

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu terkait penanganan gangguan benda asing pada jaringan listrik tegangan tinggi telah banyak dikembangkan dengan memanfaatkan teknologi drone (Unmanned Aerial Vehicle/UAV) dan sistem aktuator otomatis. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa integrasi sistem aktuator pada drone berpotensi menjadi solusi alternatif dalam mendukung pemeliharaan jaringan listrik tegangan tinggi secara lebih efisien.

Salah satu penelitian yang dilakukan oleh Taryo dkk. (2024) membahas perancangan drone flamethrower berbasis Arduino yang dikendalikan melalui sistem transmitter dan receiver. Sistem tersebut telah diuji pada jarak tertentu dan mampu melakukan pembakaran layang-layang secara efektif. Penelitian ini berfokus pada perancangan dan pengujian sistem pemantik api sebagai aktuator utama.

Selain itu, penelitian Pratama dkk. (2024) mengkaji implementasi sistem flamethrower pada UAV dengan penekanan pada desain mekanik dan efektivitas pembakaran terhadap objek layang-layang. Penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi aktuator pembakaran pada UAV dapat meningkatkan efisiensi penanganan gangguan pada saluran transmisi.

Selanjutnya, penelitian Al Hafiz dkk. (2023) membahas perancangan robot pembersih layang-layang otomatis pada kabel listrik sebagai alternatif metode konvensional. Penelitian tersebut menitikberatkan pada aspek keselamatan kerja dan otomasi sistem pembersihan.

Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, belum dibahas secara spesifik integrasi sistem pemantik berbasis quadcopter yang mengintegrasikan mekanisme penyemprotan bahan bakar secara terarah dengan sistem kendali jarak jauh berbasis komunikasi LoRa.

Oleh karena itu, Proyek Akhir ini mengembangkan sistem pemantik api berbasis quadcopter yang mengintegrasikan sistem penyemprotan bahan bakar, sistem pemantik, dan sistem kendali jarak jauh berbasis komunikasi LoRa. Sistem

dirancang untuk menghasilkan semburan api yang terarah dan terkendali sehingga dapat digunakan sebagai alternatif dalam penanganan gangguan benda asing pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT).

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Sistem Pemantik (*Flame Ignition System*)

Sistem pemantik (*flame ignition system*) merupakan sistem yang dirancang untuk menghasilkan nyala api secara terkontrol guna membakar benda asing pada jaringan listrik. Prinsip kerja sistem ini melibatkan suplai bahan bakar cair, sistem pengapian, dan mekanisme penyaluran api ke arah target. Sistem pemantik pada UAV harus dirancang dengan tingkat keandalan dan keselamatan tinggi mengingat penggunaannya berada di dekat instalasi listrik bertegangan tinggi.

Penggunaan sistem pemantik pada UAV telah dibuktikan efektif dalam penelitian Taryo dkk. (2024) dan Pratama dkk. (2024), di mana nyala api mampu memutus benang layang-layang tanpa kontak langsung dengan konduktor. Secara umum, sistem ini terdiri dari pompa dan tangki bahan bakar, sistem pengapian, nozzle, carbon tube extension, serta fuel lines dan fittings.

Pada penelitian ini, pompa bahan bakar digunakan untuk menghasilkan tekanan aliran yang tinggi, sedangkan nozzle yang digunakan merupakan nozzle satu lubang keluaran (*single orifice*) berdiameter 0,8 mm. Kombinasi keduanya menghasilkan semburan yang terarah dan bertekanan tinggi sehingga mampu menjangkau objek pada jarak yang lebih jauh. Bahan bakar yang keluar dari nozzle kemudian dinyalakan oleh sistem ignition melalui percikan listrik sehingga menghasilkan nyala api yang terarah untuk membakar objek gangguan.

