

**RANCANG BANGUN SISTEM PENYEMPROTAN TANAMAN
HOLTIKULTURA MENGGUNAKAN QUADCOPTER**



**PROGRAM STUDI D3-TEKNIK TELEKOMUNIKASI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR
2023**

HALAMAN PENGESIHAN

Laporan Tugas Akhir dengan judul "Rancang Bangun Sistem Penyemprotan Tanaman Hortikultura Menggunakan Quadcopter" oleh Frezha Dianto Palinggi dengan NIM 32220068 dan Sitti Huzaifah dengan NIM 32220056 dinyatakan layak untuk diseminarkan.

Makassar, 14 September 2023

Menyetuji,

Pembimbing I,



Sahbuddin Abdul Kadir, S.T., M.T
NIP.19751130 200604 1 001

Pembimbing II,



Yedi George YL, S.ST., M.T
NIP. 19670107 199003 1 000

Mengetahui,

Koordinator Program Studi D-3 Teknik Telekomunikasi



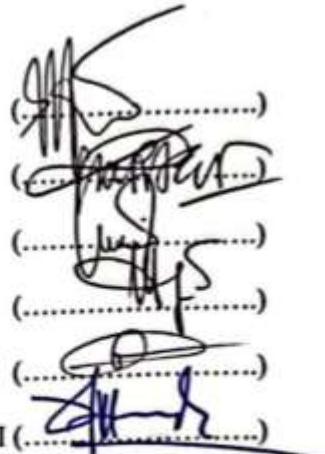
Yuniarti, S.S.T., M.T
NIP. 19770603 200212 2 002

HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, Rabu tanggal 20 September 2023, tim penguji ujian sidang Laporan Tugas Akhir telah menerima hasil ujian sidang Laporan Tugas Akhir oleh mahasiswa Frezha Dianto Palinggi dengan NIM 322 20 068 dan Sitti Huzaifah dengan NIM 322 20 056 dengan judul "Rancang Bangun Sistem Penyemprotan Tanaman Holtikultura Menggunakan *Quadcopter*".

Makassar, 20 September 2023

Tim Penguji Ujian Sidang Laporan Tugas Akhir:

- | | | |
|-------------------------------------|---------------|---------|
| 1. Misnawati, S.T., M.T. | Ketua | (.....) |
| 2. Nuraeni Umar, S.T., M.T. | Sekretaris | (.....) |
| 3. Yuniarti, S.T., M.T. | Anggota | (.....) |
| 4. Ir. Farchia Ulfiah, M.T | Anggota | (.....) |
| 5. Sahbuddin Abdul Kadir, S.T., M.T | Pembimbing I | (.....) |
| 6. Yedi George YL, S.ST., M.T | Pembimbing II | (.....) |
- 



RINGKASAN

Salah satu fungsi utama sosial ekonomi masyarakat pedesaan adalah melakukan berbagai macam kegiatan produksi terutama disektor pertanian. Selama ini petani menggunakan sistem penyemprot hama dengan cara manual dengan memanfaatkan tangki semprot yang tetap dioperasikan dengan menggendong tangki tersebut yang membutuhkan energi begitu kuat sehingga hasil penyemprotan kurang maksimal. Sehingga dibutuhkan alat penyemprot modern yang tidak membutuhkan tenaga tetapi menggunakan sistem *quadcopter*.

Perancangan Sistem Penyemprotan Tanaman Holtikultura Menggunakan *Quadcopter* membutuhkan beberapa Alat dan bahan. *Software* yang digunakan adalah *Mission Planner* untuk mengkonfigurasi atau sebagai suplemen kontrol dinamis untuk kendaraan otomatis. Dalam perancangan ini dijelaskan bahwa semua data yang masuk difungsikan sebagai rangkaian input dan data selanjutnya diproses oleh *flight controller*. Ketika *quadcopter* diberikan perintah maka *quadcopter* melakukan pergerakan sesuai dengan yang telah diprogramkan.

Pengujian sistem penyemprotan tanaman holtikultura menggunakan *quadcopter* dapat dianalisa bahwa dengan kapasitas baterai 5200 mAh *quadcopter* dapat terbang selama kurang lebih 02:06 detik ketika tidak ada beban dan ketika *quadcopter* berbeban dapat terbang kurang lebih 01:04 detik. Daya angkat maksimal *quadcopter* adalah 1,2 kg agar dapat menjaga kestabilan saat *quadcopter* terbang. Jangkauan penyemprotan lebih luas pada ketinggian kurang lebih 1.5 meter di atas tanah.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan karunia beserta rahmat-Nya, sehingga penulisan laporan tugas akhir ini yang berjudul “Rancang Bangun Sistem Penyemprotan Tanaman *Holtikultura* Menggunakan *Quadcopter*” dapat diselesaikan dengan baik.

