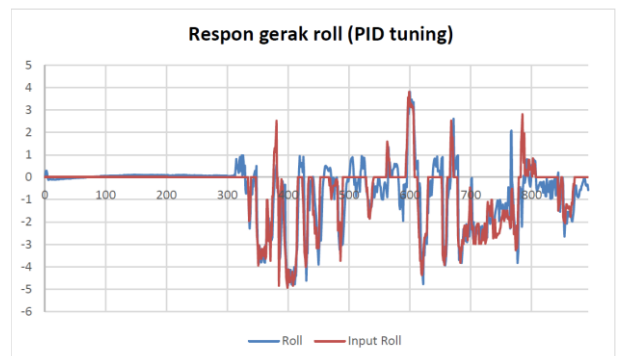
Perbandingan respon gerak quadcopter hasil uji terbang sebelum dan setelah pengaturan PID ditunjukkan pada Gambar 8-11. Gambar 8 menunjukkan respon gerak roll quadcopter dengan nilai PID *default* Arduflyer (lihat Tabel 1). Uji terbang untuk mendapatkan respon gerak pitch quadcopter ditunjukkan pada Gambar 9. Grafik warna merah merupakan input kendali dari pilot,



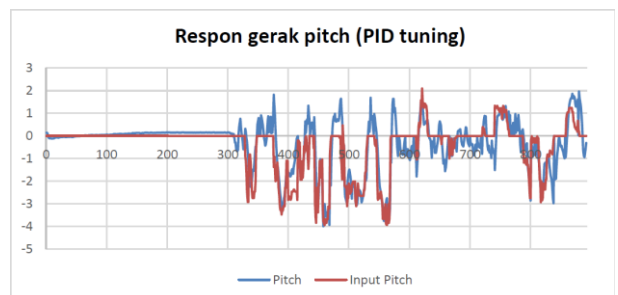
Gambar 8. Respon gerak roll quadcopter dengan PID *default*



Gambar 9. Respon gerak pitch quadcopter dengan PID *default*



Gambar 10. Respon gerak roll quadcopter dengan PID hasil *tuning*



Gambar 11. Respon gerak pitch quadcopter dengan PID hasil *tuning*

sedangkan grafik warna biru merupakan respon gerak quadcopter yang diindera oleh sensor giroskop yang terletak di dalam *flight controller*.

Quadcopter stabil dan terkendali setelah PID *tuning*. Gambar 10 dan 11 menunjukkan respon gerak roll dan pitch quadcopter dengan menggunakan konstanta PID hasil *tuning*. Tabel 1 menunjukkan quadcopter terbang lebih stabil dan terkendali dengan input konstanta PID hasil *tuning*.

Tabel 1. Respon Gerak Quadcopter

Konstanta PID	Gerak Roll		Gerak Pitch	
	Standar deviasi	Standar error	Standar deviasi	Standar error
PID default				
Kp=0.150				
Ki=0.100	-0.49	0.056	-0.74	0.059
Kd=0.004	± 1.51		± 1.57	
PID hasil tuning				
Kp=0.088				
Ki=0.016	-0.62	0.045	-0.35	0.036
Kd=0.008	± 1.34		± 1.08	

3.3. Pengukuran Akurasi GPS Receiver

GPS *receiver* memberikan data koordinat berupa latitude dan longitude yang dikonversikan ke bentuk UTM menggunakan WGS-84. Untuk mendapatkan kesalahan pengukuran (*measurement error*) GPS *receiver*, quadcopter diletakkan pada satu titik dan koordinat GPS dicatat pada selang waktu tertentu. Deviasi koordinat berdasarkan pembacaan modul GPS terhadap koordinat titik uji, ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Deviasi Pembacaan GPS Receiver