1) Rotak *fuel pump* (dinamo pompa bensin)

Rotak *fuel pump* berfungsi untuk mengalirkan bahan bakar dari tangki menuju nozzle dengan tekanan tinggi. Pompa ini dipilih dengan mempertimbangkan penggunaan pada bahan bakar, ukuran yang kecil, bobot ringan, serta konsumsi daya yang rendah.

Laju aliran bahan bakar yang dihasilkan pompa berpengaruh langsung terhadap besar nyala api dan durasi proses pembakaran. Semakin stabil debit bahan bakar yang dialirkan, semakin stabil pula nyala api yang dihasilkan pada ujung

nozzle. Dalam penelitian sistem flamethrower pada UAV, (Pratama dkk., 2024) menyatakan bahwa pengaturan debit bahan bakar yang tepat mampu menghasilkan nyala api yang cukup untuk memutus benang layang-layang tanpa menghasilkan panas berlebih yang berpotensi merusak komponen lain.



Gambar 2.1 Wujud fisik pompa mini DC tipe diafragma
((Sumber: Nyereka Tech, 2022))

2) Tangki Bahan Bakar ($\pm 0,5$ Liter)

Tangki bahan bakar $\pm 0,5$ liter berfungsi sebagai tempat penyimpanan bahan bakar cair yang digunakan dalam proses pembakaran. Pembatasan kapasitas ini bertujuan mengoptimalkan gaya angkat quadcopter agar motor tidak bekerja pada beban maksimal secara terus-menerus yang dapat memperpendek usia pakai komponen Pratama dkk. (2024). Selain itu, tangki dirancang dengan konstruksi kuat dan kedap guna menjamin keamanan dari kebocoran selama penerbangan.



Gambar 2.2 Botol aluminium

3) Bahan Bakar (Campuran Bensin dan Minyak Tanah)

Campuran bahan bakar sistem pemantik terdiri dari bensin dan minyak tanah dengan rasio 3:4. Bensin berfungsi sebagai pemicu awal karena mudah menguap dan cepat terbakar, sedangkan minyak tanah menjaga kestabilan nyala api agar tidak cepat habis dan mampu menyembur lebih jauh ke target. Kombinasi ini menghasilkan karakteristik semburan yang kuat dan terarah untuk pembakaran sempurna dan terfokus pada target Spray dkk. (2019).

4) Sistem Pengapian (*Step-Up Ignition Module*)

Modul ini berfungsi sebagai transformator peningkat tegangan yang mengubah tegangan 5 Vdc menjadi tegangan sangat tinggi sehingga menghasilkan *electric arc*. Percikan api tersebut digunakan untuk menyalakan bahan bakar yang disemburkan melalui nozzle. Terkait hal ini, Aini dkk. (2021) menegaskan bahwa percikan yang dihasilkan harus cukup kuat supaya proses penyalaan berlangsung cepat.



Gambar 2.3 Modul Step-Up Pemantik

5) Nozzle

Nozzle berfungsi mengarahkan aliran bahan bakar yang dipompa menuju target sehingga menghasilkan semburan yang terfokus. Desain nozzle sangat memengaruhi arah, jarak, dan kestabilan semburan bahan bakar yang akan dibakar oleh modul pemantik. Pada penelitian ini digunakan nozzle single orifice dengan diameter keluaran 0,8 mm. Diameter tersebut dipilih untuk menghasilkan tekanan semburan yang tinggi sehingga bahan bakar dapat menjangkau objek pada jarak yang lebih jauh. Sejalan dengan penelitian (Spray et al., 2019), pengecilan diameter nozzle dapat meningkatkan jarak jangkauan semburan (*spray distance*) dan menghasilkan aliran yang lebih terarah menuju target.



