

**RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL PENYEMPROTAN CAIRAN
PESTISIDA OTOMATIS MENGGUNAKAN *DRONE UAV HEXACOPTER***

TUGAS AKHIR

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana
Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Elektronika Fakultas Teknik
Universitas Negeri Padang*



Oleh :

JAMIL FEBRIAN

NIM. 19065010

PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRONIKA

DEPARTEMEN TEKNIK ELETRONIKA

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI PADANG

2024

DAFTAR ISI

| | |
|--|------------------------------|
| DAFTAR ISI..... | i |
| DAFTAR GAMBAR..... | iii |
| DAFTAR TABEL..... | v |
| DAFTAR LAMPIRAN | vi |
| BAB I | 1 |
| A. Latar Belakang | 1 |
| B. Identifikasi Masalah..... | 4 |
| C. Pembatasan Masalah..... | 5 |
| D. Perumusan Masalah | 5 |
| E. Tujuan Penelitian | 6 |
| F. Manfaat Penelitian | 6 |
| BAB II | 8 |
| A. Sistem Kontrol | 8 |
| B. Teori Dasar <i>Drone</i> | 10 |
| C. Drone Pertanian..... | 9 |
| D. Perangkat Penggerak dan Elektronik <i>Drone</i> | 11 |
| E. Perangkat Kontrol Penyemprotan Cairan Pestisida..... | 24 |
| F. <i>Mission Planner</i> | 27 |
| G. Perhitungan Parameter Pada Hexacopter | 28 |
| H. Metode Pengembangan Sistem Model <i>Waterfall</i> | 31 |
| I. Penelitian Relevan | 33 |
| BAB III..... | 35 |
| A. Analisis Kebutuhan | 35 |
| B. Desain Rancangan Sistem | 41 |
| C. Rancangan Alur Pembuatan Sistem | 59 |
| BAB IV | 63 |
| A. Hasil Perancangan Sistem..... | Error! Bookmark not defined. |
| B. Pengkalibrasian Sistem | 68 |
| C. Hasil Pengujian Sistem..... | 76 |
| BAB V..... | 97 |
| A. Kesimpulan..... | 97 |

| | |
|-----------------------------|------------|
| B. Saran | 97 |
| DAFTAR PUSTAKA | 99 |
| LAMPIRAN..... | 102 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 1 Blok Diagram Sistem Kontrol..... | 8 |
| Gambar 3 Aplikasi Drone Pada Pertanian | 9 |
| Gambar 2 Arah putaran baling-baling drone hexacopter..... | 11 |
| Gambar 4 Pixhawk..... | 12 |
| Gambar 5 Bagian dan Port Konektor Pixhawk | 13 |
| Gambar 6 Pixhawk Digital Input dan Output | 15 |
| Gambar 7 Electronics Speed Controller (ESC)..... | 16 |
| Gambar 8 Brushless DC Motor..... | 17 |
| Gambar 9 Propeller | 17 |
| Gambar 10 Lipo Battery..... | 18 |
| Gambar 11 Modul GPS | 20 |
| Gambar 12 Radio Telemetry module..... | 22 |
| Gambar 13 Radio Remote Control..... | 23 |
| Gambar 14 Relay 2 Channel | 25 |
| Gambar 15 Waterpump DC Motor | 26 |
| Gambar 16 Nozzle Sprayer | 27 |
| Gambar 17 Mission Planner..... | 27 |
| Gambar 18 Menghubungkan Mission Planner ke Ardupilot (a) Menggunakan USB Serial (b) Menggunakan Radio Telemetry | 28 |
| Gambar 19 Siklus Metode Waterfall..... | 32 |
| Gambar 20 Activity Diagram Sistem..... | 40 |
| Gambar 21 Diagram Blok Sistem | 42 |
| Gambar 22 Desain Rancangan Alat (a) Tampilan Depan. (b) Tampilan Samping. (c) Tampilan Atas..... | 44 |
| Gambar 23 Skema Rangkaian Sistem | 45 |
| Gambar 24 Bagian dan Tata Letak Komponen Drone..... | 46 |
| Gambar 25 Rute Perencanaan Misi Penerbangan | 48 |
| Gambar 26 Flowchart kalibrasi sensor pada drone | 50 |
| Gambar 27 Flowchart Perencanaan Misi Drone | 52 |
| Gambar 28 Alur Pembuatan Sistem..... | 60 |
| Gambar 29 Tampilan Fisik Alat (a) Tampilan Alat dari Depan (b) Tampilan Alat dari Samping (c) Tampilan Alat dari Atas | 64 |
| Gambar 30 Letak Komponen Bagian Tengah Drone..... | 65 |
| Gambar 31 Letak Komponen Bagian Atas Drone | 66 |
| Gambar 32 Letak Komponen Bagian Lengan Drone..... | 67 |
| Gambar 33 Letak Komponen Bagian Bawah Drone..... | 67 |
| Gambar 34 Posisi drone pada bidang datar dan stabil | 68 |
| Gambar 35 Kalibrasi Accelerometer pada Sumbu Roll | 69 |
| Gambar 36 Kalibrasi Accelerometer pada Sumbu Pitch..... | 69 |
| Gambar 37 Kalibrasi Accelerometer pada Posisi Terbalik | 70 |
| Gambar 38 Kalibrasi Kompas pada Mission Planner | 71 |

| | |
|---|----|
| Gambar 39 Proses Kalibrasi Kompas pada Drone | 71 |
| Gambar 40 Proses Kalibrasi Radio pada Mission Planner..... | 72 |
| Gambar 41 Kalibrasi Radio Pada Remote Controll | 73 |
| Gambar 42 Kalibrasi Radio pada Mission Planner | 74 |
| Gambar 43 Hasil Nilai Kalibrasi Radio | 74 |
| Gambar 44 Kalibrasi ESC pada Mission Planner | 75 |
| Gambar 45 Pengukuran Tegangan Baterai | 77 |
| Gambar 46 Pengujian Motor Brushless | 83 |
| Gambar 47 Hasil pengukuran RPM motor..... | 84 |
| Gambar 48 Grafik Pengujian Thrust Motor Propeller 1045 | 85 |
| Gambar 49 Pengujian Thrust Motor Dengan Propeller | 85 |
| Gambar 50 Tampilan display pada pengujian remote controll | 86 |
| Gambar 51 Rentang Jarak pengujian Sinyal Telemetri..... | 88 |
| Gambar 52 Heads UP Display Mission Planner | 88 |
| Gambar 53 Pengujian Koordinat GPS | 90 |
| Gambar 54 Pengujian Tegangan Input pada waterpump DC..... | 91 |
| Gambar 55 Skema Rangkaian Penyemprotan..... | 92 |
| Gambar 56 Aliran Penyemprotan Cairan | 93 |
| Gambar 57 Pengujian Daya Angkat Drone hexacopter | 94 |
| Gambar 58 Pengujian Terbang Penyemprotan Cairan Pestisida..... | 95 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 1 Notasi tegangan batterai Li-Po..... | 19 |
| Tabel 2 Analisis Kebutuhan Sistem | 36 |
| Tabel 3 Analisis Kebutuhan Alat dan Bahan | 37 |
| Tabel 4 Perintah Perencanaan Misi..... | 49 |
| Tabel 5 Spesifikasi komponen elektronik | 54 |
| Tabel 6 Desain Pengukuran Daya Motor | 55 |
| Tabel 7 Desain Pengujian Pembacaan Sinyal Radio Pemancar..... | 56 |
| Tabel 8 Desain Pengujian Pembacaan Sinyal Telemetri..... | 57 |
| Tabel 9 Desain pengujian sinyal GPS | 57 |
| Tabel 10 Desain Pengujian Semprotan Cairan Pestisida | 58 |
| Tabel 11 Desain Pengujian Data Terbang Drone..... | 59 |
| Tabel 12 Nilai Hasil Kalibrasi Radio | 74 |
| Tabel 13 Pengukuran Tegangan Pin Power Pixhawk | 79 |
| Tabel 14 Pengukuran Tegangan Port Pin Telem 1 Pixhawk..... | 80 |
| Tabel 15 Pengukuran Tegangan Port Pin GPS Pixhawk | 81 |
| Tabel 16 Pengukuran Tegangan Port Pin I2C Pixhawk | 82 |
| Tabel 17 Pengujian Thrust Motor | 84 |
| Tabel 18 Hasil pengujian pembacaan sinyal radio remote controller | 87 |
| Tabel 19 Hasil Pengujian Pembacaan Sinyal Telemetri | 88 |
| Tabel 20 Hasil Pengujian GPS | 90 |
| Tabel 21 Tegangan Output Pin AUX5 Pixhawk..... | 92 |
| Tabel 22 Hasil Pengukuran Debit Air..... | 93 |
| Tabel 23 Hasil Pengujian Daya Angkat Drone Hexacopter..... | 94 |
| Tabel 24 Hasil Misi Penerbangan Cairan Pestisida Secara Otomatis | 95 |

DAFTAR LAMPIRAN

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang dikenal sebagai negara yang kaya akan sumber daya alam, salah satunya di sektor pertanian yang menjadi mata pencarian bagi masyarakat Indonesia (Kusumaningrum, 2019). Petani merupakan pelaku utama dalam sektor pertanian yang berperan penting dalam mewujudkan sumber ketersediaan pangan. Namun, masalah yang sering dihadapi oleh para petani di Indonesia adalah serangan hama tanaman, baik itu berupa hama nematoda, ulat, lalat buah, wereng coklat, bahkan antraksosa. Hama tanaman merupakan organisme atau makhluk hidup yang bersifat merusak dan mengganggu pertumbuhan tanaman, sehingga berdampak pada kualitas atau kuantitas hasil tanaman (Feriadi, 2017). Serangan hama tersebut mengakibatkan terjadinya gagal panen sehingga menyebabkan kerugian yang sangat besar bagi para petani (Astuti & Widyastuti, 2016).

Kehadiran hama sangat tidak diinginkan dalam kegiatan sehari-hari manusia. Meskipun kata hama ditujukan untuk semua organisme, namun istilah hama tanaman cenderung digunakan kepada hewan pengganggu atau perusak tanaman. Hama tanaman perlu dibasmi dengan melakukan penyemprotan cairan pestisida agar tanaman dapat tumbuh dengan baik. Namun, permasalahan utama pertanian di Indonesia yaitu relatif tingginya biaya pertanian khususnya penggunaan bahan kimia, pupuk, hingga tenaga kerja. Hingga saat ini petani

menghabiskan sumber daya tenaga manusia yang cukup besar untuk melakukan proses penyemprotan cairan pestisida pada area yang cukup luas.

Penggunaan cairan pestisida dilakukan untuk menjaga dan meningkatkan hasil panen dari serangan hama tanaman (Hidayat et al., 2019). Namun proses penyemprotan cairan pestisida yang dilakukan secara manual memiliki beberapa efek negatif diantaranya jika cairan pestisida terkena kulit dapat menyebabkan gatal-gatal atau iritasi, karena cairan pestisida mengandung zat kimia yang berbahaya (Widiasari & Este Dulan Agustinus S., 2020). Kecelakaan akibat pestisida yang sering dialami seperti pusing-pusing ketika sedang menyemprot maupun setelah penyemprotan, muntah-muntah, mulas, iritasi mata, kulit terasa gatal, kejang-kejang, pingsan, dan tidak sedikit kasus akan berpotensi pada kematian. Penyemprotan secara manual juga berpotensi merusak tanaman karena dalam proses penyemprotan banyak tanaman yang terinjak. Kondisi tersebut menjadikan perlu adanya inovasi untuk mengurangi risiko akibat kontak fisik petani dengan penggunaan cairan pestisida dan juga untuk mencegah tanaman yang terinjak saat melakukan penyemprotan cairan pestisida (Widiasari & Este Dulan Agustinus S., 2020)(Hidayat et al., 2019).

Hingga saat ini perkembangan teknologi pada zaman revolusi industri 4.0 telah berkembang pesat, seperti yang dulunya dilakukan secara manual dan membutuhkan efisiensi waktu yang cukup lama, hingga saat ini dapat dilakukan dengan lebih cepat secara otomatis salah satunya penggunaan robot terbang tanpa awak yang disebut dengan *drone*. *Drone* merupakan kendaraan udara tanpa awak yang dapat terbang di udara dikendalikan dari jarak jauh melalui kendali komputer.

Drone sudah menjadi teknologi yang bisa digunakan dalam bidang apapun, salah satunya pada bidang pertanian dalam melakukan proses penyemprotan cairan pestisida. Dengan menggunakan *drone* memungkinkan proses penyemprotan pestisida pada tanaman berlangsung dengan cepat dan dapat mencegah resiko akibat efek negatif dari penyemprotan cairan pestisida (Febri et al., 2021).

Dalam pengoperasian penerbangan drone penyemprotan cairan pestisida drone yang dibutuhkan mampu mengangkat beban yang cukup berat dan stabil, namun pada saat melakukan penerbangan dengan membawa beban seperti cairan pestisida masih banyak mengalami kendala atau kelemahan seperti: terbang drone yang tidak stabil, target lokasi terbang yang tidak sesuai, dan sensor yang rentan terpengaruh oleh kondisi cuaca (Dewi et al., 2018). Bahkan, *drone* juga sering mengalami gagal *takeoff* karena mengangkut beban muatan yang lebih besar daripada kemampuan daya angkat drone. Sehubungan dengan itu jenis *drone* yang digunakan pada penelitian ini adalah *Drone Hexacopter* yaitu *drone* yang memiliki enam buah motor penggerak yang memungkinkannya untuk mencapai tingkat stabilitas dan keandalan yang tinggi selama penerbangan (Maulana Ichsan & Rizianiza, 2021). Keunggulan dari *drone hexacopter* yaitu kemampuan dan daya tahan terbang lebih lama dan daya angkat beban lebih besar dibandingkan dengan *drone quadcopter* yang memiliki 4 rotor, sehingga cocok untuk aplikasi yang memerlukan daya angkat yang cukup besar seperti mengangkut beban berupa cairan pestisida (Perdana & Rizianiza, 2021).

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya maka penulis memberikan alternatif solusi yaitu berupa perancangan dan pembuatan sistem

kontrol *drone* yang dapat melakukan penyemprotan cairan pestisida secara otomatis di udara agar drone mampu terbang dengan stabil dan seimbang secara otomatis. Alat ini merupakan pengembangan dari sistem *drone* yang mampu mengangkut dan melakukan penyemprotan cairan pestisida secara otomatis dengan menggunakan sistem GPS. Sehingga dapat memberikan kemudahan untuk para petani dalam melakukan penyemprotan pestisida. Tugas akhir ini memiliki judul “**RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL PENYEMPROTAN CAIRAN PESTISIDA OTOMATIS MENGGUNAKAN DRONE UAV HEXACOPTER**”.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, dapat diuraikan identifikasi masalah yang terkait dengan penelitian ini :

1. Proses penyemprotan cairan pestisida yang dilakukan secara manual oleh petani memiliki efek negatif karena cairan pestida mengandung zat berbahaya sehingga diperlukan sistem penyemprotan cairan pestisida yang dapat dilakukan diudara secara otomatis dengan menggunakan teknologi *drone*.
2. Saat malakukan penerbangan dengan membawa beban pestisida, *drone* terbang relatif tidak stabil dikarenakan drone terbang dengan membawa beban yang tidak sesuai dengan kemampuan daya angkat *drone*, oleh sebab itu diperlukan sistem kontrol untuk menyesuaikan kemampuan daya angkat *drone* dengan beban yang diangkut.

3. *Drone* diharapkan mampu terbang secara otomatis ketika telah sampai pada lokasi yang ditentukan, sehingga diperlukan kontrol GPS dalam melakukan pemetaan alur penerbangan *drone*.

C. Pembatasan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah di atas, maka dalam perancangan tugas akhir ini penulis membatasi perancangan alat ini yaitu :

1. Merancang dan membangun sistem kontrol penyemprotan cairan pestisida secara otomatis menggunakan *drone hexacopter*.
2. Perancangan dan pembuatan alat dilakukan menggunakan komponen yang yang sesuai untuk dapat mengukur durasi kemampuan drone dapat terbang menjalankan misi dengan beberapa parameter uji seperti kapasitas baterai, spesifikasi baling-baling dan berat beban angkut yang diberikan.
3. Kapasitas maksimum tangki penyimpanan cairan pestisida adalah 1600mL.
4. *Drone* dirancang untuk dapat terbang di luar ruangan (*outdoor*) pada lahan yang luas tanpa adanya halangan selama penerbangan.
5. Pembuatan titik koordinat perencanaan misi penerbangan menggunakan aplikasi *Mission Planner* berbasis GPS untuk melakukan penyemprotan cairan pestisida dilingkungan eksperimen.

D. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, identifikasi masalah, dan batasan masalah diatas maka diperoleh rumusan masalah pada tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana proses penyemprotan cairan pestisida di udara dengan memanfaatkan teknologi *drone*?
2. Bagaimana sistem kontrol pada drone agar kemampuan daya angkat drone dengan beban yang diangkut dapat menyesuaikan?
3. Bagaimana penggunaan GPS dalam melakukan pemetaan alur penerbangan yang akan dilakukan penyemprotan cairan pestisida?

E. Tujuan Penelitian

Tujuan dari pembuatan tugas akhir ini adalah :

1. Menghasilkan *drone* yang dapat melakukan penyemprotan cairan pestisida secara otomatis untuk mencegah terjadinya resiko akibat terkena cairan pestisida serta mencegah terjadinya tanaman yang terinjak saat melakukan penyiraman secara manual.
2. Menghasilkan data analisis beban angkut (cairan pestisida) terhadap gaya angkat *drone* berdasarkan lama durasi penerbangan.
3. Menghasilkan sistem kontrol penyemprotan cairan pestisida secara otomatis dengan menggunakan GPS pada *drone*.

F. Manfaat Penelitian

Pembuatan tugas akhir ini memiliki manfaat teoritis dan manfaat praktis yang merupakan dua jenis manfaat yang diperoleh dari suatu konsep, teori, atau pengetahuan. Berikut manfaat dari pembuatan penelitian ini adalah :

1. Manfaat bagi petani:

- a. Mempermudah pekerjaan petani dalam melakukan penyemprotan cairan pestisida.
 - b. Dapat mencegah efek negatif dari resiko penyemprotan cairan pestisida jika terkena kulit yang dapat menyebabkan gatal-gatal atau iritasi.
 - c. Mencegah kerusakan pada tanaman karena dalam proses penyemprotan secara manual banyak tanaman yang terinjak.
2. Manfaat bagi pengembang sistem :
 - a. Menjadikan penelitian ini sebagai media untuk melakukan pengembangan pengetahuan dibidang *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV).
 - b. Mendapatkan data hasil pengujian kemampuan daya angkat drone terhadap beban angkut yang diberikan.

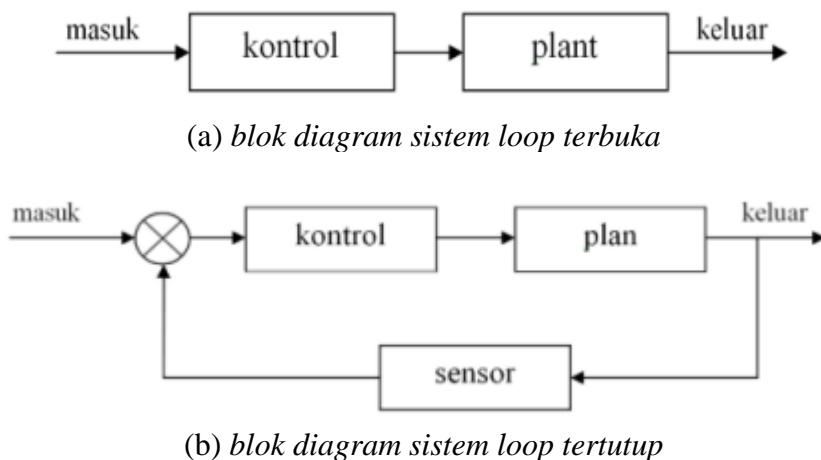
BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Sistem Kontrol

Sistem kontrol adalah suatu sistem yang berfungsi untuk melakukan operasi pengendalian terhadap suatu *plant* melalui pengaturan masukannya. Dalam suatu sistem kontrol, kontroler memegang peranan penting dalam pengoperasian sistem.

Sistem kontrol dibagi menjadi 2, yaitu sistem kontrol *loop* terbuka dan sistem kontrol *loop* tertutup. Sistem kontrol *loop* terbuka merupakan sebuah sistem dimana variabel input dari suatu sistem mempengaruhi variabel output dan aksi kontrolnya tidak bergantung dari output sistem. Sistem kontrol *loop* tertutup adalah sistem kontrol dimana variabel output dari sistem diukur dan dibandingkan dengan variabel lain seperti *set point*, sehingga aksi kontrolnya selalu bergantung dari output sistem. Gambar 1 merupakan blok diagram dari Sistem kontrol (a) loop terbuka, (b) loop tertutup.