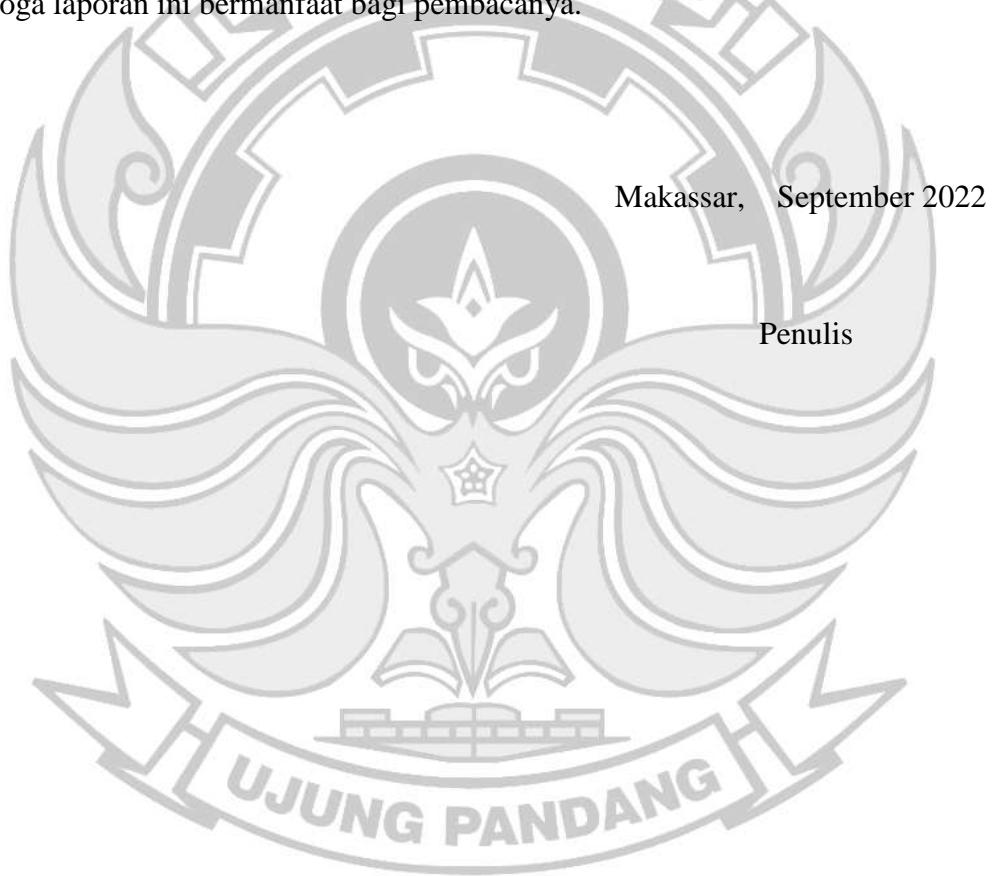
Laporan tugas akhir ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi mahasiswa Program Studi D3 Teknik Telekomunikasi Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Dalam penulisan laporan tugas akhir ini tidak sedikit hambatan yang penulis alami. Namun, berkat bantuan berbagai pihak terutama pembimbing, hambatan tersebut dapat teratasi. Sehubungan dengan itu, pada kesempatan dan melalui lembaran ini penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua, yaitu Bapak dan Ibu kami yang senantiasa mendoakan, memberikan perhatian, dan memberi dukungan moral maupun materil tanpa henti bagi kami untuk menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini.
2. Ir. Ilyas Mansur, M.T selaku Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang.
3. Ahmad Rizal Sultan, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang.
4. Yuniarti, S.ST., M.T. selaku Ketua Program Studi D3 Teknik Telekomunikasi Politeknik Negeri Ujung Pandang.
5. Sahbuddin Abdul Kadir, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing I dan Yedi George YL, S.ST., M.T selaku Dosen Pembimbing II yang telah muncurahkan waaktu dan kesempatannya untuk mengarahkan kami dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini.
6. Bapak dan Ibu Dosen / Staff pengajar Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang.

7. Serta teman-teman mahasiswa kelas 3C Teknik Telekomunikasi Angkatan 2020 yang telah bersama-sama menempuh suka dan duka selama menjadi mahasiswa serta banyak memberikan bantuan.
8. Dan seluruh pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung.

Penulis menyadari bahwa laporan tugas akhir ini belum sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritikan dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini dan demi perbaikan pada masa mendatang. Semoga laporan ini bermanfaat bagi pembacanya.



DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PENERIMAAN	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Kegiatan	3
1.4 Ruang Lingkup kegiatan	3
1.5 Manfaat Kegiatan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Sistem Penyemprotan	5
2.2 Tanaman Holtikultura	7
2.3 Komponen-Komponen <i>Quadcopter</i>	9
2.4 Pompa Air DC Mini	17
2.5 <i>Quadcopter</i>	18
2.6 Servo Motor	18
2.7 Perhitungan Gaya Angkat <i>Quadcopter</i>	18

2.8 Perhitungan durasi terbang Quadcopter	18
2.9 PWM (Pulse Width Modulation)	19
BAB III METODE PENELITIAN.....	Error! Bookmark not defined.
3.1 Tempat Dan Waktu Kegiatan	Error! Bookmark not defined.
3.2 Alat dan Bahan	Error! Bookmark not defined.
3.3 Tahapan Kegiatan.....	Error! Bookmark not defined.
3.4 Blok Diagram Sistem Perancangan Alat	Error! Bookmark not defined.
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	Error! Bookmark not defined.
4.1 Pengujian Ketahanan Baterai	Error! Bookmark not defined.
4.2 Pengujian Ketahanan Terbang.....	Error! Bookmark not defined.
4.3 Pengujian Penyemprotan	Error! Bookmark not defined.
BAB V PENUTUP.....	24
5.1 Kesimpulan.....	24
5.2 Saran	24
DAFTAR PUSTAKA	25
LAMPIRAN	25

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Alat dan Bahan yang digunakan	24
Tabel 4.1 Pengujian Ketahanan Baterai Tanpa Beban.....	35
Tabel 4.2 Pengujian Ketahanan Baterai Dengan Beban	36
Tabel 4.3 Pengujian Ketahanan Terbang	37
Tabel 4.4 Hasil Pengujian mekanisme penyemprotan	38
Tabel 4.5 Hasil Pengujian mekanisme penyemprotan	39



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 penyemprotan manual	6
Gambar 2.2 Motor Sprayer	7
Gambar 2.3 Papan <i>ArduPilot</i> (APM) 2.8	10
Gambar 2.4 Brushless motor.....	11
Gambar 2.5 <i>Transmitter Remote Control with FS-IA10B Receiver</i>	12
Gambar 2.6 <i>Lipo Battery RC Drone Quadcopter</i>	13
Gambar 2.7 <i>Kit Frame F450 Quadcopter</i> Drone.....	14
Gambar 2.8 <i>Electronic Speed Controller (ESC)</i>	15
Gambar 2.9 <i>propeller Quadcopter</i>	16
Gambar 2.10 <i>Module GPS</i>	17
Gambar 2.11 <i>Water pum DC</i>	18
Gambar 2.12 <i>Quadcopter</i>	19
Gambar 2.13 Servo Motor.....	20
Gambar 2.14 Bentuk sinyal PWM	22
Gambar 3.1 Windows 10.....	26
Gambar 3.2 <i>Mission Planner</i>	27
Gambar 3.3 Flow Chart Tahapan Kegiatan.....	28
Gambar 3.4 Blok diagram sistem penyemprotan	30
Gambar 3.5 Flowchart sistem <i>quadcopter</i>	31
Gambar 3.6 Flowchart sistem penyemprotan.....	32
Gambar 3.7 rangkaian <i>skematik</i> sistem penyemprotan tanaman <i>hortikultura</i> menggunakan <i>quadcopter</i>	33
Gambar 4.1 Gambar 4.1 konversi mililiter ke kilogram	36

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi Perancangan Alat.....	44
Lampiran 2 Dokumentasi Pengujian Alat	45
Lampiran 3 Dokumentasi Pengambilan Data.....	46



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu fungsi utama sosial ekonomi masyarakat pedesaan adalah melakukan berbagai macam kegiatan produksi terutama disektor pertanian dengan orientasi hasil produksinya untuk memenuhi kebutuhan pasar, baik ditingkat desa itu sendiri maupun di tingkat lain yang lebih luas. Dengan demikian mudahlah dimengerti apabila sebagian besar masyarakat pedesaan melakukan kegiatan utamanya dalam kegiatan pengolahan dan pemanfaatan lahan pertanian. Dalam kegiatan pengelolahan dan pemanfaatan lahan pertanian, permasalahan klasik yang selalu dihadapi oleh para petani adalah masalah hama khususnya pada tanaman hortikultura.

