

**DESAIN SISTEM KENDALI *AUTOPILOT* KEMUDI TRAKTOR TANGAN
MENGUNAKAN *GLOBAL POSITIONING SYSTEM* (GPS) DAN
TELEMETRI BERBASIS ARDUPILOT MEGA 2.8**

(Skripsi)

Oleh

ANGGIT PANGESTU



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

ABSTRACT

DESIGN OF HAND TRACTOR STEERING AUTOPILOT CONTROL SYSTEM USING GLOBAL POSITIONING SYSTEM (GPS) AND TELEMETRY BASED ON ARDUPILOT MEGA 2.8

By

ANGGIT PANGESTU

Tillage in the agricultural cultivation process is important to make the soil conditions ideal for plants to grow. Tillage can be done conventionally or using machines. Hand tractor is a machine that is widely used in agriculture, especially for tillage. This tractor has good efficiency and effectiveness in a narrow area and is relatively easy to operate. However, continuous operation can have a negative impact on the operator. For this reason, efforts are needed to overcome this problem. This study aims to design a hand tractor control system that can operate on autopilot without direct control from the operator.

This research was conducted on 27 March 2021 – 26 January 2022 at the Integrated Field Laboratory and Agricultural Engineering Department, Faculty of Agriculture, University of Lampung. The research started with literature study, tool design, control system installation, programming, and control system testing. The control system is designed to operate in two modes, namely manual mode and autopilot mode. In manual mode, the control system used to control the movement of the tractor uses a joystick via a radio telemetry network connection. In auto mode, the control system is used to control the movement of the tractor on autopilot to a specified path.

The results showed that the design of the hand tractor control system can operate in manual and autopilot modes. In testing the control system, the GPS used has an accuracy of 163.2 cm, the system response is less than 1 second, the telemetry signal range is 225 meters, and the stability of the actuator in manual mode is 150 meters. In the manual mode test, the turning diameter of the tractor is less than 2 meters and the deviation is less than 30 cm. In the automatic mode test, the

tractor can run to the specified point. The average waypoint radius error is 0.88 meters. The average deviation on the track is 1.15 meters.

Keywords: Hand tractor, Ardupilot, autopilot, GPS.

ABSTRAK

DESAIN SISTEM KENDALI *AUTOPILOT* KEMUDI TRAKTOR TANGAN MENGUNAKAN *GLOBAL POSITIONING SYSTEM* (GPS) DAN TELEMETRI BERBASIS ARDUPILOT MEGA 2.8

Oleh

ANGGIT PANGESTU

Pengolahan tanah dalam proses budidaya pertanian penting dilakukan untuk membuat kondisi tanah ideal sebagai tempat tumbuh tanaman. Pengolahan tanah dapat dilakukan dengan cara konvensional maupun menggunakan mesin. Traktor tangan merupakan mesin yang banyak digunakan dalam bidang pertanian terutama untuk pengolahan tanah. Traktor ini memiliki efisiensi cukup baik di lahan yang tidak terlalu luas dan pengoperasiannya tergolong mudah. Namun pengoperasian yang terus menerus mengakibatkan dampak buruk bagi operatornya. Untuk itu perlu dilakukan suatu upaya untuk mengatasi hal tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan perancangan sistem kendali traktor tangan yang dapat bekerja secara *autopilot*.

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan 27 Maret 2021 - 26 Januari 2022 bertempat di Laboratorium Lapangan Terpadu dan Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung. Penelitian dimulai dengan studi pustaka, perancangan alat, pemasangan sistem kendali, pemrograman, dan pengujian sistem kendali. Sistem kendali didesain dapat bekerja pada dua mode, yaitu mode manual dan mode *autopilot*. Pada mode manual sistem kendali digunakan untuk mengontrol pergerakan traktor menggunakan *joystick* melalui koneksi jaringan radio telemetri. Pada mode *auto* sistem kendali digunakan untuk mengontrol pergerakan traktor secara *autopilot* berdasarkan jalur yang telah ditentukan.

Hasil dari penelitian menunjukkan desain sistem kendali traktor tangan dapat bekerja pada mode manual dan *autopilot*. Pada pengujian sistem kendali, GPS yang digunakan memiliki akurasi sebesar 163,2 cm, respons sistem selama kurang dari 1 detik, jangkauan sinyal telemetri sejauh 225 meter, stabilitas aktuator pada

mode manual sejauh 150 meter. Pada pengujian mode manual, diameter belokan traktor selebar kurang dari 2 meter dan simpangan kurang dari 30 cm. Pada pengujian mode *auto*, traktor dapat berjalan menuju *waypoint* yang ditetapkan. *Error radius waypoint* rata-rata sebesar 0,88 meter. Simpangan rata-rata pada jalur sebesar 1,15 meter.

Kata kunci: Traktor tangan, Ardupilot, *autopilot*, GPS.

**Desain Sistem Kendali *Autopilot* Kemudi Traktor Tangan Menggunakan
Global Positioning System (GPS) dan Telemetri Berbasis Ardupilot Mega 2.8**

Oleh

Anggit Pangestu

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Lampung



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

Judul Skripsi : **DESAIN SISTEM KENDALI *AUTOPILOT* KEMUDI TRAKTOR TANGAN MENGGUNAKAN *GLOBAL POSITIONING SYSTEM (GPS)* DAN TELEMETRI BERBASIS ARDUPILOT MEGA 2.8**

Nama Mahasiswa : **Anggit Pangestu**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1714071068**

Jurusan : **Teknik Pertanian**

Fakultas : **Pertanian**



Dr. Mareli Telaumbanua, S.T.P., M.Sc.
NIP 19880325 201504 1 001

Martinus, S.T., M.Sc.
NIP 19790821 200312 1 003

MENGETAHUI

2. **Ketua Jurusan Teknik Pertanian**

Dr. Ir. Sandi Asmara, M.Si.
NIP 19621010 198902 1 002

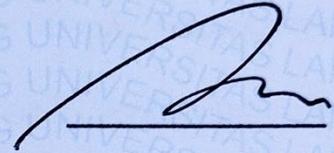
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Dr. Mareli Telaumbanua, S.T.P., M.Sc.



Sekretaris : Martinus, S.T., M.Sc.



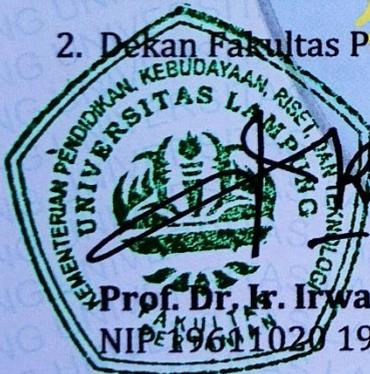
Pembahas : Ir. Budianto Lanya, M.T.



2. Dekan Fakultas Pertanian

Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si

NIP: 19641020 198603 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 08 Agustus 2022

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya adalah Anggit Pangestu NPM 1714071068

Dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil karya saya yang dibimbing oleh Komisi Pembimbing, 1) Dr. Mareli Telaumbanua, S.T.P., M.Sc., dan 2) Martinus, S.T., M.Sc. berdasarkan pada pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Karya ilmiah ini berisi material yang dibuat sendiri dan hasil rujukan beberapa sumber lain (buku, jurnal, dll) yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukanlah hasil dari plagiat karya orang lain.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 4 Agustus 2022
Yang membuat pernyataan



(Anggit Pangestu)

NPM. 1714071068

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di desa Margo Lestari, Jati Agung, Lampung Selatan pada tanggal 31 Oktober 1999. Penulis dilahirkan dari pasangan suami istri Wagiran dan Sri Handayani sebagai anak ke-lima dari enam bersaudara.

Penulis memiliki satu orang adik yang bernama Muhammad Arfan Nugroho dan memiliki empat orang kakak yang bernama Eko Sugianto, Dwi Susanto, Meri Setriana, dan Hartono.

Penulis menyelesaikan pendidikan Taman Kanak-kanak Al-Munawaroh pada tahun 2005. Kemudian Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar pada tahun 2011. Pada tahun 2014 Penulis menyelesaikan pendidikan menengah pertama di SMP N 1 Jati Agung. Pada tahun 2017 penulis menyelesaikan pendidikan menengah atas di MAN 1 Bandar Lampung dan pada tahun yang sama penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung melalui jalur tes tertulis Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama menjadi mahasiswa penulis pernah menjadi anggota organisasi Persatuan Mahasiswa Teknik Pertanian (PERMATEP) di bidang Keprofesian pada tahun 2018/2019 serta pernah menjadi anggota bidang *Fundraising* pada Unit Kegiatan

Mahasiswa Forum Studi Islam (FOSI) Fakultas Pertanian pada tahun 2018/2019 dan 2019/2020. Penulis juga pernah menjadi Asisten Dosen mata kuliah Listrik dan Elektronika, Instrumentasi, Elektronika Industri, dan Kontrol Otomatik.

Pada bulan Juli hingga Agustus tahun 2020, penulis melaksanakan Praktik Umum (PU) di Balai Pertanian Kabupaten Pringsewu dan menyelesaikan laporan PU dengan judul “Mempelajari Proses Penggilingan Padi Di Pp Kurnia Sri Makmur, Desa Bulo Manis, Kecamatan Gadingrejo, Kabupaten Pringsewu, Provinsi Lampung”. Pada bulan Januari hingga Februari tahun 2020, penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) Tematik Periode 1 di Desa Kistang, Kecamatan Abung Barat, Kabupaten Lampung Utara.

PERSEMBAHAN

Skripsi ini penulis persembahkan kepada kedua orang tua tercinta, Bapak Wagiran dan Ibu Sri Handayani yang telah memberikan dukungan, motivasi, serta doa, dan kepada kakakku Meri Setriana, Dwi Susanto, Eko Sugiarto, Hartono, serta adikku Muhammad Arfan Nugroho yang menjadi motivasi dalam menyelesaikan penelitian ini.

SANWACANA

Puji syukur senantiasa penulis haturkan ke hadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan amanah tugas akhir perkuliahan dalam bentuk penyusunan skripsi ini. Tak lupa pula shalawat dan salam selalu tercurah kepada Nabi kita Nabi Muhammad SAW, yang senantiasa kita harapkan syafaat beliau di hari kiamat nanti. Aamiin.

Skripsi DENGAN JUDUL “Desain Sistem Kendali *Autopilot* Kemudi Traktor Tangan Menggunakan *Global Positioning System* (GPS) dan Telemetri Berbasis Ardupilot Mega 2.8” merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) di Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Penulisan skripsi ini masih memiliki berbagai kekurangan yang disebabkan keterbatasan pengetahuan penulis. Maka dari itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M. Si., selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung;
2. Bapak Dr. Ir. Sandi Asmara, M.Si., selaku Ketua Jurusan Teknik Pertanian Universitas Lampung;
3. Bapak Dr. Mareli Telaumbanua, S.T.P., M.Sc., selaku dosen pembimbing utama yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan motivasi selama proses penyelesaian skripsi ini;
4. Bapak Martinus, S.T., M.Sc., selaku pembimbing kedua yang telah memberikan masukan, saran, serta bimbingan dalam proses penelitian dan penyelesaian skripsi ini;

5. Bapak Ir. Budianto Lanya, M.T., selaku pembahas yang telah memberikan saran dan masukan mengenai skripsi ini;
6. Bapak, Ibu, Kakak dan Adik ku atas doa dan dukungan yang telah diberikan;
7. Teman-temanku, Ristanti, Agata, Aldi, Alpin, Heri, Wisnu yang telah membantu banyak selama penelitian berlangsung serta Erine, Ekaliana, Binti, dan Evatriana;
8. Teman-teman angkatan 2017 Teknik Pertanian yang telah bersama-sama berjuang dalam mengenyam pendidikan;

Semoga semua kebaikan Bapak dan rekan rekan sekalian dibalas oleh Allah SWT. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih, dan penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan pembaca pada umumnya.

Bandar Lampung, Oktober 2022

Penulis,

Anggit Pangestu

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	4
1.3. Batasan Masalah	5
1.4. Tujuan Penelitian	5
1.5. Manfaat penelitian	6
II. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Traktor Tangan.....	7
2.2. Mikrokontroler Ardupilot	9
2.3. <i>Software Mission Planner</i>	11
2.4. <i>Global Positioning System</i>	14
2.5. Telemetry	15
2.6. Motor Servo	17
2.7. Akumulator	19
2.8. Rujukan Penelitian.....	20
III. METODOLOGI PENELITIAN	22
3.1. Waktu dan Tempat.....	22
3.2. Alat dan Bahan.....	22
3.3. Kriteria Desain	22
3.4. Prosedur Penelitian	23
3.4.1. Studi Kepustakaan.....	24
3.4.2. Perancangan Struktural	24
3.4.3. Rancangan Fungsional	26
3.4.4. Pemrograman	29

3.5. Mekanisme Kerja	30
3.6. Pengujian Sistem Kendali	31
3.6.1. Stabilitas Sistem Kendali	31
3.6.2. Respons Sistem	31
3.6.3. Pengujian Jarak Jangkauan Telemetry	32
3.6.4. Pengujian Akurasi GPS	32
3.6.5. Konsumsi Energi	33
3.7. Pengujian Kinerja Alat	34
3.7.1. Simpangan Traktor	34
3.7.2. Diameter Belokan	35
3.7.3. <i>Error Radius Waypoint</i> dan Simpangan Pada Jalur	35
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1. Instalasi <i>Software</i>	37
4.1.1. Instalasi <i>Driver</i> Ardupilot dan <i>Software Mission Planner</i>	37
4.1.2. Instalasi <i>Firmware</i>	38
4.1.3. Mengunduh Peta	39
4.1.4. Instalasi <i>Driver</i> Telemetry	40
4.2. Instalasi <i>Hardware</i>	41
4.2.1. Perangkaian Alat	41
4.2.2. Pemasangan Alat Pada Traktor	43
4.3. Pemrograman	44
4.3.1. Konfigurasi Telemetry	44
4.3.2. Menghubungkan <i>Mission Planner</i> Dengan Ardupilot	47
4.3.3. Aktivasi GPS	48
4.3.4. Kalibrasi Kompas	49
4.3.5. Pengaturan <i>Joystick</i>	51
4.3.6. Konfigurasi Parameter	52
4.3.7. Pengaturan PID	53
4.3.8. Pembuatan <i>Waypoint</i>	53
4.4. Mekanisme Pergerakan Servo	55
4.5. Pengujian Sistem Kendali	56
4.5.1. Akurasi GPS	56
4.5.2. Kuat Sinyal Telemetry	58
4.5.3. Stabilitas	59
4.5.4. Respons Sistem	60
4.5.5. Konsumsi Energi	61
4.6. Pengujian Alat	63
4.6.1. Mode Manual	64
4.6.2. Mode <i>Auto</i>	65
4.7. Simpangan Akibat Kendala Performa Servo dan GPS	71
V. KESIMPULAN DAN SARAN	75
5.1. Kesimpulan	75