Gambar 2.4 Nozzle Jet Turbo High Pressure

6) *Carbon Tube Extension*

Carbon tube extension berfungsi sebagai pipa jalur penyembur sekaligus sebagai pemberi jarak wahana dari paparan panas. Material karbon tipe 3K dipilih

karena memiliki rasio kekuatan terhadap berat yang sangat tinggi, sehingga tidak memberikan beban signifikan pada kapasitas angkut. Penggunaan perpanjangan ini sangat penting untuk mengisolasi radiasi termal dari titik nyala api serta melindungi komponen elektronik sensitif dari paparan medan listrik saluran transmisi tegangan ekstra tinggi, sebagaimana dianalisis dalam studi (Boukabou & Kaabouch, 2024)



Gambar 2.5 pipa Carbon Fiber 3K

7) Selang

Selang berfungsi sebagai jalur distribusi bahan bakar dari tangki menuju pompa serta dari pompa menuju pipa extension. Saluran bahan bakar harus dirancang kedap dan tahan terhadap bahan bakar cair agar tidak terjadi kebocoran selama proses operasi. Pada bagian ujung sistem digunakan pipa extension berbahan carbon fiber untuk menyalurkan bahan bakar menuju nozzle sekaligus menahan paparan suhu tinggi akibat proses pembakaran. Kualitas jalur distribusi bahan bakar ini sangat berpengaruh terhadap keamanan dan keandalan sistem pemantik secara keseluruhan.



Gambar 2.6 Selang bening

2.2.2 Mikrokontroler

1) ESP32

ESP32 merupakan mikrokontroler berbasis System on Chip (SoC) dengan arsitektur 32-bit yang memiliki kemampuan pemrosesan tinggi dan konsumsi daya relatif efisien. ESP32 dilengkapi dengan berbagai antarmuka komunikasi seperti UART, SPI, dan I2C yang mendukung integrasi berbagai modul dalam satu sistem tertanam.

Selain itu, ESP32 memiliki kemampuan pemrosesan yang lebih cepat, sehingga cocok digunakan pada sistem yang membutuhkan pengolahan data secara

real-time. Kombinasi antara performa pemrosesan dan fleksibilitas komunikasi menjadikan ESP32 banyak digunakan pada sistem kendali dan monitoring berbasis mikrokontroler.



Gambar 2.7 Modul ESP32 DevKit

Dalam penelitian ini, ESP32 digunakan sebagai mikrokontroler pada unit receiver yang terpasang pada sistem pemantik. ESP32 berfungsi untuk:

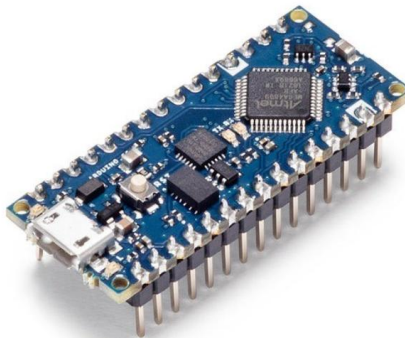
- Menerima perintah kendali dari unit transmitter melalui modul LoRa,
- Memproses data yang diterima untuk mengendalikan sistem pemantik.
- Mengendalikan relay yang mengoperasikan pompa bahan bakar dan sistem *ignition* sesuai dengan perintah yang diterima.

2) Arduino NANO

Arduino Nano merupakan papan mikrokontroler berbasis ATmega328P dengan arsitektur 8-bit dan kecepatan clock 16 MHz. Arduino Nano memiliki ukuran kompak dan konsumsi daya rendah, serta mendukung komunikasi UART, SPI, dan I2C untuk integrasi dengan berbagai modul eksternal.

Dengan memori yang relatif terbatas dibandingkan mikrokontroler 32-bit, Arduino Nano umumnya digunakan pada sistem kendali dengan kebutuhan pemrosesan yang ringan hingga menengah. Kemudahan pemrograman serta ketersediaan pustaka (library) yang luas menjadikan Arduino Nano populer dalam pengembangan sistem embedded skala kecil hingga menengah.