Selama ini petani menggunakan sistem penyemprot hama dengan cara manual dengan memanfaatkan tangki semprot yang tetap dioperasikan dengan menggendong tangki tersebut yang membutuhkan energi begitu kuat, sehingga hasil penyemprotan yang dilaksanakan kurang maksimal dan tergantung pada tenaga manusia. Untuk mengatasi hal tersebut, tentu dibutukan suatu alat penyemprot modern yang tidak membutuhkan tenaga manusia untuk menyemprotkan cairan serta petani tidak perlu lagi mengeluarkan biaya operasional. Proses ini dilakukan secara remote kontrol dan lebih mudah digunakan oleh petani karena petani hanya mengontrol alat ini diatas pematang sawah dan alat ini lebih cepat dari pada penyemprotan manual dikarenakan alat ini menggunakan sistem quadcopter.

Teknologi yang berkembang pesat saat ini adalah teknologi dibidang robot. Robot adalah piranti mekanik yang mampu melakukan pekerjaan manusia atau berlaku seperti manusia [1]. Robot mulai banyak digunakan oleh industri-industri berskala produksi besar untuk menggantikan peran manusia. Kelebihannya adalah hasil lebih presisi, mampu melakukan pekerjaan tanpa adanya rasa lelah. Selain dunia robotika, mikrokontroler juga berperan banyak dalam dunia otomasi di industri. Salah satu pekerjaan robot salah satunya adalah (drone) yang mengambil

gambar dari jarak jauh begitu mudah dan sangat jelas, begitupun alat yang akan digunakan oleh penulis, menggunakan sistem drone atau quadcopter.

Penelitian berjudul Pengembangan Sistem Penyemprotan Pada *Platform* Pesawat Tanpa Awak Berbasis *Quadcopter*, hasil pengujinya menunjukkan bahwa *prototipe platform* UAV yang menggunakan media cair 0,5 liter, mampu melakukan penyemprotan area seluas 2 m² dengan waktu terbang 10 menit pada ketinggian 70 cm dari tanah. [2].

Perancangan penyemprot pestisida untuk pertanian padi berbasis Quadcopter. Quadcopter yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis *quadcopter* tipe X dengan dimensi 650mm yang dibuat oleh tarot. Quadcopter bergerak menggunakan 4 buah baling-baling (propeller) dengan ukuran 13x5,5-inch yang dipasang pada motor brushless 700KV. Quadcopter pada saat penyiraman cairan pestisida melakukan *take off* menggunakan 2 cara, yaitu penyemprotan dengan mode terbang GPS-hold dan penyemprotan mode terbang secara otomatis diatur melalui *Mission Planner software*. Penyemprotan pestisida menggunakan *quadcopter* menghasilkan penyemprotan yang sempurna apabila penyemprotan dilakukan dengan ketinggian 3m dengan menggunakan persentase *nozzle holder* 75% [3].

Berdasarkan uraian di atas maka penulis akan membuat ***Rancang Bangun Sistem Penyemprotan Tanaman Holtikultura Menggunakan Quadcopter***. Jenis *flight controller* yang digunakan adalah ArduPilot dan sistem *quadcopter* yang berfungsi sebagai alat yang membawa cairan untuk disemprotkan ke tanaman holtikultura tanpa tenaga manusia, dalam hal ini dikontrol oleh remote dengan cara penyemprotan dari atas ke bawah. Dengan menggunakan alat quadcopter tanpa awak ini harapannya pekerjaan petani lebih mudah dan cepat.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan diatas, maka rumusan masalah yang akan dikaji adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perancangan sistem penyemprotan pada tanaman holtikultura menggunakan *quadcopter*?
2. *Flight Controller* apa yang digunakan pada perancangan sistem penyemprotan tanaman holtikultura?
3. Bagaimana sistem penyemprotan tanaman holtikultura menggunakan *quadcopter*?

1.3 Tujuan Kegiatan

Adapun tujuan kegiatan adalah sebagai berikut:

1. Merancang sistem kendali penyemprotan tanaman holtikultura menggunakan *quadcopter*.
2. Mengimplementasikan *flight controller* yang digunakan pada perancangan sistem kendali penyemprotan tanaman holtikultura.
3. Menerapkan sistem penyemprotan tanaman holtikultura menggunakan *quadcopter*.

1.4 Ruang Lingkup kegiatan

Adapun Ruang lingkup Kegiatan adalah sebagai berikut:

1. Alat ini menggunakan *flight controller Ardupilot*.
2. Alat ini dibuat dengan sistem *quadcopter*.
3. Target penggunaan alat ini untuk para petani dan sebagai *prototipe* untuk rancangan sistem penyemprotan tanaman holtikultura menggunakan *quadcopter*.
4. Untuk penyemprotan lebih efektif, sebaiknya penepatan alat dengan model *quadcopter* ini berada sekitar 1,5 meter dari permukaan tanah.
5. Luas lahan yang digunakan adalah 1 x 1.5 meter².
6. Jangkauan remote control 100 meter dan sistem gerak *quadcopter* secara manual

1.5 Manfaat Kegiatan

Diharapkan dengan penelitian ini dapat diambil beberapa manfaat yang mencakup 2 hal pokok berikut:

- a. Dapat memberikan suatu referensi yang berguna bagi dunia akademis khususnya penelitian yang akan datang dalam hal perkembangan teknologi *Mikrokontroller, flight controller* dan Elektronika.
- b. Hasil dari penelitian ini secara praktis diharapkan dapat memberi manfaat bagi para petani dalam penyempatan tanaman hortikultura.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Penyemprotan

Sistem penyemprotan tanaman dalam *hortikultura* adalah salah satu aspek penting dalam pengelolaan kebun atau kebun sayur, yang bertujuan untuk memberikan perlindungan terhadap hama, penyakit, serta menyediakan nutrisi yang diperlukan oleh tanaman. Sistem ini membantu petani atau tukang kebun dalam mempertahankan kualitas dan produktivitas tanaman mereka. Sistem penyemprotan tanaman *hortikultura* adalah alat penting dalam mengelola kebun atau kebun sayur secara efisien dan efektif, serta menjaga kesehatan dan produktivitas tanaman. Pemilihan alat, bahan kimia, dan teknik yang tepat akan membantu mencapai hasil yang optimal dan menjaga lingkungan serta kesehatan tanaman. Sistem penyemprotan yang baik adalah bagian penting dari praktik pertanian modern yang berkelanjutan dan efektif. Ini membantu menjaga tanaman sehat, meningkatkan hasil panen, dan mengendalikan hama dan penyakit. Namun, penggunaan bahan kimia harus bijaksana dan sesuai dengan pedoman untuk melindungi lingkungan dan kesehatan manusia.

