

# Rancang Bangun Quadcopter untuk Terbang Mengikuti Dinding Menggunakan Sensor Jarak Ultrasonik *HC-SR04*

## Design and Realization of Quadcopter for Fly Following the Wall Using HC-SR04 Ultrasonic Sensor

Indra Maulidin<sup>1</sup>, Muliady<sup>2</sup>, Yohana Susanthi<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Teknik Elektro, Universitas Kristen Maranatha

Jln. Prof. drg. Surya Sumantri no.65 Bandung, telp.(022)-2012186

indramaulidin@gmail.com<sup>1</sup>, mld\_ang@yahoo.com<sup>2</sup>, yohana\_susanthi@yahoo.com<sup>3</sup>

**Abstrak** – Makalah ini memaparkan perancangan dan realisasi sebuah quadcopter menggunakan sensor jarak ultrasonik HC-SR04 agar dapat terbang mengikuti dinding. Algoritma yang digunakan pada realisasi quadcopter adalah algoritma Wall Follower. Fokus pembahasan sistem tersebut adalah mengimplementasikan algoritma Wall Follower pada quadcopter agar dapat terbang navigasi dalam ruang dengan cara mengikuti dinding. Kontrol pergerakan roll menggunakan mode pengontrol ON-OFF Hysteresis sedangkan pada pergerakan yaw digunakan mode pengontrol open-loop. Nilai batas bawah dan batas atas yang digunakan pada kontrol ON-OFF Hysteresis adalah 70 cm dan 100 cm. Hasil pengujian menunjukkan quadcopter berhasil terbang mengikuti dinding sejauh 10,2 m dengan ketinggian maksimum 2,14 m.

**Kata Kunci:** Quadcopter, Sensor Jarak Ultrasonik HC-SR04, Wall Follower, ON-OFF Hysteresis.

**Abstract** – This paper explained the design and realization of a quadcopter using the HC-SR04 ultrasonic distance sensor so that it can fly following the wall. The algorithm used in the quadcopter design is the Wall Follower algorithm. The focus of the discussion of the system is implementing a Wall Follower algorithm to the quadcopter so that it can navigate following the wall. The roll movement control was using Hysteresis ON-OFF control and the yaw movement control was using open-loop control. The lower and upper limit values that were used in the Hysteresis ON-OFF control are 70 cm and 100 cm. The test results show the quadcopter can fly following the wall as far as 10.2 m and reaches a maximum height of 2,14 m.

**Keywords:** Quadcopter, Ultrasonic Distance Sensor HC-SR04, Wall Follower, ON-OFF Hysteresis.

### 1. Pendahuluan

Drones atau Unmanned Aerial Vehicle (UAV) awalnya banyak digunakan untuk tujuan pengawasan dan pengambilan data, terutama untuk aplikasi *outdoor*. Dengan berkembangnya teknologi pada *drone*, maka semakin banyak penggunaannya di berbagai bidang, bahkan untuk *indoor* dengan ukuran *drone* relatif kecil untuk bermanuver di dalam ruang, seperti pada jurnal [1] yang menggunakan *drone* untuk memonitor konstruksi. Kendala utama dalam navigasi *indoor*

*autonomous* adalah tidak dapat diandalkannya sinyal GPS seperti saat *drone* bernavigasi di *outdoor*.

Beberapa cara agar *drone* dapat bernavigasi di dalam ruang dengan menggunakan kamera depan dan kamera bawah untuk membuat persepsi 3D dibahas pada referensi [2], namun karena kompleksitas pengolahan citra belum berhasil diterapkan secara nyata pada *drone*. Demikian halnya dengan *paper* [3] yang menggunakan teknologi SLAM, dan sensor LIDAR untuk mapping *indoor* masih memerlukan penelitian lebih lanjut untuk agar dapat diimplementasikan ke dalam *drone*.

Berdasarkan keberhasilan makalah [4] yang melakukan pemodelan dan simulasi *quadcopter* bernavigasi dengan algoritma *wall follower*, dan makalah [5] menggunakan sensor jarak ultrasonik untuk mendeteksi serta menghindari halangan, maka pada penelitian ini dengan menggabungkan ke dua hal tersebut diharapkan dapat diimplementasikan algoritma *wall follower* dengan sensor jarak ultrasonik agar *quadcopter* dapat bernavigasi dalam ruang. Didukung juga oleh referensi [6] yang menyatakan bahwa walaupun navigasi *autonomous indoor* pada *quadcopter* cukup sulit direalisasikan, namun dengan metoda sederhana *wall follower* dan sensor *laser scanner* telah berhasil disimulasikan *quadcopter* dapat bernavigasi pada denah satu lantai. Penelitian ini bertujuan untuk melanjutkan penelitian sebelumnya yang masih dalam simulasi.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1. Wall Follower