5.2. Saran	77
DAFTAR PUSTAKA	78
LAMPIRAN.....	85
Tabel 11-18.....	86
Gambar 58-72.....	94

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Rujukan Penelitian	21
2. Spesifikasi telemetri	28
3. Respons sistem	61
4. Tegangan kerja servo.....	61
5. Arus listrik servo	62
6. Konsumsi daya listrik.....	63
7. Diameter belokan	65
8. Simpang pergerakan traktor tangan mode manual	65
9. <i>Error radius waypoint</i> traktor tangan mode <i>autopilot</i>	67
10. Jumlah satelit GPS yang dapat diterima	73
11. Pengukuran akurasi GPS.....	86
12. Kuat Sinyal Telemetri	86
13. Stabilitas sistem kendali.....	87
14. <i>Error radius waypoint</i>	87
15. Jumlah satelit diterima GPS	88
16. Akurasi traktor pada jalur perjalanan pengujian ke 1	88
17. Akurasi traktor pada jalur perjalanan pengujian ke 2	90
18. Akurasi traktor pada jalur perjalanan pengujian ke 3	92

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Traktor Tangan.....	7
2. Ardupilot.....	10
3. Tampilan <i>software Mission Planner</i>	11
4. <i>Global Positioning System</i>	14
5. Telemetry.....	16
6. Motor Servo.....	18
7. Akumulator.....	19
8. Diagram alir penelitian.....	23
9. Cara kerja sistem kendali traktor tangan.....	25
10. Desain kotak servo yang digunakan.....	26
11. Ardupilot Mega 2.8.....	26
12. Komponen motor servo.....	27
13. GPS U-blox 7M.....	27
14. Telemetry 915 MHz.....	28
15. Aki.....	29
16. <i>Step Down DC</i>	29
17. Tampilan <i>software mission planner</i>	38
18. Instalasi <i>Firmware Ardupilot</i>	39
19. Pengunduhan peta.....	39
20. <i>Driver</i> telemetry.....	40
21. <i>Driver</i> telemetry berhasil terinstall.....	40
22. Alamat COM telemetry.....	40
23. Lampu indikator status telemetry terhubung.....	41
24. Rangkaian sistem kendali.....	42

25. Rangkaian sistem kendali dan aktuator.....	42
26. Pemasangan <i>hardware</i>	44
27. Keadaan telemetri tidak terhubung.....	45
28. Konfigurasi telemetri.....	45
29. FTDI USB to TTL.....	46
30. Rangkaian Telemetri dengan FTDI USB to TTL.....	46
31. Muncul <i>Comm port</i> FTDI pada <i>device manager</i>	47
32. COM FTDI pada <i>mission planner</i>	47
33. Status telemetri.....	48
34. Indikasi GPS dalam keadaan <i>fix</i>	49
35. Lampu indikator GPS dalam keadaan <i>fix</i>	49
36. Proses kalibrasi kompas.....	50
37. Hasil sebelum kalibrasi (a) dan sesudah kompas dikalibrasi (b).....	50
38. Konfigurasi <i>joystick</i> pada <i>mission planner</i>	51
39. Pengaturan <i>joystick</i>	51
40. Pengaturan parameter.....	52
41. Pengaturan PID.....	53
42. Pembuatan <i>waypoint</i>	54
43. Tabel informasi <i>waypoint</i> pada <i>mission planner</i>	54
44. Menu untuk mengupload <i>waypoint</i> ke Ardupilot.....	54
45. <i>Waypoint</i> berhasil diunggah ke Ardupilot.....	55
46. Mekanisme kerja servo penggerak tuas kopling.....	56
47. Hasil tracking GPS.....	57
48. Simpangan GPS.....	57
49. Kekuatan sinyal telemetri.....	58
50. Stabilitas sistem mode manual.....	60
51. Lintasan pengujian pergerakan mode <i>auto</i>	66
52. Skema pengukuran akurasi traktor melintasi <i>waypoint</i>	67
53. Skema pengukuran akurasi jalur perjalanan.....	68
54. Simpangan traktor pengujian ke 1.....	69
55. Simpangan traktor pengujian ke 2.....	70
56. Simpangan traktor pengujian ke 3.....	71

57. Skema prediksi simpangan akibat <i>delay</i> servo.	72
58. Skematik rangkaian menggunakan <i>eagle</i>	94
59. Skema rangkaian sistem kendali.	95
60. Tata letak komponen sistem kendali.	95
61. Pengukuran simpangan traktor tangan.	96
62. Cara mengukur diameter belokan.	96
63. <i>Waypoint</i> pada <i>mission planner</i>	96
64. Pengukuran arus listrik pada servo.	97
65. Pengukuran tegangan servo.	97
66. Pengukuran respons sistem servo.	97
67. Pemasangan aktuator servo.	98
68. Pembuatan lintasan untuk pengukuran simpangan.	98
69. Pengujian alat.	98
70. Pengujian ke 1 mode <i>auto</i>	99
71. Pengujian ke 2 mode <i>auto</i>	99
72. Pengujian ke 3 mode <i>auto</i>	99

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pada tahap awal proses penanaman komoditas pertanian, diperlukan pengolahan tanah pada lahan yang akan ditanami. Menurut Suripin (2002), pengolahan tanah merupakan rekayasa tanah secara mekanik yang bertujuan untuk membuat kondisi tanah yang ideal untuk pertumbuhan tanaman. Tujuan dari pengolahan tanah yaitu menggemburkan tanah pada daerah perakaran tanaman, membalikkan tanah sehingga gulma dan sisa-sisa tanaman di atas permukaan tanah dapat tertimbun sehingga dapat mengurangi gulma. Pengolahan tanah ini merupakan tahap yang penting, karena pengolahan tanah yang baik dapat meningkatkan hasil panen komoditas pertanian dibandingkan dengan tanpa dilakukan pengolahan tanah.

Proses pengolahan tanah dapat dilakukan dengan berbagai cara seperti mencangkul, membajak dengan hewan ternak maupun traktor. Pada proses pengolahan lahan, tanah dipotong dan di balik sehingga gulma yang ada di atas permukaan tanah dapat tertimbun. Hal ini juga dapat menggemburkan tanah sehingga tanah kaya akan oksigen yang sangat diperlukan akar tanaman. Menurut Widiyantoro (2014), sebagian besar pengolahan tanah dilakukan secara mekanis yaitu dengan menggunakan alat dan mesin pertanian, seperti bajak traktor. Traktor pertanian didesain untuk menghasilkan tarikan secara efektif dengan merubah energi bahan bakar fosil secara efisien (Xia dkk., 2020). Traktor adalah kendaraan yang didesain untuk kebutuhan traksi tinggi pada kecepatan rendah, atau untuk menarik *implement* yang digunakan dalam aktivitas pertanian dan konstruksi.

Menurut penelitian yang dilakukan Darnawi (2018), pengolahan tanah dengan cara mekanis menggunakan traktor lebih efektif dan efisien dari pada pengolahan tanah dengan cara tradisional seperti mencangkul dan membajak dengan hewan. Biaya pengolahan tanah yang diperlukan untuk 1000 m² luas lahan dengan cara tradisional adalah sebesar Rp. 242.091,00. Sementara pengolahan lahan dengan cara mekanis sebesar Rp. 210.143,00. Waktu yang dibutuhkan cara tradisional adalah 15,01 jam dan cara mekanis 3,63 jam (Darnawi dkk., 2018).

Traktor yang banyak digunakan oleh petani di Indonesia untuk mengolah lahan adalah jenis traktor tangan (*hand tractor*) karena harganya yang terjangkau dan fleksibel untuk dioperasikan di lahan yang sempit. Traktor tangan ini dapat digunakan untuk pengolahan tanah primer maupun sekunder. Traktor tangan banyak dipilih untuk mengolah lahan karena lincah dan efisien, sehingga dapat mengolah pada lahan yang sempit seperti petak-petak sawah. Namun tidak sedikit kecelakaan dalam pengoperasian traktor karena kurang hati-hati. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan (Nada dkk., 2014), menyebutkan antropometri para operator yang tidak sesuai menyebabkan permasalahan posisi yang tidak alamiah pengguna sehingga dapat mengakibatkan kecelakaan kerja.

Selain itu traktor tangan saat dioperasikan menimbulkan getaran dan suara yang bising, hal itu dapat menimbulkan beberapa masalah bagi operatornya. Masalah tersebut adalah berupa gangguan pendengaran kelelahan dalam bekerja, dan rasa sakit pada tubuh bahkan kecelakaan kerja. Menurut penelitian yang dilakukan Prabawa (2009), tingkat getaran mekanis yang dihasilkan oleh traktor tangan mencapai 24,20 meter/detik². Hal ini melebihi nilai ambang batas (NAB) untuk getaran yaitu 4 m/detik² untuk 4 jam dan kurang dari 8 jam (Permenakertrans No. 13, 2011). Akibat getaran ini dapat menyebabkan *Arm Vibration Syndrome* (HAVS), yaitu gangguan yang disebabkan oleh getaran alat kerja yang menggetarkan tangan secara berlebihan atau di atas ambang batas sehingga dalam jangka waktu lama dapat menyebabkan gangguan kesehatan (Chani dan Kurniawan, 2018). Penelitian yang dilakukan oleh Suryaningrat dan Frans (2011), menyebutkan 25 responden (78,12%) mengalami sakit pada bagian bahu dan punggung, 3 responden (9,38%) mengalami sakit pada seluruh tubuh, dan 4

responden (12,5%) mengalami sakit di bagian lengan. Penggunaan mesin traktor tangan mencapai tekanan suara 85 dB. Nilai ini tergolong pada kategori berbahaya yang mempengaruhi pendengaran dan dapat menyebabkan pusing saat penggunaan lebih dari 2 jam (Prabawa, 2009). Selain itu, Tatong dkk. (2021) juga mengatakan terdapat cedera berupa luka pada kaki operator akibat dari menginjak cangkang kerang di lahan persawahan.

Risiko dalam penggunaan traktor tangan ini menuntut adanya inovasi teknologi yang dapat mengatasi permasalahan tersebut. Tatong dkk. (2021) juga merekomendasikan adanya pengembangan desain dari traktor tangan yang digunakan di sawah. Salah satu upaya adalah dengan menciptakan teknologi pengendalian dalam pengoperasian traktor tangan. Beberapa upaya telah dilakukan dalam pembuatan desain sistem pengendalian traktor tangan, seperti penelitian yang dilakukan Nugraha (2019), yaitu mengenai pengendalian traktor tangan dengan menggunakan *bluetooth* yang terkoneksi dengan *smartphone*. Penelitian lain telah dilakukan Nuromansyah (2020), yaitu mengenai pengendalian traktor menggunakan *wireless* yang terkoneksi dengan *smartphone*. Salah satu upaya lain yang dapat dilakukan adalah dengan membuat sistem kendali traktor tangan yang dapat bekerja secara *autopilot*. *Autopilot* adalah teknologi dengan konsep *Self Driving* atau sistem yang dapat mengendalikan kendaraan tanpa manusia namun dalam kondisi tertentu masih perlu pengemudi untuk mengambil alih pada saat kondisi tertentu (Shadan dkk., 2018).

Komponen alat yang dapat digunakan sebagai sistem pengendalian traktor tangan adalah dengan menggunakan mikrokontroler Ardupilot, GPS (*global position system*), dan Telemetry. Ardupilot adalah perangkat kontrol *autopilot* yang dapat digunakan untuk berbagai jenis wahana udara, darat, dan air. Di dalam Ardupilot terdapat sensor-sensor dan dapat membaca data-data seperti data *Global Positioning System* (GPS), data kecepatan, data kemiringan, dan sikap dengan waktu yang bervariasi (Kurdianto, 2015).

Saat ini Ardupilot telah banyak digunakan dalam penelitian otomatisasi wahana pesawat terbang maupun mobil tanpa awak. Salah satunya adalah penelitian yang

dilakukan oleh Saroinsong (2018), yaitu mengenai pembuatan sistem kendali pesawat tanpa awak berbasis Ardupilot. Pada penelitian mengenai sistem kendali traktor tangan berbasis Ardupilot ini diharapkan dapat mengendalikan pergerakan traktor tangan secara *autopilot* dan memiliki jangkauan pengendalian yang jauh. Sehingga dapat memperluas daerah penjelajahan sistem kendali traktor tangan, serta dapat meningkatkan efisiensi tenaga manusia dan dapat meningkatkan efektivitas pengendalian. Penelitian ini diharapkan juga dapat berkontribusi dalam mengusung era revolusi industri 4.0 khususnya pada bidang pertanian di Indonesia.

1.2. Rumusan Masalah

Pengembangan teknologi dalam bidang pertanian diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas pada alat-alat pertanian. Traktor tangan merupakan salah satu dari banyak alat pertanian yang banyak digunakan petani dalam melakukan pengolahan lahan. Penggunaan tenaga manusia sebagai sistem kerja manual pengendalian traktor tangan dapat menimbulkan permasalahan seperti risiko kecelakaan operator. Traktor tangan yang dikendalikan secara manual juga dapat menimbulkan gangguan pendengaran dan kelelahan pada operator yang disebabkan oleh getarannya. Oleh karena itu diperlukan suatu inovasi teknologi dalam sistem pengendalian traktor tangan untuk kebutuhan budidaya pertanian.

Beberapa penelitian sebelumnya telah dilakukan, seperti sistem pengendalian traktor menggunakan *bluetooth* dan *wireless*. Untuk menyongsong era industri 4.0 maka perlu adanya pengembangan teknologi lebih lanjut mengenai sistem pengendalian traktor tangan ini. Alternatif yang dapat dilakukan salah satunya adalah menggunakan Ardupilot sebagai sistem pengendalian traktor tangan. Ardupilot ini sering digunakan untuk mengendalikan wahana mobil, pesawat, drone, dan lain-lain. Namun permasalahannya bagaimanakah cara menerapkan Ardupilot ini sebagai sistem pengendali traktor *autopilot* tangan dan bagaimanakah cara merancang sistem kendali traktor *autopilot* serta cara kerja dari alat tersebut?