2.1.1 Sistem penyemprotan manual

Sistem penyemprotan secara manual yg dilakukan oleh para petani biasanya dengan mencampur pestisida dan air. Alat semprot yang paling umum digunakan adalah *knapsack sprayer*. Alat semprot punggung atau yang juga dikenal dengan nama *knapsack sprayer* ini merupakan jenis alat semprot yang paling sering digunakan oleh petani. Prinsip kerja dari alat ini adalah mengeluarkan larutan dari dalam tangki karena adanya tekanan udara melalui tenaga pompa yang dihasilkan oleh gerakan tangan penyemprot. [4]



Gambar 2.1 Sistem Penyemprotan Manual

Ketika gagang pompa digerakkan, maka larutan akan keluar dari tangki menuju tabung udara. Dengan demikian, tekanan di dalam tabung meningkat sehingga larutan pestisida dipaksa keluar melalui klep yang selanjutnya diarahkan oleh nozzle bidang sasaran semprot.

2.2.2 Sistem Penyemprotan Otomatis

Sistem Penyemprotan secara otomatis atau modern tentunya lebih memudahkan petani dalam penyemprotan tanaman, penyemprotan pun jadi lebih cepat selesai dan tentunya tidak menggunakan banyak tenaga manusia tetapi menggunakan mesin atau motor sebagai tenaga penggerak. Contoh system penyemprotan secara otomatis yaitu motor sprayer. Jenis alat semprot ini menggunakan mesin sebagai tenaga penggerak pompa supaya larutan di dalam tangki keluar sesuai kebutuhan.



Gambar 2.2 Motor Sprayer

Cara penggunaannya pun bervariasi sesuai jenis dan merek yang digunakan, seperti ditarik dengan kendaraan, digendong di punggung, diletakkan di atas tanah, hingga dibawa oleh pesawat. Adapun contoh dari motor sprayer yang bisa ditemui di pasaran adalah boom sprayer dan mist blower power sprayer [4].

2.2 Tanaman Holtikultura

Holtikultura secara istilah berasal dari bahasa Yunani, yaitu terdiri dari kata “hortus” dan “cultura”. “Hortus” dalam bahasa Yunan memiliki arti tanaman kebun. Sedangkan “cultura” atau “colere” berarti budidaya. Jadi, secara sederhana pengertian hortikultura adalah budidaya tanaman kebun. Secara lebih luas, istilah tersebut mengacu pada budidaya tanaman kebun dengan teknik yang modern dan meliputi beberapa cakupan kerja. Area kerjanya antara lain meliputi pembenihan, pembibitan, kultur jaringan, memproduksi beragam komoditas tumbuhan, pemberantasan hama serta penyakit, pemanenan, pengemasan produk, hingga pada akhirnya pendistribusian secara massal [5].

Dilihat dari jenisnya, tanaman hortikultura bisa dikembangkan secara masif mulai dari jenis buah-buahan, sayuran, bunga atau tanaman hias, dan biofarmaka atau tanaman obat. [6]

1. Tanaman Hortikultura Sayuran

Jenis tanaman ini dapat dijumpai di sekitar lingkungan dalam pekarangan rumah. Sayuran merupakan tanaman yang dapat dibudidayakan setiap saat tanpa melihat musim. Ada 2 jenis tanaman sayuran yang perlu diketahui pertama adalah tanaman sayuran tahunan atau bisa dipanen selama tanaman itu hidup. Contohnya petai, jengkol, melinjo, ubi termasuk singkong. Kedua, adalah tanaman sayuran musiman misalnya kangkung, bayam, wortel, dan kacang panjang.

2. Tanaman Hortikultura Obat

Jenis tanaman hortikultura obat/biofarmaka atau bisa juga disebut sebagai tanaman rempah, memiliki banyak manfaat dan sudah lama digunakan oleh masyarakat. Tujuannya sebagai bahan pembuat obat-obatan herbal dan bisa juga digunakan sebagai bahan tambahan pada bumbu masakan. Contoh tanaman hortikultura obat seperti jahe, lengkuas, temulawak, dan kayu manis.

3. Tanaman Hortikultura Buah

Jenis tanaman hortikultura selanjutnya adalah buah-buahan. Pada umumnya, tanaman buah merupakan jenis tanaman musiman. Sehingga akan berbuah hanya pada saat musimnya tiba, tergantung jenisnya. Ada ragam tanaman buah yang hanya berbuah satu kali dalam masa tanam dan ada juga yang berbuah berkali-kali selama ditanam. Untuk yang musiman contohnya rambutan, sedangkan yang berbuah berkali-kali selama ditanam contohnya pisang.

4. Tanaman Hortikultura Bunga

Jenis tanaman hortikultura bunga biasa digunakan sebagai tanaman hias. Tanaman hias ini juga bermacam jenisnya. Ada yang ditanam di alam pot, namun ada juga yang ditanam dengan cara menanam langsung di taman. Varietas yang ditanam dalam tanah misalnya melati, anggrek, kenanga hingga kamboja. Umumnya, tanaman hortikultura bunga dikoleksi masyarakat guna mempercantik tampilan dalam dan luar rumah dan menambah nilai estetika.

2.3 Komponen-Komponen *Quadcopter*

Quadcopter adalah sebuah varian dari keluarga drone yang merupakan sebuah perangkat yang diciptakan dengan tujuan utama untuk mampu menghasilkan gaya angkat serta memberikan kontrol yang presisi melalui manipulasi dan pengaturan cermat terhadap kecepatan rotasi dari masing-masing dari rotor yang dimilikinya. Melibatkan beragam komponen utama yang bekerja secara sinergis, *quadcopter* menggabungkan kekuatan teknologi, mekanika, dan elektronika untuk menciptakan sebuah platform yang serba guna, mampu menjalankan berbagai tugas yang meliputi pemotretan udara, pemantauan lingkungan, eksplorasi wilayah sulit dijangkau, dan bahkan aplikasi militer yang memerlukan keahlian dalam pengawasan dan pengambilan keputusan.

Dengan semua komponen-komponen yang bekerja bersama-sama secara harmonis, *quadcopter* menjadi sebuah perangkat yang serbaguna dan sangat berguna dalam berbagai aplikasi, mulai dari keperluan hobi hingga profesional. Penggunaannya dapat dikustomisasi dan dioptimalkan sesuai dengan kebutuhan tertentu, menjadikannya salah satu inovasi teknologi yang menghadirkan potensi luar biasa dalam dunia penerbangan tanpa awak.