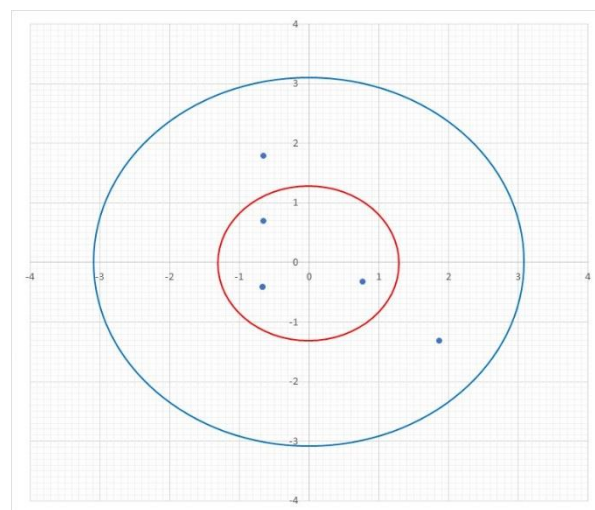
Pengujian	ΔX Easting [m]	ΔY Northing [m]
1	-0.66	1.79
2	-0.67	-0.42
3	0.77	-0.32
4	-0.67	-0.42
5	-0.66	0.69
6	1.87	-1.32

Variasi dalam kecepatan propagasi gelombang radio melalui atmosfer merupakan penyebab utama kesalahan estimasi posisi pada GPS [11].

Analisis akurasi GPS pada penelitian ini menggunakan CEP dan 2DRMS, yakni Persamaan (1) dan (2). Error posisi horizontal ditunjukkan dengan nilai 2DRMS. Sementara CEP merupakan radius lingkaran ketika 50% probabilitas terjadi. *Scatter plot* (Gambar 12) merupakan nilai ΔX dan ΔY koordinat UTM pada Tabel 2 dengan nilai 2DRMS dan CEP dari Tabel 3.

Tabel 3. Akurasi GPS (Statik)

	ΔX Easting [m]	ΔY Northing [m]
Standar deviasi	1.082	1.084
Rata-rata	0	0
2DRMS (95%)		3.06
CEP (50%)		1.28



Gambar 12. Persebaran data selisih koordinat UTM dengan CEP (lingkaran merah) dan 2DRMS (lingkaran biru)

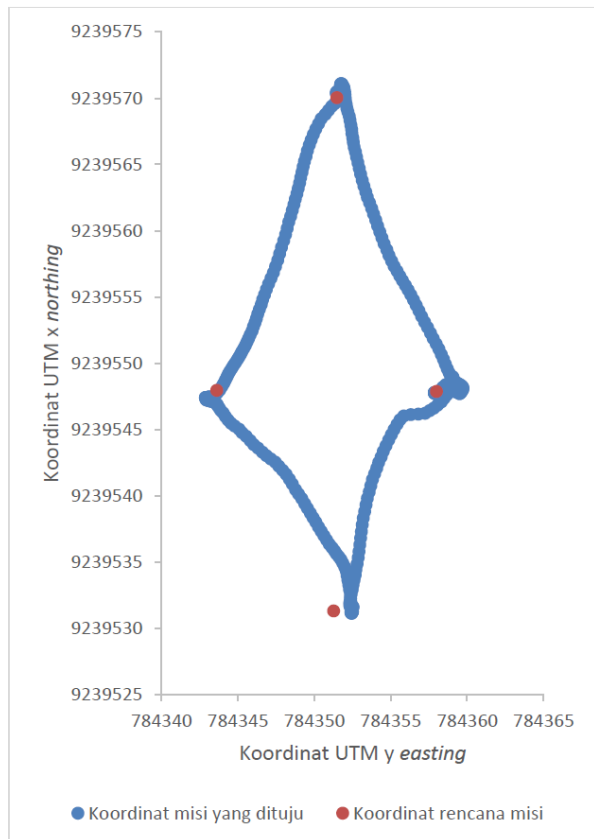
3.4. Uji Terbang Autonomous Quadcopter

Quadcopter terbang autonomous pada ketinggian 12 meter dari permukaan tanah (849.64 mdp1). Koordinat waypoint dimasukkan dalam perangkat lunak Mission Planner dengan radius waypoint ditentukan sebesar 1 meter. Quadcopter melakukan terbang autonomous mulai dari take off, terbang melalui tiga waypoint menuju kembali ke *base*, dan mendarat otomatis.

