

## RANCANGAN PROTOTIPE *MARKER BEACON* SEBAGAI MEDIA PEMBELAJARAN DI POLITEKNIK PENERBANGAN MEDAN

Nadya Christine Letticia Simatupang<sup>1</sup>, Nurmahendra Harahap<sup>2</sup>, Said Hafas<sup>3</sup>  
[nadyaclsimatupang@gmail.com](mailto:nadyaclsimatupang@gmail.com)<sup>1</sup>, [nurmahendrasahap@gmail.com](mailto:nurmahendrasahap@gmail.com)<sup>2</sup>, [saidhafas75@gmail.com](mailto:saidhafas75@gmail.com)<sup>3</sup>  
Politeknik Penerbangan Medan

### ABSTRAK

Program studi Teknik Telekomunikasi dan Navigasi Udara (TNU) di instansi Politeknik Penerbangan Medan mencakup mata kuliah Fasilitas Alat Bantu Pendaratan atau ILS yang sangat penting bagi pemanduan final approach sampai dengan pendaratan pesawat udara. Karena keterbatasan fasilitas pembelajaran ILS yang terdapat di laboratorium Politeknik Penerbangan Medan terkhusus pada peralatan marker beacon membuat prinsip kerja peralatan ini kerap dianggap sulit dipahami oleh Taruna/I sehingga diperlukan media pembelajaran yang lebih konkret. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan dan mengembangkan prototipe marker beacon berbasis arduino uno yang diimplementasikan sebagai media pembelajaran bagi Taruna/I terhadap prinsip kerja dan identifikasi peralatan marker beacon. Metode penelitian yang digunakan yaitu Research and Development (R&D) dengan model Analysis, Design, Development, and Implementation (ADDIE) karena lebih sistematis dan terstruktur dalam pengembangan dan menghasilkan suatu aplikasi media pembelajaran. Rancangan prototipe ini menggunakan sensor ultrasonik sebagai media pengganti marker beacon, dimana modul nRF24L01 mengirimkan data berupa bunyi kode morse dan indikator visual melalui buzzer dan LED ketika pesawat melewati sensor. Selain itu, prototipe ini mampu menampilkan gelombang sinyal informasi audio 400 Hz, 1300 Hz, dan 3000 Hz berbentuk kotak (square) melalui modul sinyal generator AD9850. Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian menunjukkan bahwa prototipe ini dianggap efektif dalam mensimulasikan fungsi kerja marker beacon sehingga dapat digunakan sebagai alat bantu belajar yang konkret.

**Kata Kunci:** Marker Beacon, Outer Marker, Middle Marker, Inner Marker, Arduino Uno.

### ABSTRACT

*The Telecommunication and Air Navigation Engineering study program at the Medan Aviation Polytechnic institution includes the Instrument Landing System or ILS course which is very important for guiding the final approach to the landing of the aircraft. Due to the limitations of ILS learning facilities in the Medan Aviation Polytechnic laboratory, especially in marker beacon equipment, the working principle of this equipment is often considered difficult to understand by Cadets, so a more concrete learning media is needed. This research aims to produce and develop a prototype of a marker beacon based on arduino uno which is implemented as a learning media for Cadets on the working principle and identification of marker beacon equipment. The research method used is Research and Development (R&D) with the Analysis, Design, Development and Implementation (ADDIE) model because it is more systematic and structured in developing and producing a learning media application. This prototype design uses an ultrasonic sensor as a replacement media for marker beacon, where the nRF24L01 module transmits data in the form of morse code sounds and visual indicators through buzzers and LEDs when the aircraft passes through the sensor. In addition, the prototype is capable of displaying 400 Hz, 1300 Hz, and 3000 Hz audio information signal waves in a square shape through the AD9850 generator signal module. Based on the results of research and testing, it shows that this prototype is considered effective in simulating the working function of marker beacons so that it can be used as a concrete learning aid.*