2.3.1 Flight Control Ardupilot Mega 2.8

Ardupilot adalah perangkat keras *flight controller* yang berfungsi untuk mengatur seluruh sistem pada *quadcopter* dan juga dapat digunakan untuk proyek *autopilot*. Ardupilot berbasis *platform open-source* menggunakan *mikrokontroler* Arduino Mega, yang dikembangkan oleh Chris Anderson dan Jordi Munoz dari DIY Drones. Modul ini berbasis *open-source* paling berkembang untuk modul autopilot. Baik *autopilot* untuk pesawat (*Arduplane*), *Multicopter* (*Arducopter*) dan juga kendaraan darat (*Ardurover*).

Ardupilot Mega memiliki *main processor board*, yang menggunakan prosesor ATMega2560 dan ATMega328 sebagai pendukung prosesor yang digunakan sebagai *interface* RC. Bentuk fisik *board* APM ditunjukkan pada Gambar dibawah ini. [7]



Gambar 2.3 Papan ArduPilot (APM) 2.8

Board APM dilengkapi dengan *input* dan *output* pin yang dapat digunakan untuk koneksi antara APM dengan komputer, *power module*, *radio receiver*, dan perangkat penyusun *drone* lainnya. Ardupilot Mega dilengkapi dengan beragam sensor yang disusun menjadi satu kesatuan bernama IMU (*Inertial Measurement Unit*). Sensor tersebut ditanamkan pada *shield board* APM yang terletak dibagian paling atas *board*, sensor- sensor tersebut antara lain adalah :

a. Gyroscope

Sensor yang mengatur kemiringan drone dan membuat drone menjadi rata dan terbang stabil.

b. Accelerometer

Sensor yang berfungsi untuk mengatur pergerakan drone, terutama bergerak kedepan maupun kebelakang.

c. Sensor Kompas/Magnetometer

Merupakan sensor yang menentukan arah drone agar bisa terdeteksi di remot control atau telemetry yang terpasang.

d. Barometer

Merupakan sensor yang mengatur ketinggian drone, sehingga drone mampu terbang dengan ketinggian yang sesuai dengan apa yang anda inginkan. Fungsi barometer ini merupakan fitur Altitude Hold yang biasanya terdapat pada drone.

2.3.2 Brushless dc Motor (BLDC)

Motor *Brushless Direct Current* (BLDC) adalah motor yang tidak

menggunakan sikat atau *brush* untuk pergantian medan magnet (komutasi) tetapi dilakukan secara komutasi elektronis.

Perbedaan utama antara motor dc *Magnet Permanen* (DC-MP) dengan motor *brushless* dc adalah terletak pada pembangkitan medan magnet untuk menghasilkan gaya gerak. Jika pada motor DC-MP medan magnet yang dikontrol berada di rotor dan medan magnet tetap berada di stator. Sebaliknya, motor brushless menggunakan pembangkitan medan magnet stator untuk mengontrol geraknya sedang medan magnet tetap berada di rotor. Motor jenis ini pada dasarnya adalah motor DC, namun dengan konstruksi yang berbeda. Motor jenis ini banyak dipakai pada pesawat tanpa awak atau Drone. Motor ini semakin populer digunakan seiring berkembangnya teknologi mikrokontroller sebagai kontrolnya.

Berbeda dengan motor DC biasa yang dapat langsung digunakan ketika diberi daya, motor brushless memerlukan modul tambahan yaitu ESC (*Electronics speed controller*).

Motor brushless memberikan keuntungan berupa kecepatan atau RPM yang sangat tinggi. Sehingga sangat cocok untuk mesin Drone maupun kapal cepat tak berawak sebagai penggerak propeller atau baling-baling. [8]. Bentuk fisik brushless motor DC ditunjukkan oleh gambar di bawah ini.



Gambar 2.4 *Brushless* motor

2.3.3 Radio Controller

Radio controller adalah sebuah alat elektronik yang digunakan untuk

mengoperasikan sebuah mesin dari jarak jauh. Pada umumnya, *radio controller* digunakan untuk memberikan perintah dari kejauhan kepada *drone*. *Radio controller* memerlukan alat pemancar atau *transmitter* dan penerima atau *receiver*.

Radio controller yang diperlukan untuk mengendalikan *drone* membutuhkan minimal 4 kanal atau channels untuk berkomunikasi dengan *drone*. Masing-masing channel dipakai untuk mengendalikan: throttle atau lift, yaw atau rudder, pitch atau elevator dan roll atau aileron.

Throttle atau *lift* digunakan untuk mengangkat atau menurunkan ketinggian *drone*. *Yaw* atau *rudder* untuk menoleh atau memalingkan muka *drone* ke kiri dan kanan. *Pitch* atau *elevator* untuk membuat *drone* maju atau mundur. Sedangkan *roll* atau *aileron* membuat *drone* bergeser ke kiri atau kanan. Semua dilakukan mengikuti perintah dari *radio controller*. Gambar di bawah ini menunjukkan bentuk fisik dari *radio controller*.



Gambar 2.5 Transmitter Remote Control with FS-IA10B Receiver

2.3.4 Baterai Lithium Polymer (Li-Po)

Baterai LiPo (*Lithium Polymer*) adalah jenis baterai rechargeable yang sering digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk perangkat elektronik, kendaraan remote control (RC), pesawat tanpa awak, dan banyak lagi. Baterai LiPo memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan jenis baterai lainnya, seperti baterai NiMH (*Nickel-Metal Hydride*) atau baterai NiCd (*Nickel-Cadmium*), termasuk kapasitas Energi yang Tinggi: Baterai LiPo memiliki tingkat energi yang tinggi dibandingkan dengan baterai NiMH atau NiCd dengan ukuran yang serupa,

sehingga mereka dapat menyimpan lebih banyak energi dalam bentuk yang lebih baik.

Baterai LiPo memberikan tegangan yang lebih konsisten selama penggunaan, yang dapat menjadi penting dalam aplikasi yang memerlukan daya yang stabil, seperti drone atau kendaraan RC. Baterai LiPo dapat diisi ulang dengan cepat, yang memungkinkan penggunaan yang lebih efisien dalam aplikasi di mana waktu pengisian ulang baterai penting. Namun, baterai LiPo juga memiliki beberapa kekurangan, termasuk sensitif terhadap overcharging, undercharging, atau kerusakan fisik, yang dapat menyebabkan baterai meledak atau terbakar. Oleh karena itu, penggunaan baterai LiPo memerlukan perhatian khusus terhadap pengisian ulang dan penanganan yang aman.