(b) blok diagram sistem loop tertutup

Gambar 1 Blok Diagram Sistem Kontrol

B. Drone Pertanian

Pertanian telah menjadi tulang punggung perekonomian diberbagai negara di dunia. Seiring dengan perkembangan teknologi, sektor pertanian juga mengalami transformasi besar. Salah satu inovasi terbaru yang sedang banyak digunakan pada industri pertanian adalah penggunaan drone atau pesawat tanpa awak. Drone untuk bidang pertanian mulai diciptakan untuk membantu melakukan perawatan terhadap lahan pertanian yang cukup luas. Penerapan teknologi drone di sektor pertanian digunakan untuk mendukung berbagai aspek, mulai dari pemantauan lahan hingga pengelolaan tanaman.



Gambar 2 Aplikasi Drone Pada Pertanian
(Sumber : faperta.umsu.ac.id)

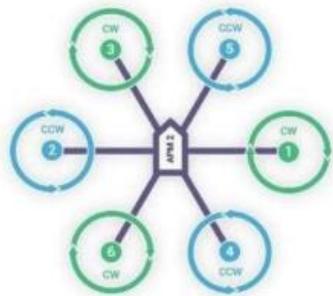
Keunggulan penggunaan drone di pertanian tidak hanya terbatas pada pemantauan. Seperti pada Gambar 3 Drone juga dapat digunakan untuk aplikasi, seperti penyemprotan pupuk atau pestisida. Dengan kemampuan ini, petani dapat mengoptimalkan penggunaan bahan kimia dan mengurangi dampak lingkungan. Selain itu, drone dapat mengakses area yang sulit dijangkau secara manual, seperti lahan yang luas atau daerah dengan topografi yang rumit.

C. Teori Dasar *Drone*

Drone merupakan pesawat tanpa pilot, yaitu pesawat yang dikendalikan secara otomatis melalui program komputer yang telah dirancang melalui kendali jarak jauh dari pilot yang berada di dataran atau di kendaraan lainnya (Indreswari Suroso, 2021). *Drone* umumnya dikenal sebagai kendaraan udara tak berawak atau disebut dengan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV). Istilah lainnya seperti *Unmanned Aircraft* (UA), *Remotely Operated Aircraft* (ROA), *Remotely Piloted Vehicle* (RPV) dan *Remotely Piloted Aircraft* (RPA) (Scott & Scott, 2017).

Unmanned Aerial Vehicle (UAV) adalah perangkat terbang yang dapat menerbangi jalur yang telah ditentukan sebelumnya dengan bantuan autopilot dan koordinat GPS. Istilah UAV kadang digunakan untuk merujuk pada sistem yang lengkap, termasuk *ground stations* dan *video system*, namun istilah UAV paling sering digunakan untuk model pesawat dan helikopter dengan sayap tetap dan sayap putar (Ahiarwar et al., 2019).

Drone Hexacopter merupakan jenis pesawat UAV yang terdiri dari enam *motor* atau *propeller* yang digunakan untuk menghasilkan daya angkat dan mengontrol pergerakan serta posisi pesawat. Untuk menghindari terjadinya momen putar pada *body drone* saat melakukan penerbangan, arah putaran baling-baling pada setiap motor berbeda-beda seperti terlihat pada Gambar 2. yaitu terdapat 3 rotor yang berputar searah jarum jam (CW) dan 3 rotor yang berputar berlawanan arah jarum jam (CCW).



Gambar 3 Arah putaran baling-baling drone hexacopter

Drone memiliki 4 pergerakan dasar yaitu, gerakan *Roll* (bergerak menyamping), *Pitch* (bergerak maju mundur), *Yaw* (bergerak secara berotasi) dan *Throttle* (bergerak vertikal landing dan take off). Pergerakan drone terjadi dengan mengatur kecepatan perputaran rotor sehingga terjadi kemiringan posisi drone untuk dapat bergerak maju, mundur, dan kesamping. Kelebihan dari *drone hexacopter* adalah kemampuannya mengangkat muatan yang lebih berat dibandingkan dengan *quadcopter* atau *tricopter*, sehingga cocok untuk berbagai aplikasi yang memerlukan daya angkat lebih seperti halnya dalam membawa muatan berupa cairan pestisida.

D. Perangkat Penggerak dan Elektronik *Drone*

Perangkat penggerak dan elektronik pada drone merupakan komponen-komponen elektronik yang digunakan untuk mengontrol sistem drone agar dapat terbang. Perangkat penggerak *drone* terdiri dari baling-baling, motor, dan sistem propulsi yang menghasilkan daya angkat serta sistem pengendalian yang memungkinkan drone untuk bergerak pada pola tertentu, komponen elektronik yang digunakan seperti *flight controller*, baterai, sensor, dan pemrosesan data yang memberikan drone kemampuan untuk menjaga stabilitas, navigasi, serta

berkomunikasi dengan pengguna melalui pengontrol jarak jauh atau menggunakan kendali otomatis seperti GPS. Perangkat penggerak dan elektronik yang digunakan diantaranya:

1. Flight Controller (Pixhawk)

Flight Controller sering juga disebut dengan *FC* merupakan otak dari sebuah pesawat udara tanpa awak. *Flight controller* terdapat terdapat beberapa sensor yang digunakan dalam pemrosesan data untuk melakukan penerbangan, diantaranya sensor *gyroscope*, sensor *accelerometer*, sensor *barometer* dan sensor *magnetometer* (kompas). Data dari sensor-sensor tersebut diproses oleh *mikrokontroler* di dalam *flight controller* dan kemudian diteruskan ke motor atau baling-baling untuk mengatur gerakan *drone*.

Pixhawk merupakan serangkaian autopilot berbasis *hardware* dan *software* yang digunakan pada aplikasi penerbangan otonom, terutama pada *drone* dan kendaraan udara tanpa awak (UAV). Gambar 4 berikut merupakan tampilan dari Pixhawk.



Gambar 4 Pixhawk
(Sumber : Ardupilot.org)

Sisi bagian atas permukaan pixhawk terdapat konektor DF13 yang merupakan konektor kunci dalam sistem autopilot dan kontrol penerbangan yang digunakan pada *drone*. Konektor DF13 berfungsi sebagai antarmuka utama

untuk menghubungkan *Pixhawk* dengan berbagai sensor, aktuator, dan perangkat tambahan lainnya. Desain konektor DF13 pada Pixhawk yang kokoh dan tahan lama, memastikan pengiriman sinyal yang baik antara autopilot dengan komponen lainnya seperti GPS, kompas, telemetri, baterai, dan motor. Konektor ini memungkinkan integrasi perangkat yang mulus dan meminimalkan risiko kesalahan pemasangan.



Gambar 5 Bagian dan Port Konektor Pixhawk
(Sumber : ardupilot.org)

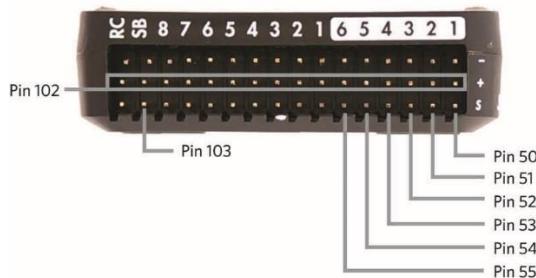
Gambar 5 merupakan tampilan dari port konektor DF13 Pixhawk dan fungsi dari masing-masing *port* konektor pada *Pixhawk* yaitu:

- Power Port* : Port ini digunakan untuk menyediakan daya ke Pixhawk. Biasanya terdiri dari pin positif dan negatif untuk menghubungkan baterai atau sumber daya eksternal yang sesuai dengan kebutuhan daya Pixhawk.
- Telemetry Port* : Port ini digunakan untuk komunikasi dua arah antara Pixhawk dan perangkat luar seperti pengendali jarak jauh (RC), *Ground Control Station* (GCS), atau sistem monitor. Biasanya terdiri dari pin Tx (*transmit*) dan Rx (*receive*) yang mengirimkan dan menerima data telemetri.

- c. *GPS Port* : Port ini digunakan untuk menghubungkan modul GPS eksternal. Modul GPS menyediakan data lokasi dan navigasi yang penting dalam sistem kontrol penerbangan otomatis.
- d. *I2C Port* : Port ini menggunakan protokol komunikasi I2C (Inter-Integrated Circuit) untuk menghubungkan sensor dan perangkat lain yang mendukung I2C. Contoh penggunaan I2C pada Pixhawk adalah untuk menghubungkan sensor tekanan, magnetometer, atau modul sensor lainnya.
- e. *SPI Port* : Port ini menggunakan protokol komunikasi SPI (*Serial Peripheral Interface*) untuk menghubungkan sensor atau perangkat lain yang mendukung SPI. Beberapa perangkat yang mungkin terhubung melalui port ini adalah sensor IMU (*Inertial Measurement Unit*) atau modul sensor lainnya.
- f. *RC Input Port* : Port ini digunakan untuk menghubungkan penerima sinyal radio pada *remote control* (RC) dari pengendali jarak jauh ke Pixhawk. Ini memungkinkan pengendali RC untuk mengontrol penerbangan *drone* secara langsung.
- g. *Servo Output Ports* : Port ini digunakan untuk menghubungkan aktuator atau servo motor yang menggerakkan permukaan kendali (seperti kendali arah atau kendali *throttle*) pada pesawat atau *drone*.
- h. *Power Distribution Port* : Port ini digunakan untuk menghubungkan dan mendistribusikan daya ke aktuator atau perangkat lain seperti motor ESC (*Electronic Speed Controller*) atau gimbal kamera.

- i. *Serial Ports* : Pixhawk memiliki beberapa port serial tambahan yang dapat digunakan untuk menghubungkan perangkat eksternal, seperti modul radio, sensor tambahan, atau perangkat lain yang memerlukan komunikasi serial.

Pixhawk tidak memiliki pin output atau input digital khusus pada konektor DF13, tetapi terdapat hingga 6 pin konektor "AUX SERVO" sebagai output/input GPIO digital. Pin ini ditandai sebagai pin AUX 1-6 seperti pada Gambar 6.



Gambar 6 Pixhawk Digital Input dan Output
(Sumber : ardupilot.org)

Fungsi AUX pin pada *Pixhawk* adalah untuk memperluas kemampuan pengendalian dan pemantauan sistem, seperti menghubungkan kamera, modul telemetri, sensor, atau perangkat lainnya. Dengan pin AUX, pengguna dapat mengintegrasikan komponen tambahan sesuai kebutuhan dan meningkatkan fungksionalitas dan fleksibilitas sistem.

2. Electronics Speed Controller (ESC)

Electronic Speed Controller (ESC) adalah sirkuit elektronik yang digunakan untuk mengubah kecepatan motor listrik, dan juga berfungsi sebagai rem dinamis, ESC bertindak seperti otak sistem dengan memberi tahu motor

seberapa cepat untuk berputar berdasarkan sinyal data yang diterimanya dari pengontrol *throttle* yang bertujuan untuk mengubah kecepatan dan arah manuver *drone*. Bentuk dan tampilan *Electronics Speed Controller* (ESC) terdapat pada Gambar 7 berikut.



Gambar 7 *Electronics Speed Controller (ESC)*
(Sumber : tytorobotics.com)

Peran ESC bertindak sebagai perantara pengatur antara baterai dan motor listrik. ESC menggunakan arus searah dari baterai yang digabungkan dengan sistem saklar untuk mencapai arus tiga fasa bolak-balik yang dikirim ke motor. ESC mengontrol gerakan atau kecepatan *motor brushless* dengan mengaktifkan MOSFET yang sesuai untuk menciptakan medan magnet yang berputar sehingga akan membuat motor berputar.

3. *Brushless DC Motor*

Motor DC adalah motor listrik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik dengan menggunakan arus listrik DC. Motor DC berfungsi sesuai pada kemampuan untuk berputar pada kecepatan tinggi, dan torsi awal yang tinggi.



Gambar 8 Brushless DC Motor
(Sumber : andalanelektro.id)

Motor brushless juga disebut dengan BLDC atau *BrushLess Direct Current* adalah motor DC yang tidak memiliki sikat atau *brush* untuk mengalirkan arus listrik pada setiap kumparan. *Motor brushless* terdiri dari dua bagian utama, yaitu *stator* dan *rotor*. Motor brushless memiliki magnet permanen yang dipasang pada *rotor*, dan *stator* terdiri dari belitan untuk kutub tertentu.

4. Propeller

Propeller atau baling-baling merupakan komponen utama pada drone yang digunakan untuk menghasilkan daya angkat atau dorongan. *Propeller* terdiri dari dua atau lebih bilah yang terpasang pada satu atau lebih poros dan diputar untuk menciptakan aliran udara yang menghasilkan gerakan maju atau daya angkat.



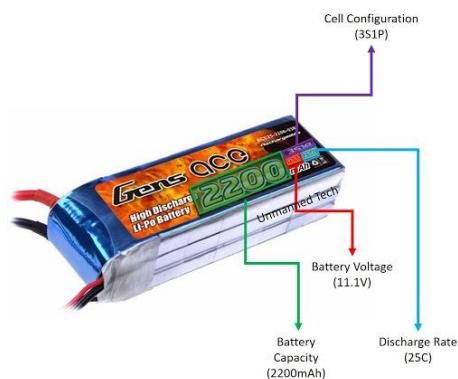
Gambar 9 Propeller
(Sumber : hobbyking.com)

Propeller yang digunakan drone pada penelitian ini yaitu *propeller* dengan kode “1045” yang digunakan drone untuk mengangkat beban yang memiliki

ukuran dan bobot sedang hingga besar. Kode angka "1045" mengacu pada dua karakteristik utama dari baling-baling ini, yaitu diameter propeller sebesar 10 inchi dan *pitch* atau sudut serang dari propeller sebesar 45 derajat.

5. Lithium Polimer Battery (Li-Po Battery)

Baterai Li-Po merupakan baterai generasi baru yang saat ini banyak digunakan. Baterai Li-Po adalah singkatan dari *Lithium Polimer*, disebut demikian karena baterai ini memiliki elektrolit yang terbuat dari bahan cairan polimer. Cairan polimer yang digunakan untuk membuat elektrolit memiliki massa yang ringan. Oleh karena itu, baterai litium ini dapat didesain dengan berbagai macam bentuk dan ukuran. Salah satunya yaitu didesain dengan model yang ramping namun spesifikasinya tergolong tinggi. Gambar 10 merupakan bentuk dari baterai lipo beserta rating spesifikasi baterai lipo.



Gambar 10 Lipo Battery
(Sumber : genstattu.com)

LiPo battery memiliki nilai *rate* spesifikasi yang terdapat pada *body* baterai seperti yang terlihat pada Gambar 10. Adapun *rate* yang terdapat pada *batterai LiPo* yaitu :

a. Tegangan (Voltage)

Baterai Li-Po memiliki rata-rata tegangan 3,7V per sel. Keuntungannya adalah tegangan baterai yang tinggi dapat dicapai dengan menggunakan jumlah sel yang lebih sedikit. Pada setiap paket baterai LiPo selain tegangan ada label yang disimbolkan dengan “S”. Disini “S” berarti sel yang dimiliki sebuah paket baterai (*battery pack*). Sementara bilangan yang berada didepan simbol menandakan jumlah sel dan biasanya berkisar antar 2-6S.

Tabel 1 berikut adalah tabel notasi tegangan pada baterai LiPo :

Tabel 1 Notasi tegangan baterai Li-Po

| Sel Baterai (S) | Tegangan Kondisi Kosong (Volt) | Tegangan Kondisi Penuh (Volt) |
|-----------------|--------------------------------|-------------------------------|
| 1 | 3,7 | 4,2 |
| 2 | 7,4 | 8,4 |
| 3 | 11,1 | 12,6 |
| 4 | 14,8 | 16,8 |
| 5 | 18,5 | 21,0 |
| 6 | 22,2 | 25,2 |

b. Kapasitas (*Capacity*)

Kapasitas baterai menunjukkan seberapa banyak energi yang dapat disimpan oleh sebuah baterai dan diindikasikan dalam miliampere hours (mAh). Notasi ini adalah cara lain untuk mengatakan seberapa banyak beban yang dapat diberikan kepada sebuah baterai selama 1 jam, dimana setelah 1 jam baterai akan benar-benar habis.

c. *Discharge rate*

Discharge rate biasa disimbolkan dengan “C” merupakan notasi yang menyatakan seberapa cepat sebuah baterai untuk dapat dikosongkan (discharge) secara aman. Sesuai dengan penjelasan diatas bahwa energi

listrik pada baterai LiPo berasal dari pertukaran ion dari anoda ke katoda.

Semakin cepat pertukaran ion yang dapat terjadi maka berarti semakin besar nilai dari “C”.

6. Global Positioning System (GPS)

Global Positioning System atau yang sering disebut dengan GPS adalah teknologi yang menggunakan sinyal dari satelit yang bisa membantu dan mempermudah manusia dalam kegiatan sehari-hari, seperti untuk mengetahui posisi dengan cepat, menentukan rute perjalanan, mengetahui ketinggian suatu tempat, bahkan untuk melihat situasi lalu lintas terkini.

Modul GPS adalah perangkat elektronik yang mengintegrasikan penerima GPS dan dapat menentukan posisi, kecepatan, waktu, dan koordinat geografis dengan akurasi tinggi menggunakan sinyal satelit. Modul GPS terdiri dari antena untuk menerima sinyal dari satelit, dan sirkuit elektronik yang memproses informasi penerimaan sinyal tersebut.



Gambar 11 Modul GPS
(Sumber : radiolink.com)

Gambar 11 merupakan bentuk fisik dari GPS module yang memiliki fungsi utama dalam mendukung fungsi dasar drone, seperti navigasi, pemosisian, dan pengendalian penerbangan. GPS paling sering digunakan untuk menentukan posisi dan pergerakan drone karena tingkat akurasi yang tinggi, dan penting

untuk berbagai aplikasi. Selain itu, GPS juga digunakan done untuk fungsi fitur tambahan seperti *Return to Home* (RTH), *geofencing*, dan pengaturan rute penerbangan yang dapat diprogram. Informasi GPS yang dikumpulkan selama penerbangan juga dapat digunakan untuk analisis kinerja, pemetaan, dan pemantauan penerbangan.

7. *Radio Telemetry*

Telemetri adalah sebuah sistem atau proses pengendalian serta pengukuran data yang melalui media komunikasi jarak jauh dengan menggunakan kabel ataupun wireless yang diperlukan dapat memberi kemudahan pada pengukuran, pemantauan dan mengurangi hambatan untuk menerima informasi. Telemetri terdiri dari beberapa bagian pendukung seperti sensor, saluran transmisi, variabel yg diukur, receiver dan display (Rahmadiansyah et al., 2017)

Radio telemetri merupakan platform radio *open source* yang kecil, ringan, dan murah yang biasanya memungkinkan jangkauan lebih baik dari 300m. Radio telemetri menggunakan firmware open source yang telah dirancang khusus untuk bekerja dengan baik dengan paket MAVLink dan terintegrasi dengan Mission Planner, Copter, Rover dan Planer.

Radio telemetri memiliki modul udara dan darat yang dapat dipertukarkan, artinya untuk menggunakannya sebagai pasangan tetapi tidak masalah mana yang dipasang di kendaraan dan mana yang tetap di darat. Radio telemetri terdapat *port* micro-USB, dan *port* enam posisi DF13 untuk penyambungan telemetri ke autopilot maupun ke perangkat GCS. Gambar 12 merupakan bentuk fisik dari radio telemetri modul.



Gambar 12 Radio Telemetry module
(Sumber : Ardupilot.org)

Telemetri digunakan untuk menghubungkan drone dengan *ground controll station* (GCS) yang sangat penting dalam operasi dan pengawasan drone. Fungsinya melibatkan pertukaran data nirkabel antara *drone* dan stasiun GCS, memungkinkan operator untuk memantau dan mengendalikan drone secara efektif. Selain itu, radio telemetri memungkinkan pengendalian drone dari jarak jauh, sehingga operator dapat memberikan perintah dan menerima respons dengan cepat. penyambungan telemetri ini berfungsi untuk mengontrol dan monitoring status informasi penerbangan *drone* yang ditampilkan pada *display Ground Controll Station*.

8. Radio Control System

Sistem radio kontrol (RC) adalah teknologi yang digunakan untuk mengontrol perangkat atau model jarak jauh menggunakan sinyal radio. Prinsip dasar dari sistem radio kontrol adalah mentransmisikan perintah atau informasi dari pengendali (*transmitter*) ke perangkat yang dikendalikan (*receiver*) melalui gelombang radio. Sistem ini sering digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti mainan, model kendaraan, pesawat tanpa awak (*drone*), kendaraan remote kontrol, kapal, dan aplikasi industri lainnya. Gambar 13 Merupakan contoh dari

radio remote controller yang digunakan untuk mengendalikan drone secara manual.