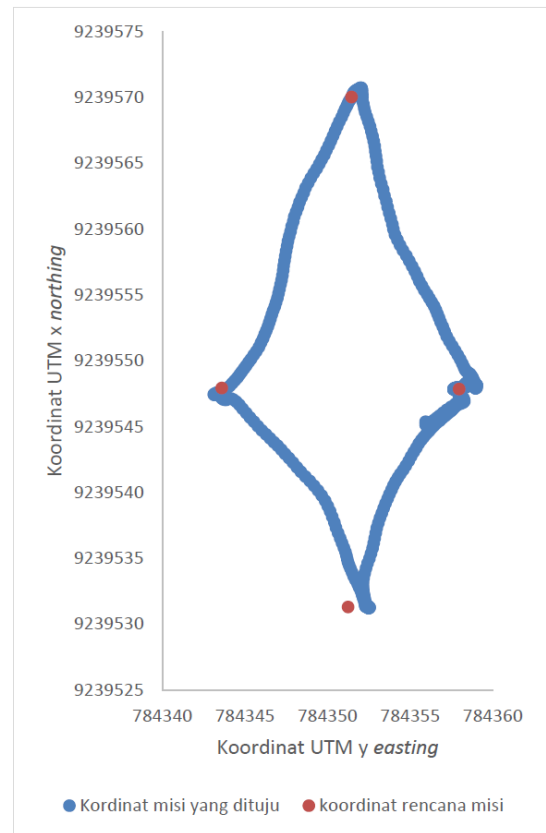
Gambar 13 dan 14 merupakan plot koordinat GPS selama uji terbang autonomous pertama dan kedua. Akurasi GPS diperoleh melalui analisis nilai ΔX

dan ΔY koordinat UTM dengan nilai 2DRMS dan CEP (lihat Tabel 4 dan 5).

Berdasarkan Tabel 4 dan Tabel 5, akurasi GPS menurun saat quadcopter melakukan terbang autonomous.



Gambar 13. Koordinat jalur terbang autonomous quadcopter (uji terbang pertama)



Gambar 14. Koordinat jalur terbang autonomous quadcopter (uji terbang kedua)

Tabel 4. Akurasi GPS (Dinamik) Uji Terbang Autonomous Pertama

	ΔX Easting [m]	ΔY Northing [m]
Waypoint #1		
Standar deviasi	0.83	2.48
Rata-rata	0.87	2.31
2DRMS (95%)		5.23
CEP (50%)		1.95
Waypoint #2		
Standar deviasi	0.47	0.62
Rata-rata	-0.28	-0.41
2DRMS (95%)		1.56
CEP (50%)		0.64
Waypoint #3		
Standar deviasi	0.72	1.39
Rata-rata	0.06	-0.32
2DRMS (95%)		3.14
CEP (50%)		1.25

Tabel 5. Akurasi GPS (Dinamik) Uji Terbang Autonomous Kedua

	ΔX Easting [m]	ΔY Northing [m]
Waypoint #1		
Standar deviasi	0.44	1.48
Rata-rata	0.90	1.31
2DRMS (95%)		3.08
CEP (50%)		1.13
Waypoint #2		
Standar deviasi	0.65	0.79
Rata-rata	0.24	-0.31
2DRMS (95%)		2.05
CEP (50%)		0.85
Waypoint #3		
Standar deviasi	0.71	1.61
Rata-rata	0.33	-0.83
2DRMS (95%)		3.52
CEP (50%)		1.37

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Rancang bangun autonomous quadcopter telah dilakukan dengan menggunakan komponen elektronik *low-budget* yang saling kompatibel. Sistem propulsi berupa ESC, *brushless* DC motor, dan propeller menghasilkan gaya dorong yang diperlukan. Kendali terbang PID pada ArduFlyer membuat quadcopter terbang stabil serta terkendali.