Dalam sistem kendali jarak jauh, mikrokontroler seperti Arduino Nano dapat difungsikan untuk membaca input dari sakelar atau tombol, memproses logika perintah, serta mengirimkan data melalui modul komunikasi nirkabel seperti LoRa. Dengan kebutuhan pemrosesan yang tidak terlalu kompleks, Arduino Nano dinilai memadai untuk aplikasi pada unit transmitter yang berperan sebagai pengirim perintah kendali dan penampil informasi sistem.



Gambar 2.8 Arduino Nano

Dalam penelitian ini, Arduino Nano digunakan pada unit transmitter (remote control). Arduino Nano berfungsi untuk:

- Membaca input dari sakelar atau tombol kendali,
- Memproses logika perintah aktivasi,
- Mengirimkan data perintah melalui modul LoRa ke unit receiver,
- Menampilkan status sistem pada LCD, seperti kondisi *Ready*, *armed*, dan *fire on*.

2.2.3 Baterai

Baterai merupakan sumber energi utama yang digunakan untuk menyuplai daya listrik pada sistem pemantik dan sistem kontrol. Dalam penelitian ini, baterai diposisikan sebagai penyedia daya mandiri bagi sistem pemantik dan perangkat elektronik pendukung, terlepas dari sistem tenaga UAV yang berfungsi sebagai platform pembawa. Hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem pemantik dapat dirancang secara independen dari sistem penerbangan.



Gambar 2.9 Baterai LiPo 3S 11.1V 1000mAh 25C Onbo Power

Pada sistem pemantik, beban yang digunakan tidak bersifat konstan. Pompa bahan bakar dan sistem pengapian merupakan beban impulsif yang dapat menarik arus besar dalam waktu singkat. Kondisi ini berpotensi menyebabkan fluktuasi tegangan pada baterai, yang dapat mengganggu kestabilan sistem kontrol dan pencatatan data jika tidak dirancang dengan baik.

2.2.4 Modul Step-Down

Modul *step-down* LM2596 (DC-DC buck converter) merupakan konverter tegangan DC yang berfungsi menurunkan tegangan masukan menjadi tegangan keluaran yang lebih rendah sesuai kebutuhan beban. Modul ini bekerja menggunakan metode *switching* sehingga memiliki efisiensi yang tinggi dan mampu menghasilkan tegangan keluaran yang stabil. Besarnya tegangan keluaran dapat diatur melalui *trimpot* yang tersedia pada modul, sehingga dapat disesuaikan dengan kebutuhan sistem.

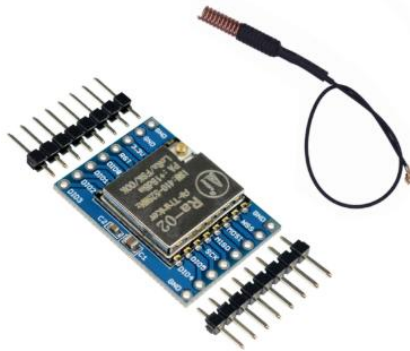


Gambar 2.10 Modul Step Down DC-DC LM2596

Pada penelitian ini, modul *step-down* LM2596 digunakan untuk menurunkan tegangan dari baterai menuju tegangan kerja ESP32. Penggunaan modul ini bertujuan menghasilkan catu daya yang stabil sehingga ESP32 dapat bekerja dengan baik selama proses pengendalian sistem. Sementara itu, pompa bahan bakar dan modul *step-up ignition* memperoleh suplai daya langsung dari baterai karena memerlukan arus yang lebih besar. Dengan pemisahan jalur catu daya tersebut, gangguan akibat penurunan tegangan (*voltage drop*) dan *noise* yang ditimbulkan oleh beban berdaya tinggi dapat dikurangi sehingga kestabilan kerja mikrokontroler tetap terjaga.