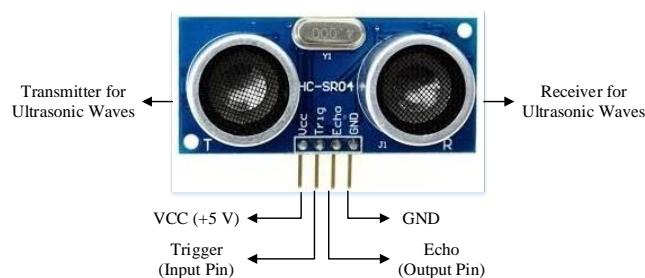
Algoritma *Wall Follower* merupakan salah satu algoritma yang sudah berhasil diterapkan di robot darat yang dapat diterapkan ke *quadcopter*. Tugas dari sebuah robot *wall follower* adalah bergerak mengikuti dinding dengan jarak tertentu tanpa bergerak terlalu dekat atau terlalu jauh dari dinding [7]. Pengukuran jarak robot terhadap dinding atau halangan menggunakan sensor jarak ultrasonik memungkinkan robot untuk bergerak tegak lurus terhadap dinding atau halangan tersebut. Algoritma *Wall Follower* memiliki beberapa ketentuan- ketentuan yang dibutuhkan agar robot dapat bergerak mengikuti dinding dengan baik yaitu[8]:

- Pengukuran yang akurat terhadap dinding atau halangan.
- Siklus pengukuran yang cukup cepat dibandingkan dengan kecepatan robot. Pengukuran jarak yang lebih cepat dibandingkan dengan kecepatan gerak robot memungkinkan robot mempertahankan jarak yang sama ke dinding.
- Robot dapat dikendalikan untuk bergerak ke segala arah.

Karena robot dikendalikan berdasarkan pengukuran jarak dinding terhadap robot, maka perbedaan jarak yang ditetapkan dan jarak yang terukur akan diakumulasikan. Untuk mengurangi perbedaan tersebut dan untuk mempertahankan jarak yang ditetapkan terhadap dinding, perbedaan antara jarak yang ditetapkan dengan jarak yang terukur dapat digunakan untuk mengubah arah gerak robot sehingga pergerakan robot dapat sesuai dengan yang diharapkan.

### 2.2. Sensor Jarak Ultrasonik HC-SR04

Sensor jarak ultrasonik *HC-SR04* merupakan salah satu jenis sensor jarak ultrasonik yang dapat memberikan fungsi pengukuran dengan rentan pengukuran 2–400 cm. Sensor jarak ultrasonik *HC-SR04* relatif murah dan mudah digunakan. Gambar 1 menunjukkan sensor jarak ultrasonik *HC-SR04* yang akan digunakan untuk mengukur jarak *quadcopter* ke dinding.



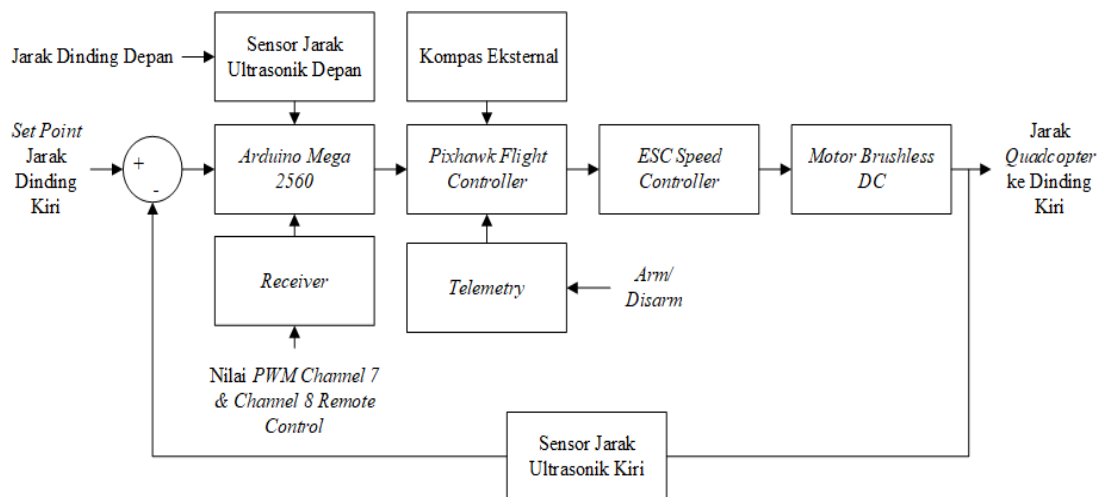
Gambar 1. Sensor jarak ultrasonik *HC-SR04*.