**Keywords:** Marker Beacon, Outer Marker, Middle Marker, Inner Marker, Arduino Uno.

### PENDAHULUAN

Politeknik Penerbangan Medan merupakan salah satu Unit Pelaksana Teknis (UPT) BPSDM Perhubungan di bawah Kementerian Perhubungan yang mempunyai tugas untuk menyelenggarakan pendidikan diploma khusus dalam bidang Teknik dan Keselamatan Penerbangan. Salah satu program studi yang ada di Politeknik Penerbangan Medan adalah program studi Teknik Telekomunikasi dan Navigasi Udara (TNU). Pada program studi TNU, terdapat mata kuliah Fasilitas Alat Bantu Pendaratan atau yang biasa dikenal dengan ILS, yang merupakan salah satu mata kuliah penting.

Instrument Landing System (ILS) merupakan salah satu jenis alat navigasi penerbangan yang berfungsi untuk memandu pesawat udara ketika pesawat berada pada tahap final approach (pendekatan akhir) sampai dengan pendaratan di permukaan runway atau landasan pacu (Warsito, 2017). ILS terdiri atas 3 sub sistem, yaitu localizer, glide path, dan marker beacon. Marker Beacon dibagi menjadi 3 bagian, yaitu outer marker (dipasang pada jarak 7,2 km sebelum threshold landasan pacu), middle marker (dipasang pada jarak  $\pm$  1,1 km sebelum threshold landasan pacu), dan inner marker (dipasang pada jarak 300 m sebelum threshold landasan pacu). Ketiga marker ini dipasang lurus dengan garis tengah landasan pacu. Pemahaman yang mendalam mengenai peralatan Instrument Landing System (ILS) dan kemampuan dalam pengoperasian serta maintenance peralatan dengan efektif adalah merupakan bagian esensial dalam kurikulum program studi TNU.

Prinsip kerja peralatan navigasi udara dan sistem marker beacon seringkali dianggap abstrak dan sulit dipahami oleh Taruna/I. Pemanfaatan media pembelajaran yang relevan dalam kelas dapat meningkatkan efisiensi proses pembelajaran. Media pembelajaran membantu menjelaskan konsep atau gagasan mata kuliah dengan lebih konkret dan mendorong partisipasi aktif dari Taruna/I, serta menjadi alat untuk merangsang pemikiran yang kritis dan tindakan aktif dalam proses pembelajaran (Nadzifar & Sabur, 2022).

Keterbatasan fasilitas pembelajaran ILS yang terdapat di laboratorium Politeknik Penerbangan Medan terkhusus pada peralatan marker beacon membuat Taruna/I mendapatkan materi mengenai peralatan ini hanya melalui pembelajaran teori di kelas. Dalam beberapa dekade terakhir, kajian mengenai rancangan prototipe marker beacon telah mengalami perkembangan yang cukup signifikan. Penelitian-penelitian terdahulu seperti yang dilakukan oleh Firman Adiputra (2013) dan Syahvira Nadfizar (2022) telah memberikan kontribusi penting dalam pemahaman dasar mengenai simulasi instrumen marker beacon. Firman Adiputra menekankan pada rancangan prototipe blok pemancar khusus middle marker, sementara Syahvira Nadfizar lebih berfokus pada simulasi identifikasi visual dan tone pada marker beacon. Dengan itu, untuk mempermudah pemahaman tentang prinsip kerja peralatan navigasi udara khususnya pada alat marker beacon bagi Taruna/I di Politeknik Penerbangan Medan, penulis mengusung konsep “Rancangan Prototipe Marker Beacon Sebagai Media Pembelajaran di Politeknik Penerbangan Medan” pada judul Proyek Akhir penulis.