Gambar 13 Radio Remote Control
(Sumber : Ardupilot.org)

Remote Controll memiliki beberapa komponen utama yang diperlukan agar dapat mengendalikan *drone* dari *ground station*, diantaranya yaitu :

a. *Transmitter* (Pengendali)

Transmitter adalah perangkat yang dipegang oleh pengguna atau pilot yang mengendalikan perangkat jarak jauh. Transmitter dilengkapi dengan berbagai tuas, tombol, dan kontrol yang digunakan untuk menggerakkan dan mengontrol perangkat yang dikendalikan. Pengguna menggerakkan tuas atau tombol pada transmitter, dan perangkat ini mengubah gerakan atau perintah tersebut menjadi sinyal radio yang akan dikirim ke receiver.

b. *Receiver* (Penerima)

Receiver adalah perangkat yang ditempatkan di perangkat yang akan dikendalikan. Fungsi utama *Receiver* adalah menerima sinyal radio dari *Transmitter* dan mengubahnya kembali menjadi perintah yang sesuai untuk mengontrol motor, servo, atau bagian lain dari perangkat.

c. Antena

Antena digunakan untuk menerima dan mengirimkan sinyal radio antara transmitter dan receiver. Antena pada transmitter dan receiver harus sesuai agar komunikasi nirkabel bisa dilakukan dengan baik.

d. Sumber Daya

Sistem radio kontrol membutuhkan daya untuk bekerja. Transmitter biasanya menggunakan baterai untuk daya, sedangkan receiver pada perangkat yang dikendalikan juga membutuhkan daya untuk beroperasi.

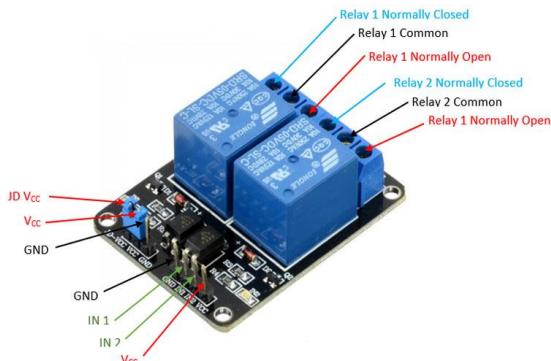
E. Perangkat Kontrol Penyemprotan Cairan Pestisida

Perancangan sistem penyemprotan cairan pestisida yang dilakukan memerlukan beberapa perangkat pengontrol untuk melakukan penyemprotan cairan pestisida secara otomatis, seperti *relay* yang dikontrol oleh *flight controller* digunakan sebagai saklar elektronik untuk menyambung dan memutus arus listrik yang mengalir ke *waterpump*. *Waterpump* digunakan untuk melakukan proses penyemprotan cairan pestisida yang dikendalikan oleh relay, dan *nozzle* berperan sebagai penyebaran aliran cairan pestisida yang dikeluarkan *waterpump*. Penjelasan perangkat kontrol sistem penyemprotan cairan pestisida yang diperlukan sebagai berikut :

1. *Relay*

Relay adalah saklar (*switch*) yang dioperasikan dengan aliran listrik dan merupakan komponen *electromechanical* (elektromekanikal) yang terdiri dari 2 bagian utama yakni *elektromagnet* (*coil*) dan mekanikal (seperangkat kontak saklar/*switch*). Relay dimanfaatkan sebagai penggerak kontaktor untuk

menyambungkan rangkaian secara tidak langsung. Relay memiliki bagian berupa coil yang biasanya memiliki tegangan kerja DC 5V, 9V, 12V atau sebagainya. Jika komponen tersebut diberi tegangan kerjanya maka arus akan mengalir pada coil sehingga menyebabkan kontak pada relay dapat bekerja. Kegunaan relay pada penelitian ini yaitu sebagai menyambung dan memutus aliran arus listrik yang masuk pada *waterpump*, sehingga waterpump dapat dinyalakan dan dimatikan secara otomatis melalui kendali dari program *flight controller*. Gambar 14 merupakan bentuk dari relay 2 channel yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 14 Relay 2 Channel
(Sumber : components101.com)

Relay memiliki 2 kondisi awal yaitu *Normally Open* (NO) dan *Normally Close* (NC). *Normally Open* merupakan kondisi relay terbuka atau tidak terhubung saat tidak dialiri arus listrik. Sedangkan *Normally Close* relay akan menutup saat tidak dialiri arus listrik.

2. Waterpump DC

Waterpump DC atau yang biasa disebut dengan pompa air DC adalah perangkat yang digunakan untuk mengalirkan atau mengangkat air menggunakan tenaga listrik yang berasal dari sumber arus searah. Pompa air DC mengandalkan

motor DC yang berputar ketika diberi daya listrik, sehingga menciptakan aliran air. Pada sistem drone waterpump digunakan untuk mengalirkan cairan pestisida yang dikendalikan oleh *flight controller*. Gambar 15 merupakan bentuk dari waterpump.



Gambar 15 Waterpump DC Motor
(Sumber : Shopee.co.id)

3. Nozzle Spray

Nozzle spray merupakan salah satu komponen penting dalam sistem dispersi cairan atau semprotan pada *drone*. *Nozzle* ini berfungsi sebagai saluran yang mengarahkan dan mengatur aliran cairan yang akan disemprotkan oleh *drone*. Keunggulan menggunakan nozzle ini adalah kemampuannya untuk mengatur pola semprotan dan volume cairan yang dihasilkan, memungkinkan drone untuk mengaplikasikan bahan kimia atau zat cair lainnya dengan presisi tinggi. Pola semprotan yang dapat diatur ini memungkinkan penyesuaian dengan kebutuhan aplikasi tertentu, seperti penyebaran pestisida atau pupuk secara merata di lahan pertanian. *Nozzle spray* yang digunakan dalam sistem penyemprotan drone seperti pada Gambar 16.



Gambar 16 Nozzle Sprayer
(Sumber : jakartanotebook.com)

F. Mission Planner

Mission Planner adalah perangkat lunak atau *software* yang digunakan untuk merancang, mengatur, dan memantau misi penerbangan atau eksplorasi dalam penerbangan UAV. *Mission Planner* merupakan perangkat lunak dari stasiun kontrol darat (GCS) untuk mengendalikan kendaraan tanpa awak dari jarak jauh seperti Pesawat, *Copter*, dan *Rover*. *Mission Planner* dapat digunakan sebagai utilitas konfigurasi atau sebagai suplemen kontrol dinamis untuk kendaraan otonom. Gambar 17 merupakan tampilan halaman awal pada aplikasi *Mission Planner*.



Gambar 17 Mission Planner
(Sumber : Ardupilot.org)

Mission Planner dapat terhubung pada drone dengan menggunakan protokol komunikasi *wireless* dengan protokol komunikasi *mavlink*, MAVLink adalah singkatan dari "Micro Air Vehicle Link" yang merupakan protokol komunikasi yang dirancang khusus untuk mendukung komunikasi antara kendaraan udara tanpa awak (UAV) dan stasiun kontrol darat yang digunakan dalam aplikasi kontrol, dan monitoring pesawat tanpa awak. Untuk menghubungkan perangkat kendali drone dengan *Mission Planner* menggunakan kabel USB Serial atau menggunakan komunikasi wireless radio telemetri seperti pada Gambar 18.



Gambar 18 Menghubungkan Mission Planner ke Ardupilot
 (a) Menggunakan USB Serial (b) Menggunakan Radio Telemetry
 (Sumber : Ardupilot.org)

Dalam Gambar 18, untuk menghubungkan PC dan autopilot, diperlukan perangkat keras fisik dan driver perangkat Windows, seperti kabel USB, Radio Telemetri, Bluetooth, dan koneksi IP yang semuanya memerlukan penggunaan protokol komunikasi MAVLink.

G. Perhitungan Parameter Pada Hexacopter

Perhitungan parameter merupakan perhitungan yang merangkum sejumlah faktor teknis yang melibatkan fisika penerbangan, elektronika, dan desain

struktural. perhitungan parameter pada hexacopter yang perlu dipertimbangkan yaitu :

1. Perhitungan Gaya Angkat (*thrust*)

Perhitungan gaya angkat drone sangat diperlukan dalam melakukan penerbangan, tujuannya agar drone mampu terbang sesuai dengan kemampuan maksimal daya angkat drone dalam membawa beban. Gaya yang dibutuhkan hexacopter untuk menaikkan tinggi harus lebih besar dari berat dikali konstanta percepatan suatu gravitasi dan juga gaya yang dibutuhkan untuk membuat hexacopter turun harus lebih kecil dari berat dikali konstanta gravitasi.

Persamaan yang digunakan adalah (Khumairowati & B. Yulianti, 2020) :

- $F = (m \cdot g) / 6$ (drone terbang stabil)
- $F < (m \cdot g) / 6$ (drone bergerak naik)
- $F > (m \cdot g) / 6$ (drone bergerak turun)

dimana :

$$F = \text{gaya angkat masing-masing motor hexacopter (N)}$$

$$m = \text{massa total hexacopter (kg)}$$

$$g = \text{konstanta percepatan gravitasi (9,8 m/s}^2\text{)}$$

2. Perhitungan daya baterai

Perhitungan parameter pada baterai drone melibatkan sejumlah faktor yang berpengaruh pada kinerja dan keamanan operasional drone. terdapat beberapa parameter baterai seperti C-rate (C) , kapasitas baterai (Ah), dan tegangan baterai (V). faktor yang perlu diperhatikan pada perhitungan daya baterai yaitu:

- $I_{max} = C \times Ah$

- $V_{\min} = 3,7 \text{ Volt}$
- $V_{\max} = 4,2 \text{ Volt}$

dimana :

I_{\max} = Arus maksimum yang dapat dikeluarkan baterai

V_{\min} = Tegangan minimum aman baterai

V_{\max} = Tegangan maksimal baterai

C = C-rating (Laju pelepasan)

Ah = Kapasitas Baterai

3. Perhitungan durasi terbang drone

Durasi terbang yang dapat dicapai oleh *drone hexacopter* dipengaruhi oleh kapasitas pada baterai yang mana besarnya kapasitas baterai bisa diketahui konsumsi arus setiap motor sehingga dapat dihitung durasi waktu terbang *drone hexacopter* (Khumairowati & B. Yulianti, 2020). Persamaan yang digunakan untuk menghitung durasi terbang *hexacopter* adalah :

- $waktu terbang max = \frac{\text{Kapasitas Baterai}}{\text{Pemakaian arus pada motor}}$
- $waktu terbang effektif = waktu terbang max \times \text{konstanta keamanan}$

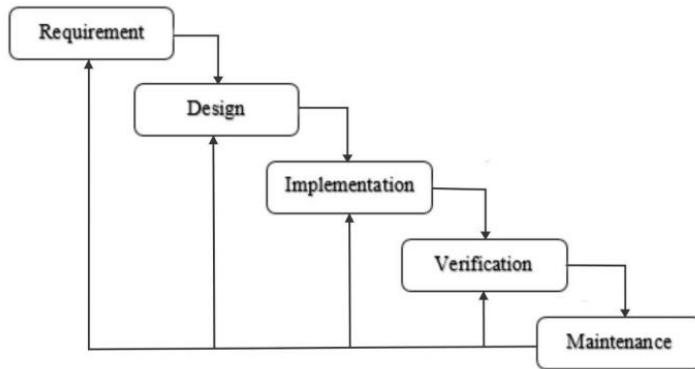
dimana :

- faktor keamanan = $0.4 - 0.7$
- waktu terbang max (menit)
- waktu terbang efektif (menit)
- kapasitas baterai (Ampere per minute)
- pemakaian arus pada motor (Ampere)

H. Metode Pengembangan Sistem Model *Waterfall*

Metode pengembangan sistem adalah rencana atau pendekatan yang digunakan oleh tim pengembangan perangkat lunak atau sistem untuk merancang, mengembangkan, menguji, dan menerapkan sistem model perancangan yang akan dilakukan. *System Development Life Cycle* atau yang dikenal dengan istilah SDLC merupakan metodologi umum yang digunakan untuk mengembangkan sistem perangkat lunak dengan menggunakan model dan metodologi yang digunakan untuk mengembangkan sistem perangkat lunak sebelumnya (Abdul Wahid, 2020; Hidayati, 2019). Pemilihan model SDLC yang digunakan untuk pengembangan sistem akan menentukan kualitas dari sistem yang akan dibuat atau dikembangkan dan juga menentukan kebutuhan lainnya dalam pengembangan sistem tersebut (Abdul Wahid, 2020).

Model *Waterfall* merupakan salah satu model SDLC yang sering digunakan dalam pengembangan sistem menggunakan pendekatan sistematis dan berurutan. Tahapan dalam model ini dimulai dari tahap perencanaan hingga tahap pengelolaan (*maintenance*) dan dilakukan secara bertahap. Disebut *waterfall* karena tahap demi tahap yang dilalui harus menunggu tahap sebelumnya selesai dan berjalan berurutan. Model pengembangan ini bersifat linear dari tahap awal pengembangan sistem yaitu tahap perencanaan sampai tahap akhir pengembangan sistem yaitu tahap pemeliharaan. Tahapan berikutnya tidak akan dilaksanakan sebelum tahapan sebelumnya selesai dilakukan dan tidak dapat kembali atau mengulang ke tahap sebelumnya. Tahapan-tahapan model waterfall terlihat pada Gambar 19 berikut :



Gambar 19 Siklus Metode Waterfall
(Sumber : (Abdul Wahid, 2020)

1. Analisis Kebutuhan

Tahap ini pengembang sistem diperlukan komunikasi yang bertujuan untuk memahami sistem alat yang diharapkan oleh pengguna dan batasan alat tersebut. Informasi dapat diperoleh melalui mencari referensi, wawancara, diskusi atau survei secara langsung. Informasi yang diperoleh akan dianalisis untuk mendapatkan data yang dibutuhkan oleh pengguna.

2. Desain Sistem

Tahap desain sistem yaitu pengembang membuat desain sistem yang dapat membantu menentukan perangkat keras (*hardware*) dan sistem persyaratan dan juga membantu dalam mendefinisikan arsitektur sistem secara keseluruhan. Desain sistem yang dilakukan meliputi pembuatan desain rancangan sistem secara keseluruhan, pengkabelan, manufaktur, dan pemrograman.

3. Implementasi

Tahap implementasi merupakan sistem pertama kali dikembangkan di program kecil yang disebut unit, yang terintegrasi dalam tahap selanjutnya. Setiap unit dikembangkan dan diuji untuk fungsionalitas yang disebut sebagai unit testing.

4. Verifikasi

Tahap ini dilakukan verifikasi dan pengujian apakah sistem sepenuhnya atau sebagian memenuhi persyaratan sistem, pengujian dapat dikategorikan ke dalam unit testing (dilakukan pada modul tertentu kode), sistem pengujian (untuk melihat bagaimana sistem bereaksi ketika semua modul yang terintegrasi) dan penerimaan pengujian (dilakukan dengan atau nama pelanggan untuk melihat apakah semua kebutuhan pelanggan puas)

5. Pemeliharaan (*maintenance*)

Pemeliharaan adalah tahap akhir dari metode *waterfall*. alat yang telah berhasil dijalankan juga memungkinkan akan dilakukan pemeliharaan. Pemeliharaan termasuk dalam memperbaiki kesalahan yang tidak ditemukan pada langkah sebelumnya.

I. Penelitian Relevan

Penelitian yang akan dirancang mengacu pada penelitian terdahulu yang relevan dengan perancangan alat yang akan dilakukan. Berikut ini beberapa hasil penelitian relevan yang dijadikan bahan telaah bagi peneliti:

1. Penelitian (Hidayat et al., 2019) dengan judul “*Rancang bangun Prototype Drone Penyemprot Pestisida Untuk Pertanian Padi Secara Otomatis*” menyimpulkan bahwa berdasarkan hasil pengujian dan data yang diperoleh dengan menggunakan sumber batterai berkapasitas 2200mAh, *drone* frame quadcopter dapat terbang selama kurang dari 3 menit 46 detik ketika beban *drone* sebesar 1,3kg dan ketika beban *drone* sebesar 2,5kg *drone* hanya dapat terbang selama kurang lebih 1 menit 45 detik

2. Penelitian (Taufik et al., 2022) dengan judul “*Drone Untuk Deteksi Hama dan Penyemprotan Pestisida Pada Tanaman Padi*” melakukan uji penyemprotan dengan menerbangkan *drone* di atas karton pada ketinggian ±1 meter hingga ±1,5 meter. Kemudian modul relay akan diaktifkan selama 20 detik dengan menjalankan program yang telah dibuat pada raspberry pi, sehingga pompa wiper akan menyemprotkan cairan.
3. Penelitian (Widiasari & Este Dulan Agustinus S., 2020) dengan judul “*Rancang Bangun Drone Quadcopter Tanpa Awak Penyiram Pupuk Tanaman*” Menyimpulkan bahwa daya angkat *drone* quadcopter mampu mengangkat beban dengan stabil dari berat 200-600 ml. Dengan berat maksimum yang dapat diangkut oleh *drone quadcopter* sebesar 600 ml pada lahan pertanian seluas 30m² dengan ketinggian 2-3 meter
4. Penelitian (Yallappa, D. et al., 2017) dengan judul “*Development and Evaluation of Drone Mounted Sprayer For Pesticide Applications to Crops*” Melakukan uji penyemprotan *drone* yang dioperasikan pada tanaman kacang tanah dan padi dengan luas lahan 1,15ha dan 1,08ha dengan ketinggian 1 m.

BAB III

METODOLOGI PERANCANGAN

BAB ini menjelaskan mengenai metode pengembangan sistem untuk perancangan dan pembuatan sistem kontrol penyemprotan cairan pestisida menggunakan *drone UAV hexacopter*. Perancangan sistem dilakukan dari segi perangkat keras (*hardware*) maupun dari segi perangkat lunak yang digunakan. Perancangan dan pembuatan sistem ini menggunakan metode pengembangan *System Development Life Cycle* (SDLC) model *Waterfall*, dengan menggunakan metode pengembangan model *Waterfall* dapat tergambar pendekatan sistem yang sistematis dan juga proses yang berurutan, dimulai dari analisis kebutuhan, desain sistem, implementasi, pengujian dan *maintenance*. Model ini melibatkan penyelesaian satu tahap secara lengkap sebelum melangkah ke tahap berikutnya. Ketika satu tahap selesai langsung dilakukan evaluasi untuk memastikan alat berjalan sesuai rencana dan layak diteruskan ke tahap berikutnya.

A. Analisis Kebutuhan (*Requirement*)

Proses awal yang dilakukan adalah mengidentifikasi apa saja kebutuhan dalam pembuatan tugas akhir ini, kebutuhan-kebutuhan yang diperlukan dalam perancangan dan pembuatan sistem penyemprotan cairan pestisida otomatis menggunakan *drone UAV hexacopter* yaitu sebagai berikut :

1. Analisis Kebutuhan Sistem

Analisis kebutuhan sistem merupakan kebutuhan yang diperlukan untuk mengidentifikasi bagaimana gambaran alat yang digunakan agar berfungsi dengan semestinya. Tabel 2 berikut merupakan daftar kebutuhan yang diperlukan pada penelitian ini.