Prinsip kerja sensor jarak ultrasonik *HC-SR04* adalah *set trigger high* selama  $10 \mu\text{s}$ , lalu modul sensor secara otomatis akan memancarkan 8 pulsa gelombang ultrasonik dengan frekuensi  $40 \text{ kHz}$  yang membuat *pin echo high*. *Pin echo* akan tetap *high* selama tidak menerima gelombang pantulan. Lebar pulsa *high* dari *pin echo* akan menjadi waktu gelombang (dalam *microseconds*) merambat di udara menuju objek dan kembali setelah dipantulkan objek. Setelah didapatkan waktu gelombang mendeteksi objek dan dengan kecepatan gelombang  $0,034 \text{ cm}/\mu\text{s}$  (kecepatan suara), maka dapat dihitung jarak objek dengan menggunakan Persamaan (1) [9].

$$\text{Jarak (cm)} = \frac{0,034 \times \text{time of high pulse}}{2} \quad (1)$$

### 2.3. Perancangan Sistem

*Quadcopter* memiliki tugas untuk terbang mengikuti dinding dengan baik di ruangan. Misi terbang mengikuti dinding yang dimaksud adalah *quadcopter* akan terbang mengikuti dinding berdasarkan jarak dinding kiri dan dinding depan *quadcopter*. *Arduino Mega 2560* akan mengirimkan sinyal *PWM* ke *Pixhawk Flight Controller* berdasarkan masukan jarak dari sensor jarak ultrasonik. Gambar 2 menunjukkan diagram blok sistem *quadcopter* sesuai dengan tugas yang dirancang.



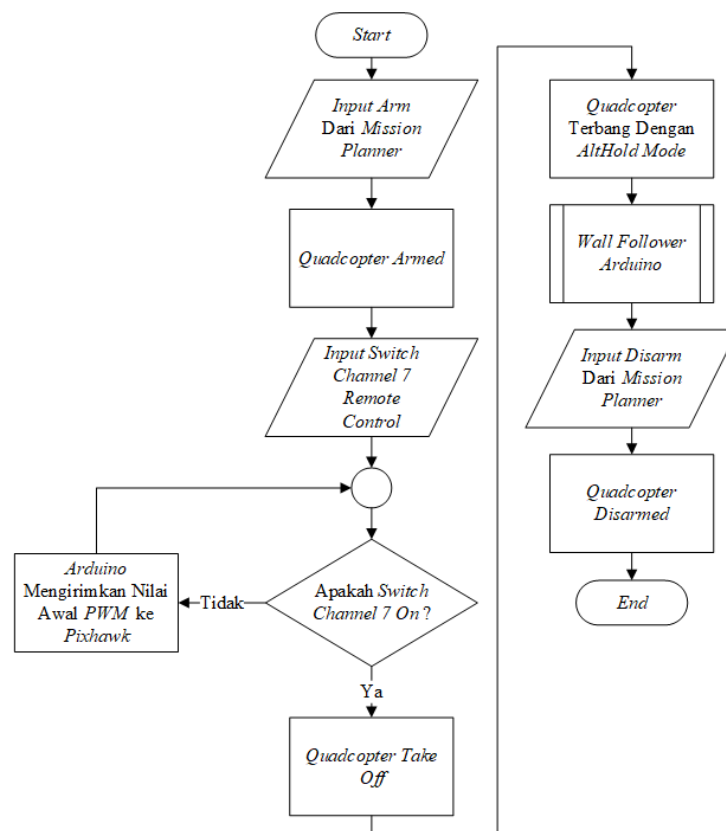
Gambar 2. Diagram blok sistem.

Pada Gambar 2, jarak dinding sebelah kiri dijadikan *set point* dari sistem untuk algoritma *Wall Follower*. *Set point* jarak dinding kiri dan jarak dinding depan *quadcopter* akan mempengaruhi nilai *PWM* yang dikirimkan *Arduino Mega 2560* ke *Pixhawk Flight Controller*. *Pixhawk Flight Controller* akan mengendalikan pergerakan *quadcopter* berdasarkan nilai *PWM* yang dikirimkan *Arduino Mega 2560*.

Pergerakan *roll quadcopter* akan menggunakan kontrol *ON-OFF Hysteresis*. Besar nilai *PWM roll* akan diatur berdasarkan perbandingan jarak dinding kiri dengan nilai *set point* jarak dinding kiri 1 (*SP1*) dan nilai *set point* jarak dinding kiri 2 (*SP2*). Nilai *SP1* akan menjadi batas bawah dan nilai *SP2* akan menjadi batas atas jarak dinding kiri. Ketika jarak dinding kiri bernilai kurang dari *SP1* (*quadcopter* mendekati dinding), *Arduino Mega 2560* akan mengirimkan nilai *PWM roll* ke *Pixhawk Flight Controller* untuk membuat *quadcopter* bergerak ke kanan (*ON*). Ketika jarak dinding kiri bernilai lebih besar dari *SP2* (*quadcopter* menjauhi dinding), *Arduino Mega 2560* akan mengirimkan nilai *PWM roll* ke *Pixhawk Flight Controller* untuk membuat *quadcopter* bergerak ke kiri (*OFF*). Ketika jarak dinding kiri bernilai diantara *SP1* dan *SP2*, nilai *PWM roll* yang dikirimkan *Arduino Mega 2560* ke *Pixhawk Flight Controller* akan sama dengan nilai sebelumnya (*floating*). Kontrol tersebut akan membuat *quadcopter* bergerak mengikuti dinding dengan stabil tanpa bergerak terlalu dekat atau terlalu jauh dari dinding kiri.