Baterai LiPo sering digunakan dalam dunia hobi, seperti kendaraan RC, dan juga digunakan dalam beberapa perangkat elektronik konsumen yang memerlukan baterai ringan dan kuat. Keberlanjutan teknologi baterai LiPo terus berkembang, sehingga terus muncul inovasi dalam desain dan performa mereka.



Gambar 2.6 Lipo Battery RC Drone Quadcopter

2.3.5 Frame Quadcopter

Frame quadcopter adalah kerangka atau struktur utama yang membentuk "tubuh" dari sebuah quadcopter atau drone berempat rotor. Ini adalah komponen kunci dalam desain quadcopter yang mendukung dan melindungi semua komponen lainnya. Frame quadcopter umumnya terbuat dari bahan yang ringan dan kuat, seperti serat karbon, aluminium, plastik, atau bahan komposit lainnya. Bahan yang digunakan dipilih dengan cermat untuk mengoptimalkan bobot, ketahanan, dan stabilitas quadcopter. Desain dan bentuk frame juga bervariasi, seperti desain X, H, atau +, yang memengaruhi kinerja, stabilitas, dan kemampuan manuver quadcopter. Ukuran frame dapat berbeda-beda, mempengaruhi kapasitas muatan quadcopter dan kemampuan untuk membawa kamera atau perangkat lain. Frames quadcopter sering dilengkapi dengan pengencang baterai yang dapat disesuaikan dan ruang yang cukup untuk mengatur komponen elektronik seperti flight controller. Frame juga harus tahan terhadap getaran dan benturan, memastikan kinerja yang stabil dan melindungi komponen internal. Selain itu, estetika juga bisa menjadi pertimbangan bagi beberapa pengguna, terutama jika quadcopter digunakan dalam fotografi udara atau tujuan komersial lainnya. Dengan memilih frame yang sesuai dengan kebutuhan dan mematuhi kode etik serta peraturan keselamatan penerbangan dan privasi, pengguna dapat membangun quadcopter yang optimal untuk tujuan mereka.



Gambar 2.7 *Kit Frame F450 Quadcopter Drone*

2.3.6 Electronic Speed Controller (ESC)

ESC (*Electronic Speed Controller*) adalah bagian elektronik yang mengatur kecepatan perputaran motor *brushless* dengan cara mengatur suplai arus yang disesuaikan dengan kebutuhan *drone*, sehingga energi baterai dapat digunakan seefisien mungkin, dan memperlama waktu penerbangan. ESC bekerja secara cepat untuk menghidupkan atau mematikan pulsa ke motor, sehingga respon kendali motor cepat.

Tidak hanya itu, ESC juga memiliki fungsi lain sebagai pengatur kecepatan drone dan pengganti arah putaran. Selain itu, ESC juga mampu mengubah tegangan dari DC menjadi AC dalam tiga fase yang selanjutnya dilanjutkan pada bagian motor. ESC juga merupakan bagian drone yang terhubung langsung dengan battery dan flight control. Sambungan ESC dengan komponen lainnya menggunakan kabel yang terdiri dari ground dan signal.



Gambar 2.8 *Electronic Speed Controller (ESC)*.

2.2.7 Baling-baling (*Propeller*)

Propeller adalah komponen penting dalam desain dan operasi *quadcopter* dan berbagai jenis pesawat yang menggunakan mekanisme serupa untuk menghasilkan gaya angkat. *Propeller* adalah benda berputar yang menghasilkan tekanan udara ketika bergerak melalui udara. Di dalam konteks *quadcopter*, *propeller* digunakan untuk menghasilkan gaya angkat yang diperlukan agar *quadcopter* dapat terbang. *Propeller* berfungsi sebagai "sayap" dari *quadcopter*.

Ketika *propeller* berputar, ia mendorong udara ke bawah, menghasilkan gaya angkat yang mengangkat *quadcopter* ke atas.

Propeller quadcopter biasanya memiliki dua bilah atau tiga bilah, meskipun beberapa model khusus mungkin memiliki lebih banyak bilah. Desain bilah memengaruhi efisiensi, daya dorong, dan stabilitas *quadcopter*. Bilah dengan profil aerodinamis yang baik dapat meningkatkan performa penerbangan. Di *quadcopter*, *propeller* yang berputar di sisi yang berlawanan akan menghasilkan momen torsi yang seimbang dan membantu menjaga keseimbangan penerbangan. Tiga *propeller* berputar searah jarum jam (*clockwise* atau CW), sedangkan Tiga *propeller* lainnya berputar berlawanan arah jarum jam (*counter-clockwise* atau CCW).



Gambar 2.9 *propeller Quadcopter*

2.3.8 *Global Positioning System (GPS)*

Global Positioning System (GPS) memainkan peran penting dalam operasi *quadcopter* (drone) modern. GPS memungkinkan *quadcopter* untuk menentukan posisi, kecepatan, dan orientasi mereka secara akurat dalam waktu nyata. Berikut adalah beberapa cara bagaimana GPS digunakan dalam *quadcopter*. GPS memungkinkan *quadcopter* untuk mengetahui posisi geografis mereka dalam waktu nyata. Ini memungkinkan mereka untuk melakukan navigasi yang tepat, termasuk perjalanan dari satu titik ke titik lain dengan akurasi tinggi. GPS juga memungkinkan *quadcopter* untuk mengikuti rute yang telah ditentukan sebelumnya

atau mengikuti jalur terbang tertentu. *Quadcopter* yang dilengkapi dengan sistem GPS dapat digunakan untuk pemotretan udara dan pemetaan.

Beberapa *quadcopter* yang lebih canggih menggunakan data GPS untuk membantu dalam penghindaran rintangan. Mereka dapat mengidentifikasi rintangan di depan dan menghindarinya dengan menghitung rute alternatif menggunakan informasi GPS. Meskipun utama adalah *gyroscopes* dan *accelerometer*, GPS juga dapat memberikan informasi penting untuk membantu *quadcopter* menjaga stabilitas selama penerbangan. Ini terutama berguna dalam kondisi cuaca buruk atau ketika *quadcopter* berada pada ketinggian yang berubah-ubah.



Gambar 2.10 *Module GPS*

2.4 Pompa Air DC Mini

Mini *Water Pump* merupakan sebuah pompa air mini yang memiliki banyak kegunaan dalam hal memompa air,tapi tidak hanya dapat digunakan untuk memompa air biasa saja,pompa ini juga bisa memompa bensin,minyak,oli dan sejenisnya.Pompa ini juga biasa digunakan di akuarium dan hidroponik.Pompa air ini memiliki ukuran desain yang fleksibel atau proyek lainnya yakni berukuran 38 X 25 X 30 mm,dan tidak berisik pada saat bekerja,serta cara menggunakannya

cukup mudah dan praktis tidak perlu memancing hisapan awal pompa ini dengan menggunakan air.