Tabel 2 Analisis Kebutuhan Sistem

| No | Uraian Sistem | Penjelasan |
|----|---------------------|--|
| 1. | Jenis Drone | Jenis <i>drone</i> yang digunakan pada penelitian ini adalah <i>drone hexacopter F550</i> yaitu drone yang memiliki 6 motor dan baling-baling sebagai penggerak dengan jarak antara 2 motor yang sejajar sebesar 550mm |
| 2. | Sistem Kendali | <i>Hexacopter</i> menggunakan <i>flight controller pixhawk</i> sebagai kontroller utama untuk mengatur pergerakan penerbangan drone, <i>hexacopter</i> mampu terbang secara autonomous dengan mengikuti rute titik koordinat GPS yang telah dirancang pada aplikasi Mission Planner. |
| 3. | Sistem Penyemprotan | Penyemprotan cairan pestisida dilakukan secara otomatis ketika drone berhasil melakukan <i>takeoff</i> dan menuju area penyemprotan dengan ketinggian terbang 1-2meter dari permukaan tanah. Tujuannya agar penyemprotan dapat |

| | | |
|----|------------------|---|
| | | dilakukan merata pada lahan pertanian dan hama dapat terbasmi sehingga kualitas dan kuantitas tanaman dapat terjaga. |
| 4. | Pengujian Sistem | Pengujian penyemprotan dilakukan pada ruangan terbuka (<i>outdoor</i>) di area yang luas tanpa adanya halangan saat melakukan penerbangan. Tujuan pengujian dilakukan untuk mengukur maksimal beban yang dapat diangkut oleh drone hexacopter dalam melakukan penyemprotan cairan pestisida |

2. Analisis Kebutuhan Alat dan Bahan

Analisis kebutuhan alat dan bahan diperlukan untuk mengidentifikasi apa saja alat dan bahan yang dibutuhkan untuk pembuatan sistem alat. Adapun Kebutuhan Alat dan bahan yang dibutuhkan untuk pembuatan sistem penyemprotan cairan pestisida secara otomatis menggunakan *drone*, dijelaskan dalam tabel berikut :

Tabel 3 Analisis Kebutuhan Alat dan Bahan

| No | Alat dan Bahan | Jumlah | Fungsi |
|----|------------------------|--------|--|
| 1. | Frame Hexacopter F550 | 1 | Sebagai <i>body frame</i> pada <i>drone</i> |
| 2. | Pixhawk | 1 | Sebagai sistem navigasi dan pengatur sistem gerakan <i>drone</i> |
| 3. | Motor Brushless 1100KV | 6 | Sebagai penggerak baling-baling. |
| 4. | Propeller 1045 | 6 | Sebagai pemberi gaya dorong (thrust) pada <i>drone</i> |

| | | | |
|-----|--|---|---|
| 5. | Electronics Speed Controller (ESC) 40A | 6 | Sebagai pengatur kecepatan putar motor brushless |
| 6. | Baterai Lipo 7200MaH | 1 | Sebagai sumber daya pada sistem elektronik drone |
| 7. | Power Module | 1 | Mengstabilkan keluaran tegangan baterai |
| 8. | GPS Module | 1 | Sebagai sensor pada drone yang berfungsi untuk mengetahui posisi drone secara real time |
| 9. | Radio Telemetri 455MHz | 2 | Sebagai media komunikasi antara drone dengan <i>ground control station</i> yang berfungsi untuk sistem monitoring dan kontrol drone |
| 10. | Radio Remote Controll | 1 | Sebagai kontrol manual yang dilakukan User |
| 11. | Radio Remote Receiver | 1 | Sebagai penerima sinyal yang diberikan Radio Remote Controll |
| 12. | Buzzer 5V | 1 | Sebagai indikator notifikasi status drone yang berbunyi |
| 13. | Safety Switch Module | 1 | Sebagai pengaman atau pencegah drone agar tidak arming saat tidak disengaja |
| 14. | Relay 2 Channel | 1 | Sebagai saklar otomatis untuk menghubung dan memutuskan arus yang mengalir pada waterpum DC |
| 15. | Waterpump 12V | 1 | Sebagai pompa cairan pestisida ketika diberikan tegangan 12 V |
| 16. | DC Stepdown | 1 | Sebagai penurun dan penstabil tegangan DC yang masuk ke waterpump DC |
| 17. | Nozzle Spray | 1 | Sebagai pendispersi cairan pestisida agar cairan semprotan menyebar dengan merata |
| 18. | Tangki Pestisida | 1 | Sebagai tempat untuk menampung beban cairan pestisida |

3. Analisis Kebutuhan Software

Analisis kebutuhan software dilakukan untuk mengidentifikasi apa saja software yang digunakan untuk perancangan dan pembuatan sistem. software yang dibutuhkan pada pembuatan tugas akhir ini yaitu :

a. *Software Solidworks*

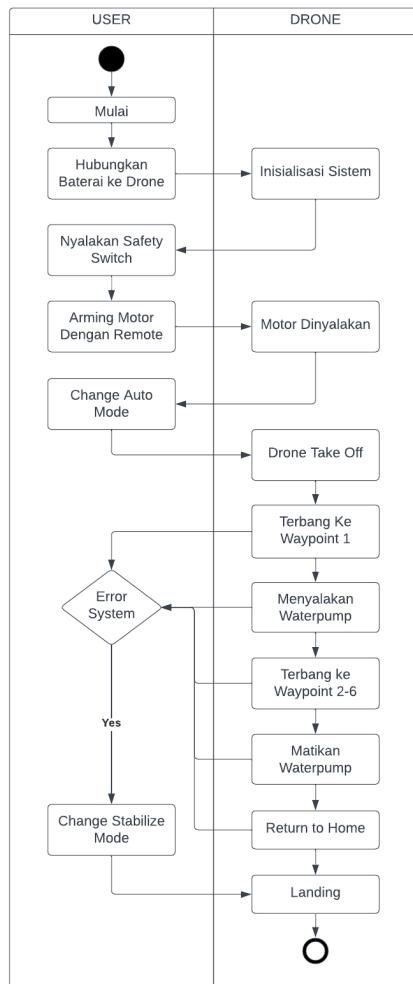
Software Solidworks adalah perangkat lunak desain dan rekayasa 3D yang sangat banyak digunakan dalam industri manufaktur dan rekayasa. pada hal ini *software solidworks* digunakan untuk pembuatan rancangan desain alat yang akan dikembangkan seperti tampilan alat secara keseluruhan, dan susunan struktur komponen.

b. *Software Mission Planner*

Mission Planner merupakan aplikasi perangkat lunak open-source yang digunakan untuk pengoperasian dan pemrograman pesawat udara tanpa awak (*drone*) yang menggunakan autopilot PX4 atau ArduPilot. pada hal ini software mission planner digunakan untuk membuat perencanaan misi drone, dan monitoring status keadaan drone diudara

4. Analisis Kebutuhan Fungsional

Sistem penyemprotan cairan pestisida secara otomatis dengan menggunakan *drone hexacopter*, yaitu drone yang memiliki enam motor dan baling-baling sebagai penggerak, sistem penyemprotan ini dibuat dengan tujuan melakukan pembasmian hama dengan melakukan penyemprotan dengan menggunakan drone yang dikendalikan secara otomatis. prinsip kerja sistem penyemprotan pada penelitian ini dapat dilihat pada penjelasan gambar *activity diagram* berikut.



Gambar 20 Activity Diagram Sistem

Seperti yang terdapat pada *activity diagram*, pada sistem penyemprotan cairan pestisida ini juga melibatkan interaksi antara pengguna (*user*) dengan drone yang akan dikendalikan. Hal pertama yang dilakukan oleh *user* adalah menghubungkan sumber daya baterai dengan drone untuk menyalakan seluruh sistem. Setelah proses inisialisasi selesai *user* perlu menghubungkan *drone* dengan *Mission Planner* untuk melakukan pembuatan misi penerbangan dan mengupload program misi penerbangan ke *drone* melalui komunikasi radio telemetri. Setelah program misi selesai diupload, untuk menjalankan terbang secara otomatis *user* perlu menekan tombol *safety switch* untuk dapat

menyalakan motor dengan cara mengarahkan tuas *throttle* remot ke arah kanan bawah kemudian ubah mode penerbangan *drone* menjadi *auto mode* untuk dapat menjalankan misi penerbangan drone yang telah di *upload* ke *drone*.

Misi terbang yang dilakukan oleh *drone* diawali dengan lepas landas dengan ketinggian 1-2 meter dari permukaan tanah, setelah melakukan *takeoff drone* menuju ke titik koordinat 1 untuk menyalakan *waterpump* untuk menyemprot cairan pestisida ke bawah hingga *drone* menuju ke titik koordinat terakhir dan mematikan *waterpump*, terakhir drone terbang kembali menuju posisi home untuk melakukan pendaratan (*landing*). Untuk mengantisipasi terjadinya error pada sistem, saat penerbangan berlangsung user perlu mengawasi keadaan terbang *drone*, saat terjadi *error* pada sistem maka user akan mengambil alih kendali drone dengan remot untuk melakukan pendaratan secara manual.

B. Desain Rancangan Sistem (*Design*)

Tahap desain perancangan yaitu membuat desain rancangan sistem agar dapat membantu menentukan perangkat keras (*hardware*) dan sistem perangkat lunak (*software*) yang dibutuhkan dan juga membantu dalam mendefinisikan arsitektur sistem secara keseluruhan seperti desain rancangan alat secara keseluruhan, pengkabelan sistem, blok diagram sistem dan pembuatan perencanaan misi penerbangan menggunakan *Mission Planner*.

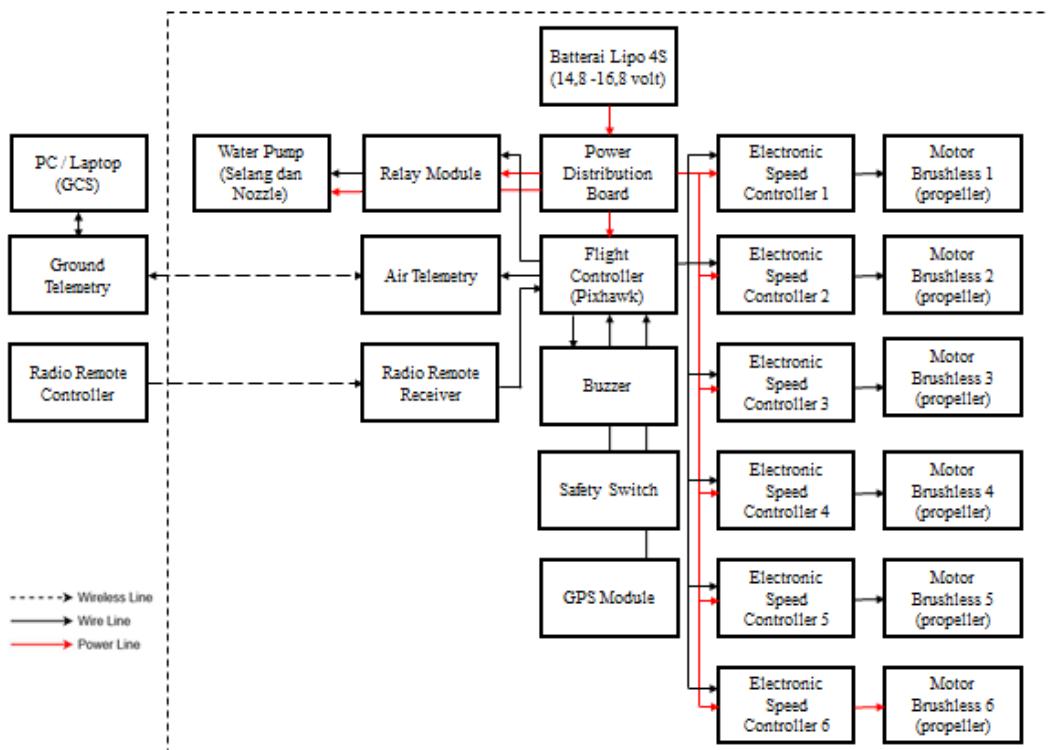
1. Perancangan *Hardware*

Perancangan *hardware* berfungsi untuk mengidentifikasi peralatan dan bahan yang akan digunakan. Pembuatan rancangan desain alat menggunakan

aplikasi desain yaitu *software Solidworks*. Pada tahapan ini berfungsi untuk membuat desain bentuk jadi alat yang akan dibuat, mulai dari pembuatan bagian-bagian pada *drone* hingga desain perakitan *drone* yang akan digunakan.

a. Diagram Blok Sistem

Perencanaan alat dibuat dalam bentuk diagram blok. Tiap blok atau sub sistem mempunyai fungsi masing masing, yang kemudian akan digabungkan menjadi suatu alat yang utuh, dan dapat bekerja sesuai dengan tujuan yang diharapkan. Diagram blok sistem ditunjukkan pada Gambar 21



Gambar 21 Diagram Blok Sistem

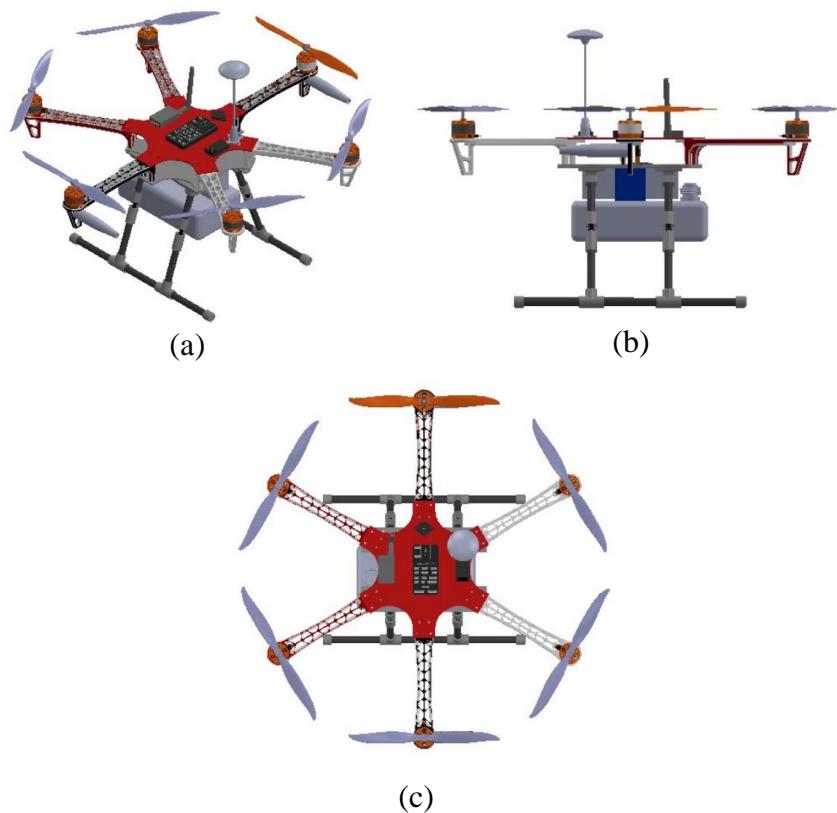
Berdasarkan pada Gambar 21 dari masing-masing blok diagram memiliki fungsi sebagai berikut :

- 1) **Batterai lipo** digunakan sebagai sumber daya untuk menyalakan setiap komponen yang digunakan.

- 2) **Power Distribution Board (PDB)** digunakan sebagai pengatur pendistribusian daya untuk 6 motor penggerak dan komponen lain yang digunakan.
- 3) **Flight controller (Pixhawk)** merupakan kontroller utama pada *drone* yang digunakan sebagai sistem navigasi dan pengatur arah terbang *drone*. pada *flight controller* terdapat beberapa sensor yang digunakan untuk memperoleh data penerbangan pada *drone* diantaranya : *accelerometer*, *barometer*, dan sensor kompas.
- 4) **Electronic Speed Controller (ESC)** digunakan sebagai mengatur kecepatan rotasi motor berdasarkan nilai sinyal PWM yang diterima dari *Flight Controller*.
- 5) **Motor brushless** digunakan sebagai penggerak pada *drone* yang dipasangkan *propeller*. *Propeller* yang berputar akan menghasilkan gaya dorongan yang berlawanan dengan arah gravitasi agar *drone* dapat mengangkat beban terbang diudara.
- 6) **Telemetri** digunakan untuk menghubungkan *drone* dengan *ground station*. Telemetri juga berfungsi sebagai monitoring sistem navigasi dari *drone* yang ditampilkan pada *ground station*.
- 7) **Remote controller** digunakan untuk pengendali *drone* yang dilakukan secara manual saat terjadi kesalahan navigasi pada *drone*.
- 8) **Relay** berfungsi sebagai saklar (switch) untuk menyalakan dan mematikan water pump yang digunakan sebagai penyemprotan pestisida cair.

b. Desain Rancangan Alat

Desain rancangan alat merupakan gambaran alat yang akan dikembangkan dengan menggunakan aplikasi desain 3D yaitu *Solidworks*. Gambar 22 merupakan bentuk dari desain rancangan alat yang akan dikembangkan.



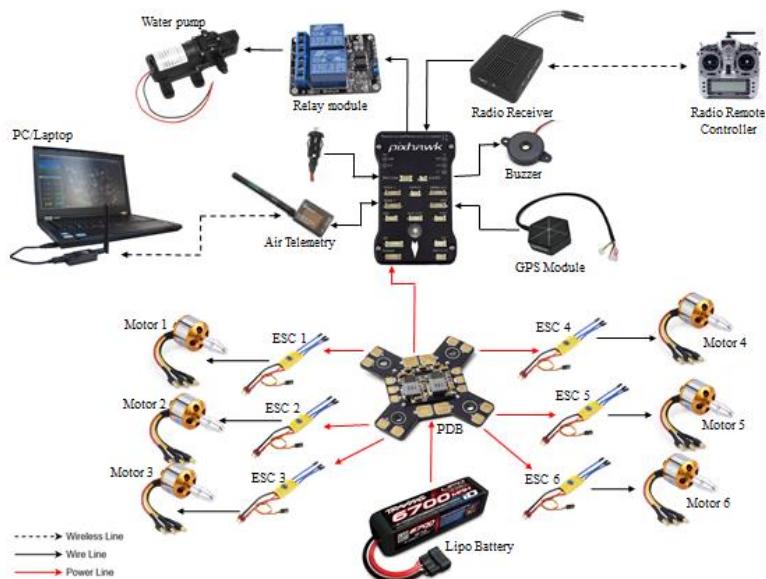
Gambar 22 Desain Rancangan Alat (a) Tampilan Depan. (b) Tampilan Samping. (c) Tampilan Atas..

Drone yang akan dikembangkan menggunakan *body frame hexacopter* F550 berbahan serat fiber yang kuat dan ringan. Bagian bawah *drone* juga terdapat *landing gear* yang terbuat dari bahan aluminium holo dan akrilik sebagai penopang *drone* tersebut untuk berdiri, serta tangki penyimpanan cairan pestisida yang dapat membawa muatan berupa cairan pestisida agar saat lepas landas *drone* dapat terbang melakukan penyemprotan dengan seimbang dan stabil. Bahan tambahan seperti dudukan baterai dan beberapa

parts lainnya menggunakan filamen PLA (*Polylactic Acid*) yang dicetak menggunakan mesin *3D printing*.

c. Skema Rangkaian Sistem

Skema Rangkaian Sistem adalah representasi grafis dari susunan dan koneksi kabel, penghubung, dan komponen elektrik dalam sebuah sistem atau perangkat elektronik. Pada penelitian kali ini, skema rangkaian sistem merupakan proses penyusunan dan penyambungan kabel antar komponen yang ada pada sistem penyemprotan cairan pestisida menggunakan *drone hexacopter*.

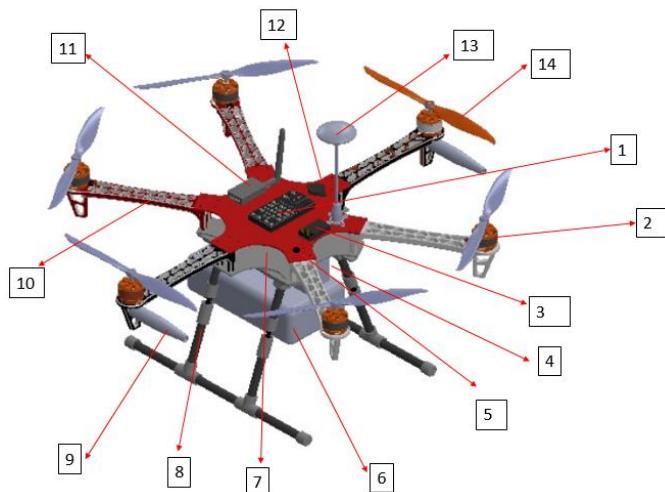


Gambar 23 Skema Rangkaian Sistem

Gambar 23 merupakan skema rangkaian pada sistem alat yang akan dilakukan. skema rangkaian dibuat bertujuan untuk membuat gambaran rancangan untuk proses penyambungan dan pengkabelan yang akan dilakukan pada alat.

d. Desain Struktur Alat

Tahapan desain struktur alat berfungsi untuk menyusun serta mengurutkan tempat peletakan setiap komponen yang digunakan dan dibuat secara tersusun dan terstruktur. Gambar 24 merupakan gambaran desain struktur alat pada penelitian ini.



Gambar 24 Bagian dan Tata Letak Komponen Drone

Keterangan :

- | | | |
|--------------------|---------------------|----------------|
| 1) Pixhawk | 6) Tangki Pestisida | 11) Telemetri |
| 2) Motor Brushless | 7) PDB | 12) Buzzer |
| 3) Receiver | 8) Landing gear | 13) GPS Module |
| 4) Batterai | 9) Nozzle Sprayer | 14) Propeller |
| 5) Safety Switch | 10) ESC | |

Gambar 24 merupakan bentuk dan struktur alat yang telah dirakit hingga alat siap untuk dilakukan pengujian. Pixhawk yang berperan sebagai *flight controller* untuk sistem navigasi diposisikan di titik tengah *drone* yang bertujuan untuk menjaga stabilitas dan keseimbangan *drone*. Hal ini memungkinkan pusat gravitasi drone tetap seimbang, yang sangat penting

untuk menghindari ketidakstabilan dalam penerbangan. Posisi baterai diletakkan di bagian bawah dengan memberi jarak dari pixhwak. Hal ini bertujuan agar sensor kompas pada *pixhawk* tidak terganggu akibat medan magnet yang dihasilkan oleh baterai. Kemudian tangki air diposisikan di bagian tengah kendaraan dan bawah baterai agar saat posisi *takeoff drone* dapat terbang dengan seimbang, serta untuk peletakan *nozzle* diletakkan di bagian bawah motor bagian kiri dan kanan *drone* untuk melakukan penyemprotan cairan agar menyebar hingga merata.