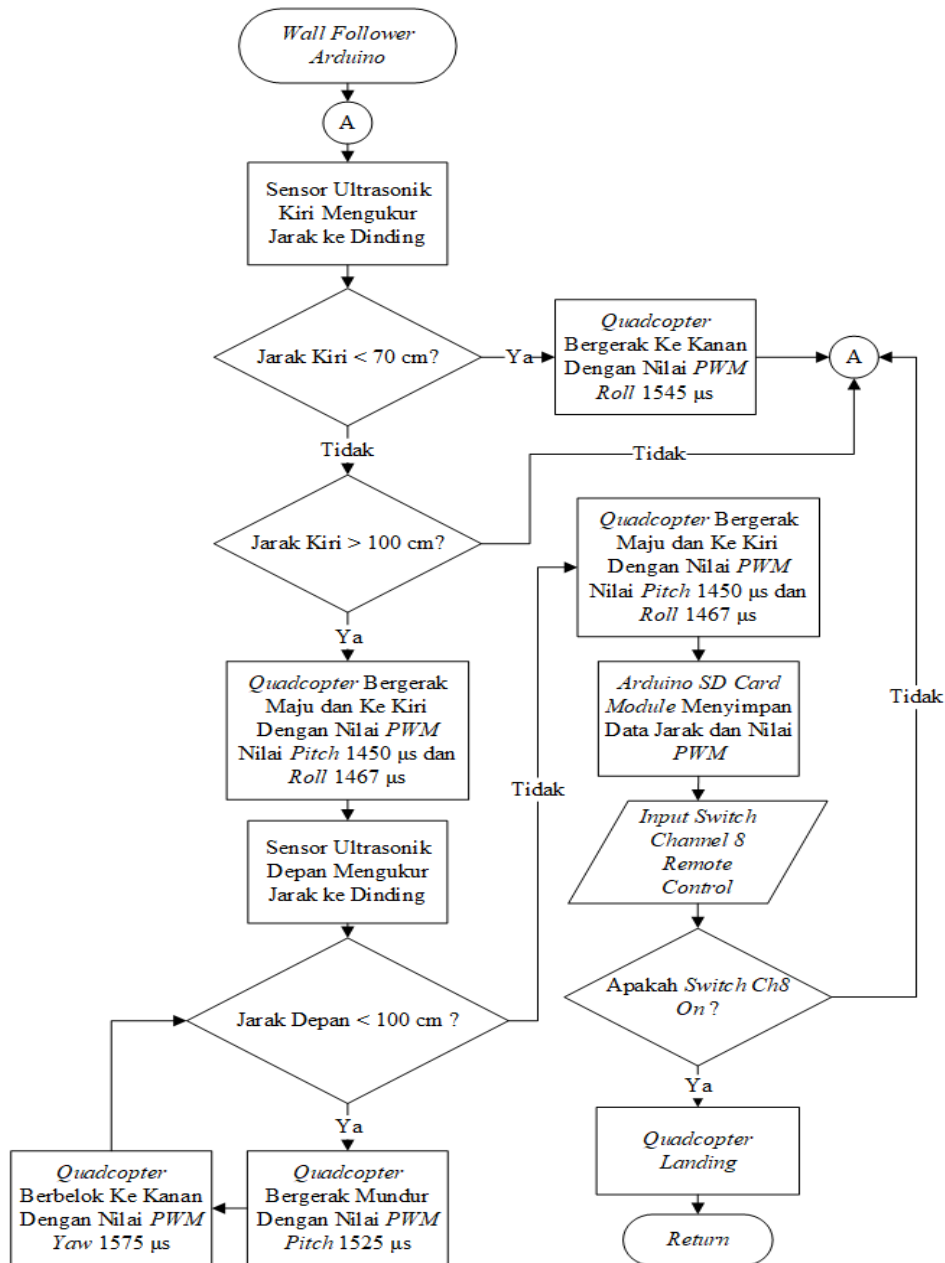
Pergerakan *yaw quadcopter* akan menggunakan kontrol *open-loop*. Besar nilai *PWM yaw* akan diatur berdasarkan perbandingan jarak dinding depan dengan nilai *set point* jarak dinding depan (*SP*). Ketika jarak dinding depan bernilai kurang dari nilai *SP*, *Arduino Mega 2560* akan mengirimkan nilai *PWM yaw* ke *Pixhawk Flight Controller* untuk membuat *quadcopter* berputar ke kanan. Ketika jarak dinding depan bernilai lebih dari nilai *SP*, *Arduino Mega 2560* akan mengirimkan nilai tengah *PWM yaw* ke *Pixhawk Flight Controller* untuk membuat *quadcopter* tidak berputar ke kanan atau ke kiri. Kontrol tersebut dapat membuat *quadcopter* menghindari dinding saat bergerak mendekati dinding depan.