1.3. Batasan Masalah

Berdasarkan pokok uraian permasalahan pada latar belakang dan rumusan masalah di atas, diperlukan pembatasan masalah supaya penelitian dapat dilakukan lebih terarah. Adapun batasan-batasan masalah di antaranya adalah:

1. Penelitian hanya membahas tentang sistem kendali gerak traktor tangan menggunakan Ardupilot, (*Global Positioning System*) GPS, dan Telemetry.
2. Penelitian hanya terfokus pada pembuatan desain sistem kendali kemudi traktor tangan yaitu pengendalian tuas kopling.
3. Tidak ada pengujian mengenai kinerja alat atau kinerja pembajakan traktor tangan sistem kendali.
4. Tidak dilakukan pengukuran beban penstabil pada traktor tangan.
5. Tidak melakukan pengukuran konsumsi bahan bakar traktor tangan sistem kendali.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan umum penelitian ini adalah untuk membuat desain dan sistem baru mengenai sistem kendali *autopilot* kemudi traktor tangan berbasis pada mikrokontroler Ardupilot.

Tujuan khusus dari diadakan program ini adalah:

1. Mendapatkan uji kinerja sistem kendali traktor tangan meliputi konsumsi energi, akurasi GPS U-blox 7 M, stabilitas, respons, dan jangkauan radio telemetry 915 MHz.
2. Mendapatkan data pengujian traktor tangan yang dikendalikan dengan mode manual dan *autopilot* antara lain berupa simpangan pergerakan, diameter belokan, dan *error radius waypoint* di lahan datar.

1.5. Manfaat penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah diharapkan dapat menjadi salah satu referensi ilmiah atau menambah wawasan tentang desain sistem kendali traktor otomatis. Selain itu penelitian ini diharapkan menjadi dasar dalam penerapan teknologi otomatisasi dalam menyongsong era revolusi industri 4.0 di bidang pertanian.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Traktor Tangan

Menurut Murti (2016), traktor adalah salah satu mesin yang digunakan dalam budidaya pertanian, traktor didesain memiliki traksi tinggi pada kecepatan rendah untuk menarik trailer atau implemen yang digunakan dalam pertanian maupun konstruksi. Traktor dalam pertanian digunakan untuk pengolahan tanah primer maupun sekunder. Pada dasarnya traktor didesain untuk secara efisien mengkonversi dari energi bahan bakar fosil menjadi energi tarikan yang efektif (Park dkk., 2016; Xia dkk., 2020). Secara umum traktor digunakan untuk menggerakkan atau menarik alat pengolah tanah dan penggerak alat-alat pertanian lainnya. Salah satu jenis traktor yang biasa digunakan petani di Indonesia adalah traktor tangan (*hand tractor*) atau traktor roda dua (*two wheel drive*). Traktor ini digunakan untuk mengolah dan mengerjakan pekerjaan pertanian lainnya. Traktor tangan dapat dilihat seperti pada Gambar 1 .



Gambar 1. Traktor Tangan.
(Sumber: Yanmar, 2018)

Traktor roda dua dapat digunakan untuk menarik gerobak (trailer), pengolahan tanah, penggerak pompa air dan lain lain (Zulpayatun dkk., 2017). Traktor tangan memiliki efisiensi dan efektivitas kerja yang tinggi karena dapat melakukan pengerjaan pemotongan tanah dan pembalikan tenaga secara bersamaan (Putri, 2011). Traktor tangan memiliki ukuran yang relatif kecil sehingga sangat cocok digunakan di lahan pertanian di Indonesia yang petaninya banyak memiliki lahan pertanian sempit dan berada di daerah lereng atau perbukitan.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Putri (2011), Bagian bagian traktor tangan adalah sebagai berikut:

1. Mesin traktor

Traktor tangan tipe tarik biasanya menggunakan mesin diesel berpendingin udara, sedangkan traktor tangan tipe penggerak dan tipe kombinasi mempergunakan mesin diesel berpendingin air.

2. Sistem transmisi

Ada tiga bagian utama sistem transmisi pada traktor tangan:

- a. Gigi transmisi, berfungsi untuk merubah torsi dan kecepatan oleh mesin yang kemudian tenaga disalurkan ke roda penggerak.

- b. V-belt, adalah sabuk penghubung yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga dari poros mesin ke poros utama.

- c. Kopling, berfungsi untuk memutus dan menyalurkan tenaga yang disalurkan oleh v-belt.

3. Roda

Roda traktor tangan memiliki beberapa jenis roda, roda ban karet biasanya digunakan saat traktor sedang dioperasikan di jalan umum. Ada pula jenis roda bukan ban yang digunakan saat traktor dioperasikan untuk membajak tanah di lahan, antara lain: *pipe wheels*, *float wheels*, *cage wheel*, dan lain sebagainya.

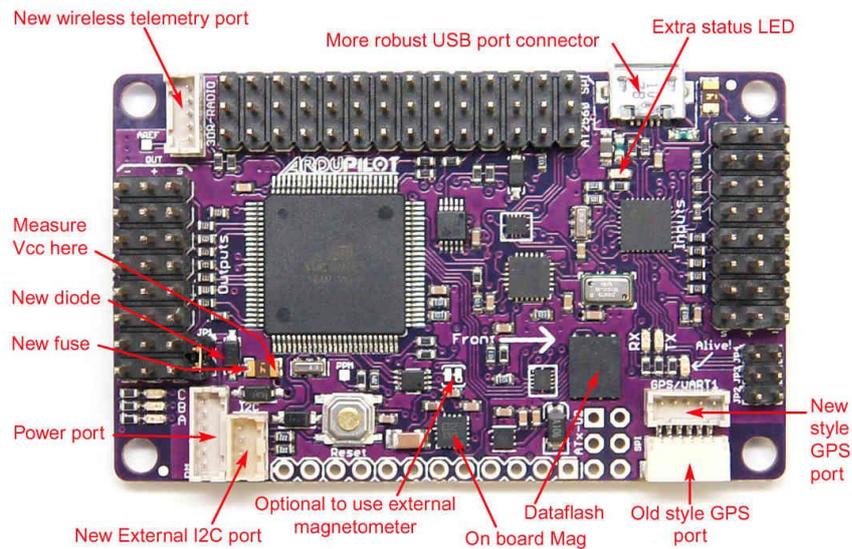
Pada saat ini telah banyak penelitian yang melakukan modifikasi pada traktor tangan yang bertujuan untuk mengembangkan teknologi atau untuk mempermudah pekerjaan dan untuk meningkatkan kinerja alat. Salah satu penelitian yaitu mengenai modifikasi otomatisasi pada bagian kemudi traktor

tangan. Modifikasi dapat dilakukan pada bagian stang, roda bahkan menambahkan sistem otomatis pengoperasian traktor. Penelitian telah dilakukan Gunawan (2013), yaitu tentang modifikasi pengendali transmisi maju mundur otomatis pada traktor. Berdasarkan penelitian tersebut, waktu yang dihasilkan pergerakan traktor secara *autonomous* dan manual tidak jauh berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa kecepatan sistem bekerja hampir serupa dengan traktor yang dikendalikan manual oleh operator. Purbowaskito dan Telaumbanua (2019) telah melakukan studi mengenai simulasi sistem kontrol kecepatan *yaw* optimal berbasis filter Kalman-Bucy untuk traktor otonom. Didapatkan kesimpulan bahwa estimasi tingkat kesalahan *yaw* berkisar $\pm 0,05$ derajat/detik, membuktikan bahwa filter Kalman-Bucy menghasilkan hasil estimasi yang memuaskan.

2.2. Mikrokontroler Ardupilot

Mikrokontroler adalah sebuah sistem mikroprosesor dalam yang dibuat pada keping (*chip*) tunggal. Terdapat CPU, ROM, RAM, I/O, *Clock* dan peralatan internal lainnya dalam mikrokontroler yang sudah diberikan alamat dan terhubung dengan baik oleh pabrik pembuat dan dikemas dalam bentuk *chip* yang siap untuk digunakan. Sehingga pengguna memprogram isi ROM sesuai ketentuan penggunaan dari pabrik yang membuatnya (Winoto, 2008).

Ardupilot mega (APM) adalah kontroler yang berbasis dari Arduino Mega dan *flight controller* yang berbasis *open source*, yang ditunjukkan oleh Gambar 2. Modul ini dapat mengatur pesawat bersayap, helikopter, multirotor, maupun wahana yang berada di darat seperti kapal ataupun mobil. Ardupilot ini memiliki sistem kendali otomatis penuh untuk stabilisasi *waypoint based navigation*, dan komunikasi dua arah menggunakan telemetri (Zurkoni, 2016). Di dalam Ardupilot terdapat sensor *barometer*, *accelerometer*, *gyrometer* dan *magnetometer*, yang membaca data-data seperti data kemiringan, arah, dan kecepatan. Kemudian data tersebut diolah melalui *Proportional, Integral, Derivative* (PID) dan memberikan perintah pengendalian melalui aktuatur dengan percepatan yang disesuaikan dengan kebutuhan (Kurdianto, 2015).



Gambar 2. Ardupilot.
(Sumber: www.ardupilot.org)

Ardupilot Mega memiliki beberapa komponen, antara lain:

1). *APM Hardware*

Merupakan beberapa spesifikasi dan fitur Ardupilot mega. Ini adalah papan fisik yang berisi sensor dan pengolah. Perangkat keras bisa dianggap sebagai PC kecil yang menjalankan perangkat lunak *autopilot*.

2). *APM Firmware*

Firmware adalah kode yang berjalan di dalam board APM. Ada banyak basis *firmware* yang berbeda untuk dipilih. Bergantung pada kode apa yang dimuat, dapat menggunakan APM untuk mengendalikan pesawat terbang tetap, multi-rotor, helikopter dan juga *ground rover*.

3). *Software Ardupilot Mega*

Ardupilot Mega membutuhkan *software mission planner* untuk merencanakan misi, atau mengunggah *firmware* baru. *Mission planner* digunakan untuk menghubungkan antara laptop dengan Ardupilot mega (Saroinsong dkk., 2018).

Penelitian menggunakan Ardupilot telah dilakukan dilakukan (Permana dkk., 2018) yaitu tentang pembuatan *Unmanned Surface Vehicle* untuk mendeteksi pencemaran minyak di permukaan air menggunakan GPS dan Ardupilot Mega.

Hasilnya adalah navigasi pada Ardupilot mega mampu membuat kapal berjalan secara *autonomous* menuju titik *waypoint*. Penelitian menggunakan Ardupilot juga telah dilakukan (Walalangi dkk., 2018) mengenai implementasi pengendali PID pada pendaratan otomatis wahana pesawat terbang tanpa awak.

2.3. *Software Mission Planner*

Mission planner adalah *software* yang digunakan untuk memprogram Ardupilot dan untuk menghubungkan antara laptop dengan Ardupilot Mega. Selain itu *Software mission planner* dapat memantau status dari objek sistem kontrol baik kecepatan, ketinggian, jalur penjelajahan, status baterai, arah objek, dan lainnya. Dengan menambahkan perangkat telemetri pilot dapat melakukan pemantauan objek kendali secara *real time*, atau bahkan mengubah misi saat Ardupilot Mega sedang melakukan misi penjelajahan. *Software Mission planner* memiliki fitur-fitur yang cukup lengkap, diantaranya adalah *configuration* (fitur untuk menentukan parameter-parameter objek), *initial setup* (fitur untuk melakukan penginstalan *firmware* dan untuk mengkalibrasi perangkat) dan *flight* (fitur untuk menentukan misi objek). Tampilan *mission planner* dapat dilihat seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Tampilan *software Mission Planner*.

Berikut penjelasan masing- masing fitur tersebut:

a. *Flight Data*

Flight data merupakan fitur yang menampilkan data misi wahana secara *real time*. Melalui fitur ini pilot dapat memantau data misi wahana, yang berupa data ketinggian, kecepatan, koordinat, temperatur, arah jalannya objek dan lainnya. Fitur ini membantu pilot mengamati penjelajahan dan parameter wahana sehingga dapat menganalisis apakah telah sesuai dengan yang diinginkan atau tidak (Saroinsong dkk., 2018).

b. *Flight Planner*

Fitur *flight planner* memungkinkan pilot menentukan jalur perjalanan wahana tanpa harus mengendalikan alat secara langsung. Misi yang digunakan penerbangan berupa *waypoint* yang akan dilewati wahana ketika melakukan penerbangan. Dalam menentukan *waypoint*, pilot mengatur koordinat terbang, yaitu letak lintang dan bujur objek di permukaan bumi. Hal yang perlu diperhatikan dalam menentukan *waypoint* ialah radius *waypoint* tidak boleh terlalu besar sebab semakin besar radius maka tingkat keakuratan *waypoint* juga semakin berkurang (Saroinsong dkk., 2018).

c. *Configuration*

Fitur *configuration* pada *mission planner* memungkinkan pilot mengatur parameter-parameter objek kendali. Parameter yang telah diatur kemudian dimasukkan ke dalam *flight controller* sehingga *flight controller* akan bekerja sesuai dengan parameter-parameter tersebut. Parameter-parameter yang diatur melalui fitur *configuration* pada *mission planner* adalah sebagai berikut:

1. *Radio Calibration*

Merupakan parameter yang mengatur fungsi *radio control*. Pada menu ini pilot dapat mengatur kerja *radio control* sesuai dengan keinginan pilot.

2. *Flight Mode*

Merupakan parameter yang mengatur mode perjalanan wahana. Mode yang dilakukan antara lain *flight manual*, *Fly by wire (autolevel)*, dan *auto (waypoints)*. Mode yang digunakan merupakan optional, dapat dipilih sesuai dengan kebutuhan.

3. *Battery Monitor*

Merupakan parameter yang mengatur sumber tegangan baterai objek kendali. Pada menu ini pilot dapat mengatur tegangan serta arus yang dikeluarkan oleh baterai sesuai keinginan. Namun pengaturan keluaran tegangan serta arus biasanya otomatis dilakukan oleh *flight controller* sesuai dengan spesifikasi baterai dan komponen seperti ESC dan motor.