2. Perancangan Software.

Setelah memastikan rancangan perangkat keras (*hardware*) telah dapat bekerja sesuai dengan fungsinya, maka tahap selanjutnya yaitu tahap perancangan *software*. Perancangan *software* sendiri meliputi pengecekan sebelum penerbangan, kalibrasi sensor, pembuatan perencanaan misi terbang yang dilakukan dengan bantuan aplikasi *Mission Planner*,

a. Pengecekan Sebelum Penerbangan (*pre-arm check*)

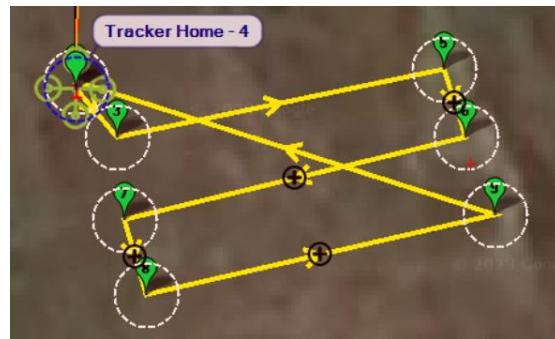
Pemeriksaan sebelum penerbangan atau *Pre-arm check* adalah serangkaian pemeriksaan yang dilakukan sebelum mengaktifkan motor atau "arming" sebuah drone. Tujuannya adalah untuk memastikan bahwa drone berada dalam keadaan yang aman dan siap untuk terbang. Pemeriksaan ini merupakan langkah penting untuk menghindari kegagalan atau kecelakaan selama penerbangan.

b. Kalibrasi sensor (*sensor calibration*)

Kalibrasi sensor merupakan proses yang penting untuk memastikan bahwa sensor-sensor di dalam drone bekerja dengan benar dan memberikan data yang akurat selama penerbangan. Sensor pada drone umumnya meliputi akselerometer, giroskop, magnetometer (kompas), dan sensor tekanan udara (barometer).

c. Pembuatan Perencanaan misi penerbangan (*flight plan*)

Perencanaan misi dilakukan untuk melakukan dan menyusun perintah navigasi pada penerbangan. Perencanaan misi dilakukan pada GCS dengan menggunakan aplikasi *Mission Planner*.



Gambar 25 Rute Perencanaan Misi Penerbangan

Gambar 25 menunjukkan rute dan perintah navigasi perencanaan misi pada *Mision Planner*. Berdasarkan pada Gambar 25 Perintah sistem navigasi pada *drone* yang diawali dengan lepas landas (*takeoff*) hingga mencapai ketinggian 1-2 meter, kemudian *drone* bergerak menuju *waypoint* 1 dan menyalakan *waterpump* saat *drone* sampai di posisi *waypoint* 1, kemudian *drone* terbang sesuai dengan misi yang telah dirancang. Saat *drone* telah sampai pada *waypoint* terakhir maka *waterpump* yang sebelumnya dinyalakan akan dimatikan dan *drone* akan kembali ke posisi awal saat

melakukan lepas landas dan melakukan pendaratan. Tabel 4 berikut merupakan tabel urutan perintah untuk melakukan misi penerbangan *drone*.

Tabel 4 Perintah Perencanaan Misi

| | Command | | | | | | | Alt | Frame | Delete | | Grad % | Angle | Dist | AZ |
|----|-----------------|---|---|---|---|---|------------|--------------|----------|--------|---|--------|-------|------|-----|
| 1 | TAKEOFF | ✓ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Relative | ✗ | ↑ | 77.5 | 37.8 | 1.6 | 272 |
| 2 | DO_CHANGE_SPEED | ✓ | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | Relative | ✗ | ↑ | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | WAYPOINT | ✓ | 0 | 0 | 0 | 0 | -0.8777373 | 100.35351... | 1 | ✗ | ↑ | 5.3 | 3.0 | 19.0 | 255 |
| 4 | DO_SET_RELAY | ✓ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Relative | ✗ | ↑ | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | WAYPOINT | ✓ | 0 | 0 | 0 | 0 | -0.8777963 | 100.35328... | 1 | ✗ | ↑ | 0.0 | 0.0 | 26.8 | 256 |
| 6 | WAYPOINT | ✓ | 0 | 0 | 0 | 0 | -0.8778661 | 100.35330... | 1 | ✗ | ↑ | 0.0 | 0.0 | 8.2 | 161 |
| 7 | WAYPOINT | ✓ | 0 | 0 | 0 | 0 | -0.8778010 | 100.35354... | 1 | ✗ | ↑ | 0.0 | 0.0 | 27.0 | 74 |
| 8 | WAYPOINT | ✓ | 0 | 0 | 0 | 0 | -0.8778822 | 100.35356... | 1 | ✗ | ↑ | 0.0 | 0.0 | 9.3 | 166 |
| 9 | WAYPOINT | ✓ | 0 | 0 | 0 | 0 | -0.8779438 | 100.35333... | 1 | ✗ | ↑ | 0.0 | 0.0 | 26.3 | 255 |
| 10 | DO_SET_RELAY | ✓ | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | Relative | ✗ | ↑ | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | LAND | ✓ | 0 | 0 | 0 | 0 | -0.8776998 | 100.35364... | 0 | ✗ | ↑ | -2.3 | -1.3 | 44.0 | 52 |

Berdasarkan Tabel 4 perintah yang dilakukan untuk melakukan penerbangan drone yaitu :

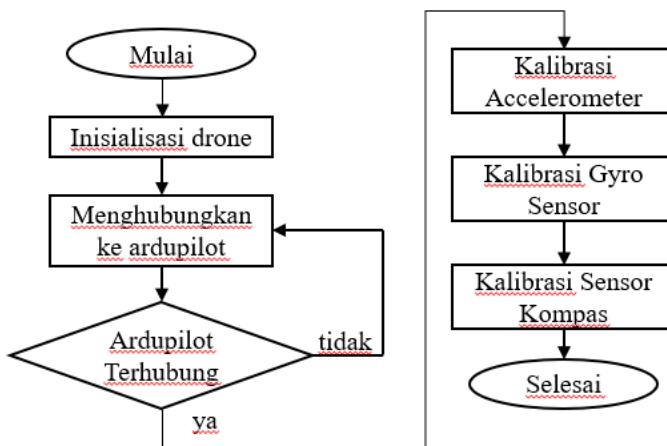
- 1) TAKEOFF merupakan sebuah perintah awal yaitu lepas landas dengan ketinggian terbang sesuai nilai yang diberikan pada parameter “alt” dalam tabel,
- 2) DO_CHANGE_SPEED merupakan perintah untuk mengatur perubahan kecepatan drone untuk bermanuver diudara.
- 3) DO_SET_RELAY merupakan sebuah perintah untuk mengatur daya keluaran pin GPIO Pixhawk berfungsi sebagai menghidupkan dan mematikan relay.
- 4) WAYPOINT merupakan titik koordinat *geografis* yang memerintahkan drone agar terbang ke arah titik tersebut,
- 5) LAND merupakan perintah untuk kembali ke titik awal drone lepas landas dan diakhiri dengan mendarat atau *landing*.

3. Diagram Alir (*Flowchart*)

Diagram alir biasa disebut dengan *flowchart* adalah representasi grafis dari urutan langkah-langkah atau proses dalam sebuah sistem, algoritma, atau pekerjaan. *Flowchart* digunakan untuk memvisualisasikan aliran informasi, keputusan, atau tugas dari awal hingga akhir. Berikut merupakan diagram alir (*flowchart*) yang dibutuhkan pada penelitian ini:

a. *Flowchart* kalibrasi sensor

Flowchart kalibrasi sensor merupakan sebuah diagram alur yang digunakan untuk menggambarkan langkah-langkah yang harus diikuti saat melakukan kalibrasi sensor pada drone. Gambar 26 berikut merupakan *flowchart* dari pengkalibrasian sensor pada drone:

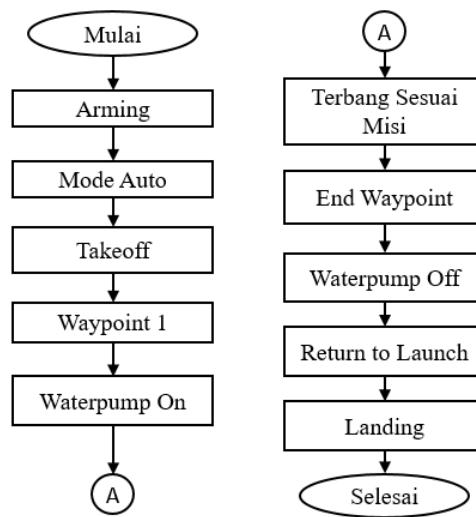


Gambar 26 *Flowchart* kalibrasi sensor pada drone

Berdasarkan Gambar 26 *flowchart* diatas menjelaskan algoritma dan urutan-urutan proses kalibrasi sensor sebelum melakukan penerbangan pada drone. Berikut adalah penjelasan mengenai urutan-urutan *flowchart*:

- 1) Proses kalibrasi sensor pada drone diawali dengan menyalakan ardupilot yang telah terhubung dengan sensor-sensor yang dibutuhkan dan menunggu hingga proses inisialisasi pada ardupilot selesai.
 - 2) Setelah proses inisialisasi selesai maka perlu dilakukan penyambungan ardupilot dengan aplikasi GCS yaitu *Mission Planner*.
 - 3) Buka menu “*SETUP*” pada bar sebelah kiri atas *Mission Planner* kemudian buka menu “*Mandatory Hardware*”
 - 4) Sebelum melakukan kalibrasi sensor *accelerometer* posisikan *drone* di atas permukaan yang rata dan stabil, dan pastikan tidak ada gangguan elektromagnetik atau magnetis yang kuat di sekitarnya, kemudian tekan pada button “*Accel Calibration*”
 - 5) Untuk melakukan kalibrasi sensor gyro tekan pada button “*Accel Calibration*” kemudian sesuaikan dengan panduan yang diberikan oleh *Mission planner*.
 - 6) Untuk melakukan kalibrasi sensor kompas pastikan sensor telah terpasang pada ardupilot, kemudian pilih menu “*Compass*” dan klik pada button “*start*” untuk memulai proses kalibrasi sensor kompas. saat proses kalibrasi berlangsung putar dan gerakkan drone ke berbagai arah untuk mendapatkan data sensor yang lebih akurat.
 - 7) Setelah semua proses kalibrasi selesai reboot sistem dan nyalakan *drone* kembali sehingga drone siap untuk melakukan penerbangan.
- b. Flowchart misi penerbangan drone

Flowchart misi penerbangan drone merupakan sebuah diagram alur yang digunakan untuk menggambarkan langkah-langkah yang harus diikuti saat melakukan penerbangan pada drone. Gambar 27 berikut *flowchart* misi penerbangan drone yang akan dilakukan pada tugas akhir ini :



Gambar 27 *Flowchart Perencanaan Misi Drone*

Pada *flowchart* diatas menjelaskan algoritma dan urutan-urutan perencanaan misi pada penerbangan *drone*. berikut adalah penjelasan mengenai urutan-urutan *flowchart* :

- 1) *Arming* adalah proses mengaktifkan motor dan sistem kendali drone sehingga drone siap untuk terbang. termasuk langkah-langkah menghidupkan baterai, menyalakan kontroler atau remote, dan memeriksa bahwa semua sistem drone berfungsi dengan baik sebelum dilakukan penerbangan.
- 2) *Mode auto* adalah serangkaian fitur perintah mode penerbangan drone yang memungkinkan drone untuk beroperasi secara otomatis,

mengambil alih kendali dari pilot dalam beberapa tugas yang telah ditentukan.

- 3) *Takeoff* adalah langkah awal ketika drone lepas landas dari permukaan tanah atau platform awal *drone* untuk memulai penerbangan.
- 4) *Waypoint* adalah titik-titik koordinat geografis yang ditentukan oleh pengguna dalam perangkat lunak perencanaan misi untuk *drone*. Dengan menentukan *waypoint*, *drone* dapat diperintahkan terbang sesuai dengan titik kooordinat yang ditentukan pengguna.
- 5) *Waterpump on* merupakan proses menghidupkan relay agar dapat menyalakan waterpump untuk penyemprotan cairan pestisida
- 6) Terbang sesuai misi adalah proses terbang drone bergerak sesuai misi waypoint yang telah ditentukan oleh pengguna.
- 7) *End waypoint* merupakan akhir dari titik koordinat perencanaan misi terbang drone.
- 8) *Waterpump off* merupakan proses mematikan relay agar memutus arus listrik yang mengalir pada waterpump.
- 9) *Return to Launch* (RTL) adalah fitur pada drone yang memungkinkan drone untuk kembali otomatis ke titik awal atau pada tempat awal *drone takeoff*.
- 10) *Landing* adalah tahap akhir dalam penerbangan drone di mana drone turun dari ketinggian dan mendarat dengan aman di permukaan tanah.

4. Desain Pengujian Sistem

Tahapan pengujian merupakan tahapan dimana akan dilakukan pengujian-pengujian terkait data yang akan diuji pada penelitian kali ini. Data yang akan diuji yaitu : pengujian daya dorong (*thrust*) pada setiap motor, pengujian rentang jarak pembacaan sinyal remote, pengujian rentang jarak pembacaan sinyal telemetri, pengujian tingkat keakuratan GPS, dan pengujian terbang berdasarkan beban yang diangkut drone. Hal yang dibutuhkan untuk tahap pengujian yaitu berupa spesifikasi komponen elektronik yang akan digunakan seperti yang terlihat pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5 Spesifikasi komponen elektronik

| | |
|---------------------|-----------------------------|
| Baterai Li-po : | - Kapasitas : 7200 mAh |
| | - Discharge rate : 50 C |
| | - Series : 4S |
| ESC : | - Max Current : 40A |
| Motor Brushless : | - Sunnysky X2216-9 |
| | - KV : 1400 |
| Propeller : | - APC 1045 |
| Remote Controller : | - Flysky FS-i6 |
| | - Channels: 6 Channels |
| | - Rentang RF: 2,40-2,48 GHz |
| Radio Telemetri : | - Freq : 433MHz |
| GPS Module : | - Radiolink SE100 |

Berdasarkan Tabel 5 diatas, maka akan dilakukan beberapa pengujian dan analisis terkait beberapa parameter uji berikut:

a. Pengujian Daya Motor

Pengujian ini dilakukan untuk mengukur berapa besar gaya dorong yang diberikan oleh motor dan baling-baling saat motor dinyalakan, motor yang akan diuji kali ini yaitu menggunakan motor Sunnysky X2216-9 dengan KV (*Konstant Velocity*) 1400, yaitu pada setiap diberikan tegangan sebesar 1 Volt maka motor akan berputar dengan kecepatan 1400 RPM (*Rotation Per Minute*). Pengujian ini juga dilakukan untuk menghitung besar pengeluaran daya baterai pada maksimal 50% *throttle* remot. Tabel 6 berikut merupakan parameter yang diuji pada pengujian daya motor.

Tabel 6 Desain Pengukuran Daya Motor

| Prop | Tegangan (V) | Arus (A) | Daya (W) | Thrust (gf) | RPM |
|------|--------------|----------|----------|-------------|-----|
| 1045 | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

Pengujian daya dorong motor menggunakan propeller dengan kode "1045" yang memiliki diameter 10 inci dan kemiringan (*pitch*) 4,5 inci,. Pengujian daya dorong ini diukur menggunakan timbangan digital maksimum 10 kg dengan memasangkan motor dan propeller pada timbangan tersebut. Pengukuran nilai arus, tegangan dan daya yang masuk ke motor menggunakan wattmeter yang terpasang diantara baterai dan motor.

b. Pengujian Sinyal *Radio Remote Controller*

Pengujian ini dilakukan untuk menguji jarak pembacaan sinyal radio pada perangkat penerima sinyal remot yang digunakan. Remot yang akan digunakan pada pengujian ini yaitu remot Flysky FS-i6 dengan 6 saluran (*channel*) pengiriman sinyal. Tabel 7 merupakan parameter uji untuk melakukan pengujian pembacaan sinyal remot kontrol pada *drone*.

Tabel 7 Desain Pengujian Pembacaan Sinyal Radio Pemancar

| Jarak (m) | Persentase Error (%) | Keterangan |
|-----------|----------------------|------------|
| 1 | | |
| 20 | | |
| ... | | |
| 200 | | |

Pengujian ini akan dilakukan percobaan pembacaan sinyal remot terhadap drone mulai dari jarak sejauh 1m hingga berjarak sejauh 200m. Dari jarak tersebut akan dianalisis apakah dengan jarak tersebut *drone* dapat merespon perintah dari kendali remot. Pembacaan persentase *error* sinyal remot dapat dilihat pada tampilan display remot yang digunakan.

c. Pengujian Sinyal Telemetri

Pengujian ini dilakukan untuk menguji jarak pembacaan sinyal telemetri dari *ground station* ke telemetri yang terpasang pada drone, dengan tujuan untuk mengetahui seberapa jauh jarak maksimum drone dapat menerima sinyal melalui komunikasi telemetri. Tabel 8 merupakan parameter uji untuk melakukan pengujian pembacaan telemetri *ground station* terhadap telemetri pada *drone*.

Tabel 8 Desain Pengujian Pembacaan Sinyal Telemetri

| Jarak Baca (m) | Kekuatan Sinyal (%) | Keterangan |
|----------------|---------------------|------------|
| 10 | | |
| 20 | | |
| ... | | |
| 500 | | |

Sama seperti pada pengujian sinyal remot, pengujian pembacaan sinyal telemetri juga dimulai dari jarak sejauh 1m hingga berjarak sejauh 200m. dari jarak tersebut akan dianalisis apakah dengan jarak tersebut drone dapat merespon perintah dari kendali telemetri dari *gound station*. Besar kekuatan sinyal yang terbaca pada telemetri dapat dilihat pada tampilan *Heads-up Display (HUD)* pada aplikasi *Mission Planner*.

d. Pengujian Koordinat GPS

Pengujian titik koordinat GPS dilakukan dengan cara meletakkan posisi drone pada 6 titik lokasi yang berbeda. Kemudian lokasi tersebut akan dicatat dan dibandingkan dengan pembacaan lokasi GPS pada HP, setelah perbandingan tersebut maka akan dianalisis berapa besar kesalahan error pembacaan lokasi GPS pada *drone*. Hal ini dilakukan bertujuan untuk mengukur tingkat akurasi pembacaan koordinat GPS berdasarkan titik koordinat perencanaan misi yang akan dibuat. Tabel 9 merupakan parameter yang diuji pada pengujian pembacaan sinyal GPS.

Tabel 9 Desain pengujian sinyal GPS

| Titik posisi | Koordinat GPS Drone | | Koordinat GPS Handphone | | error | |
|--------------|------------------------|-----------|----------------------------|-----------|----------|-----------|
| | Latitude | Longitude | Latitude | Longitude | Latitude | Longitude |
| Posisi 1 | | | | | | |
| Posisi 2 | | | | | | |

| | | | | | | |
|----------|--|--|--|--|--|--|
| Posisi 3 | | | | | | |
| Posisi 4 | | | | | | |
| Posisi 5 | | | | | | |
| Posisi 6 | | | | | | |

Pengujian ini akan dilakukan sebanyak 6 kali percobaan dengan titik koordinat yang berbeda-beda. Pengujian dilakukan pada lokasi yang luas dan tanpa ada halangan.

e. Pengujian Sistem Penyemprotan

Pengujian sistem penyemprotan bertujuan untuk mengukur debit dan lebar dispersi aliran cairan pestisida yang disemprotkan. Pengujian dilakukan berdasarkan tabel 10 berikut :

Tabel 10 Desain Pengujian Semprotan Cairan Pestisida

| No | Tegangan Waterpump (V) | Volume Air (mL) | Waktu Semprot (detik) | Debit Air (mL/detik) |
|----|------------------------|-----------------|-----------------------|----------------------|
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |
| 4 | | | | |
| 5 | | | | |

f. Pengujian Daya Angkat Drone

Pengujian daya angkat merupakan serangkaian pengujian yang bertujuan untuk mengukur berapa maksimal beban yang mampu diangkat oleh drone, dan mengukur konsumsi daya baterai. Pengujian dilakukan dengan menerbangkan drone dengan rentang waktu selama 60 detik dengan membawa beban berupa cairan pestisida. Pengujian dilakukan berdasarkan

Tabel 11 berikut :

Tabel 11 Desain Pengujian Data Terbang Drone

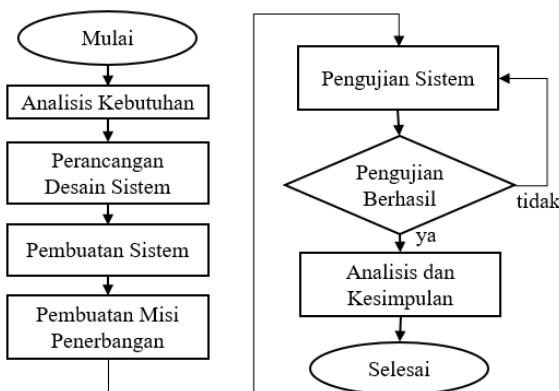
| Berat Drone (gr) | Beban Angkut (gr) | Durasi Terbang (s) | Tegangan Awal (V) | Tegangan Akhir (V) | Selisih Tegangan (ΔV) |
|------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|---------------------------------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

g. Pengujian Sistem Keseluruhan

Pengujian keseluruhan sistem dilakukan untuk mengukur tingkat keberhasilan misi yang dilakukan oleh drone, misi yang dilakukan drone seperti pada Tabel 4 sebelumnya yang diawali *take off* hingga *drone landing* kembali.