*Input PWM switch Channel 7 (Ch7)* dan *Channel 8 (Ch8)* dari *remote control* digunakan sebagai kondisi dalam program *Wall Follower* yang akan dibuat. *Input Ch8* juga digunakan untuk perintah pendaratan *quadcopter*. Untuk perintah *arm/disarm quadcopter* akan menggunakan *Mission Planner* dan perintah tersebut akan diterima oleh *Pixhawk Flight Controller* melalui *telemetry*. Gambar 3 menunjukkan diagram alir algoritma sistem yang dirancang.



Gambar 3. Diagram alir sistem.

User akan memerintahkan *quadcopter* untuk *arm* menggunakan *software Mission Planner*. Saat *switch Channel 7 remote control off*, *Arduino Mega 2560* akan mengirimkan nilai awal *PWM* ke *Pixhawk*. Jika *switch Channel 7 remote control on*, maka *quadcopter* akan *take off* dan terbang dengan *AltHold Mode*. Lalu, *quadcopter* akan menjalankan subrutin program *Wall Follower Arduino* dan jika subrutin program *Wall Follower Arduino* telah selesai, maka user memerintahkan *quadcopter* untuk *disarm* menggunakan *software Mission Planner*. Gambar 4 menunjukkan diagram alir subrutin program *Wall Follower* yang dirancang.



Gambar 4. Diagram alir Wall Follower.

Sensor jarak ultrasonik kiri akan mengukur jarak *quadcopter* ke dinding kiri. Jika jarak dinding kiri kurang dari 70 cm, maka *quadcopter* akan bergerak ke kanan. Jika jarak dinding kiri lebih dari 100 cm, maka *quadcopter* akan bergerak maju dan sensor jarak ultrasonik depan akan mengukur jarak dinding depan. *Quadcopter* akan bergerak berdasarkan *input PWM* terakhir (*floating*) jika jarak dinding kiri berada di antara 70 cm dan 100 cm. Jika jarak dinding depan kurang dari 100 cm, maka *quadcopter* akan mundur dan berbelok ke kanan. Jika jarak dinding depan lebih dari 100 cm, maka *quadcopter* akan bergerak maju. *Arduino SD Card Module* akan menyimpan data jarak pengukuran sensor jarak ultrasonik kiri dan depan dan nilai *PWM roll* dan *yaw*. *Quadcopter* akan terus bergerak mengikuti dinding selama *switch Channel 8 remote control off*. Saat *switch Channel 8 remote control on*, *quadcopter* akan landing dan program *Wall Follower* selesai dijalankan.