Quadcopter berhasil terbang secara otomatis dengan GCS berupa laptop berisi perangkat lunak Mission Planner. Terbang autonomous dilakukan mulai dari quadcopter tinggal landas, terbang melalui tiga waypoint, dan mendarat kembali di titik *base*.

Akurasi GPS receiver dianalisis berdasarkan perhitungan 2DRMS dan CEP. Nilai terbaik 2DRMS = 1.56 meter dan CEP = 0.64 meter terjadi pada Waypoint #2 uji terbang autonomous pertama. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa wahana terbang quadcopter dengan kombinasi *low-budget* Arduflyer v2.5 dan GPS receiver u-Blox CN-06 dapat melaksanakan misi terbang autonomous.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. R. Krishnan, V. R. Jisha, and K. Gokulnath, "Path Planning of an Autonomous Quadcopter based Delivery System," in *Proceedings of 2018 Conference on Emerging Trends and Innovations in Engineering and Technological Research (ICETIETR)*, 2018.
- [2] R. Kowsalya and P. Eswaran, "Development of Autonomous Quadcopter for Farmland Surveillance," in *ICSCS*, 2018, pp.80-87.
- [3] A. D. Acharya, S. Bhandari, and Z. Aliyazicioglu, "Autonomous Navigation of a Quadcopter in Indoor Environment," presented at the AIAA SciTech Forum, California, 2019.
- [4] J. D. R. Vivek, M. Mariappan, and M. J. Rickson, "Autonomous Quadcopter for Surveillance and Monitoring," *IJAR CET*, vol. 7, issue 4, April, 2018.
- [5] S. Gururajan and Y. Bay, "Autonomous "Figure-8" Flights of a Quadcopter: Experimental Datasets," *MDPI Data Journal*, vol. 4, Issue 1, March, 2019.
- [6] Y. Bay and S. Gururajan, "Evaluation of a Baseline Controller for Autonomous "Figure-8" Flights of a Morphing Geometry Quadcopter: Flight Performance," *MDPI Drones Journal*, vol. 70, Issue 3, August, 2019.
- [7] D. Lakshmanan, et al., "Performance Analysis of Medium Altitude Low-Cost Autonomous Quadcopter," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 764, no. 012037, 2020.
- [8] F. van Diggelen, "Update: GNSS Accuracy: Lies, Damn Lies, and Statistics," viewed at April 21, 2020, <<https://www.gpsworld.com/gpsgnss-accuracy-lies-damn-lies-and-statistics-1134/>>.
- [9] E. D. Kaplan and C. J. Hegarty, "Performance of stand-alone GNSS," in *Understanding GPS/GNSS, Principles and Applications*, 3rd ed. Boston, Artech House, 2017, ch. 11, sec. 2.3, pp. 675.
- [10] F. El Khoury and A. Zgheib, "GPS Antenna," in *Building a Dedicated GSM GPS Module Tracking System for Fleet Management, Hardware and Software*, Boca Raton, CRC Press, 2018, ch. 2, sec. 10, pp. 25.
- [11] Y. B. Sebbane, "Modeling," in *Smart Autonomous Aircraft, Flight Control and Planning for UAV*, Boca Raton, CRC Press, 2016, ch. 2, sec. 6.1, pp. 80.

NOMENKLATUR

2DRMS	twice Distance Root Mean Square
CEP	Circular Error Probable
ESC	Electronic Speed Controller
GPS	Global Positioning System
Kd	konstanta derivative
Ki	konstanta integral
Kp	konstanta proporsional
PID	Proportional Integral Derivative
UTM	Universal Transverse Mercator
WGS-84	World Geodetic System 1984