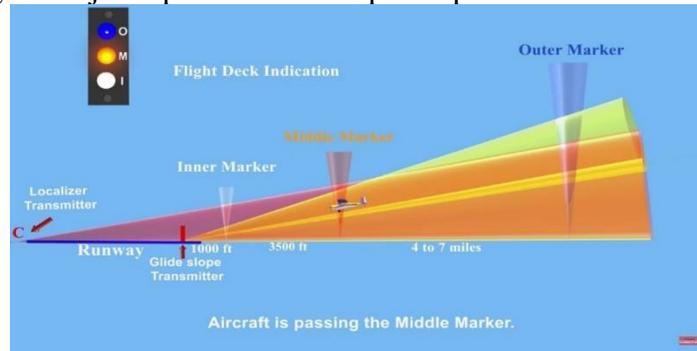
## **LANDASAN TEORI**

### **Instrument Landing System (ILS)**

Peralatan Instrument Landing System (ILS) merupakan salah satu fasilitas navigasi penerbangan yang berfungsi sebagai alat bantu pendaratan pesawat udara ketika pesawat berada pada tahap final approach (pendekatan akhir) sampai dengan pendaratan di permukaan landasan pacu. Peraturan yang mengatur Instrument Landing System (ILS) di bandara dalam ICAO (International Civil Aviation Organization) terdapat dalam Annex 10 dari Konvensi Chicago tentang Penerbangan Sipil Internasional, yaitu pada Vol. 1 tahun 2006 mengenai Radio Navigation Aids. Peralatan ILS terdiri dari 3 sub sistem berdasarkan

fungsi pemanduannya, yaitu:

1. Localizer adalah pemancar yang memberikan sinyal pemandu arah (azimuth) terhadap kelurusan pesawat dengan garis tengah landasan pacu. Localizer beroperasi pada rentang frekuensi 108 MHz sampai 112 MHz.
2. Glide Path adalah pemancar yang memberikan panduan ketinggian kepada pesawat sehingga pesawat dapat mengikuti sudut penurunan yang aman dan efisien. Glide path memancarkan sinyal sudut luncur pendaratan pada sumbu landasan. Panel instrumen di ruang kemudi pesawat akan mengindikasikan apakah pesawat sudah tepat berada di atas atau di bawah approach slope (sudut pendekatan) yang telah ditetapkan (biasanya sekitar  $3^\circ$ ). Glide path bekerja pada rentang frekuensi 328 MHz sampai 336 MHz.
3. Marker Beacon adalah pemancar yang memberikan informasi berupa audio dan visual untuk mengetahui jarak pesawat terhadap titik pendaratan atau runway.



Gambar 1 Sistem Instrument Landing System (ILS)

Kategori ILS dalam ICAO berdasarkan tingkat ketelitiannya dibagi menjadi tiga kategori, yaitu:

1. ILS Kategori I (CAT I)

Fasilitas ILS memberikan sinyal panduan pendaratan pesawat secara presisi dengan cakupan ketinggian/decision height (DH) pesawat pada ketinggian 200 feet sampai 600 feet di atas permukaan datar landasan pacu dan jarak pandang landasan pacu/runway visual range (RVR) tidak kurang dari 550 meter.

2. ILS Kategori II (CAT II)

Fasilitas ILS memberikan sinyal panduan pendaratan pesawat secara presisi dengan cakupan ketinggian/decision height (DH) pesawat sampai pada ketinggian 100 feet di atas permukaan datar landasan pacu dan jarak pandang landasan pacu/runway visual range (RVR) tidak kurang dari 300 meter.

3. ILS Kategori III (CAT III)

Fasilitas ILS memberikan sinyal panduan pendaratan pesawat secara presisi hingga tanpa batas ketinggian/decision height (DH) dan jarak pandang landasan pacu/runway visual range (RVR). Kategori ILS ini biasanya digunakan di bandara yang memiliki iklim atau cuaca ekstrem dan dilengkapi dengan middle marker dan inner marker.