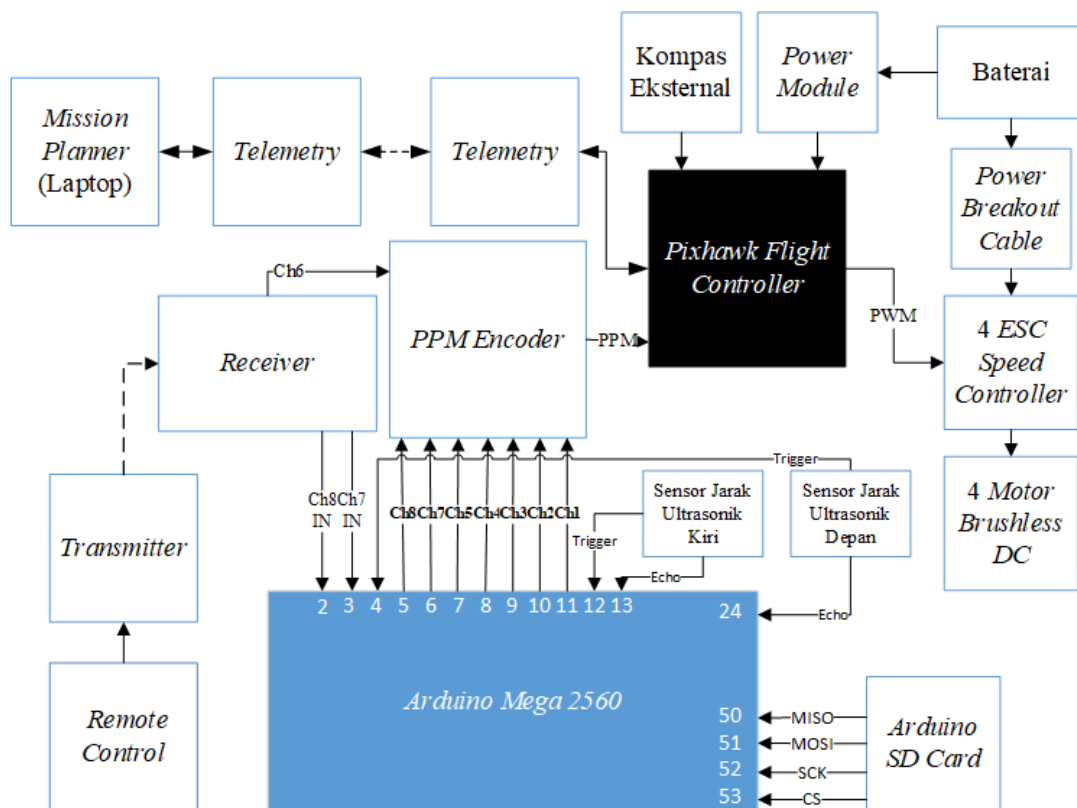
2.4. Realisasi Quadcopter

Quadcopter menggunakan frame X yang berukuran 250 mm karena ukurannya kecil yang aman dioperasikan di indoor. Baterai lipo Zippy 2200mAh 3S 25C digunakan sebagai baterai quadcopter. Untuk frame berukuran 250 mm dibutuhkan motor brushless 1900 kV–2300 kV. Ukuran frame yang kecil akan membuat propeller yang digunakan berdiameter kecil. Karena ukuran diameter propeller yang kecil maka dibutuhkan motor dengan perputaran yang cepat (nilai kV yang besar). Oleh karena itu, untuk motor quadcopter akan menggunakan 4 buah Racerstar BR2205 2300 kV brushless motor. Tabel 1 menunjukkan ESC dan ukuran propeller yang harus digunakan untuk motor Racerstar BR2205 2300 kV jika menggunakan baterai lipo 3S [7].

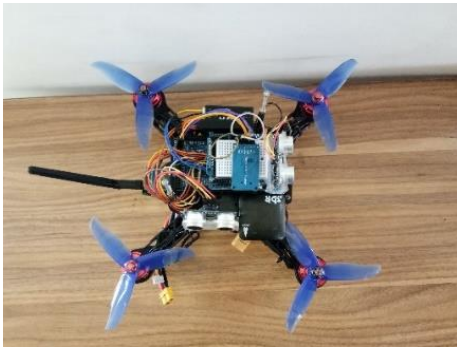
Tabel 1. Data performa motor racerstar BR2205 2300 kV.

Model	kV (rpm/v)	Voltage (V)	Prop (inch)	Load Current (A)	Pull (g)	Lipo Cell	Weight (g) Approx
BR2205	2300	11.1	5045	19.2	660	2-4S	28
		14.8		27.6	950		
	2600	11.1	4045	18.5	530		
		14.8		23.2	710		

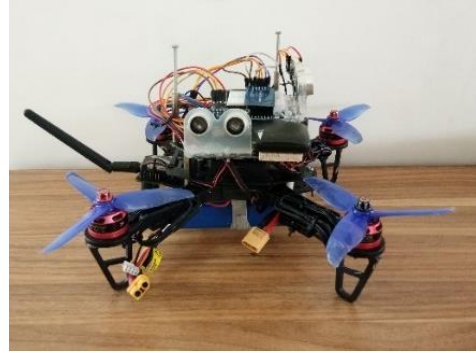
Berdasarkan Tabel 1, maka digunakan DYS XSD 20A ESC Speed Controller dan propeller berukuran 5045 (5x4.5 inch). Gambar 5 menunjukkan diagram blok elektronika dari quadcopter dan Gambar 6 menunjukkan realisasi quadcopter.



Gambar 5. Diagram elektronika quadcopter.



(a) Tampak atas



(b) Tampak depan



(c) Tampak kiri

Gambar 6. Realisasi *quadcopter*.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Pengujian Sensor Jarak Ultrasonik

Pengujian ini dilakukan untuk memvalidasi kemampuan sensor jarak ultrasonik *HC-SR04* dalam mengukur jarak. Pengujian dilakukan dengan mengukur jarak halangan yang permukaannya datar di depan sensor yang jaraknya berbeda – beda. Sensor jarak ultrasonik kiri dan depan masing–masing mengukur jarak 25 cm, 75 cm, 125 cm dan 175 cm dengan masing–masing jarak diukur sebanyak 5 kali yang dilakukan secara bersamaan. Jarak yang terukur oleh sensor akan dibandingkan dengan jarak sebenarnya untuk mendapatkan akurasi pengukuran dari masing–masing sensor. Tabel 2 menunjukkan data pengukuran sensor jarak ultrasonik kiri dan Tabel 3 menunjukkan data pengukuran sensor jarak ultrasonik depan.

Tabel 2. Data pengukuran sensor jarak ultrasonik kiri.

Jarak (cm)	Pengukuran (cm)	Kesalahan Pengukuran (cm)	Jarak (cm)	Pengukuran (cm)	Kesalahan Pengukuran (cm)
25	24	1	75	72	3
25	24	1	75	72	3
25	24	1	75	71	4
25	23	1	75	71	4
25	24	1	75	71	4
Rata-rata	23,8	1	Rata-rata	71,4	3,6

Jarak (cm)	Pengukuran (cm)	Kesalahan Pengukuran (cm)	Jarak (cm)	Pengukuran (cm)	Kesalahan Pengukuran (cm)
125	121	4	175	168	7
125	122	3	175	169	6
125	121	4	175	165	10
125	119	6	175	167	8
125	119	6	175	169	6
Rata-rata	120,4	4,6	Rata-rata	167,6	7,4

Tabel 3. Data pengukuran sensor jarak ultrasonik depan.