C. Rancangan Alur Pembuatan Sistem

Proses rancangan pembuatan alat ini dimulai dengan beberapa proses, diantaranya perancangan dan perakitan mekanik drone, penentuan komponen yang diperlukan, penyusunan dan pengkabelan sistem elektronik *drone*, dan yang terakhir pembuatan perencanaan misi. Adapun flowchart dan langkah-langkah alur penelitian untuk proses perancangan dan pembuatan sistem penyemprotan menggunakan *drone* sebagai berikut :



Gambar 28 Alur Pembuatan Sistem

1. Analisis kebutuhan

Tahapan ini merupakan tahap untuk mengidentifikasi apa saja yang dibutuhkan dalam perancangan dan pembuatan sistem semprot yang akan dilakukan pada drone. Kebutuhan tersebut seperti : study literatur, identifikasi komponen yang dibutuhkan, dan penyediaan alat dan bahan.

2. Perancangan Desain Sistem

Tahapan desain sistem merupakan proses awal yang dilakukan untuk mengetahui apa saja kebutuhan yang diperlukan pada proses pembuatan alat. Proses perancangan desain sistem ini juga merupakan suatu rencana terinci dan spesifik mengenai proses pengerjaan tugas akhir ini dengan membuat blok diagram sistem dan pembuatan desain dan struktur perancangan alat.

3. Pembuatan Sistem

Tahapan ini merupakan proses untuk melakukan pembuatan dan perakitan sistem penyemprotan cairan pestisida dengan *drone hexacopter* secara utuh dan fungsional. Perakitan ini dibuat seperti pada desain perancangan yang telah dibuat sebelumnya, mulai dari penyusunan frame,

pemasangan motor, pembuatan landing gear, penyusunan letak komponen, pengkabelan sistem, dan melakukan pengecekan lainnya.

4. Pembuatan Misi Penerbangan

Tahapan ini dilakukan untuk pembuatan jalur lintasan drone menggunakan sistem waypoint atau pemberian titik koordinat yang telah ditentukan dan sebagai pemberian perintah yang akan dilakukan *drone* dengan menggunakan aplikasi *Mission Planner*.

5. Pengujian Sistem

Tahapan ini dilakukan serangkaian pengujian alat dalam melakukan proses penyemprotan cairan pestisida secara otomatis di atas udara dengan menggunakan *drone hexacopter*. Hal yang akan diuji yaitu pengujian pengeluaran daya baterai terhadap gaya dorong (*thrust*) motor BLDC terhadap spesifikasi *propeller*, pengujian rentang jarak pembacaan sinyal radio pada remot, pengujian rentang jarak pembacaan sinyal telemetri, pengujian error pembacaan titik koordinat GPS, dan melakukan perhitungan terhadap lama durasi terbang drone secara otomatis dari awal drone aktif hingga drone selesai melakukan misi dengan memberikan beban pada drone.

6. Maintenance

Tahapan *maintenance* merupakan tahapan tambahan dari metode pengembangan model *waterfall*, Tahapan *maintenance* merupakan tindakan yang dilakukan untuk menjaga, memperbaiki, atau memperbarui sistem *drone* agar tetap berfungsi dengan baik. Tujuan dari pemeliharaan ini adalah untuk

mencegah atau memperbaiki kerusakan atau kegagalan yang terjadi pada sistem.

7. Analisis dan Kesimpulan

Setelah melakukan serangkaian pengujian pada alat maka tahapan terakhir pada penelitian ini adalah melakukan analisis keberhasilan alat dan menarik kesimpulan terhadap data yang telah diperoleh dari hasil pengujian.

BAB IV

PENGUJIAN DAN ANALISIS

Suatu sistem dapat dikatakan berfungsi dengan baik apabila telah dilakukan pengujian kinerja dari peralatan tersebut. Pengujian kinerja alat merupakan salah satu langkah penting yang harus dilakukan untuk mengetahui apakah sistem yang dibuat telah sesuai dengan yang direncanakan. Bab ini akan menjelaskan hasil pengujian perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) yang digunakan pada sistem penyemprotan cairan pestisida secara otomatis dengan menggunakan *drone UAV hexacopter*. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan berupa data-data dan bukti hasil akhir secara nyata bahwa perangkat keras (*hardware*) dapat bekerja dengan baik dan dapat terintegrasi dengan perangkat lunak (*software*) yang digunakan. Berdasarkan bukti dan data tersebut dapat dilakukan analisa terhadap proses kerja yang nantinya bisa digunakan dalam menarik kesimpulan dari tugas akhir ini.

A. Implementasi (*Implementation*)

Implementasi merupakan tahapan ke tiga dari pengembangan sistem *waterfall* yaitu sistem yang pertama kali dikembangkan di program kecil yang disebut unit, yang terintegrasi dalam tahap selanjutnya. Setiap unit dikembangkan dan diuji untuk fungsionalitasnya. Hasil rancangan terdiri dari bentuk fisik alat, susunan tata letak komponen dan rangkaian, dan mengkalibrasi sensor. Komponen yang digunakan seperti Pixhawk, telemetri, radio receiver, GPS module, Motor Brushless, ESC, Power module, baterai, dan sensor-sensor lainnya.

1. Bentuk Fisik Alat Keseluruhan

Bentuk fisik secara keseluruhan meliputi tampilan depan, samping, dan atas seluruh bentuk dari tampilan *drone hexacopter* penyemprotan cairan pestisida. Bentuk hasil alat secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 29.



(a)



(b)



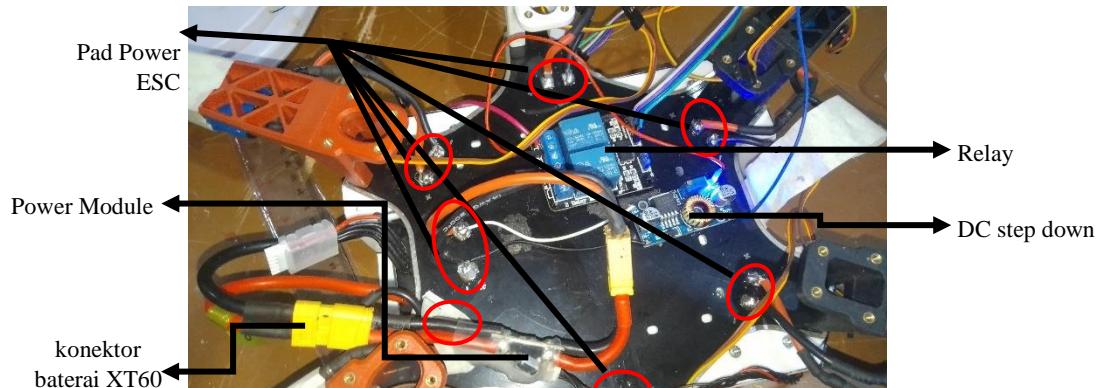
(c)

Gambar 29 Tampilan Fisik Alat (a) Tampilan Alat dari Depan (b) Tampilan Alat dari Samping (c) Tampilan Alat dari Atas.

Gambar 29 terlihat secara menyeluruh racangan alat yang telah dibangun dengan menggabungkan seluruh komponen. *Body frame drone* terbuat dari bahan dasar *fiber glass* dengan panjang diagonal 550mm. Bahan yang digunakan seperti pixhawk, *body frame*, motor, *propeller*, dll..

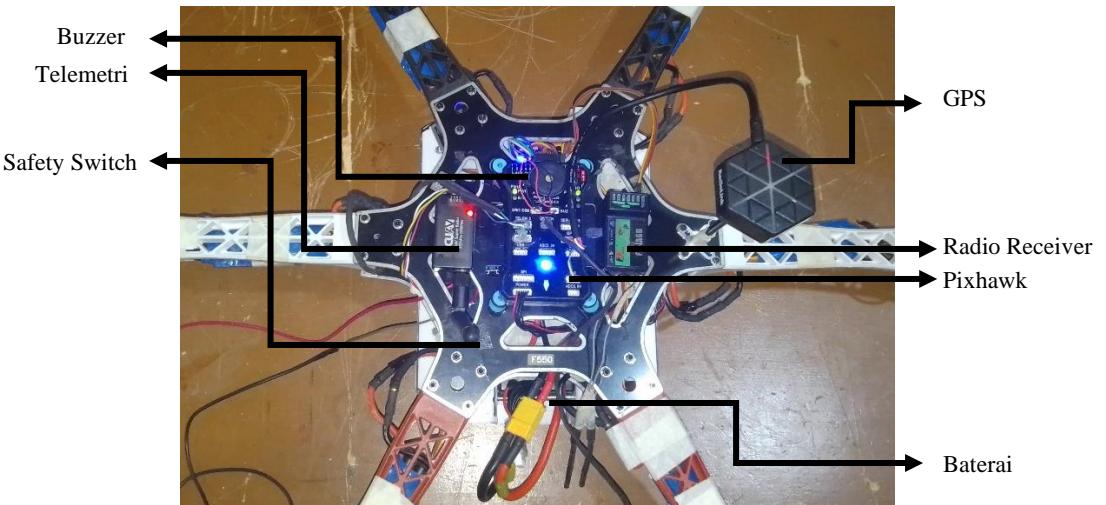
2. Struktur Letak Komponen dan Rangkaian

Struktur letak komponen dan rangkaian elektronik merupakan penempatan komponen-komponen drone di bagian tengah, diatas, di lengan dan dibawah drone. Struktur peletakan komponen dan rangkaian terdapat pada Gambar 30 berikut.



Gambar 30 Letak Komponen Bagian Tengah Drone

Gambar 30 merupakan susunan peletakan komponen elektronik pada bagian tengah drone. Komponen yang diletakkan di tengah *drone* yaitu komponen-komponen yang berfungsi sebagai penyalur tegangan seperti *power module*, *DC stepdown*, *relay* dan *PDB* untuk menyalurkan daya pada *ESC*.



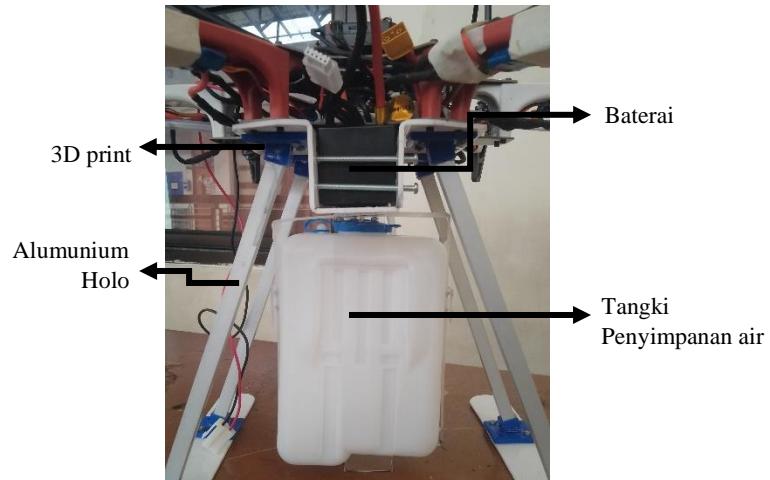
Gambar 31 Letak Komponen Bagian Atas Drone

Gambar 31 merupakan susunan peletakan komponen atau perangkat elektronik yang terpasang pada bagian atas drone. Perangkat elektronik yang diletakkan di atas drone seperti : *Pixhawk*, *Telemetri*, *Radio Receiver*, *GPS*, *Buzzer* dan *Safety Switch*. Posisi pixhawk diletakkan pada posisi tengah-tengah drone karena pixhawk merupakan komponen inti untuk penerbangan drone. tujuannya yaitu untuk mempermudah pada saat kalibrasi sensor pada drone. Perangkat lainnya seperti *GPS*, *Telemetri* dan *radio receiver* diposisikan diatas drone karena ketiga perangkat tersebut menerima data ekternal secara *wireless*, tujuannya agar komponen tersebut dapat menerima data sinyal dari luar dengan lebih baik.



Gambar 32 Letak Komponen Bagian Lengan Drone

Gambar 32 merupakan susunan peletakan komponen pada bagian lengan drone. Komponen yang digunakan seperti ESC yang terpasang pada bawah lengan drone, Motor Brushless di ujung lengan drone, propeller yang terpasang pada motor, slang air dan *nozzle* untuk melakukan penyemprotan cairan pestisida dipasang pada bawah lengan drone.



Gambar 33 Letak Komponen Bagian Bawah Drone

Gambar 33 merupakan susunan peletakan komponen pada bagian bawah drone. Komponen yang terpasang pada bagian bawah drone diantaranya tangki penyimpanan pestisida, baterai, dan landing gear yang terbuat dari bahan alumunium holo. Serta sambungan kaki drone menggunakan cetakan dari 3D print .

3. Kalibrasi Sensor

Pengkalibrasian sensor merupakan proses penting yang diperlukan penyesuaian dan pemeliharaan parameter serta sensor terdapat di dalam *drone* untuk memastikan akurasi dan konsistensi dalam pengambilan data dan operasionalnya. Proses kalibrasi pada sistem *drone* meliputi :

a. Kalibrasi Accelerometer

Kalibrasi *accelerometer* pada drone merupakan bagian dari proses kalibrasi sensor pada pixhawk, tujuan dari kalibrasi ini adalah untuk memastikan bahwa *accelerometer* pada drone terkonfigurasi dengan benar. Proses ini dilakukan dengan menempatkan drone pada posisi yang datar dan stabil untuk mengukur percepatan gravitasi pada tiga sumbu. Seperti pada gambar 34 posisi *drone* diletakkan pada bidang yang datar ketika melakukan proses kalibrasi akselerasi. Hal ini bertujuan agar data posisi normal drone terkonfigurasi dengan baik dan menghindari terjadi kemiringan ketika melakukan penerbangan.



Gambar 34 Posisi drone pada bidang datar dan stabil

Proses berikutnya yaitu mengkalibrasi posisi drone pada sumbu *roll* dengan memiringkan posisi drone 90° ke arah kiri dan kanan seperti yang terlihat

pada Gambar 35. Maka *pixhawk* akan membaca posisi normal drone ketika miring 90° ke kiri maupun ke kanan.



*Gambar 35 Kalibrasi Accelerometer pada Sumbu Roll
(a) Kearah Kiri. (b) Kearah Kanan*

Proses selanjutnya yaitu mengkalibrasi posisi drone pada sumbu *pitch* dengan mengarahkan posisi depan drone ke arah atas dan ke arah bawah seperti pada gambar 36. Maka *pixhawk* akan membaca posisi normal ketika *drone* menghadap ke atas maupun ke arah bawah.



*Gambar 36 Kalibrasi Accelerometer pada Sumbu Pitch
(a) Menghadap ke bawah (b) Menghadap ke atas*

Proses yang terakhir pada kalibrasi akselerometer pada *pixhawk* adalah mengkonfigurasi keadaan normal drone ketika drone dalam keadaan terbalik seperti pada Gambar 37. Maka *pixhawk* akan membaca keadaan normal *drone* ketika terbang dalam keadaan berlawanan arah.



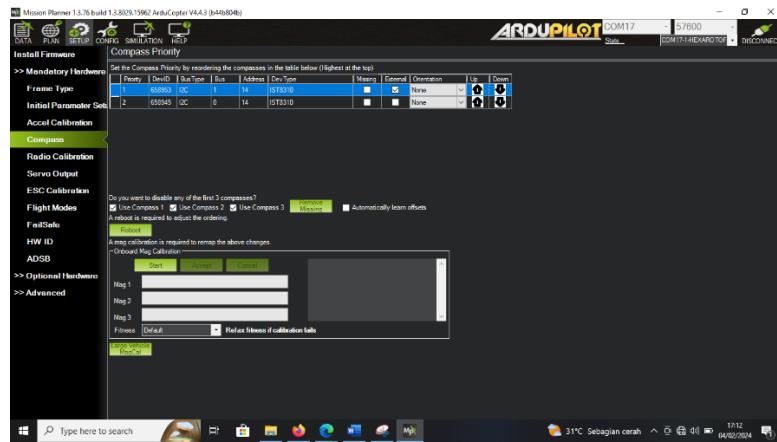
Gambar 37 Kalibrasi Accelerometer pada Posisi Berlawanan

Setelah proses kalibrasi selesai posisikan kembali drone ke posisi awal seperti semula, maka drone telah berhasil melakukan proses kalibrasi sensor akselerometer.

b. Kalibrasi Kompas

Kalibrasi sensor kompas pada *pixhawk* merupakan tahapan yang berfungsi untuk memastikan akurasi dan kehandalan navigasi *drone*. Hal Pertama yang perlu dilakukan adalah *pixhawk* yang telah terpasang pada drone harus berada pada jarak yang cukup dari material feromagnetik dan sumber interferensi magnetik lainnya karena material tersebut dapat memengaruhi medan magnetik yang diperlukan oleh sensor kompas untuk memberikan bacaan yang akurat. Langkah-langkah yang diperlukan untuk kalibrasi sensor kompas yaitu:

- 1) Hubungkan koneksi *drone* / *pixhawk* dengan *software Mission Planner*.
- 2) Buka pada menu “SETUP” kemudian *expand* pada pilihan “Mandatory Hardware” lalu pilih “Compass”. maka menu yang akan ditampilkan seperti pada Gambar 38.



Gambar 38 Kalibrasi Kompas pada Mission Planner

- 3) Untuk memulai kalibrasi klik tombol “Start” sehingga akan berbunyi beep pada drone lalu putar/gerakkan drone ke berbagai arah seperti pada Gambar 39 hingga bar hijau pada Mag 1 dan Mag 2 terisi penuh.



Gambar 39 Proses Kalibrasi Kompas pada Drone

- 4) Setelah langkah ke-3 selesai maka akan berbunyi indikasi bunyi pada drone. Lalu klik tombol “Reboot” untuk memulai ulang inisialisasi sistem.

Dengan melakukan proses kalibrasi, hal yang berkemungkinan akan mempengaruhi sensor kompas seperti interferensi magnetik dapat diidentifikasi dan dikompensasi, meminimalkan risiko kesalahan orientasi dan navigasi selama penerbangan. Tujuannya adalah agar kontrol

penerbangan lebih stabil, presisi posisi yang meningkat, dan kemampuan navigasi meningkat sehingga akan mengurangi resiko terjadinya *loss of aircraft control* pada *drone*.

c. Kalibrasi Radio

Kalibrasi radio merupakan proses untuk mengonfigurasi dan memastikan keakuratan input dari *remote control* atau radio pemancar yang terhubung ke sistem *drone*. Radio kalibrasi melibatkan pengenalan batas maksimum dan minimum nilai gelombang input dari setiap *channel* tuas kontrol pada *remote*, tujuannya untuk memastikan bahwa input yang diterima sesuai dengan nilai yang diharapkan oleh sistem. Langkah-langkah proses kalibrasi radio sebagai berikut :

- 1) Langkah pertama pastikan koneksi *remote* dan *drone* telah terhubung kemuadian hubungkan drone dengan aplikasi *mission planner*.
- 2) Buka pada menu “SETUP” kemudian *expand* pada pilihan “Mandatory Hardware” lalu pilih “Radio Calibration”. maka menu yang akan ditampilkan seperti pada Gambar 40.



Gambar 40 Proses Kalibrasi Radio pada Mission Planner

- 3) Untuk memulai kalibrasi radio klik pada tombol “*Calibrate Radio*” dan sebelum memulai kalibrasi pastikan propeller tidak terpasang pada drone. Tujuannya yaitu untuk mencegah terjadinya resiko dari arming motor yang tidak disengaja.
- 4) Setelah menekan tombol kalibrasi, gerakkan tuas setiap channel pada remote seperti pada Gambar 41.



Gambar 41 Kalibrasi Radio Pada Remote Controll

Remote yang digunakan memiliki 6 channel pengiriman sinyal yang terdiri dari *pitch*, *roll*, *throttle* dan *yaw* serta 2 channel lainnya dengan sistem switch yang digunakan sebagai pengganti mode penerbangan pada drone.