2.2.5 LoRa SX1278

LoRa (Long Range) merupakan teknologi komunikasi nirkabel berbasis frekuensi ISM yang unggul dalam jangkauan jauh dan konsumsi daya rendah. Pada penelitian ini, modul SX1278 digunakan sebagai media komunikasi antara unit transmitter pada remote kendali dan unit receiver pada sistem pemantik. Implementasi LoRa pada sistem UAV sejalan dengan tinjauan mengenai jaringan komunikasi UAV berbasis LoRa yang menunjukkan efektivitasnya untuk transmisi data real-time di area luas dengan kebutuhan daya rendah (Ghazali dkk., 2021).



Gambar 2.11 Modul LoRa SX1278 RA-02

Pada penelitian ini, modul LoRa SX1278 digunakan sebagai media komunikasi satu arah (*simplex*) untuk mengirimkan perintah kendali dari unit *transmitter* menuju unit *receiver*. Unit *receiver* memproses perintah tersebut untuk mengendalikan relay yang mengoperasikan pompa bahan bakar dan sistem *ignition*.

2.2.6 Sistem Penanda Visual (Laser)

Sistem penanda visual menggunakan laser untuk menunjukkan titik sasaran sebelum pemantik diaktifkan. Penggunaan penanda visual ini bertujuan meningkatkan presisi dan keselamatan operasi, sehingga risiko kesalahan arah nyala api dapat diminimalkan dan proses penanganan gangguan menjadi lebih efektif.



Gambar 2.12 Modul Laser Garis Merah 650 nm 5 mW

2.2.7 Relay

Relay adalah saklar elektromekanis yang memungkinkan mikrokontroler mengendalikan beban bertegangan dan berarus tinggi melalui prinsip elektromagnetik, yaitu arus kecil pada kumparan menggerakkan kontak untuk menghubungkan atau memutus rangkaian daya.



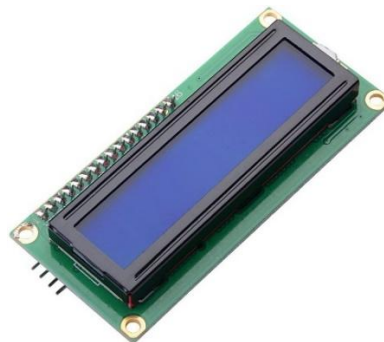
Gambar 2.13 Modul Relay 2 Channel 5V

Pada sistem pemantik, relay digunakan untuk mengontrol pompa bahan bakar dan modul ignition yang membutuhkan arus lebih besar dibandingkan kemampuan keluaran pin mikrokontroler. Relay memberikan isolasi listrik antara rangkaian kontrol dan rangkaian daya sehingga mikrokontroler terlindungi dari lonjakan arus maupun gangguan tegangan.

Selain itu, relay juga memungkinkan pengendalian aktuator dilakukan melalui perintah dari mikrokontroler yang diterima melalui komunikasi LoRa dan dieksekusi secara berurutan sesuai logika sistem yang telah diprogram (Febrian & Huda, 2024).

2.2.8 LCD Display

LCD (*Liquid Crystal Display*) merupakan perangkat output visual yang digunakan untuk menampilkan informasi sistem secara real-time kepada pengguna. Dalam sistem kendali jarak jauh, LCD berperan sebagai media komunikasi antara operator dan sistem sehingga operator dapat mengetahui kondisi perangkat sebelum melakukan aktivasi.



Gambar 2.14 LCD IPS TFT 1.3 Inch ST7789

Pada penelitian ini, digunakan LCD 16×2 I2C yang terpasang pada unit transmitter (*remote control*). LCD digunakan untuk menampilkan status pengoperasian sistem, yaitu DISARMED, ARMED, dan FIRE ON. Informasi tersebut memberikan umpan balik kepada operator mengenai kondisi sistem sebelum maupun saat proses aktivasi pemantik, sehingga pengoperasian dapat dilakukan dengan lebih mudah dan mengurangi kemungkinan terjadinya kesalahan dalam penggunaan sistem.