4. *Arduplane Level*

Merupakan parameter yang mengatur tipe alat objek kendali dan posisi level. Penentuan parameter ini perlu dilakukan agar objek berjalan dengan stabil dan sesuai dengan keinginan.

5. *Arduplane PID*

Merupakan parameter yang mengatur nilai PID sistem kontrol wahana pada *flight mode autopilot*. PID merupakan metode kontrol otomatis yang digunakan pada sistem kontrol otomatis (*autopilot*) wahana kendali. *Flight Mode Autopilot* yang nilai PID nya diatur melalui menu ini adalah *Fly by wire*, dan *waypoint navigation*.

6. *Arduplane Configuration*

Merupakan parameter yang mengatur nilai PID konfigurasi objek kendali. Konfigurasi pesawat terbang dalam hal ini adalah FBW *pitch*, FBW *roll*, FBW *yaw*, *roll rate*, *pitch rate*, *yaw rate*, *navigation waypoint*, *throttle rate* dan *altitude hold*.

7. *Standard Parameter*

Merupakan menu yang mengatur parameter standar *autopilot*, seperti *altitude*, *return to land*, *enable compass*, dan *low voltages*.

8. *Parameter List*

Merupakan menu yang menampilkan daftar dari keseluruhan parameter yang perlu diatur. Selain dari menu-menu di atas, parameter sistem kontrol *autopilot* juga dapat diatur melalui menu ini.

Dari berbagai macam keunggulan yang terdapat pada Ardupilot sistem *autopilot* ini dapat memandu wahana menjalankan misi monitoring karena dapat memudahkan pilot disaat *transmitter* yang digunakan pilot sudah tidak terjangkau

oleh *receiver* sehingga Ardupilot yang akan mengikuti perintah input dari pilot (Saroinsong dkk., 2018).

2.4. *Global Positioning System*

Global Positioning System (GPS) adalah sistem untuk menentukan letak di permukaan bumi dengan bantuan penyelarasan (*synchronization*) sinyal satelit seperti yang ditampilkan pada Gambar 4. Sistem yang serupa dengan GPS antara lain GLONASS Rusia, Galileo Uni Eropa, IRNSS India. Sistem ini dikembangkan oleh Departemen Pertahanan Amerika Serikat, dengan nama lengkapnya adalah NAVSTAR GPS (NAVSTAR) adalah nama yang diberikan oleh John Walsh, seorang penentu kebijakan penting dalam program GPS. Sistem ini menggunakan 24 satelit yang mengirimkan sinyal gelombang mikro ke Bumi. Cara kerja sistem ini menggunakan sejumlah satelit yang berada di orbit bumi yang memancarkan sinyalnya ke bumi dan ditangkap oleh sebuah alat penerima. Sinyal dari satelit ini diterima oleh GPS *receiver* untuk dapat mengetahui posisi objek. Untuk dapat menentukan lokasi GPS *receiver* minimal harus menerima informasi minimal dari 4 satelit tersebut, apabila sinyal satelit kurang dari 6 maka GPS akan cenderung memiliki akurasi yang buruk (Witte, 2004). GPS *receiver* harus berada dalam *line-of sight* (LoS) terhadap ketiga satelit untuk menentukan posisi, sehingga GPS hanya ideal jika digunakan pada ruang terbuka atau minim halangan (*outdoor positioning*).



Gambar 4. *Global Positioning System*.
(Sumber: Firdaus dan Ismail, 2020).

Saat ini, *Global Positioning System* (GPS) banyak digunakan sebagai alat penentu posisi modern baik itu di udara (Brodin dkk., 2005; Krasuski dkk., 2020; Krasuski dan Savchuk, 2020), tanah (Zandbergen dan Barbeau, 2011; Sun dkk., 2017; Merry and Bettinger, 2019; Elhaj dan Ochieng, 2020; Robustelli dkk., 2021) dan air (Ramesh dkk., 2016; Bhatti dan Humphreys, 2017; Glomsvoll dan Bonenberg, 2017). Kualitas sinyal yang diterima oleh GPS *receiver* selama pengumpulan data mempengaruhi akurasi GPS. Akurasi GPS juga dipengaruhi oleh faktor penutupan area (Williams dan Morgan, 2009; Firdaus dkk., 2020), cuaca pada waktu digunakan (Abidin, 2008), kualitas *receiver* (Abidin, 2008), dan jumlah sinyal satelit yang diterima GPS (Ikbal dkk., 2017). Selain itu akurasi GPS juga dipengaruhi oleh bagaimana pengukurannya (Specht, 2010; Śniegocki dkk., 2014).

Penelitian telah dilakukan oleh Firdaus dan Ismail (2020), yaitu mengenai komparasi akurasi *Global Positioning System* (GPS) *receiver* U-blox Neo-6M dan U-blox Neo-M8N pada Navigasi *Quadcopter*. Hasil dari penelitian tersebut yaitu akurasi GPS *receiver* U-blox Neo-6M memiliki penyimpangan rata-rata 1,75 m dan GPS *receiver* U-blox Neo-M8N memiliki penyimpangan rata-rata 8,7 m. GPS Neo-M8N lebih cepat mendapatkan data valid dari satelit daripada GPS U-blox Neo-6M. Namun kedua GPS tersebut memiliki TIFP yang sama yaitu selama kurang lebih 2 menit. Penelitian serupa dilakukan oleh Saputra dan Rivai (2018), mengenai pembuatan kapal otomatis sebagai alat pemantau lingkungan menggunakan metode akurasi *waypoint*. Hasil penelitian yaitu sistem navigasi *waypoint* memiliki kesalahan rata-rata sebesar 2 m dari modul GPS *receiver* U-blox M8N.

2.5. Telemetri

Telemetri merupakan sebuah teknologi berfungsi untuk melakukan pengukuran jarak jauh dan pemrosesan informasi pada jaringan (Yu, 2019). Menurut Susanto (2013), telemetri merupakan pengukuran parameter suatu objek (benda, ruang, kondisi alam) yang hasil pembacaan informasi dikirimkan ke suatu tempat lain melalui proses pengiriman data secara nirkabel maupun dengan menggunakan

kabel. Kata telemetri berasal dari akar bahasa Yunani *tele* = jarak jauh, dan *metron* = pengukuran. Secara istilah telemetri merupakan sebuah teknologi yang mampu melakukan pengukuran jarak jauh dengan memanfaatkan telekomunikasi dan sistem komputer untuk pengaksesan data di beberapa zona penyelidikan. Telemetri merujuk pada komunikasi nirkabel. Contohnya menggunakan sistem radio untuk mengimplementasikan hubungan data, tetapi juga dapat merujuk pada data yang dikirimkan melalui media lain, seperti telepon atau jaringan komputer atau melalui sebuah kabel optik atau ketika membuat robot (Saroinsong dkk., 2018). Modul telemetri ditunjukkan oleh Gambar 5. Kebanyakan telemetri yang digunakan Ardupilot adalah dengan frekuensi 915 MHz. Angka 915 MHz frekuensi *carrier wave* atau frekuensi gelombang pembawa yaitu adalah berbentuk gelombang sinusoidal yang dimodulasi untuk mengirim informasi jarak jauh yang disalurkan ke udara (Wikipedia, 2022).



Gambar 5. Telemetri.
(Sumber: Ardupilot, 2022).

Prinsip kerja telemetri yaitu, sensor akan mendeteksi perubahan dari objek yang akan diukur, sensor akan memberikan data berupa hasil pengukuran yang telah di sensor pada objek tertentu, kemudian data akan di *encoder*, kemudian data informasi tersebut akan dimodulasi dan kemudian dipancarkan oleh *transmitter*, sinyal informasi yang telah dipancarkan tersebut kemudian diterima oleh *receiver*, data yang telah diterima tersebut kemudian di demodulasi atau dipisahkan dari frekuensi *carrier* nya, kemudian masuk di *decoder*, dan kemudian ditampilkan di media penerima seperti *display* atau PC.

Pada penggunaan di Ardupilot, RF telemetri atau radio frekuensi terdiri dari *transmitter* dan *receiver* yang berfungsi untuk komunikasi data dari *flight controller* ke-*ground station*. Proses transfer data menggunakan gelombang radio berfrekuensi tertentu. Berbeda dengan *radio control*, *transmitter* pada RF Telemetri dipasang pada *flight controller* objek, sedangkan *receiver* disambung ke-*ground station*. Gelombang yang dipancarkan oleh *transmitter* diterima oleh *receiver* kemudian diterjemahkan dan ditampilkan melalui *ground station* sehingga data objek dapat dipantau melalui *ground station*. Penelitian telah dilakukan oleh Permana dkk. (2018), yaitu tentang pembuatan *Unmanned Surface Vehicle* untuk mendeteksi pencemaran minyak di permukaan air menggunakan Ardupilot Mega. Untuk berkomunikasi antara kapal dengan *ground control station* menggunakan telemetri. Hasilnya yaitu sistem komunikasi antara kapal dengan *ground control station* menggunakan modul radio telemetri untuk transmisi data navigasi memiliki jarak pantau maksimal sejauh ± 600 meter.

2.6. Motor Servo

DC motor servo adalah motor yang dapat bekerja dua arah dengan pergeseran sudut sebesar 90° sehingga sudut maksimum dari kiri ke kanan sebesar 180° . Motor servo dilengkapi dengan sistem pengontrol. Sistem pengkabelan pada motor servo terdapat tiga bagian, yaitu VCC, GND, dan kontrol (PWM= *Pulse Width Modulation*) sehingga arah dan sudut pergerakan servo dapat diatur pada posisi tertentu kemudian berhenti. Pengontrolan servo dengan cara memberikan pengaturan *duty cycle* sinyal PWM pada bagian pin kontrolnya (Hilal dan Manan, 2013). Sistem ini memberikan umpan balik posisi perputaran motor dari 0 sampai 180 derajat. Motor servo memiliki torsi yang cukup kuat sehingga sering digunakan untuk mengangkat beban dengan bobot cukup berat. Frekuensi PWM yang digunakan pada pengontrolan motor servo adalah sebesar 50 Hz sehingga setiap 20 ms pulsa dihasilkan.

Lebar pulsa mempengaruhi sudut dari sumbu motor servo yang dikirim melalui kaki sinyal dari kabel motor. Pemberian pulsa servo selebar 1,5 ms akan menyebabkan servo berada pada posisi netral (90°). Semakin lebar pulsa OFF

maka akan semakin besar gerakan sumbu ke arah jarum jam dan semakin kecil pulsa OFF maka akan semakin besar gerakan sumbu ke arah yang berlawanan dengan jarum jam (Giant dkk., 2015). Sistem Mekanik Motor Servo tampak pada Gambar 6. Secara lebih rinci dapat digambarkan bahwa sebuah motor servo memiliki:

- a. Tiga buah kabel yaitu *vcc*, *ground*, dan kontrol
- b. Sinyal kontrol mengendalikan posisi
- c. Operasional dari servo motor dikendalikan oleh sebuah pulsa selebar ± 20 ms, lebar pulsa antara 0,5 ms dan 2 ms menyatakan akhir dari range sudut maksimum.
- d. Konstruksi di dalamnya meliputi *internal gear*, *potensiometer*, dan *feedback control*. (Hilal dan Manan, 2013).



Gambar 6. Motor Servo.
(Sumber: Nugraha, 2019)

Motor Servo merupakan sebuah motor DC yang memiliki rangkaian kontrol elektronik dan internal gear untuk mengendalikan pergerakan dan sudut angularnya (Hilal dan Manan, 2013). Motor servo JX-PDI HV2060MG adalah servo yang dapat mengangkat beban sebesar 60 kg/cm. Motor servo ini dapat beroperasi pada tegangan sebesar 6,0 – 7,4 volt dengan arus DC. Kemampuan kecepatan yang dimiliki servo ini yaitu 0,15 detik/60° dengan tegangan 6 volt dan 0,13 detik/60° dengan tegangan 7,4 volt. Berdasarkan penelitian yang dilakukan (Nugraha, 2019) menyatakan bahwa rata-rata kecepatan respons servo yang dipasang pada tuas kopling kanan dan kiri traktor tangan sebesar 1,34 detik dan 1,28 detik.

Penelitian menggunakan motor servo telah dilakukan (Sembiring dan Ramadhan, 2018), yaitu mengenai penggunaan motor servo sebanyak 2 buah untuk mengendalikan buka tutup kunci berbasis Arduino Uno. Penggunaan servo juga telah dilakukan oleh Anwar (2018), yaitu tentang penggunaan motor servo sebagai pengendali sirip roket yang berfungsi untuk mengatur arah dari roket. Penelitian lain telah dilakukan oleh Hilal dan Manan (2013), yaitu mengenai pemanfaatan motor servo sebagai penggerak CCTV untuk melihat alat-alat monitor dan kondisi pasien di ruang icu.

2.7. Akumulator

Akumulator (aki) pertama kali ditemukan oleh ahli fisika Prancis, bernama Gaston Plante pada tahun 1859. Aki adalah sebuah alat yang dapat menerima, menyimpan dan mengeluarkan energi listrik, melalui proses kimia. Setiono (2015) menyatakan aki merupakan sebuah sumber arus listrik searah yang dapat mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Aki termasuk elemen elektrokimia yang dapat mempengaruhi zat pereaksinya, sehingga disebut elemen sekunder. Aki ditunjukkan oleh Gambar 7.



Gambar 7. Akumulator.

Menurut Setiono (2015), aki dapat digolongkan menjadi beberapa jenis, yaitu:

1. Aki Basah

Aki basah ini paling banyak digunakan pada kendaraan bermotor, berisi cairan asam belerang yang dapat ditambahkan pada lubang-lubang kotak aki. Cairan ini dapat berkurang, sebab selama aki digunakan terjadi reaksi

kimia di dalamnya dengan sel aki, menyebabkan cairan menjadi berkurang.

2. Aki *Hybrid*

Konstruksi sama dengan aki basah, hanya perbedaan pada material komponen sel. Aki *Hybrid* menggunakan bahan *Low-Antimonial* pada elektrode positif dan kalsium pada elektrode negatif. Keuntungan relatif lebih ringan daripada aki basah. Kekurangan memiliki tingkat pengosongan yang besar (0,5 s/d/ 0,6 %) per hari.