- 5) Setelah kalibrasi selesai maka bar hijau pada setiap *channel* akan muncul garis batas warna merah seperti pada Gambar 42. Hal tersebut menandakan batas maksimum dan minimum sinyal yang diterima *drone*. Kemudian tekan pada tombol “*Click when done*”.



Gambar 42 Kalibrasi Radio pada Mission Planner

- 6) Setelah menekan tombol “Click when done” maka akan muncul nilai kalibrasi seperti pada tampilan Gambar 43



Gambar 43 Hasil Nilai Kalibrasi Radio

Tujuan dilakukan kalibrasi radio pada *remote control* adalah untuk memastikan bahwa input dari remote atau pemancar radio yang terhubung ke *drone* diinterpretasikan dengan akurat oleh sistem. Sehingga hasil nilai kalibrasi diperoleh pada Tabel 12 berikut :

Tabel 12 Nilai Hasil Kalibrasi Radio

| No Channel | PWM MIN | PWM MAX |
|------------|---------|---------|
| CH-1 | 1041 | 2000 |
| CH-2 | 1000 | 1982 |
| CH-3 | 1000 | 1875 |
| CH-4 | 1037 | 2000 |
| CH-5 | 1225 | 1685 |
| CH-6 | 1000 | 2000 |

d. Kalibrasi ESC

Kalibrasi ESC merupakan suatu langkah yang sangat penting dilakukan sebelum melakukan penerbangan. Kalibrasi ESC bertujuan untuk mengatur besaran PWM yang akan dikirimkan ke ESC sehingga kecepatan motor dapat disesuaikan dengan ritme kecepatan seluruh motor, sehingga kecepatan putar dari setiap motor akan bernilai sama agar dapat terbang dengan stabil. Adapun langkah-langkah kalibrasi ESC sebagai berikut:

- 1) Hubungkan koneksi Pixhawk dengan aplikasi Mission Planner pada GCS melalui kabel USB atau kabel telemetri.
- 2) Pastikan semua kabel konektor ESC telah terpasang pada port main out Pixhawk, dan sesuaikan pemasangan dengan nomor posisi motor yang terpasang pada drone.
- 3) Buka menu “SETUP” pada Mission Planner kemudian *expand* pada pilihan “Mandatory Hardware” lalu pilih “ESC Calibration”. maka menu yang akan ditampilkan seperti pada Gambar 44.



Gambar 44 Kalibrasi ESC pada Mission Planner

- 4) Sebelum melakukan proses kalibrasi pastikan baling-baling tidak terpasang pada motor, dan tuas *throttle* (gas) pada remote berada pada posisi minimum. Kemudian tekan pada tombol “*Calibrate ESC*”
- 5) Setelah menekan tombol “*Calibrate ESC*” putuskan koneksi pixhawk dengan *Mission Planner*, kemudian putuskan juga sambungan baterai dengan *drone*.
- 6) Ketika drone dalam keadaan off, arahkan tuas *throttle remote* pada posisi maksimum, kemudian hubungkan koneksi baterai untuk menyalakan drone kembali.
- 7) Saat drone dinyalakan motor akan menghasilkan nada beep yang artinya ESC sedang dalam kalibrasi. Ketika nada beep berbunyi sebanyak 3 kali, arahkan kembali tuas *throttle* ke posisi minimum, kemudian bunyi beep ke 4 berbunyi yang menandakan ESC telah selesai di kalibrasi.
- 8) Setelah kalibrasi selesai, kemudian uji fungsionalitas ESC dengan menaikkan dan menurunkan throttle pada remote apakah motor berputar sesuai dengan perubahan throttle yang lakukan.

B. Verifikasi (*Verification*)

Verifikasi sistem merupakan suatu hal yang penting dalam pengembangan suatu alat atau sistem. Tahap ini dilakukan verifikasi dan pengujian apakah sistem sepenuhnya atau sebagian memenuhi persyaratan sistem, pengujian dapat dikategorikan ke dalam unit testing, sistem pengujian dan penerimaan pengujian. Pengujian yang dilakukan berupa pengukuran-pengukuran parameter untuk

menentukan hasil dari fungsi sebuah sistem, diantaranya berupa pengukuran tegangan dan keluaran daya pada baterai, pengukuran tegangan pada pixhawk, pengukuran kecepatan putaran dan *thrust* motor, pengukuran gaya dorong baling-baling, dan pengukuran lainnya yang diperlukan.

1. Pengukuran Daya Baterai

Pengukuran daya baterai yang dilakukan bertujuan untuk mengukur besar tegangan output pada baterai lipo. Baterai lipo yang digunakan dengan spesifikasi 4 sel baterai dengan tegangan 14,8V saat keadaan kosong dan 16,8V saat baterai dalam keadaan penuh.



Gambar 45 Pengukuran Tegangan Baterai

Gambar 45 merupakan hasil dari pengukuran tegangan baterai yang diukur pada konektor series XT60 dan konektor parallel JST pada baterai. Pengukuran pada konektor XT60 diukur menggunakan digital multimeter sedangkan pengukuran tegangan pada konektor JST menggunakan digital Li-Po Alarm. Nilai tegangan yang terukur pada multimeter dan lipo alarm adalah sama sebesar 16,7V ketika baterai dalam kondisi penuh. Selain berfungsi sebagai mengukur tegangan baterai fungsi lain dari lipo alarm adalah untuk memberi tahu pengguna apabila tegangan baterai berada dibawah 14,8V melalui indikator bunyi atau alarm. Karena resiko yang akan terjadi apabila tegangan

baterai berada di bawah tegangan yang disarankan akan membuat baterai cepat rusak. Oleh karena itu drone harus segera mendarat ketika daya baterai telah habis.

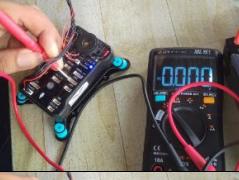
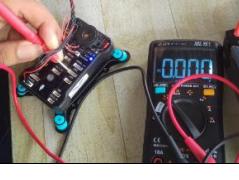
2. Pengukuran Tegangan Output Pixhawk

Pengukuran tegangan output pada modul pixhawk dilakukan dengan cara mengukur besar keluaran tegangan pada pin port pixhawk yang digunakan. Pengukuran tengangan pada pin pixhawk menggunakan multimeter digital. Pengukuran dilakukan untuk mengukur tegangan dan memastikan port konektor pada pin power dapat bekerja pada tegangan kerjanya dan dalam keadaan baik. Berikut merupakan nilai tegangan yang terukur pada port pin pixhawk :

a. Pengukuran Tegangan Pin Power Pixhawk

Pin power pada pixhawk berfungsi untuk menyalurkan sumber daya listrik DC dari baterai yang dibagi melalui *power module*. Pin power pixhawk terdiri dari 6 pin. Sesuai urutan pin dari kanan meliputi tegangan pada pin VCC, VCC, Current, Voltege, GND, dan GND, Pin VCC merupakan pin tegangan sumber yang bernilai positif yang rata-rata nilai tegangan nya sebesar 5V sedangkan GND merupakan tegangan dengan nilai 0V, pin *Current* dan *Voltage* merupakan pin yang terhubung dengan sensor arus dan sensor tegangan yang tertanam pada pixhawk, fungsi dari sensor ini adalah untuk mengukur dan memonitoring masukan arus dan tegangan ke pixhawk yang akan ditampilkan pada monitor aplikasi *Mission Planner*.

Tabel 13 Pengukuran Tegangan Pin Power Pixhawk

| Pin | Signal | Pengukuran | Dokumentasi |
|---------|---------|------------|--|
| 1 (red) | VCC | 5,568V |  |
| 2 (blk) | VCC | 5,567V |  |
| 3 (blk) | CURRENT | 4,739V |  |
| 4 (blk) | VOLTAGE | 5,487V |  |
| 5 (blk) | GND | 0V |  |
| 6 (blk) | GND | 0V |  |

Tabel 12 merupakan hasil dari pengukuran tegangan port pin power yang terhubung pada pixhawk. Berdasarkan hasil pengukuran pada tabel 12 nilai tegangan yang terukur pada pin telemetri normal dan mendekati dengan nilai tegangan pada datasheet pixhawk.

b. Pengukuran Tegangan Pin Telem 1 Pixhawk

Pin telem1 digunakan untuk menghubungkan modul telemetri dengan *pixhawk*. Protokol komunikasi antara telemetri dan pixhawk menggunakan

protokol komunikasi MAVLink yang merupakan protokol komunikasi yang dirancang khusus untuk komunikasi antara drone dengan GCS.

Tabel 14 Pengukuran Tegangan Port Pin Telem 1 Pixhawk

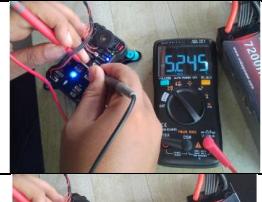
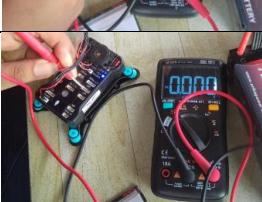
| Pin | Signal | Pengukuran | Dokumentasi |
|---------|----------|------------|--|
| 1 (red) | VCC | 5,261V |  |
| 2 (blk) | TX (OUT) | 3,292V |  |
| 3 (blk) | RX (IN) | 3,142V |  |
| 4 (blk) | CTS | 3,142V |  |
| 5 (blk) | RTS | 0,002V |  |
| 6 (blk) | GND | 0V |  |

Tabel 13 merupakan hasil dari pengukuran tegangan pin telem1 yang terhubung pada *pixhawk*. Berdasarkan hasil pengukuran pada Tabel 13 nilai tegangan yang terukur pada pin telemetri normal dan mendekati dengan nilai tegangan pada datasheet pixhawk.

c. Pengukuran Tegangan Port Pin GPS Pixhawk

Pin GPS berfungsi untuk menghubungkan modul GPS eksternal ke pixhawk untuk mendapatkan data lokasi drone. Modul GPS menyediakan data lokasi dan navigasi yang penting dalam sistem kontrol penerbangan otonom.

Tabel 15 Pengukuran Tegangan Port Pin GPS Pixhawk

| Pin | Signal | Pengukuran | Dokumentasi |
|---------|----------|------------|--|
| 1 (red) | VCC | 5,245V |  |
| 2 (blk) | TX (OUT) | 3,298V |  |
| 3 (blk) | RX (IN) | 3,072V |  |
| 4 (blk) | CAN2 TX | 3,296V |  |
| 5 (blk) | CAN2 RX | 0,166V |  |
| 6 (blk) | GND | 0V |  |

Tabel 14 merupakan hasil dari pengukuran tegangan pin GPS pada *pixhawk*. Berdasarkan hasil pengukuran pada Tabel 14 nilai tegangan yang

terukur pada pin GPS normal dan mendekati dengan nilai tegangan yang terdapat pada datasheet pixhawk

d. Pengukuran Tegangan Port Pin I2C Pixhawk

Pin I2C berfungsi untuk menghubungkan sensor dan perangkat lain yang mendukung I2C dan menggunakan protokol komunikasi I2C (*Integrated Circuit*). Pada kasus ini pin I2C digunakan untuk menghubungkan pixhawk dengan sensor kompas yang tertaman di dalam modul GPS.

Tabel 16 Pengukuran Tegangan Port Pin I2C Pixhawk

| Pin | Signal | Pengukuran | Dokumentasi |
|---------|--------|------------|--|
| 1 (red) | VCC | 5,254V |  |
| 2 (blk) | SCL | 3,293V |  |
| 3 (blk) | SDA | 3,293V |  |
| 4 (blk) | GND | 0V |  |

Tabel 15 merupakan hasil dari pengukuran tegangan pin I2C pada *pixhawk*. Berdasarkan hasil pengukuran pada Tabel 15 nilai tegangan yang terukur pada pin I2C normal dan mendekati dengan nilai tegangan yang terdapat pada datasheet pixhawk.

3. Pengujian Motor Brushless

Pengujian *Motor Brushless* merupakan serangkaian pengujian untuk mengukur kecepatan putaran *motor brushless* dan mengukur nilai *thrust* yang dihasilkan motor ketika dipasangkan dengan *propeller*. Metode pengujian motor brushless dilakukan dengan membuat dudukan *motor brushless* dari cetakan 3D *printing* dan akan dipasangkan pada timbangan digital seperti pada Gambar 46.



Gambar 46 Pengujian Motor Brushless

Motor brushless yang digunakan pada pengujian ini adalah *brushless motor* type Sunnysky X2216 II 1400KV. Motor tersebut menghasilkan kecepatan putar sebesar 1400 RPM setiap 1 volt tegangan yang diberikan dengan rumus:

- $RPM \text{ motor} = KV \text{ motor} \times \text{Tegangan Input}$

Pengujian *motor brushless* dilakukan menggunakan sumber daya dari baterai Li-Po dengan tegangan sebesar 16,7V maka nilai kecepatan yang dihasilkan berdasarkan berdasarkan rumus persamaan diatas adalah :

$$RPM \text{ motor} = KV \text{ motor} \times \text{Tegangan Input}$$

$$RPM \text{ motor} = 1400 \times 16,7 \text{ V}$$

$$RPM \text{ motor} = 23.380 \text{ rpm}$$

Hasil pengujian yang telah dilakukan dengan menggunakan alat ukur *tachometer* tercatat sebesar 22.677 rpm seperti pada Gambar 47.



Gambar 47 Hasil pengukuran RPM motor

Berdasarkan pengujian yang dilakukan besar perbedaan kecepatan / *error* motor yang terukur adalah :

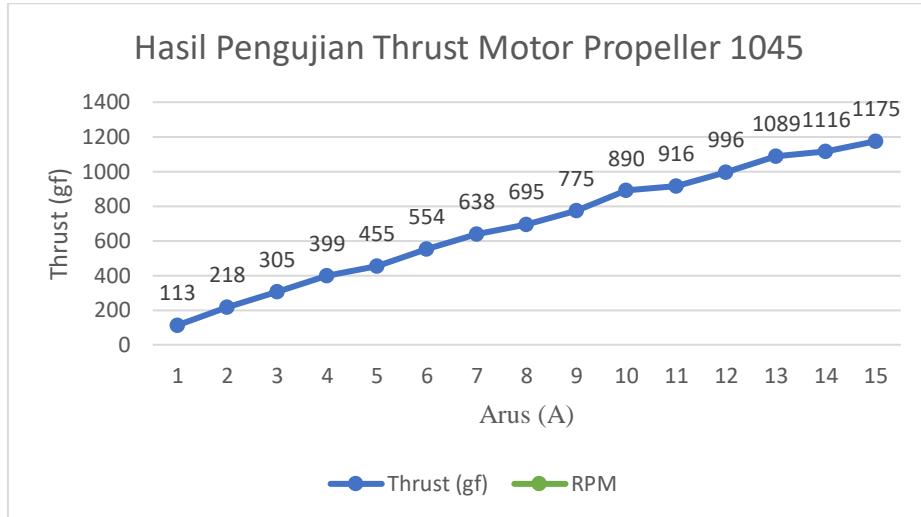
$$\begin{aligned}
 \text{Persentase error} &= \frac{\text{RPM motor} - \text{RPM terukur}}{\text{RPM motor}} \times 100\% \\
 &= \frac{23308 - 22677}{23308} \times 100\% \\
 &= 3\%
 \end{aligned}$$

Pengujian pada motor berikutnya dengan memasang propeller ukuran 1045 sehingga hasil pengujian yang di peroleh terdapat Tabel 17 dan Grafik berikut:

Tabel 17 Pengujian Thrust Motor

| <i>Prop</i> | Tegangan (V) | Arus (A) | Daya (W) | <i>Thrust</i> (gf) | RPM |
|-------------|--------------|----------|----------|--------------------|-------|
| 1045 | 16,64 | 1,02 | 16,64 | 113 | 755 |
| | 16,60 | 2,18 | 33,8 | 218 | 1504 |
| | 16,58 | 3,00 | 49,5 | 305 | 2240 |
| | 16,53 | 4,04 | 66,7 | 399 | 3035 |
| | 16,50 | 5,00 | 82,3 | 455 | 3767 |
| | 16,47 | 6,02 | 99,1 | 554 | 4532 |
| | 16,43 | 7,22 | 118,6 | 638 | 5276 |
| | 16,41 | 8,02 | 131,6 | 695 | 6015 |
| | 16,39 | 9,01 | 147,6 | 775 | 6783 |
| | 16,34 | 10,34 | 169,2 | 890 | 7517 |
| | 16,33 | 11,04 | 180,2 | 916 | 8285 |
| | 16,30 | 12,02 | 195,9 | 996 | 9042 |
| | 16,27 | 13,35 | 217,2 | 1089 | 9789 |
| | 16,24 | 14,07 | 228,4 | 1116 | 10555 |

| | | | | | |
|--|-------|-------|-------|------|-------|
| | 16,21 | 15,19 | 246,2 | 1175 | 11322 |
|--|-------|-------|-------|------|-------|



Gambar 48 Grafik Pengujian Thrust Motor Propeller 1045

Berdasarkan Tabel 17 dan Grafik diatas pengukuran thrust motor dilakukan hingga 50% throttle remote yang mampu menghasilkan beban arus sebesar 15 Ampere. Ketika arus semakin besar diberikan maka kecepatan dan thrust motor akan semakin besar. Hasil pengujian thrust dilakukan seperti Gambar 49 berikut.



Gambar 49 Pengujian Thrust Motor Dengan Propeller

Gambar 49 merupakan hasil pengujian *thrust* yang terukur sebesar 1217 gf ketika diberikan arus sebesar 15A pada motor brushless 1400KV dengan menggunakan *propeller* 1045. Berdasarkan hasil pengujian motor yang

dilakukan, maka dengan menggunakan drone hexacopter yang mempunyai jumlah 6 motor brushless maksimum beban yang mampu diangkat oleh drone adalah

$$\begin{aligned}
 \text{max gaya angkat drone} &= \text{gaya angkat motor} \times \text{jumlah motor} \\
 &= 1217 \times 6 \\
 &= 7320 \text{ gf} \\
 &= 7,32 \text{ kgf}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas maksimum beban yang mampu diangkat oleh drone hexacopter adalah sebesar 7,32 kg. Karena maksimum beban drone yang terukur sebesar 4,8 kg maka drone hexacopter mampu diterbangkan dengan aman.

4. Pengujian Radio Remote Controller

Pengujian *radio remote controller* merupakan suatu pengujian untuk mengukur pembacaan jarak jangkauan sinyal radio pada perangkat penerima sinyal remot yang digunakan. Pengujian jarak pembacaan sinyal remote dilakukan pada area yang cukup luas di Landasan udara TNI AU Sutan Sjahrir Padang. Gambar 50 dan Tabel 18 berikut merupakan hasil dari pengujian pembacaan rentang jarak penerimaan sinyal *radio remote controller*.



Gambar 50 Tampilan display pada pengujian remote controll

Tabel 18 Hasil pengujian pembacaan sinyal radio remote controller

| No | Jarak (m) | Persentase Error (%) | Keterangan |
|----|-----------|----------------------|------------|
| 1 | 1 | 0 | Terhubung |
| 2 | 20 | 5 | Terhubung |
| 3 | 40 | 23 | Terhubung |
| 4 | 60 | 33 | Terhubung |
| 5 | 80 | 36 | Terhubung |
| 6 | 100 | 32 | Terhubung |
| 7 | 120 | 53 | Terhubung |
| 8 | 140 | 57 | Terhubung |
| 9 | 160 | 55 | Terhubung |
| 10 | 180 | 52 | Terhubung |
| 11 | 200 | 53 | Terhubung |

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 16 dapat disimpulkan bahwa sejauh jarak 200 meter antara remote dengan drone masih dapat terhubung dan menerima sinyal. Akan tetapi pada saat rentang jarak 140 meter nilai error yang terbaca pada remote lebih besar daripada error pada jarak 200 meter. Hal tersebut dikarenakan adanya hembusan angin yang cukup kencang pada saat pengujian. Kerena pancaran gelembang radio dapat dapat dipengaruhi oleh kecepatan laju udara.

5. Pengujian Telemetri

Pengujian telemetri merupakan suatu pengujian range jarak pembacaan koneksi sinyal antara drone dengan GCS. Pengujian jarak pembacaan sinyal telemetri dilakukan di Landasan udara TNI AU Sutan Sjahrir Padang pada rentang pengujian sejauh 1 meter hingga 200 meter dengan interval pengujian setiap 20 meter. Pengukuran jarak dilakukan dengan bantuan fitur pengukuran jarak pada aplikasi *google maps* seperti yang terlihat pada Gambar 51. Gambar 52 dan Tabel 19 berikut adalah hasil dari pengujian pembacaan rentang jarak pembacaan koneksi sinyal *telemetri*.