Jarak (cm)	Pengukuran (cm)	Kesalahan Pengukuran (cm)	Jarak (cm)	Pengukuran (cm)	Kesalahan Pengukuran (cm)
25	24	1	75	70	5
25	25	0	75	71	4
25	24	1	75	70	5
25	24	1	75	71	4
25	24	1	75	69	6
Rata-rata	24,2	0,8	Rata-rata	70,2	4,8

Jarak (cm)	Pengukuran (cm)	Kesalahan Pengukuran (cm)	Jarak (cm)	Pengukuran (cm)	Kesalahan Pengukuran (cm)
125	119	6	175	169	6
125	121	4	175	167	8
125	121	4	175	168	7
125	119	6	175	168	7
125	121	4	175	167	8
Rata-rata	120,2	4,8	Rata-rata	167,8	7,2

Berdasarkan data Tabel 2 dan Tabel 3, sensor jarak ultrasonik kiri memiliki rata-rata kesalahan pengukuran 4,15 cm dengan kesalahan maksimum mencapai 10 cm dan sensor jarak ultrasonik depan memiliki rata-rata kesalahan pengukuran 4,4 cm dengan kesalahan maksimum mencapai 8 cm. Data tersebut menunjukkan sensor jarak ultrasonik *HC-SR04* tidak memiliki nilai rata-rata kesalahan pengukuran yang terlalu besar yang dapat menyebabkan terjadinya kesalahan pergerakan *quadcopter* akibat kesalahan pengukuran saat bergerak mengikuti dinding menggunakan algoritma *Wall Follower*.

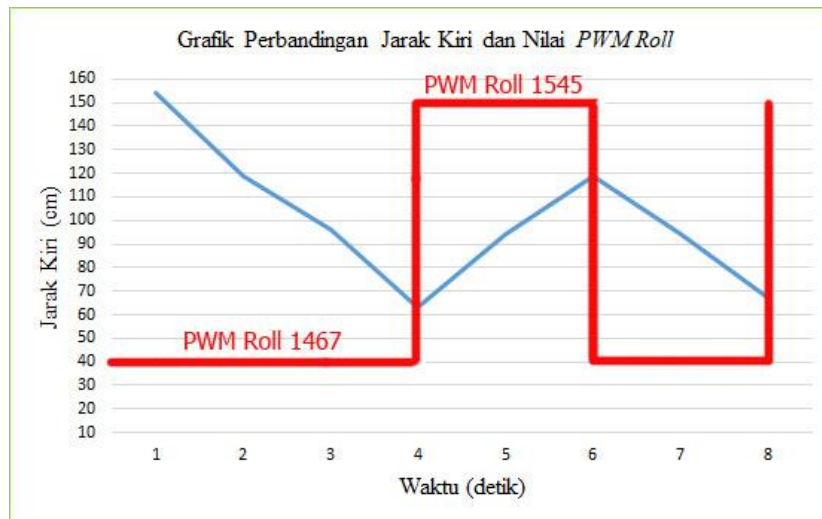
### 3.2. Pergerakan *Quadcopter* Menggunakan Algoritma *Wall Follower*

*Quadcopter* akan diuji coba di area pengujian berbentuk siku dengan tinggi 2,2 m, panjang dinding kiri 5,26 m dan dinding depan 4,96 m (total panjang lintasan 10,2 m). Gambar 7 menunjukkan pergerakan *quadcopter* saat bergerak mengikuti dinding area pengujian, dan Gambar 8 menunjukkan grafik pergerakan *roll quadcopter* berdasarkan nilai *PWM roll* sesuai dengan jarak pengukuran sensor jarak ultrasonik kiri serta Gambar 9 menunjukkan grafik pergerakan *yaw quadcopter* berdasarkan nilai *PWM yaw* sesuai dengan jarak pengukuran sensor jarak ultrasonik depan. Untuk Gambar 8 dan Gambar 9, data grafik akan didapatkan melalui *Arduino SD Card Module* yang menyimpan data jarak yang diukur oleh sensor jarak ultrasonik kiri dan depan dan nilai *PWM roll* dan *yaw* selama program *Wall Follower Arduino* dijalankan.

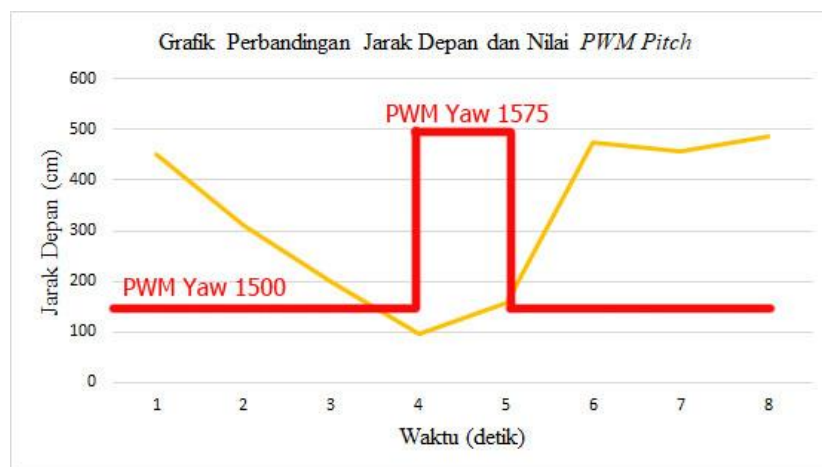




Gambar 7. Pergerakan *Quadcopter* dengan ketinggian maksimum 2,14 m.