3. Aki Kalsium

Aki kalsium menggunakan bahan kalsium, baik katode maupun anode. Keuntungan dari penggunaan aki ini adalah:

- a. Performa yang baik, dibandingkan aki *Antimonial* dan *Hybrid*
- b. Mempunyai daya tahan / usia pakai yang lama
- c. Tingkat pengosongan yang paling kecil (0,1 s/d 0,2 %) per hari

4. Aki Kering

Aki kering menggunakan kalsium pada anode dan katode, dengan penyekat berupa jaring (net) yang dapat menyerap cairan elektrolit. Cairan elektrolit berupa gel, dengan kemasan yang tertutup rapat. Ketika terjadi penguapan, gas alam diserap oleh net tersebut, sehingga tidak terjadi pengurangan jumlah elektrolit.

2.8. Rujukan Penelitian

Rujukan penelitian bertujuan untuk menambah wawasan penulis dan menjadi landasan pengambilan judul penelitian. Proses ini dilakukan untuk menambah wawasan penulis melalui penelitian yang dinilai relevan dengan penelitian yang akan dilakukan. Desain sistem kendali *autopilot* traktor tangan merupakan salah satu inovasi teknologi dalam pengendalian traktor. Penelitian dilakukan dengan merujuk pada penelitian penelitian dahulu yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rujukan Penelitian

No	Penulis	Judul	Hasil
1	Firdaus dan Ismail, 2020	Komparasi Akurasi Global <i>Positioning System</i> (GPS) <i>Receiver</i> U-blox Neo-6M dan U-blox Neo-M8N pada Navigasi <i>Quadcopter</i>	Rata-rata akurasi GPS <i>receiver</i> U-blox Neo-6M sebesar 1,75 m dan Neo-M8N sebesar 8,7 m.
2	Saputra dan Rivai, 2018	<i>Autonomous Surface Vehicle</i> sebagai Alat Pemantau Lingkungan Menggunakan Metode Navigasi <i>Waypoint</i>	ASV mampu bergerak secara otomatis menuju <i>waypoint</i> yang ditentukan dengan kesalahan posisi sebesar 2 m.
3	Hidayat, 2009	Rancang bangun sistem kendali <i>Quadrotor</i> untuk kesetimbangan posisi dengan PID	Skema pengendali PID dapat mengendalikan <i>Quadrotor</i> dengan hasil yang cukup memuaskan.
4	Permana dkk., 2018	<i>Unmanned Surface Vehicle</i> untuk Mencari Lokasi Tumpahan Minyak Menggunakan Ardupilot Mega	Navigasi pada Ardupilot dapat mengendalikan kapal secara <i>autopilot</i> menuju titik <i>waypoint</i> yang ditentukan. Jarak pantau telemetri hingga 600 m.
5	Saroinsong, H.S. dkk., 2108	Rancang Bangun Wahana Pesawat Tanpa Awak (<i>Fixed Wing</i>) Berbasis Ardupilot	Telemetri dapat mengunggah informasi ke Ardupilot. Untuk mengaktifkan mode <i>auto</i> pesawat harus pada posisi tertentu.
6	Negara dan Laksono, 2017	Perancangan kendali robot pada <i>smartphone</i> menggunakan sensor <i>accelerometer</i> berbasis metode <i>fuzzy logic</i>	Pengendali <i>Fuzzy Logic</i> Sugeno lebih baik daripada pengendali <i>Fuzzy Logic</i> Mamdani, dan semakin jauh jarak pengendalian respons semakin lambat.
7	Sugiharto dan Windiyanti, 2017	Rancang bangun robot pengintai dengan kendali Android	Robot mobil dapat dikendalikan menggunakan <i>smartphone</i> menggunakan koneksi <i>bluetooth</i>
8	Telaumbanua dkk., 2022	<i>Performance Comparison of the Implementations of Single Row Power Weeder (Single Engine) and Multi-Row Power Weeder (Twin-Engine) in Rice Field</i>	Tingkat keberhasilan penyiangan weeder mesin tunggal dan mesin ganda 64,41% dan 59,77%, efisiensi 82,48% dan 64,87%, kerusakan tanaman adalah 15 dan 31.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret 2021 sampai bulan Januari 2022 di Jurusan Teknik Pertanian dan Laboratorium Lapangan Terpadu, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

3.2. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu traktor tangan Quick G1000 Boxer, solder listrik, laptop Dell latitude E5410, *software* AutoCAD, alat tulis, *smartphone*, beban penyetabil, kunci pas, obeng, *digital multimeter*, dan meteran.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu, Ardupilot Mega 2.8, *Global Position System* (GPS) U-blox 7M, telemetri 915 MHz, servo tipe Jx Servo PDI - HV2060MG, *software mission planner*, kotak panel kendali, kotak plastik, aki, kabel *jumper*, papan rangkaian, tali, dan timah solder.

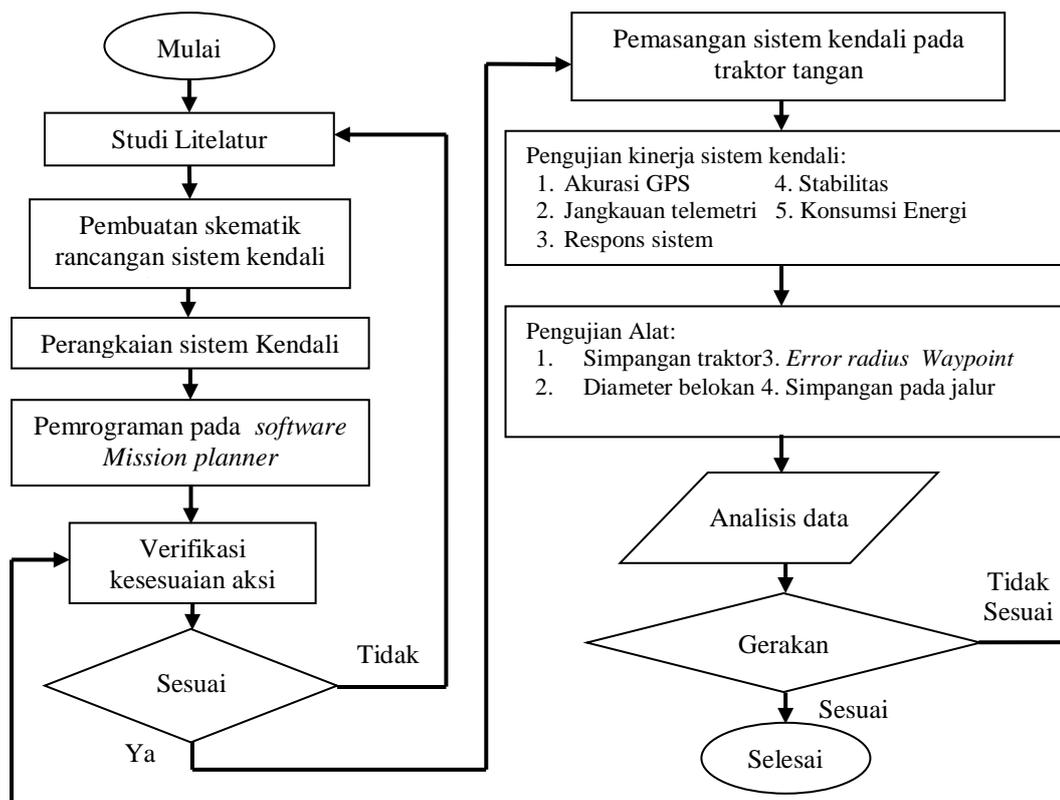
3.3. Kriteria Desain

Sistem kendali ini dirancang untuk dapat mengendalikan pergerakan traktor tangan ke kiri dan ke kanan secara *autopilot*. *Mission planner* digunakan sebagai *software* untuk memprogram mikrokontroler untuk mengontrol servo dan menentukan jalur yang akan dilalui traktor tangan yang bertujuan untuk menjalankan dan mengendalikan traktor tangan maju, serta berbelok ke kiri dan ke kanan. Pemberian informasi perintah dari laptop dengan perangkat telemetri yang akan diterima oleh telemetri pada mikrokontroler kemudian informasi akan diproses oleh mikrokontroler untuk memberikan suatu aksi pada aktuator. Sistem

kendali ini diharapkan dapat monitoring pergerakan traktor tangan dengan menggunakan telemetri pada jarak maksimal 200 meter dan dapat bergerak sesuai dengan *waypoint* yang telah ditetapkan, dengan kecepatan pembajakan 3-5 km/jam.

3.4. Prosedur Penelitian

Penelitian merupakan perancangan sistem kendali traktor otomatis dengan menggunakan GPS dan mikrokontroler Ardupilot. Perancangan dilakukan dengan beberapa tahapan yaitu, studi kepustakaan dengan mencari informasi yang dapat menunjang dan menambah referensi penelitian, pembuatan skematik rangkaian menggunakan aplikasi *Fritzing*, pemrograman Ardupilot menggunakan *software mission planner*, perakitan komponen-komponen sistem kendali, pengujian sistem kendali, pemasangan sistem kendali ke traktor, pengujian traktor Quick G1000 Boxer menggunakan sistem kendali, dan analisis data. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada diagram Gambar 8.



Gambar 8. Diagram alir penelitian.

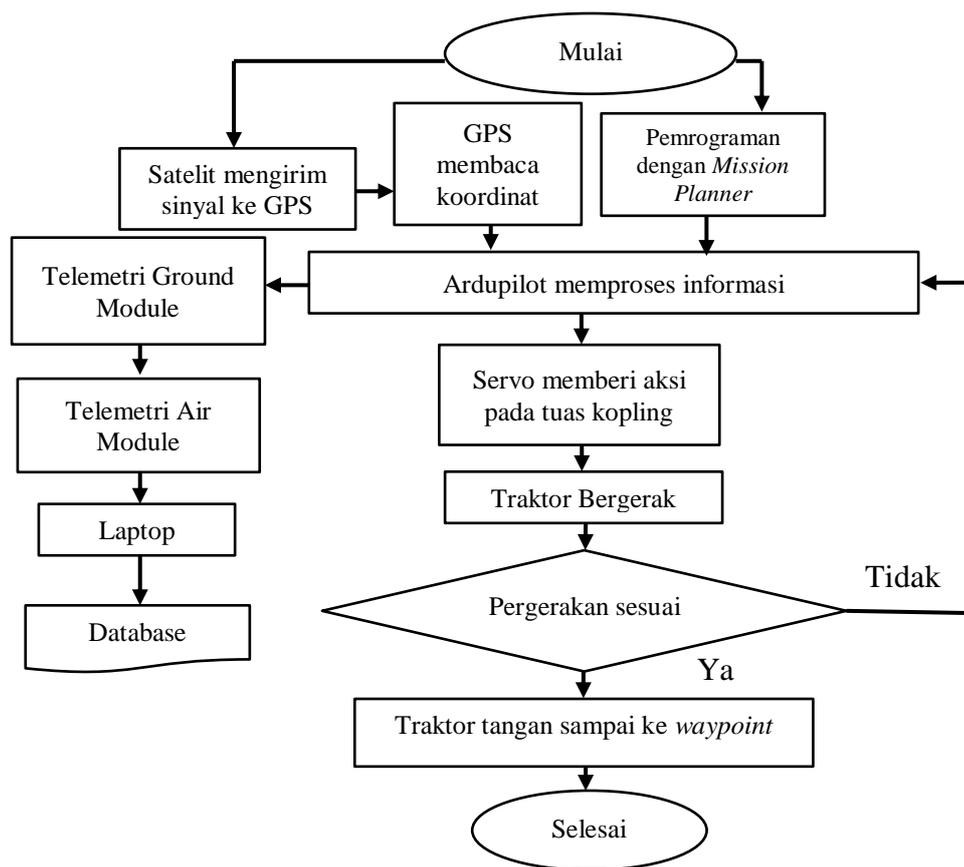
3.4.1. Studi Kepustakaan

Tahapan pertama dalam penelitian ini adalah melakukan studi kepustakaan. Studi pustaka ini dilakukan dengan mencari informasi yang dapat menunjang penelitian berupa referensi yang didapat melalui buku, jurnal, majalah, *website*, dan video dari youtube. Informasi yang dicari dalam proses pembuatan alat ini adalah cara menggunakan *software mission planner* untuk pemrograman Ardupilot, cara kalibrasi Ardupilot, spesifikasi bahan yang digunakan, dan bagaimana pemasangan aktuator ke pin-pin pada Ardupilot.

3.4.2. Perancangan Struktural

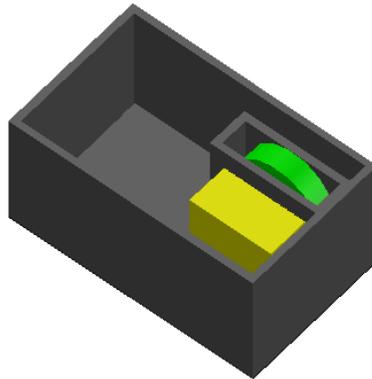
Rancangan struktural merupakan gambaran desain berupa skematik rangkaian sistem kendali serta tata letaknya pada traktor tangan. Kegiatan perancangan ini meliputi pembuatan skematik sistem kendali traktor tangan, perangkaian komponen ke Ardupilot, dan pemasangan aktuator penggerak ke stang traktor tangan. Setelah aktuator terpasang dilakukan pengecekan secara teliti (verifikasi rangkaian). Hal ini bertujuan untuk mencegah terjadinya kesalahan rangkaian dan kegagalan kerja sistem kendali. Skema rangkaian dapat dilihat pada Gambar 58 dan Gambar 59 dalam lampiran.

Pada tahap perakitan komponen, GPS dan telemetri dihubungkan dengan Ardupilot. Telemetri berfungsi untuk mengirimkan perintah program dari *software mission planner* pada laptop ke Ardupilot. GPS berfungsi memberikan informasi mengenai titik koordinat traktor sebagai acuan posisi sistem kendali traktor tangan. Servo kemudian melakukan aksi dengan menarik tuas kopling pada traktor tangan. Sehingga traktor dapat berjalan sesuai jalur yang telah ditentukan. Diagram alir kerja sistem kendali dapat dilihat pada Gambar 9. Servo yang digunakan untuk menarik tuas kopling traktor sebanyak 2 buah. Kedua servo ditempatkan masing masing diatas stang traktor dan dikencangkan menggunakan baut dan mur. Kotak sistem kendali diletakkan di atas traktor dan dikencangkan dengan baut dan mur. Seluruh komponen di tempatkan di dalam kotak sistem kendali. Rancangan penempatan komponen pada traktor tangan ditunjukkan oleh Gambar 60 dalam lampiran.