Gambar 51 Rentang Jarak pengujian Sinyal Telemetri



Gambar 52 Heads UP Display Mission Planner

Tabel 19 Hasil Pengujian Pembacaan Sinyal Telemetri

| No | Jarak (m) | Kekuatan Sinyal (%) | Keterangan |
|----|-----------|---------------------|-----------------|
| 1 | 1 | 100 | Terhubung |
| 2 | 20 | 96 | Terhubung |
| 3 | 40 | 85 | Terhubung |
| 4 | 60 | 57 | Terhubung |
| 5 | 80 | 42 | Terhubung |
| 6 | 100 | 17 | Terhubung |
| 7 | 120 | 0 | Tidak Terhubung |
| 8 | 140 | 0 | Tidak Terhubung |
| 9 | 160 | 0 | Tidak Terhubung |
| 10 | 180 | 0 | Tidak Terhubung |
| 11 | 200 | 0 | Tidak Terhubung |

Berdasarkan hasil pengujian sinyal pembacaan sinyal telemetri pada Tabel 19 dapat disimpulkan bahwa semakin jauh rentang jarak antara drone dengan GCS maka kekuatan sinyal telemetri akan semakin lemah hingga jarak maksimal 100 meter. Ketika jarak drone dari GCS melebihi 100 meter maka koneksi antara drone GCS akan terputus sehingga data status penerbangan pada drone tidak akan terkirimkan ke GCS.

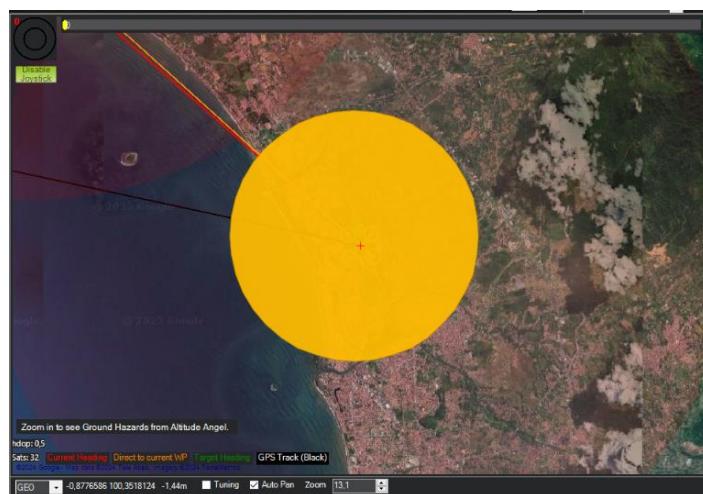
6. Pengujian GPS

Pengujian GPS merupakan suatu pengujian dari keandalan sistem penerima GPS yang terpasang pada *drone*. Tujuan pengujian yaitu untuk memastikan bahwa drone dapat mengandalkan akurasi dan ketersediaan sinyal GPS yang memadai selama melakukan penerbangan. Saat pengujian, drone ditempatkan pada 6 titik koordinat yang berbeda di lokasi terbuka supaya penerimaan sinyal GPS dapat lebih optimal. Lokasi pengujian dilakukan di Landasan Udara TNI AU Sutan Sjahrir Padang. Proses ini dilakukan untuk melakukan pengukuran presisi posisi drone dan akan dibandingkan dengan tingkat akurasi posisi GPS pada handphone. Gambar 53 dan Tabel 20 berikut merupakan hasil dari pengujian GPS.



-0.877351,100.351832

(a) Pengujian Koordinat GPS pada HP



(b) Pengujian Koordinat GPS pada Drone
Gambar 53 Pengujian Koordinat GPS

Tabel 20 Hasil Pengujian GPS

| Titik posisi | Koordinat GPS Drone | | Koordinat GPS Handphone | | error | |
|--------------|---------------------|-------------|-------------------------|------------|----------|-----------|
| | Latitude | Longitude | Latitude | Longitude | Latitude | Longitude |
| Posisi 1 | -0,8776955 | 100,3517839 | -0,877595 | 100,351735 | 1% | 0% |
| Posisi 2 | -0,8773827 | 100,3518020 | -0,877658 | 100,351801 | 3% | 0% |
| Posisi 3 | -0,8773549 | 100,3519934 | -0,877458 | 100,352088 | 1% | 0% |
| Posisi 4 | -0,8774738 | 100,3520869 | -0,877331 | 100,351995 | 2% | 0% |
| Posisi 5 | -0,8776132 | 100,3519675 | -0,877624 | 100,351965 | 0% | 0% |
| Posisi 6 | -0,8776586 | 100,3518124 | -0,877351 | 100,351832 | 3% | 0% |

Berdasarkan hasil pengujian GPS pada Tabel 20 terdapat rata-rata error 3% pada *latitude* dan 0% error pada *longitude*. Berikut rumus perhitungan error pembacaan GPS :

$$\bullet \quad error = \left| \frac{koordinat \ GPS \ drone}{koordinat \ GPS \ HP} - 1 \right| \times 100$$

Pada hasil pengujian terdapat error pembacaan pada GPS dikarenakan pada saat pengujian kondisi cuaca kurang baik sehingga mengakibatkan perbedaan pembacaan GPS pada drone.

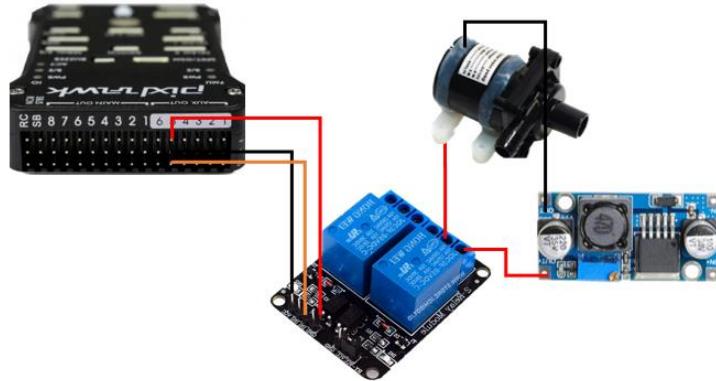
7. Pengujian Mekanisme Penyemprotan Cairan Pestisida

Pengujian mekanisme penyemprotan cairan pestisida merupakan serangkaian pengujian yang bertujuan untuk mengukur debit air yang mampu dikeluarkan oleh *waterpump DC* yang digunakan. Sumber tegangan yang diperoleh dari *waterpump* adalah tegangan baterai yang telah diturunkan melalui DC *stepdown* sehingga tegangan yang masuk pada *waterpump DC* sebesar 12V.



Gambar 54 Pengujian Tegangan Input pada waterpump DC

Gambar 54 merupakan hasil dari pengukuran tegangan masukan pada waterpump DC yang mana tegangan tersebut bersumber dari baterai yang telah diturunkan melalui DC *stepdown*. Waterpump DC dinyalakan secara otomatis dengan menggunakan modul relay sebagai menghubungkan dan memutus arus listrik yang dialirkan ke *waterpump* secara otomatis melalui kendali dari PIN AUX Pixhawk.



Gambar 55 Skema Rangkaian Penyemprotan

Gambar 55 merupakan skema rangkaian yang terpasang pada drone untuk melakukan proses penyemprotan secara otomatis. Pin input relay terpasang pada pin AUX5 pixhawk untuk memicu relay dihidupkan atau dimatikan. Besar tegangan yang terukur pada pin aux pixhawk dapat dilihat pada Tabel 21 berikut :

Tabel 21 Tegangan Output Pin AUX5 Pixhawk

| Pin Pixhawk | Tegangan Kondisi ON | Tegangan Kondisi OFF |
|-------------|---------------------|----------------------|
| GND | 0V | 0V |
| VCC | 5,25V | 0V |
| DATA | 3,29V | 0V |

Perhitungan kecepatan penyemprotan dilakukan dengan cara mengisi tangki air hingga kapasitas maksimum tangki sebesar 1600mL. Ketika waterpump DC diberikan tegangan listrik sebesar 12V maka air pada tangki akan dialirkan melalui slang dan *nozzle spray* yang digunakan. Sehingga menghasilkan disepersi penyebaran air seperti Gambar 56 berikut.



Gambar 56 Aliran Penyemprotan Cairan

Ketika waterpump dinyalakan pada saat drone diletakkan di atas permukaan tanah, lebar dispersi air yang disemprotan mampu mencapai hingga 40cm diameter lingkaran. Kecepatan debit air yang dihasilkan ketika melakukan semprotan seperti pada Tabel 22 berikut :

Tabel 22 Hasil Pengukuran Debit Air

| Tegangan Waterpump (V) | Volume Air (mL) | Waktu Semprot (detik) | Debit Air (mL/detik) |
|------------------------|-----------------|-----------------------|----------------------|
| 12,16 | 200 | 8 | 25,00 |
| 12,16 | 400 | 15 | 26,67 |
| 12,16 | 600 | 23 | 26,09 |
| 12,16 | 800 | 31 | 25,81 |
| 12,16 | 1000 | 38 | 26,32 |
| 12,16 | 1200 | 46 | 26,09 |
| 12,16 | 1400 | 53 | 26,42 |
| 12,16 | 1600 | 61 | 26,23 |
| Rata-rata debit air | | | 26,08 |

Berdasarkan Tabel 22 diatas, debit air yang dihasilkan rata-rata sebesar 26 mL/detik dan waktu yang diperlukan ketika tangki dalam keadaan penuh adalah 61 detik hingga air dalam tangki dalam keadaan kosong.

8. Pengujian Daya Angkat Drone

Pengujian daya angkat merupakan serangkaian pengujian yang bertujuan untuk mengukur berapa maksimal beban yang mampu diangkat oleh drone, dan mengukur konsumsi daya. Pengujian dilakukan dengan cara membuat misi take off dan delay selama 60 detik diudara dengan membawa beban seperti pada Gambar 57 dan Tabel dibawah.



Gambar 57 Pengujian Daya Angkat Drone hexacopter

Tabel 23 Hasil Pengujian Daya Angkat Drone Hexacopter

| Berat Drone (gr) | Beban Angkut (gr) | Durasi Terbang (s) | Tegangan Awal (V) | Tegangan Akhir (V) | Selisih Tegangan (ΔV) |
|------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|---------------------------------|
| 2800 | 0 | 60s | 16,7 | 16,4 | 0,3 |
| 2800 | 400 | 60s | 16,7 | 16,3 | 0,4 |
| 2800 | 800 | 60s | 16,7 | 16,1 | 0,6 |
| 2800 | 1200 | 60s | 16,7 | 15,8 | 0,9 |
| 2800 | 1600 | 60s | 16,7 | 15,5 | 1,2 |

Berdasarkan data pada Tabel 23, ketika *drone* terbang tanpa membawa beban kondisi tegangan baterai sebelum take off adalah sebesar 16,7V ketika setelah rentang waktu 60 detik tegangan baterai berkurang hingga 16,4V, yang berarti besar konsumsi daya baterai ketika drone tanpa membawa beban selama 60 detik adalah sebesar 0,3 V. Ketika drone tersebut membawa beban maksimum

hingga 1,6kg besar konsumsi daya baterai selama 60 detik sebesar 1,2V. Maka dapat disimpulkan bahwa semakin besar beban angkut yang diberikan maka semakin besar konsumsi daya baterai yang digunakan.

9. Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

Pengujian sistem secara keseluruhan merupakan pengujian tingkat keberhasilan alat setelah seluruh sistem penyemprotan pada drone telah dibangun. Pengujian dilakukan dengan membuat misi penerbangan seperti yang telah dirancang pada BAB 3. Pengujian penerbangan dilakukan pada lapangan berlokasi di Jln Patenggangan, Air Tawar Barat. Maka hasil penerbangan seperti pada Gambar 58 dan dalam Tabel 24 berikut.



Gambar 58 Pengujian Terbang Penyemprotan Cairan Pestisida

Tabel 24 Hasil Misi Penerbangan Cairan Pestisida Secara Otomatis

| No | Mission | Target Location | | | Keterangan |
|----|--------------|-----------------|-------------|----------|--|
| | | Latitude | Longitude | Altitude | |
| 1 | Take off | -0,8849704 | 100,3432115 | 2 | Drone berhasil takeoff pada ketinggian 2m |
| 2 | Change Speed | -0,8849704 | 100,3432115 | 2 | Drone berhasil mengubah kecepatan terbang sebesar 0,1m/s |
| 3 | Waypoint | -0,8849858 | 100,3432229 | 2 | Drone berhasil maju ke waypoint ditentukan |
| 4 | Relay On | -0,8849858 | 100,3432229 | 2 | Relay berhasil dinyalakan dan |

| | | | | | |
|----|-----------|------------|-------------|---|---|
| | | | | | waterpump melakukan penyemprotan |
| 5 | Waypoint | -0,8849671 | 100,3433134 | 2 | Drone berhasil maju ke waypoint ditentukan |
| 6 | Waypoint | -0,8849858 | 100,3433195 | 2 | Drone berhasil maju ke waypoint ditentukan |
| 7 | Waypoint | -0,8850086 | 100,3432249 | 2 | Drone berhasil maju ke waypoint ditentukan |
| 8 | Waypoint | -0,8850294 | 100,3432310 | 2 | Drone berhasil maju ke waypoint ditentukan |
| 9 | Waypoint | -0,8850073 | 100,3433275 | 2 | Drone berhasil maju ke waypoint ditentukan |
| 10 | Relay Off | -0,8850073 | 100,3433275 | 2 | Relay berhasil dimatikan dan waterpump dimatikan |
| 11 | Landing | -0,8849704 | 100,3432115 | 0 | Drone berhasil mendarat pada waypoint yang ditentukan |

Berdasarkan hasil pada Tabel 24 misi penerbangan yang dilakukan berhasil dilakukan dan sesuai dengan perencanaan misi yang dirancang, tetapi terjadi sedikit kesalahan pada pembacaan sinyal GPS yang mengakibatkan perbedaan posisi terbang dengan target posisi yang dirancang.

C. Pemeliharaan Sistem (*Maintenance*)

Tahapan pemeliharaan sistem merupakan tahapan yang dilakukan ketika alat/sistem terjadi kegagalan (*error*) dalam sistem yang mengakibatkan drone tidak mampu bekerja dengan maksimal. Kegagalan yang terjadi seperti berat daya angkat drone yang tidak seimbang, sensor-sensor yang tidak terkonfigurasi, dan kesalahan-kesalahan dalam rangkaian. Untuk memperbaiki kesalahan yang telah terjadi sebelumnya maka hal yang dilakukan yaitu mengubah desain dan penempatan struktur komponen pada drone dengan tujuan drone akan terbang dengan stabil pada pengujian berikutnya.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan pada sistem kontrol penyemprotan cairan pestisida menggunakan *drone UAV Hexacopter*. Maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Drone hexacopter mampu mengangkat beban cairan pestisida dengan kapasitas maksimum 1,6 kg dengan waktu penyemprotan cairan pestisida selama 61 detik dengan kecepatan terbang 0,1m/s drone mampu melakukan penyemprotan 6 meter sepanjang jalur yang dibuat.
2. Pengujian gaya dorong (*thrust*) pada *motor brushless* dengan menggunakan *propeller 1045*, drone mampu mengangkat beban maksimal sebesar 7,32 kg
3. Drone hexacopter mampu melakukan penyemprotan cairan pestisida otomatis dengan kontrol GPS pada aplikasi *mission planner*, tetapi terdapat sedikit kesalahan terhadap pembacaan GPS yang mengakibatkan pergeseran posisi terbang dengan terget penerbangan yang dirancang.

B. Saran

Selama proses pengujian sistem kontrol penyemprotan cairan pestisida dengan menggunakan drone hexacopter masih memiliki kekurangan. Oleh karena itu saran untuk pengembang penelitian ini berikutnya yaitu :

1. Untuk melakukan proses penyemprotan tanaman agar mampu menyemprot cairan pada area yang cukup luas disarankan untuk menggunakan kapasitas

tangki penyimpanan cairan yang lebih besar dan menggunakan motor 1100KV yang memiliki kemampuan gaya angkat yang besar.

2. Untuk dapat melakukan melakukan proses penyemprotan di udara lebih lama disarankan menggunakan kapasitas baterai 10.000mAh.
3. Untuk meningkatkan tingkat keakuratan titik koordinat misi yang dilakukan disarankan untuk menggunakan modul GPS Holybro Pixhawk Neo-M8N. karena modul GPS tersebut memiliki tingkat akurasi yang tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Wahid, A. (2020). Analisis Metode Waterfall Untuk Pengembangan Sistem Informasi. *Jurnal Ilmu-Ilmu Informatika Dan Manajemen STMIK*, November, 1–5.
- Ahiarwar, S., Swarnkar, R., Bhukya, S., & Namwade, G. (2019). Application of drone in agriculture: A review. *International Journal of Chemical Studies*, 8(5), 181–187. <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i5d.10529>
- Astuti, W., & Widystuti, C. R. (2016). Pestisida Organik Ramah Lingkungan Pembasmi Hama Tanaman Sayur. *Rekayasa*, 14(2), 117.
- Dewi, A. Y., Harinita, D., & Bachtiar, A. (2018). Korelasi Gaya Angkat dengan Kecepatan Putaran Rotor pada Sistem Pesawat Quadcopter. *Teknik Elektro Institut Teknologi Padang*.
- Febri, H., Sumbung, R., Mesin, J. T., Negeri, P., & Pandang, U. (2021). *DRONE UNTUK DETEKSI HAMA DAN PENYEMPROTAN PESTISIDA PADA TANAMAN PADI*.
- Feriadi, D. (2017). *Aplikasi Sistem Pendukung Keputusan Untuk Simulasi Diagnosa Hama dan Penyakit Pada Tanaman Cabai*. 106–113.
- Hidayat, R., Muhammin, & Aidi, F. (2019). Rancang Bangun Prototype Drone Penyemprot Pestisida Untuk Pertanian Padi Secara Otomatis. *Jurnal Tektro*, 3(2), 86–94. <http://e-jurnal.pnl.ac.id/index.php/TEKTRO/article/view/1550>
- Hidayati, N. (2019). Penggunaan Metode Waterfall Dalam Rancang Bangun Sistem

- Informasi Penjualan. *Generation Journal*, 3(1), 1–10.
- Indreswari Suroso. (2021). *Institut teknologi nasional, PENGERTIAN DRONE*. 4–11.
- Khumairowati, & B. Yulianti. (2020). Analisis Motor pada Quadcopter. *Jurnal Mitra Manajemen*, 8(2), 121–127.
<https://journal.universitassuryadarma.ac.id/index.php/jmm/article/view/519>
- Kusumaningrum, S. I. (2019). Pemanfaatan Sektor Pertanian Sebagai Penunjang Pertumbuhan Perekonomian Indonesia. *Jurnal Transaksi*, 11(1), 80–89.
<http://ejurnal.atmajaya.ac.id/index.php/transaksi/article/view/477>
- Maulana Ichsan, I., & Rizianiza, I. (2021). Perbandingan Uji Kestabilan Attitude Hexacopter Pada Metode Root Locus dan Routh Hurwitz. *Jurnal METTEK*, 7(2), 57. <https://doi.org/10.24843/mettek.2021.v07.i02.p01>
- Perdana, A. R., & Rizianiza, I. (2021). Perancangan Sistem Pengendalian Menggunakan Kontroler PID pada Gerakan Pitch dan Roll untuk Stabilitas Attitude Hexacopter. *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro Dan Ilmu Komputer*, 11(2), 386–398. <https://doi.org/10.24176/simet.v11i2.5172>
- Rahmadiansyah, A., Orlanda, E., Wijaya, M., Nugroho, H. W., & Firmansyah, R. (2017). Perancangan Sistem Telemetri Untuk Mengukur Intensitas Cahaya Berbasis Sensor Light Dependent Resistor Dan Arduino Uno. *JEEE-U (Journal of Electrical and Electronic Engineering-UMSIDA)*, 1(1), 15–21.
<https://doi.org/10.21070/jeee-u.v1i1.760>

- Scott, J. E., & Scott, C. H. (2017). Drone delivery models for healthcare. *Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences, 2017-Janua*, 3297–3304. <https://doi.org/10.24251/hicss.2017.399>
- Taufik, A., Habriansyah, I., Fachturrahman, F., & Sumbung, H. F. R. (2022). Drone Untuk Deteksi Hama dan Penyemprotan Pestisida pada Tanaman Padi. *Jurnal Teknik Mesin Sinergi*, 20(2), 139. <https://doi.org/10.31963/sinergi.v20i2.3737>
- Widiasari, C., & Este Dulan Agustinus S., R. (2020). Rancang Bangun Drone Quadcopter Tanpa Awak Penyiram Pupuk Tanaman. *Jurnal ELEMENTER*, 6(2), 81–90.
- Yallappa, D., Veerangouda, M., & Maski, D., Palled, V., & Bheemanna, M. (2017). Development and evaluation of drone mounted sprayer for pesticide applications to crops. *Development and Evaluation of Drone Mounted Sprayer for Pesticide Applications to Crops*, 16.1.2015. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8239330/>

LAMPIRAN