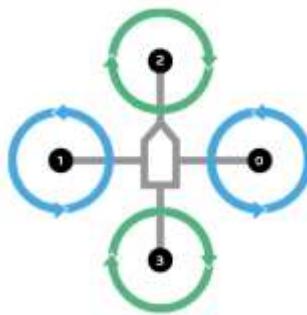
Pompa air ini juga tidak membutuhkan daya listrik yang cukup besar, tercatat pompa air mini 12 V ini hanya membutuhkan daya listrik sekitar 12 volt ketika bekerja dan 6 volt ketika tidak digunakan dan juga hanya membutuhkan sekitar 0,5 hingga 0,7 ampere ketika pompa air sedang bekerja dan bilamana pompa air ini tidak bekerja hanya membutuhkan daya sekitar 0,18 ampere [11]. Dibawah ini contoh pompa air DC mini.



Gambar 2.11 Water pum DC

2.5 Quadcopter

Quadcopter adalah salah satu jenis rotorcraft yang memiliki 4 buah rotor sebagai penggerak propeller yang menghasilkan gaya angkat. *Quadcopter* dapat melakukan take off dan landing secara vertikal *Vertical Take Off Landing (VTOL)*. *Aircraft* merupakan jenis pesawat yang dapat melakukan take off dan landing tegak lurus terhadap bumi sehingga dapat dilakukan pada tempat yang sempit. *Helikopter*, *tricopter*, *quadcopter*, dan *multirotor* sejenis termasuk kategori ini. Dengan mengubah besaran kecepatan putaran keempat buah motor maka *quadcopter* dapat bergerak atas, bawah, maju, mundur, kiri, kanan, dan rotasi. Pergerakan di atas tersebut lebih dikenal dengan istilah *pitch* (bergerak maju atau mundur), *roll* (bergerak kiri atau kanan), dan *yaw* (rotasi kiri atau rotasi kanan). Adapun sistem *quadcopter* ditunjukkan oleh gambar 2.3 di bawah ini.



Gambar 2. 12 *quadcopter*

Salah satu bentuk robot *quadcopter* yang digunakan dalam pengambilan gambar dari suatu wilayah. *Quadcopter* pada gambar diatas memiliki empat buah baling-baling yang terpasang di bagian kiri dan kanan. Dengan empat buah baling-baling tersebut memudahkan *quadcopter* untuk bermanuver sehingga dengan cepat dapat bergerak kesegala arah. Hal ini menjadi salah satu kelebihan dari *quadcopter*. Selain empat buah baling-baling, *quadcopter* juga dilengkapi dengan sensor diantaranya sensor *Global Positioning System (GPS)* yang digunakan untuk bernavigasi, sensor *Inertial Measurement Unit (IMU)* yang berfungsi untuk menghitung percepatan serta orientasi arah pergerakan, sensor ultra sonic untuk mendeteksi keberadaan benda dan sensor- sensor lainnya yang mendukung fungsi dan kinerja dari *quadcopter*.

Dengan manuverabilitas yang tinggi, rancangan yang sederhana dan kelengkapan sensor yang digunakan, membuat banyak peneliti menjadikan *quadcopter* sebagai komponen utama dalam penelitiannya. *Quadcopter* juga digunakan dalam pendekripsi dan pelacakan objek dengan menggunakan sensor kamera dan pembentukan formasi untuk mengekplorasi ruangan pada suatu bangunan [12].

2.6 Motor Servo

Motor servo merupakan perangkat *elektromekanis* yang dibuat memakai sistem kontrol jenis lup tertutup (servo) untuk menjadi penggerak dalam sebuah rangkaian. Nantinya, akan menciptakan torsi serta kecepatan berdasarkan arus listrik beserta tegangan yang diberikan kepadanya.

Motor servo ini ada dalam berbagai bentuk, jenis serta ukuran. Istilah *cerefox* tersebut pertama kali dipakai tahun 1859 oleh *Joseph Facort*. Dia menerapkan mekanisme umpan balik dalam membantu mengemudikan kapal dengan uap untuk pengendali kemudi.

Motor tersebut diterapkan untuk banyak peralatan. Penerapan paling sederhana adalah mainan *elektronik* sampai yang paling rumit yaitu mesin pada industri.

Motor servo masuk ke dalam jenis motor yang menggunakan jenis sistem closed loop. Sistem tersebut dimanfaatkan dalam mengendalikan eksplorasi dan kecepatan di motor listrik, memakai tingkat keakuratan tinggi.

Selain itu, motor juga biasa digunakan dalam melakukan perubahan energi listrik menjadi mekanik. Caranya, dengan dua interaksi dengan medan magnet permanen.

Alat ini memiliki peran sebagai perangkat yang mempunyai komponen berupa potensiometer, rangkaian kontrol, motor DC, dan juga serangkaian gear. Serangkaian gir itu melekat di bagian poros motor DC. Berikut ini fungsi secara spesifik dari servo motor. [13].



2.7 Perhitungan Gaya Angkat Quadcopter

Gaya angkat diperlukan oleh sebuah *quadcopter* untuk terbang (*hover*). Gaya sebesar F (*lift*) pada keempat motor diperlukan oleh *quadcopter* untuk 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. Persamaan yang digunakan adalah [14] :

$$F = \frac{(m \times g)}{4} \quad \text{Terbang (*hover*)}$$

$$F > \frac{(m \times g)}{4} \quad \text{Bergerak naik (*climb*)}$$

$$F < \frac{(m \times g)}{4} \quad \text{Bergerak turun (*decline*)}$$

Dimana :

F = Besar Gaya/lift (kg m/s^2)

m = Massa quadcopter

g = Gravitasi bumi (9.8 m/s^2)

2.8 Perhitungan 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 [14]:

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

Dimana:

Ah = Kapasitas nominal dari baterai (Ah)

C = Kapasitansi continuous discharge (C)

Dari perhitungan max current di atas dapat dihitung konsumsi arus pada tiap-tiap motor dengan menggunakan persamaan berikut.