Gambar 9. Cara kerja sistem kendali traktor tangan.

Servo ditempatkan dalam wadah plastik berwarna hitam dengan ukuran 18x11x9. Pada servo terdapat sebuah *pulley* yang terbuat dari kayu berukuran diameter 12 cm. Terdapat tali yang terhubung ke *pulley* yang bertujuan untuk mempermudah penarikan tuas kopling pengendalian pada traktor tangan. Desain servo, *pulley* dan penempatan kotak didasarkan pada penelitian Nugraha (2019), tentang desain desain remot kontrol untuk setir traktor berbasis aplikasi *bluetooth* Android. Servo dan kotak yang digunakan diilustrasikan oleh Gambar 10. Kotak servo dilengkapi dengan pengencang yang terbuat dari besi. Fungsi dari dudukan ini adalah untuk menahan getaran yang dihasilkan oleh traktor sehingga kotak dalam posisi tetap konstan dan tidak jatuh. Fungsi lain dari dudukan ini adalah untuk mempermudah pemasangan kotak servo pada traktor tangan .



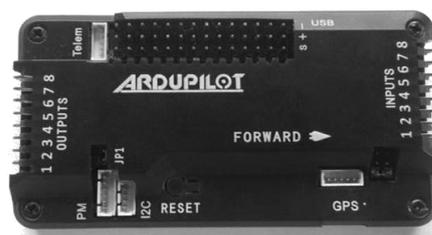
Gambar 10. Desain kotak servo yang digunakan.

3.4.3. Rancangan Fungsional

Rancangan fungsional merupakan gambaran fungsi dari masing komponen alat. Pada perancangan ini dibuat sebuah desain sistem kendali traktor yang dapat bekerja secara *autopilot* melintasi *waypoint* yang ditentukan dan dapat dikendalikan secara manual menggunakan *joystick*. Komponen pada alat ini yaitu, Ardupilot mega 2.8, servo, GPS, telemetri 915 MHz, aki 12 volt, dan *step down* DC. Secara rinci dijabarkan sebagai berikut:

a. Mikrokontroler Ardupilot Mega 2.8

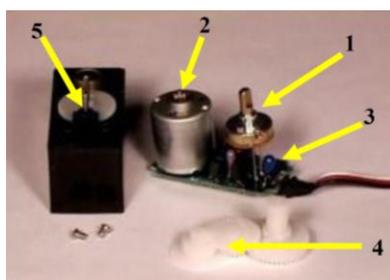
Mikrokontroler adalah suatu alat yang digunakan sebagai pusat pengendalian suatu sistem. Komponen ini dapat menerima informasi dari sensor dan memproses informasi yang diterima untuk mengambil suatu keputusan berupa aksi yang diperintahkan ke aktuator. Ardupilot digunakan untuk membuat traktor tangan dapat bekerja secara *autopilot*. Pada penelitian ini menggunakan mikrokontroler Ardupilot Mega 2.8 seperti yang ditampilkan oleh Gambar 11.



Gambar 11. Ardupilot Mega 2.8.

b. Servo JX-PDI HV2060MG

Servo terdiri dari beberapa komponen inti yaitu motor DC, *Drive gears*, rangkaian kontrol, *Output Spline*, dan potensiometer yang dapat dilihat pada Gambar 12. Potensiometer berfungsi mengatur sudut pergerakan putaran sudut pada servo. Servo yang digunakan bertipe JX-PDI HV2060MG. Servo ini dapat melakukan gerakan sudut 0° sampai 180° dan beroperasi dengan arus DC pada tegangan sebesar 6 – 7,4 volt. Motor servo ini mampu mengangkat beban seberat 60 kg/cm (Nugraha, 2019). Servo ini digunakan untuk mengendalikan arah traktor dengan cara menarik tuas kopleng pada traktor tangan.



Keterangan:

1. Potensiometer
2. Motor
3. *Control Circuit*
4. *Drive gears*
5. *Output Spline*

Gambar 12. Komponen motor servo.
(Sumber: Satria, 2017)

c. GPS

GPS merupakan suatu sistem yang dapat memberikan informasi posisi geografis, kecepatan, arah dan waktu dengan menggunakan 24 satelit yang mengirimkan sinyal gelombang mikro ke bumi. Pada penelitian ini menggunakan modul GPS U-blox 7M seperti yang ditampilkan oleh Gambar 13. GPS ini berfungsi untuk memberikan informasi letak geografis sistem kendali traktor tangan dan ditampilkan oleh peta pada *mission planner*.



Gambar 13. GPS U-blox 7M.

d. Telemetry

Telemetry merupakan sebuah teknologi yang dapat digunakan untuk pengukuran jarak jauh serta pengiriman informasi kepada operator sistem. Pada penelitian ini menggunakan jenis *FPV Radio Telemetry* 915 MHz. Telemetry pada sistem kendali traktor tangan ini digunakan untuk berkomunikasi dan untuk menyampaikan informasi pada sistem kendali traktor tangan yang ditampilkan pada *software mission planner*. Telemetry yang digunakan pada penelitian ini seperti yang ditampilkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Telemetry 915 MHz.

Tabel 2. Spesifikasi telemetry

Spesifikasi	Keterangan
<i>frequency band</i>	915MHz
<i>Transmit power</i>	<i>up to 20 dBm (100 mW)</i>
<i>Air data rates</i>	<i>up to 250 kbps</i>
<i>Built in error correcting code</i>	<i>up to 25% data bit errors</i>
<i>firmware</i>	<i>Open source</i>
<i>Receiver</i>	to -121 dBm

(Ardupilot, 2022).

e. Aki 12 V

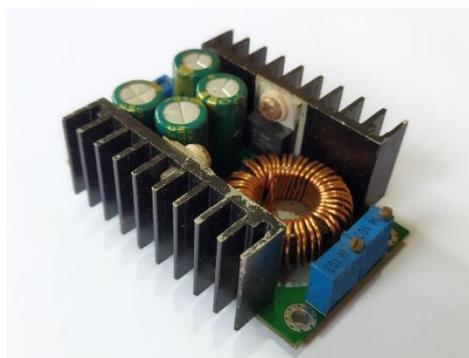
Komponen yang berfungsi mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Aki yang digunakan adalah aki 12 volt seperti pada Gambar 15. Aki ini terdiri dari kutub positif yang menggunakan lempeng oksida, kutub negatif yang menggunakan lempeng timbal dan larutan elektrolit di dalam aki yaitu asam sulfat (Nugraha, 2019). Aki pada penelitian ini digunakan sebagai sumber energi listrik yang menyuplai sistem kendali.



Gambar 15. Aki.

f. *Step Down* DC

Modul *step down* DC (Gambar 16) adalah alat untuk menurunkan tegangan listrik DC. Output tegangan dapat diatur dengan cara memutar potensiometer pada *step down*. *Step Down* dalam penelitian ini digunakan untuk menurunkan tegangan aki 12 V menjadi 7 V. Selain menurunkan tegangan, *step down* berfungsi untuk menstabilkan tegangan yang dialirkan ke servo.



Gambar 16. *Step Down* DC.

3.4.4. Pemrograman

Tahapan selanjutnya adalah pemrograman Ardupilot. Pemrograman ini dilakukan menggunakan *software mission planner*. *Mission planner* adalah *software* atau aplikasi untuk memprogram mikrokontroler Ardupilot. Pada aplikasi ini diatur jalur atau *waypoint* untuk pergerakan sistem kendali traktor. Servo yang digunakan untuk menarik tuas kopling traktor tangan di atur sudut serta arah pergerakannya, perintah yang diberikan oleh Ardupilot ke servo dapat bekerja

dengan tepat. Telemetri digunakan sebagai alat komunikasi antara laptop dengan Ardupilot.

3.5. Mekanisme Kerja

Sistem kendali traktor tangan ini dibuat supaya dapat bekerja menggerakkan traktor tangan secara *autopilot*. Pertama pastikan GPS, telemetri, dan motor servo telah terhubung dengan Ardupilot. Kemudian koneksikan Ardupilot dengan laptop menggunakan jaringan telemetri. Telemetri akan mengirimkan program berupa perintah misi perjalanan sistem kendali traktor tangan ke Ardupilot. Saat sistem berjalan telemetri mengirimkan informasi dari Ardupilot yaitu berupa jarak, kecepatan, dan arah pergerakan traktor tangan, kemudian ditampilkan oleh *software mission planner*. Mikrokontroler kemudian mengolah informasi lalu memberikan perintah aksi gerakan kepada aktuator.

Traktor tangan akan bergerak maju saat dihidupkan. Saat traktor bergerak, sistem kendali akan berusaha untuk menyesuaikan arah pergerakan traktor tangan dengan perintah jalur misi perjalanan dengan cara memberikan perintah pergerakan motor servo. Motor servo dipasang pada bagian kiri dan kanan stang kendali traktor tangan. Motor servo dihubungkan dengan tuas kopling traktor tangan dengan benang nilon, sehingga servo dapat mengangkat kopling supaya traktor tangan dapat bergerak ke kiri atau ke kanan.

Pada saat traktor tangan menyimpang ke kanan dari jalur misi perjalanan, maka Ardupilot akan memerintahkan servo pada stang kendali traktor bagian kiri untuk menarik tuas kopling sehingga traktor dapat bergerak ke kiri. Jika traktor tangan menyimpang ke kiri dari jalur misi perjalanan, maka Ardupilot akan memerintahkan servo pada stang kendali traktor bagian kanan untuk menarik tuas kopling sehingga traktor dapat bergerak ke kanan. Hal ini bertujuan untuk mengarahkan traktor menuju *waypoint*.

3.6. Pengujian Sistem Kendali

Sistem kendali yang telah berhasil dibuat dilakukan pengujian untuk mengetahui bagaimana traktor dapat bekerja secara mode *autopilot* dan manual dengan pengujian beberapa parameter yang ditentukan. Pengujian sistem yaitu berupa analisis kinerja sistem kendali. Parameter yang digunakan yaitu stabilitas sistem kendali, akurasi GPS, jarak jangkauan dan kekuatan sinyal telemetri, respons sistem, dan konsumsi energi.

3.6.1. Stabilitas Sistem Kendali

Traktor saat dinyalakan menimbulkan getaran yang dapat menggeser dari rangkaian sistem kendali. Maka dari itu stabilitas dari pengendalian sangat dipengaruhi oleh kemantapan pada pemasangan sistem kendali pada traktor. Dalam Kamus Besar Bahasa Indonesia, stabilitas berarti tetap, tidak berubah-ubah, dan tidak goyah (KBBI, 2022). Stabilitas dapat dikatakan buruk apabila respons dari sistem menyimpang dengan perintah yang diberikan sebelumnya. Pengukuran stabilitas dilakukan dengan cara menggerakkan servo pada mode manual (*remot joystick*) sebanyak 3 kali perintah dan 3 kali ulangan dengan pengukuran setiap penambahan jarak 25 meter. Sistem dikatakan stabil apabila pergerakan servo tidak kurang dari 9 kali. Apabila sistem kendali dapat terpasang dengan kokoh pada traktor diharapkan pengendalian traktor dapat berjalan stabil sesuai dengan perintah.

3.6.2. Respons Sistem

Pengujian respons sistem adalah untuk mengetahui lama servo dalam menuntaskan tugas penarikan tuas kopling traktor tangan. Berdasarkan domain waktu respons sistem dibagi menjadi dua yaitu respons *steady state* dan respons *transient*. Respons *transient* merupakan keadaan sistem memulai kerja hingga terjadi perubahan hingga keadaan *steady state* (Tirono dan Nayiroh, 2008). Pengujian respons sistem dilakukan dengan cara memerintahkan servo untuk menarik tuas kopling traktor pada mode manual (*joystick*). Pengukuran respons dilakukan menggunakan *stopwatch smartphone*, dari pada saat penekanan tombol

hingga servo selesai menarik kopling. Masing-masing servo dilakukan pengukuran sebanyak 3 kali ulangan.

3.6.3. Pengujian Jarak Jangkauan Telemetry

Pada penelitian ini dilakukan pengujian jarak yang bertujuan untuk mengetahui seberapa jauh jangkauan telemetry. Telemetry adalah suatu teknologi yang berfungsi untuk melakukan komunikasi dengan Ardupilot serta untuk pengukuran jarak jauh dan memproses informasi secara *real time* (Yu, 2019). Pada penelitian ini digunakan telemetry radio dengan frekuensi 915 MHz. Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI, 2022), jarak merupakan ruang sela (panjang atau jauh) antara dua benda atau tempat. Jarak sistem kendali dengan *Ground station* diukur dengan bantuan metode pengukuran menggunakan *waypoint* setiap penambahan jarak 25 meter dan dilakukan pencatatan sebanyak 3 kali dalam setiap kali penambahan jarak pengujian.

3.6.4. Pengujian Akurasi GPS

Pengujian akurasi GPS bertujuan untuk mengetahui penyimpangan lokasi geografis yang ditunjukkan GPS dengan lokasi yang sebenarnya. Pengujian dilakukan dengan membawa GPS U-blox 7M melintasi garis pada lapangan parkir Gedung Serba Guna Universitas Lampung. Pengujian akurasi GPS dilakukan saat cuaca cerah. Ada beberapa cara untuk mengukur akurasi GPS. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Azmi dkk. (2021), yaitu menggunakan *software* ArcGIS untuk mengukur akurasi. Pada penelitian ini pengukuran simpangan GPS dilakukan dengan cara membandingkan dari hasil lintasan GPS yang terekam pada *mission planner* dengan jalur sesungguhnya. Untuk mendapatkan nilai rerata pergeseran atau deviasi jarak koordinat yang terukur dengan koordinat sebenarnya, digunakan persamaan:

$$\bar{d} = \frac{\sum d}{n} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

1. \bar{d} = rerata deviasi jarak (meter)
2. d = jarak (meter)
3. n = jumlah sampel pengukuran

\bar{d} adalah nilai rerata deviasi jarak (meter), d adalah sampel perbedaan jarak antara koordinat saat pengukuran dengan koordinat sebenarnya (meter), sedangkan n adalah banyaknya sampel pengukuran (Firdaus dan Ismail, 2020).