Gambar 8. Grafik perbandingan jarak kiri dan nilai *PWM Roll*.



Gambar 9. Grafik perbandingan jarak depan dan nilai *PWM Yaw*.

Berdasarkan data pengujian yang diperoleh, *quadcopter* berhasil maju mengikuti dinding sejauh 10,2 m dan ketinggian maksimum 2,14 m. Data juga menunjukkan bahwa *Arduino* berhasil memberikan kontrol pergerakan *roll* dan *yaw quadcopter* berdasarkan nilai jarak sensor jarak ultrasonik kiri dan depan sehingga *quadcopter* dapat bergerak maju mengikuti dinding area pengujian dengan cukup stabil menggunakan algoritma *Wall Follower*.

#### 4. Kesimpulan

*Quadcopter* berhasil terbang mengikuti dinding sejauh 10,2 m dengan ketinggian maksimum sebesar 2,14 m menggunakan algoritma *Wall Follower*. Sensor jarak ultrasonik berhasil diintegrasikan dengan *Pixhawk Flight Controller* menggunakan antarmuka *Arduino Mega 2560* dan *Holybro PPM Encoder*. *Arduino Mega 2560* menghasilkan sinyal *PWM* berdasarkan masukan jarak yang diukur sensor jarak ultrasonik, sinyal *PWM* diubah menjadi sinyal *PPM* oleh *Holybro PPM Encoder* agar dapat diterima *Pixhawk Flight Controller* untuk mengendalikan *quadcopter*. Algoritma *Wall Follower* berhasil diterapkan pada *quadcopter* dengan menggunakan kontrol *ON-OFF Hysteresis* dan kontrol *open-lopp*. Kontrol *ON-OFF Hysteresis* digunakan sebagai kontrol pergerakan *roll quadcopter* dan kontrol *open-loop* digunakan sebagai kontrol pergerakan *yaw quadcopter*.

#### Referensi

- [1] McCabe, B. & Hamledari, Hesam & Shahi, Arash & Zangeneh, P. & Azar, E.. (2017). Roles, Benefits, and Challenges of Using UAVs for Indoor Smart Construction Applications. 349-357, 2017.
- [2] Apvrille, Ludovic, Dugelay Jean-Luc, and Benjamin Ranft, "Indoor Autonomous Navigation of Low-Cost MAVs Using Landmarks and 3D Perception," *In Proc. Ocean and Coastal Observation, Sensors and Observing Systems*, 2013.
- [3] Grzonka, Slawomir, Giorgio Grisetti, Wolfram Burgard, "A Fully Autonomous Indoor Quadcopter," *IEEE Transaction on Robotics*, vol.28, no.1, pp. 90–100, 2012.
- [4] Sarim, Mohammad & Nemati, Alireza & Kumar, Manish. Autonomous Wall-Following Based Navigation of Unmanned Aerial Vehicles in Indoor Environments. *AIAA Infotech at Aerospace*. 2015.
- [5] Gupta, Nischay, Jaspreet Singh Makkar, Piyush Pandev, "Obstacle Detection and Collision Avoidance Using Ultrasonics Sensors For RC Multicopters," in 2015 *International Conference on Signal Processing and Communication (ICSC)*, Maret 16–18, Noida, India, pp. 419–423., 2015
- [6] Aditya Darshan Acharya, "Autonomous Navigation of a Quadcopter In Indoor Environment," <https://scholarworks.calstate.edu/downloads/5x21th62m>. [Diakses Nov 8, 2020].
- [7] Antoune, Sherine, Phillip John McKerrow, "Wall Following with a Single Ultrasonic Sensor," in *International Conference on Intelligent Robotics and Applications (ICIRA)*, 3<sup>th</sup>ed, 2010, pp. 130–141, 2010.
- [8] Yata, Teruko, Lindsay Kleeman, Shin'ichi Yuta, "Wall Following Using Angle Information Measured by a Single Ultrasonic Transducer," *In Proc.IEEE International Conference on Robotics & Automation*, Leuven, Belgium, pp. 2599–2606, 1998.
- [9] HC-SR04 User Guide, [https://elecfeaks.com/estore/download/EF03085-HC-SR04 Ultrasonic Module User Guide.pdf](https://elecfeaks.com/estore/download/EF03085-HC-SR04%20Ultrasonic%20Module%20User%20Guide.pdf). [Diakses Mei 30, 2019]