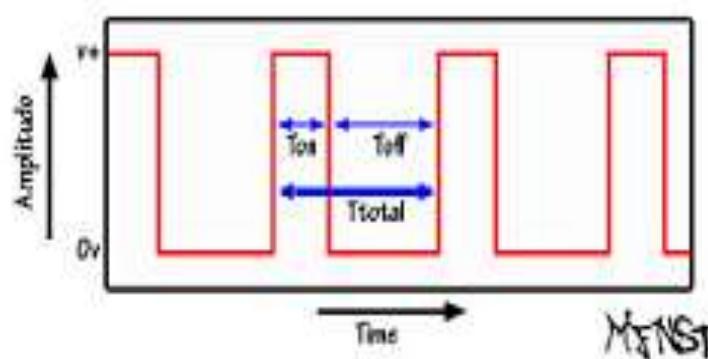
$$1 \text{ motor (Acc)} = \text{Max current} / 4 \quad (\text{A})$$

Setelah perhitungan konsumsi arus pada tiap-tiap motor maka dapat diketahui berapa lama waktu quadcopter mengudara dengan rumus berikut.

$$\text{Flight Period} = \frac{Ah}{Acc} \times 60 \quad (\text{Menit})$$

2.9 PWM (Pulse Width Modulation)

Pulse Width Modulation (PWM) secara umum adalah sebuah cara memanipulasi lebar sinyal yang dinyatakan dengan pulsa dalam suatu periode, untuk mendapatkan tegangan rata-rata yang berbeda. Beberapa Contoh aplikasi PWM adalah pemodulasi data untuk telekomunikasi, pengontrolan daya atau tegangan yang masuk ke beban, regulator tegangan, audio effect dan penguatan, serta aplikasi-aplikasi lainnya. Bentuk sinyal PWM ditunjukkan oleh gambar di bawah ini.[15]



Gambae 2.14 Bentuk sinyal PWM

Aplikasi PWM berbasis mikrokontroler biasanya berupa, pengendalian kecepatan motor DC, Pengendalian Motor Servo.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian Alat Sistem Penyemprotan Tanaman *Holtikultura* Menggunakan *Quadcopter* ini, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Untuk metancang Sistem penyemprotan tanaman holtikultura menggunakan quadcopter dibutuhkan alat dan bahan yaitu frame quadcopter, ardupilot, propeller, baterai, motor DC, Electronic Speed Controller (ESC), Pompa air, motor servo, selang dan wadah penampung serta menggunakan software Mission Planner.
2. Dengan kapasitas baterai 5200 mAh drone dapat terbang kurang lebih 02:06 detik ketika berat drone 1 kg dan ketika *quadcopter* berbeban dengan berat 1.2 kg *quadcopter* hanya dapat terbang selama kurang lebih 01:04 detik.
3. Proses penyemprotan telah dapat dilakukan secara otomatis dengan menggunakan motor servo dan remote kontrol dengan jangkauan kurang lebih 100 meter.

5.2 Saran

1. Sebaiknya untuk penelitian lebih lanjut dilakukan dengan menggunakan sistem mapping pada *quadcopter*.
2. Pemakaian *battery* sebaiknya dengan tipe 4S 14,8 Volt, untuk memaksimalkan kinerja dari motor *brushless*.
3. Untuk penelitian selanjutnya kapasitas daya angkat *quadcopter* lebih besar lagi atau dapat dimaksimalkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]Gordon Mccomb. 2011. “Tentang pengertian Robot”, [https://www.amazon.com/Robot-Builders-Bonanza-Gordon McComb/dp/0071750363/](https://www.amazon.com/Robot-Builders-Bonanza-Gordon-McComb/dp/0071750363/), diakses pada 22 Desember 2022.
- [2] Santosol W. Djarot, Hariyanto Kris. Pengembangan Sistem Penyemprotan Pada Platform Pesawat Tanpa Awak Berbasis Quadcopter Untuk Membantu Petani Mengurangi Biaya Pertanian Dalam Mendorong Konsep Pertanian Pintar (Smart Farming). Jurnal Nasional Teknologi Terapan (JNTT). 1(1):87. November 2017.
- [3] Y. Anton, Wardani Miko. Rancang Bangun Penyemprot Pestisida Untuk Pertanian Padi Berbasis Quadcopter. Jurnal Ilmu Teknik Elektro Komputer dan Infromatika (JITEKI). Vol.3, No.2. Desember 2017.
- [4] <https://yaletools.com/id/jenis-alat-semprot-pertanian/>
- [5] <https://faperta.umsu.ac.id/2022/03/20/hortikultura/>. Diakses pada tanggal 10 September 2023
- [6] <https://faperta.uniska-bjm.ac.id/tanaman-hortikultura-di-indonesia-ragam-dan-karakteristik>. Diakses pada tanggal 11 september 2023
- [7] Rizky, M., Komarudin, M., & Trisanto, A. 2013. Sistem Kendali Holding Position Pada Quadcopter Berbasis Mikrokontroler Atmega 328p.
- [8] Santoso, Djarot Wahju dan Kris Hariyanto. 2017. Pengembangan Sistem Penyemprotan Pada Platform Pesawat Tanpa Awak Berbasis Quadcopter untuk Membantu Petani Mengurangi Biaya Pertanian dalam Mendorong Konsep Pertanian Pintar (Smart Farming). Dalam Jurnal Ilmiah Bidang Teknologi, ANGKASA, IX (2): 49-56.

- [9] Abidin, Hassanuddin Z, dkk. 2009. Deformasi Koseismik dan Pascaseismik Gempa Yogyakarta 2006 dari Hasil Survei GPS. Dalam Jurnal Geologi Indonesia, IV (4): 275-284.
- [10] Firdaus, Oktri Mohammad. 2010. Analisis Implementasi Global Positioning System (GPS) pada Moda Transportasi di PT.X. Yogyakarta: UGM Yogyakarta.
- [11]<http://repository.uhn.ac.id/bitstream/handle/123456789/5252/SANDY%20WARNO%20LUMBANTORUAN.pdf?sequence=1&isAllowed=y> diakses pada tanggal 4 september 2023
- [12]Zona Elektro. 2013, ‘Tentang Quadcopter”, (<http://zonaelektrone.net/quadcopter/>), diakses pada 4 Januari 2023.
- [13] . Anantama, A. Apriyantina, S. Samsugi, and F. Rossi, “Alat Pantau Jumlah Pemakaian Daya Listrik Pada Alat Elektronik Berbasis Arduino UNO,” J. Teknol. dan Sist. Tertanam, vol. 1, no. 1,
- [14] Khumairowati dan Bekti Yulianti. 2020. Dalam Jurnal Mitra Manajemen, IX (1): 122-127.
- [15]<https://elektro.um.ac.id/wp-content/uploads/2016/04/Elektronika-Daya-Jobsheet-6-PWM.pdf>.
- [16] <https://diengcyber.com/windows-10/> diakses pada tanggal 3 september 2023
- [17] <https://eprints.umm.ac.id/44741/3/BAB%20II.pdf> diakses pada tanggal 3 september 2023