3.6.5. Konsumsi Energi

3.6.5.1. Tegangan Listrik (V)

Tegangan listrik adalah energi yang dibutuhkan untuk memindahkan unit muatan listrik dari suatu tempat ke tempat lainnya. Tegangan juga diartikan sebagai beda potensial listrik antara titik satu dengan titik lainnya dalam rangkaian listrik (Fauzi, 2012). Tegangan listrik dinyatakan dalam satuan Volt dan disimbolkan dengan huruf V. Pada penelitian ini menggunakan tegangan listrik arus DC yang disimpan dan disuplai oleh aki. Pengukuran tegangan bertujuan untuk mengetahui nilai tegangan servo pada saat bekerja menarik tuas kopling traktor.

3.6.5.2. Arus Listrik (A)

Kuat arus listrik adalah banyaknya muatan listrik yang mengalir pada suatu penghantar tertentu dalam satuan waktu. Kuat arus listrik dilambangkan dengan I yang dinyatakan dalam satuan ampere (A). Arus listrik digolongkan menjadi dua jenis, yaitu arus AC (bolak-balik) dan Arus DC (searah) (Dinata dan Sunanda, 2015). Pengukuran kuat arus dimaksudkan untuk mengetahui arus listrik yang digunakan dalam perhitungan jumlah konsumsi daya aktuator pada suatu beban. Untuk mengukur arus listrik pada penelitian ini digunakan alat multimeter.

3.6.5.3. Daya

Daya pada pengertian ini adalah konsumsi daya listrik yang digunakan (Akagi, 2017). Daya listrik adalah jumlah energi yang dipakai dalam satu detik dengan satuan internasionalnya adalah joule/detik atau dapat juga dinyatakan dalam satuan watt. Pada penelitian ini perhitungan daya dilakukan untuk mengetahui daya listrik yang dibutuhkan oleh aktuator sistem kendali. Daya listrik dapat dihitung dengan cara mengalikan tegangan listrik (V) dengan arus listrik yang mengalir (I) pada aktuator (Sulistyowati and Febriantoro, 2012). Secara matematis daya listrik dapat dilihat pada persamaan dibawah ini:

$$P = I \times V \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

1. P = daya (watt)
2. V = perbedaan potensial (volt)
3. I = arus listrik (ampere)

3.7. Pengujian Kinerja Alat

Pengujian kinerja alat dilakukan di lahan tanah datar. Untuk menstabilkan traktor tangan digunakan *implement puddler* yang terbuat dari baja serta diberikan pemberat roda besi pada bagian atas traktor. *Implement puddler* dipasang pada tempat pemasangan *implement* pada traktor. Pengujian yang dilakukan yaitu berupa simpangan pergerakan traktor ke kiri dan ke kanan, diameter belokan, serta akurasi traktor tangan pada *waypoint* jalur perjalanan.

3.7.1. Simpangan Traktor

Simpangan traktor adalah pergerakan traktor ke kiri maupun ke kanan yang menyimpang dari jalur yang sudah ditetapkan dan diukur dalam satuan sentimeter (cm). Traktor dipertahankan berjalan dengan mengendalikan menggunakan *joystick* pada lintasan lurus yang telah ditentukan. Proses pengukuran dilakukan dengan memberikan perintah jalan lurus pada traktor tangan, dan kemudian dilakukan pengamatan serta pengukuran penyimpangan traktor baik ke kiri maupun ke kanan.

Pengukuran simpangan dilakukan dengan cara menguji pergerakan traktor pada lintasan lurus sepanjang 20 meter. Cara pengukuran diilustrasikan oleh Gambar 61 dalam lampiran. Traktor dianggap menyimpang apabila roda menyimpang dari garis lurus pengujian baik menyimpang ke kiri maupun menyimpang ke kanan. Simpangan diukur dengan meteran dari garis acuan hingga jejak roda traktor menyimpang. Pengukuran dilakukan dengan mengambil beberapa tiga titik pengukuran. Data hasil pengujian kemudian dihitung rata-rata lebar simpangannya menggunakan persamaan 1.

3.7.2. Diameter Belokan

Pengujian diameter belokan bertujuan untuk mengetahui besaran area minimum yang dibutuhkan oleh traktor tangan untuk berbelok ke arah kiri atau ke kanan. Cara mengukur diameter belokan dengan melihat dari jalur yang dilintasi traktor pada permukaan tanah. Pengukuran yang dilakukan dengan cara mengukur lintasan roda dalam sebelum berbelok dan setelah berbelok. Kemudian ditarik garis di antara jejak roda dalam traktor tangan. Pengukuran diameter belokan traktor ke kanan maka ban kanan traktor yang menjadi acuan pengukuran. Begitu pula sebaliknya, pengukuran diameter kiri belokan traktor menggunakan acuan roda kiri traktor. Perhitungan diameter belokan menggunakan persamaan 1. Ilustrasi pengukuran diameter belokan dapat dilihat pada Gambar 62.

3.7.3. *Error Radius Waypoint* dan Simpangan Pada Jalur

Waypoint merupakan suatu sistem navigasi yang memungkinkan suatu kendaraan dapat bergerak secara otomatis menuju titik yang telah ditentukan. Pembuatan *waypoint* yaitu dengan cara membuat titik-titik lokasi tujuan yang akan dilalui oleh sistem kendali traktor tangan menggunakan aplikasi *mission planner*. Koordinat lokasi dimasukkan ke dalam program mikrokontroler sehingga traktor dapat bergerak berurutan secara otomatis menuju titik tujuan. Traktor kemudian mengikuti jalur yang telah dibuat menuju titik-titik lokasi yang telah ditentukan. Pada sistem navigasi dengan metode *waypoint*, untuk dapat mengetahui posisi titik-titik tersebut diperlukan data berupa *longitude* dan *latitude* yang dapat dilihat pada *google maps mission planner*. Pengujian sistem navigasi *waypoint* dan

simpangan dilakukan pada lahan lapang terbuka yang minim memiliki halangan berupa pepohonan dan gedung- gedung yang dapat mengurangi akurasi GPS. Pengamatan *error radius waypoint* dilakukan dengan melihat hasil rekaman pergerakan sistem kendali traktor tangan yang dapat dilihat pada *software mission planner* kemudian diukur selisih jarak *waypoint* dengan lintasan traktor. Simpangan pergerakan traktor diukur untuk mengetahui seberapa jauh traktor menyimpang pada jalur lurus perjalanan. Pengukuran dilakukan dengan membandingkan hasil rekaman pada *mission planner* dengan jarak yang sesungguhnya. Simpangan adalah selisih jarak antara jalur perjalanan yang ditentukan dengan lintasan sebenarnya yang dilalui traktor. Simpangan dan *error radius waypoint* dikatakan baik apabila hasilnya kurang dari akurasi GPS. Contoh dari misi perjalanan traktor ditampilkan pada Gambar 63.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian yang telah dilakukan adalah

1. Desain sistem kendali traktor tangan berbasis mikrokontroler Ardupilot Mega 2.8 telah berhasil dibuat dan dapat mengendalikan arah pergerakan traktor secara *autopilot*.
2. Pada pengujian sistem kendali didapatkan hasil sebagai berikut:
 - a. Akurasi GPS U-blox 7M adalah 163,2 cm.
 - b. Kekuatan sinyal telemetri adalah sejauh 225 m.
 - c. Sistem kendali pada mode manual dapat stabil maksimal dengan jarak pengendalian sejauh 150 m.
 - d. Rata-rata respons sistem servo bagian kiri adalah 0,57 detik dan servo kanan 0,63 detik.
 - e. Rata-rata konsumsi daya servo kiri adalah sebesar 3,69 watt dan servo kanan sebesar 3,92 watt.
3. Pada pengujian alat yang dibagi dalam dua mode, yaitu mode manual dan mode *auto* didapatkan hasil dengan rincian sebagai berikut:
 - a. Pengujian mode manual
Pengendalian traktor pada mode manual menggunakan *joystick* dan telemetri berhasil dilakukan. Diameter rata-rata belokan traktor ke kanan adalah selebar 151,7 cm dan belokan ke kiri 166,7 cm. Simpangan rata-rata traktor ke kanan adalah 27,67 cm dan simpangan rata-rata traktor ke kiri adalah sebesar 23,67 cm.

b. Pengujian mode *auto*

Pada pengujian mode *auto*, sistem kendali berhasil mengendalikan traktor secara *autopilot*. Lintasan pengujian mode *auto* traktor tangan pada 8 lintasan *waypoint* dengan ukuran lahan 20 x 10 meter. Panjang jalur pengujian 20 meter berjumlah 4 jalur, lebar antar jalur $\pm 3,3$ meter, dan jarak tempuh 90,2 meter. *Error radius waypoint* pada percobaan pertama, kedua, dan ketiga berturut-turut adalah 1,05 meter, 0,78 meter, dan 0,87 meter, maka rata-rata total *error radius* sebesar 0,88 meter. Simpangan rata-rata pengujian pertama, kedua, dan ketiga berturut-turut adalah 1,04 meter, 1,21 meter, dan 1,21 meter, maka rata-rata simpangan adalah 1,15 meter.

4. Kinerja traktor pada mode *autopilot* dipengaruhi oleh beberapa faktor sebagai berikut:

- a. Faktor pertama adalah adanya *delay* servo saat menarik tuas kopling. Dengan *delay* servo sebesar 0,57-0,63 detik dapat menyebabkan penyimpangan traktor sebesar 0,50-0,55 meter.
- b. Faktor selanjutnya adalah lebar traktor. Semakin lebar traktor maka diameter traktor untuk berbelok semakin lebar. Dengan lebar traktor sebesar 85 cm dan GPS diletakkan di tengah traktor, maka dapat menambah simpangan traktor sebesar 42,5 cm.
- c. Faktor terbesar adalah kinerja GPS pada saat dilakukan pengujian. Penutupan lahan oleh pepohonan, cuaca berawan saat pengujian, dan kualitas GPS yang digunakan erat kaitannya dengan jumlah sinyal satelit yang diterima oleh GPS pada waktu pengujian. Hal-hal ini dapat mempengaruhi akurasi GPS dari waktu ke waktu. Sinyal satelit yang dapat diterima GPS pada pengujian pertama, kedua, dan ketiga berturut-turut adalah rata-rata sebanyak 6,9, 8, dan 8 satelit. Maka rata-rata saat melakukan pengujian, GPS menerima sinyal satelit sebanyak 7,6 satelit.

5.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan penulis memberikan saran sebagai berikut.

1. Menggunakan servo dengan respons yang lebih cepat.
2. Komponen GPS dan Ardupilot yang digunakan sebaiknya menggunakan spesifikasi yang lebih tinggi atau menggunakan kontroler lain yang dianggap dapat memberikan kinerja traktor *autopilot* yang lebih baik.
3. Pengujian sebaiknya dilakukan pada lahan yang lebih luas dan lebih terbuka.
4. Adanya sistem keamanan pada traktor yang dapat mengantisipasi apabila traktor akan menabrak objek di depannya akibat *error*.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H.Z. 2001. *Geodesi Satelit*. PT. Pradnya Paramitha. Jakarta.
- Abidin, H.Z. 2008. *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya*. Pradnya Paramita. Jakarta.
- Akagi, H., Watanabe, E.H., dan Aredes, M. 2017. *Instantaneous Power Theory and Applications to Power Conditioning. Second ed.* IEEE Press Wiley. New Jersey.
- Anwar, K., Sari, A.P., dan Minggu, D. 2018. Rancang Bangun Sistem Kendali Sirip Roket Bagian Rudder Menggunakan Kontrol PID. *Jurnal Ilmiah*. 26 (1): 27–35.
- Ardupilot. 2022. *Configuring a Telemetry Radio using Mission Planner*. URL: <https://ardupilot.org/copter/docs/common-configuring-a-telemetry-radio-using-mission-planner.html>. Diakses tanggal 20 Februari 2022.
- Azmi, M.A., Mohammad, R., dan Pebrian, D.E. 2022. *A Computer-Based Mapping Approach For Evaluating Straight-Line Accuracy of Autopilot Tractor Traversing the Oil Palm Field Terrain. Smart Agricultural Technology*. 2 (2): 1-8.
- Bhatti, J. dan Humphreys, T.E. 2017. *Hostile Control of Ships Via False GPS Signals: Demonstration and Detection. Navigation. Journal of the Institute of Navigation*. 64 (1): 51–66.
- Brodin, G., Cooper, J., Walsh, D., dan Stevens, J. 2005. *The Effect of Helicopter Rotors On GPS Signal Reception. The Journal of Navigation*. 58 (3): 433–450.
- Chani, F. Y. dan Kurniawan, B. 2018. *Hand Arm Vibration Syndrome : Ancaman Bagi Pekerja Sektor Industri. J Agromedicine*. 5 (1): 483–488.
- Darnawi, Widata S., dan Widiatmi, S. 2018. Analisa Ekonomi Biaya Operasional Pengolahan Tanah Cara Tradisional dan Mekanis Pada Budidaya Padi. *Jurnal Science Tech*. 4 (2): 84-86.

- Dinata, I. dan Sunanda, W. 2015. Implementasi *Wireless Monitoring Energi Listrik Berbasis Web Database*. *Jurnal Nasional Teknik Elektro*. 4 (1): 83–88.
- Elhadj, M. dan Ochieng, W. 2020. *Impact of New GPS Signals On Positioning Accuracy For Urban Bus Operations*. *The Journal of Navigation*. 73 (6): 1284–1305.
- Fauzi, A. 2012. Penentuan Konduktivitas dan Resistivitas Air Laut Dengan Pengukuran Tidak Langsung. *Jurnal Materi dan Pendidikan Fisika*. 37–41.
- Firdaus dan Ismail. 2020. Komparasi Akurasi *Global Positioning System (GPS) Receiver U-blox Neo-6M dan U-blox Neo-M8N pada Navigasi Quadcopter*. *Jurnal Ilmiah Elektro*. 12: 12-15.
- Giant, R., Darjat, dan Sudjadi. 2015. Elektronik Pada Ruang Berbasis Web. *TRANSMISI*. 17 (2): 70–75.
- Glomsvoll, O. dan Bonenberg, L.K. 2017. *GNSS Jamming Resilience For Close to Shore Navigation In The Northern Sea*. *The Journal of Navigation*. 70 (1): 33–48.
- Grant, A., Williams, P., Ward, N., dan Basker, S. 2009. *GPS Jamming and the Impact On Maritime Navigation*. *The Journal of Navigation*. 62 (2): 173–187.
- Gunawan, M.S. 2013. Modifikasi Pengendali Traktor Otomatis dan Rancang Bangun Unit Pengendali Otomatis Tuas Transmisi Maju Mundur Menggunakan Atmega 128. *Skripsi*. Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Han, J., Park, J., Kim, J., dan Son, N.-S. 2016. *GPS-Less Coastal Navigation Using Marine Radar For USV Operation*. *IFAC- PapersOnLine*. 49 (23): 598–603.
- Hidayat, N. 2009. Rancang Bangun Sistem Kendali *Quadrotor* Untuk Kesetimbangan Posisi Dengan PID. *Skripsi*. Universitas Indonesia. Depok.
- Hilal, A. dan Manan, S. 2013. Pemanfaatan Motor Servo Sebagai Penggerak CCTV Untuk Melihat Alat-Alat Monitor dan Kondisi Pasien Di Ruang ICU. *Gema Teknologi*. 17 (2): 95-99.
- Horne, C. 2014. “*Expandable Open Source Autonomous Quadcopter*,” *The UNSW Canberra at ADFA. Journal of Undergraduate Engineering Research*. 6 (1).

- Ikkal, M.C., Yuwono, B.D., dan Amarrohman, F.J. 2017. Analisis Strategi Pengolahan *Baseline* GPS Berdasarkan Jumlah Titik Ikat dan Variasi Waktu Pengamatan. *Jurnal Geodesi Undip*. 6 (1): 228-237.
- KBBI. 2021. *Arti Kata Jarak*. URL: <https://kbbi.web.id/jarak.html>. Diakses tanggal 12 Januari 2021.
- KBBI. 2022. *Arti Kata Stabil*. URL: <https://kbbi.web.id/stabil.html>. Diakses tanggal 7 Juli 2021.
- Krasuski, K. and Savchuk, S. 2020. *Accuracy Assessment of Aircraft Positioning Using the Dual-Frequency GPS Code Observations In Aviation. Communications - Scientific Letters Of The University of Zilina*. 22 (2): 23–30.
- Krasuski, K., Ciećko, A., Bakula, M., dan Wierzbicki, D. 2020. *New Strategy For Improving the Accuracy of Aircraft Positioning Based On GPS SPP Solution. Sensors*. 20 (17): 4921.
- Kurdianto. 2015. Kegiatan Pelatihan dan Implementasi Sistem Kontrol Dengan Menggunakan Perangkat Lunak Sistem Ardupilot. *Sosialita*. 10 (4): 66-70.
- Lachapelle, G., Cannon, M. E., Qiu, W., dan Varner, C. 1996. *Precise Aircraft Single-Point Positioning Using GPS Post-Mission Orbits and Satellite Clock Corrections. Journal of Geodesy*. 70: 562–571.
- MacLean, G. 2009. *Weak GPS Signal Detection In Animal Tracking. The Journal of Navigation*. 62 (1): 1–21.
- Merry, K. dan Bettinger, P. 2019. *Smartphone GPS Accuracy Study In An Urban Environment. PLoS One*. 14 (7): e0219890.
- Murti, Y. 2016. Uji Kinerja dan Analisis Biaya Traktor Roda 4 Model AT 6504 dengan Bajak Piring (*Disk Plow*) pada Pengolahan Tanah. *Agriculture Engineering*. 9: 63-69.
- Nada, I.M., Arda, G., dan Pudja, I.A.R.P. 2014. Beban Kerja dan Produktivitas Kerja Operator Traktor Tangan Pada Pembajakan Sawah 'SUBAK AYO'78 di Desa Babahan Kecamatan Penebel, Kabupaten Tabanan Bali. *Jurnal Rona Teknik Pertanian*. 7 (1): 1–8.
- Naranjo, J.E., Jiménez, F., Aparicio, F., dan Zato, J. 2009. *GPS and Inertial Systems For High Precision Positioning On Motorways. The Journal of Navigation*. 62 (2): 351–363.

- Nugraha, D.W.A. 2019. Desain Kendali Remote Kontrol Untuk Setir Traktor Tangan Berbasis Aplikasi *Bluetooth* Android. *Skripsi*. Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Nuromansyah, R. 2020. Desain Interface dan Sistem Kendali Gerak Traktor Tangan Menggunakan Jaringan *Wireless* Berbasis Mikrokontroler. *Skripsi*. Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Ochieng, W. Y., Sauer, K., Walsh, D., Brodin, G., Griffin, S., dan Denney, M. 2003. *GPS Integrity and Potential Impact On Aviation Safety*. *The Journal of Navigation*. 56 (1): 51–65.
- Ojeda, L. dan Borenstein, J. 2007. *Non-GPS Navigation For Security Personnel and First Responders*. *The Journal of Navigation*. 60 (3): 391–407.
- Park, Y.J., Kim, S.C., dan Kim, J.G. 2016. *Analysis and Verification of Power Transmission Characteristics of the Hydromechanical Transmission For Agricultural Tractors*. *Journal of Mechanical Science and Technology*. 30 (11): 5063-5072.
- Permana, D., Rivai, M., dan Irfansyah, A.N. 2018. *Unmanned Surface Vehicle untuk Mencari Lokasi Tumpahan Minyak Menggunakan Ardupilot Mega*. *Jurnal Teknik ITS*. 7 (2): F281-F286.
- Permenakertrans No. 13. 2011. *Nilai Ambang Batas Faktor Fisika dan Faktor Kimia di Tempat Kerja*. URL: <https://jdih.kemnaker.go.id/katalog-1546-Peraturan%20Menteri.html>. Diakses tanggal 20 Desember 2021.
- Prabawa, S. 2009. Analisis Kebisingan dan Getaran Mekanis Pada Traktor Tangan. *AGRITECH*. 29 (2): 103–107.
- Purbowaskito, W. dan Telaumbanua, M. 2019. *Simulation Study of Kalman-Bucy filter Based Optimal Yaw Rate Control System for Autonomous Tractor*. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 355 (3): 1-8.
- Putri, L. 2011. Analisis Sikap dan Kepuasan Konsumen Traktor Tangan (Studi Kasus: Di Kecamatan Bojongpicung, Kabupaten Cianjur Jawa Barat). *Skripsi*. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Ramesh, R., Jyothi, V.B.N., Vedachalam, N., Ramadass, G.A., dan Atmanand, M.A. 2016. *Development and Performance Validation of A Navigation System For An Underwater Vehicle*. *The Journal of Navigation*. 69 (5): 1097–1113.
- Robustelli, U., Paziewski, J., dan Pugliano, G. 2021. *Observation Quality Assessment and Performance of GNSS Standalone Positioning With Code*

- Pseudoranges of Dual-Frequency Android Smartphones. Sensors.* 21 (6): 21-25.
- Rudnicki, J. dan Specht, C. 2016. *A Method For the Assessing of Reliability Characteristics Relevant to An Assumed Position-fixing Accuracy In Navigational Positioning Systems. Polish Maritime Research.* 23 (3): 20–27.
- Saputra, F.R., dan Rivai, M. 2018. *Autonomous Surface Vehicle Sebagai Alat Pemantau Lingkungan Menggunakan Metode Navigasi Waypoint. Jurnal Teknik ITS.* 7 (1): 76-81.
- Saroinsong, H.S., Poekoel V.C., dan Manembu, P.D.K. 2018. Rancang Bangun Wahana Pesawat Tanpa Awak (*Fixed Wing*) Berbasis Ardupilot. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer.* 7 (1): 73-84.
- Satria. 2017. *Modul Elektronika dan Mekatronika Motor Servo.* Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan. Jakarta.
- Sembiring, A. dan Ramadhan, M.R. 2018. Sistem Kendali dan Pengawasan Wilayah Pintu Berbasis IoT. *Jurnal Teknologi Informasi.* 2 (2): 101–104.
- Setiawan, A., Sudrajat, Rinaldi, R., dan Hariyanto, D. 2017. Perancangan Sistem Kontrol Pesawat Model Tanpa Awak (*Unmanned Aerial Vehicle*) Berbasis Arduino. *Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi Penerbangan (SNITP) Tahun 2017.* 28 September 2017, Surabaya, Indonesia. 1: 1-6.
- Setiono, I. 2015. Akumulator, Pemakaian dan Perawatannya. *Jurnal METANA.* 11 (1): 31–36.
- Śniegocki, H., Specht, C., and Specht, M. 2014. *Testing Accuracy of Maritime DGPS System Based On Long-Term Measurements Campaigns Over the Years 2006–2014. International Journal of Civil Engineering and Technology.* 5 (10): 1–8.
- Specht, C. 2010. *Preliminary Accuracy Results of EGNOS After the Implementation of Operational Status. Proceedings of the 5th International Conference & Exhibition (MELAHA 2010).* Cairo. Egypt.
- Specht, M. 2015. *The Evaluation of the Positioning Accuracy of the EGNOS and DGPS Systems Based of the Long-Term Measurements In the Years 2006–2014. Polish Cartographical Review.* 47 (2): 99–108.
- Specht, M. 2019. *Method of Evaluating the Positioning System Capability For Complying With the Minimum Accuracy Requirements For the International Hydrographic Organization Orders. Sensors.* 19 (18): 38-60.

- Specht, M. 2020. *A Statistical Distribution Analysis of Navigation Positioning System Errors—Issue of the Empirical Sample Size*. *Sensors*. 20 (24): 7144.
- Specht, M. 2021. *Consistency of the Empirical Distributions of Navigation Positioning System Errors With Theoretical Distributions—Comparative Analysis of the DGPS and EGNOS Systems In The Years 2006 and 2014*. *Sensors*. 21 (1): 31.
- Sugiharto, A. dan Windiyanti, S. 2017. Rancang Bangun Robot Pengintai Dengan Kendali Android. *Prosiding Seminar Ilmiah Nasional: Membangun Paradigma Kehidupan Melalui Multidisiplin Ilmu*. Juli 2017, Tangerang, Indonesia. 1-13.
- Sulistiyowati, R. dan Febriantoro, D. 2012. Perancangan *Prototype* Sistem Kontrol dan Monitoring Pembatas Daya Listrik Berbasis Mikrokontroler. *Iptek*. 16 (1): 24-32
- Sun, Q.C., Odolinski, R., Xia, J.C., Foster, J., Falkmer, T., dan Lee, H. 2017. *Validating the Efficacy of GPS Tracking Vehicle Movement For Driving Behavior Assessment*. *Travel Behavior and Society*. 6: 32–43.
- Suripin. 2002. *Pengelolaan Sumber Daya Tanah dan Air*. Penerbit Andi Yogyakarta.
- Suryaningrat, I.B. dan Frans, S. 2011. Studi Ergonomi Pada *Power Tiller* (Aspek Antropometri dan Kebisingan Pada Operator). *Prosiding Seminar Nasional Perteta*. 21-22 Juli 2011, Jember, Indonesia. 76-86.
- Susanto, H. 2013. *Perancangan Sistem Telemetry Wireless Untuk Mengukur Suhu Dan Kelembaban Berbasis Arduino Uno R3 Atmega328p dan Xbee Pro*. Universitas Maritim Ali Haji. Tanjungpinang.
- Telaumbanua, M., Witaningsih, Haryanto, A., Suharyatun, S., dan Wisnu, F.K. 2022. *Performance Comparison of the Implementations of Single Row Power Weeder (Single Engine) and Multi-Row Power Weeder (Twin-Engine) in Rice Fields*. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 1038 (4): 1-14.
- Tirono, M. dan Nayiroh, N. 2008. Pemodelan dan Pembuatan Simulasi Kestabilan Respon Transien Motor DC Menggunakan *Graphical User Interface (GUI)* Pada Matlab. *Jurnal Neutrino-Jurnal Fisika dan Aplikasinya*. 1 (1).
- Walalangi, J., Poekoel, V.C., dan Kambey, F.D. 2018. Implementasi Pengendali PID Pada Pendaratan Otomatis Wahana Tanpa Awak. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*. 7 (1): 85-92.

- Widiyantoro, M.R. 2014. Pengaruh Pengolahan Tanah dan Pemberian Bahan Organik (blotong dan abu ketel) Terhadap Kemantapan Agregat dan Pertumbuhan Vegetatif Awal Tanaman Tebu (*Saccharum Officinarum L.*). *Skripsi*. Universitas Brawijaya. Malang.
- Wikipedia. 2017. *Gelombang Pembawa*. URL: https://id.wikipedia.org/wiki/Gelombang_pembawa. Diakses tanggal 18 Agustus 2022.
- Williams, M. dan Morgan, S. 2009. *Horizontal Positioning Error Derived From Stationary GPS Units: A Function of Time And Proximity to Building Infrastructure*. *Int J Perform Anal Sport*. 9 (2): 275–280.
- Winoto. 2010. *Mikrokontroler AVR ATmega8/32/16/8535 dan Pemrogramannya dengan Bahasa C pada WinAvr*. Informatika. Bandung.
- Witte, T.H. dan Wilson, A.M. 2004. *Accuracy of Non-Differential GPS For the Determination of Speed Over Ground*. *Journal Biomech*. 37 (12): 1891–1898.
- Xia, Y., Sun, D., Qin, D., dan Zhou, X. 2020. *Optimisation of the Power-Cycle Hydro-Mechanical Parameters In A Continuously Variable Transmission Designed For Agricultural Tractors*. *Biosystems Engineering*. 193: 12-24.
- Yanmar. 2020. *Katalog Hand tractor*. URL: <https://www.yanmar.com/id/agri/products/tiller/ym/#head-1p>. Diakses tanggal 12 Januari 2021.
- Yu, M. 2019. *Network Telemetry: Towards A Top-Down Approach*. *ACM SIGCOMM Comput*. 49 (1) 11–17.
- Zandbergen, P.A. dan Barbeau, S.J. 2011. *Positional Accuracy of Assisted GPS Data From High-Sensitivity GPS-Enabled Mobile Phones*. *The Journal of Navigation*. 64 (3): 381–399.
- Zulpayatun, Margana, C.C.E, dan Putra, G.M.D. 2017. Performansi Traktor Tangan Roda Dua Modifikasi Menjadi Roda Empat Multifungsi (Pengolahan dan Penyiangan) Untuk Kacang Tanah Di Kabupaten Lombok Barat. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*. 5 (1): 296–302.
- Zurkoni, A., Alasiry, A.H., dan Wibowo, I. K. 2016. *Rancang sistem multi navigasi dan pemantauan wilayah pada roboboat Autonomous Surface Vehicle (ASV)*. Politeknik Elektronika Negeri Surabaya. Surabaya.