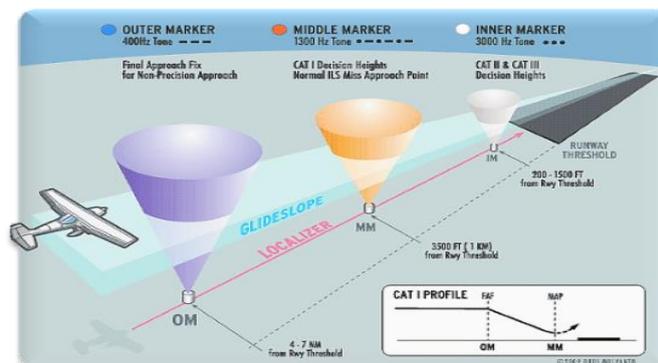
### Marker Beacon

SKEP/113/VI/2002 merupakan Surat Keputusan Direktur Jenderal Perhubungan Udara yang mengatur tentang fasilitas navigasi penerbangan termasuk Marker Beacon di Indonesia. Marker Beacon adalah salah satu komponen dari sistem navigasi udara yang digunakan untuk memberikan informasi kepada pilot mengenai posisi pesawat saat pesawat mendekati landasan pacu untuk pendaratan. Marker Beacon beroperasi pada frekuensi 75 MHz dan memancarkan sinyal vertikal ke atas. Sinyal ini diterima oleh pesawat sebagai suara dan lampu indikator di kokpit, yang menunjukkan jenis Marker Beacon yang dilewati.

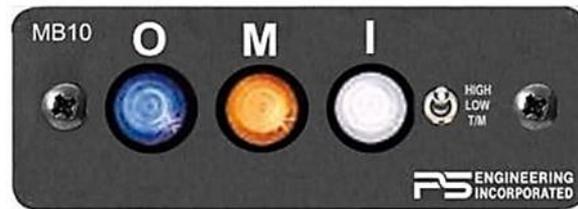
Marker Beacon terdiri dari tiga jenis yaitu Outer Marker, Middle Marker, Inner Marker.

- a. Outer Marker (OM) adalah peralatan navigasi yang memancarkan gelombang elektromagnetik untuk memberikan informasi kepada pilot bahwa posisi pesawat berada pada jarak 7-12 Km dari threshold. Pada saat pesawat melintasi outer marker, maka pesawat akan menerima identifikasi nada panjang (tone) berupa “dash tone” ( \_ \_ \_ \_ ). Selain itu, lampu indikator huruf “O” berwarna biru yang terdapat pada cockpit pesawat akan berkedip-kedip dan pilot dapat mengontrol apakah pada jarak 7,2 Km dari threshold ketinggian pesawat (yang diterima dari glide path) telah sesuai dengan ketinggian seharusnya. Bila telah sesuai, maka sudut pendaratan pesawat sudah benar. Peralatan outer marker memancarkan sinyal 400 Hz dan diletakkan pada jarak sekitar 4-7 NM dari runway threshold.
- b. Middle Marker (MM) merupakan bagian dari Marker Beacon yang berfungsi memberikan informasi kepada pilot dengan jarak yang berbeda dari OM, yaitu sekitar 1,050 Km dari threshold (ujung runway). Pada saat pesawat melintasi middle marker, informasi yang diterima pesawat berupa nada panjang dan singkat bergantian (dash dot tone) ( \_ ° \_ ° \_ ) secara terus-menerus sampai pesawat tidak lagi berada pada area cakupan pancaran sinyal middle marker atau tidak lagi berada di atas peralatan middle marker. Selain itu, lampu indikator huruf “M” berwarna amber akan berkedip-kedip dan pada saat itu pilot harus sudah dapat melihat landasan pacu atau runway. Bila landasan pacu tidak terlihat, maka pilot harus segera menjalankan prosedur missed approach atau kembali pada posisi go around (kembali pada posisi pendekatan). Peralatan middle marker memancarkan sinyal 1300 Hz dan diletakkan pada jarak sekitar 1 Km dari runway threshold.
- c. Inner Marker (IM) merupakan jenis marker yang jarang digunakan di bandar udara Indonesia karena jarak pandang (visibility) pilot masih relatif baik. Inner marker umumnya digunakan di bandara-bandara yang berada pada daerah bersalju dan berkabut. Peralatan ini juga memancarkan gelombang elektromagnetik untuk memberikan informasi kepada pilot bahwa posisi pesawat berada pada jarak sekitar 450 m dari threshold (ujung runway). Pada saat pesawat melintasi marker ini, informasi yang diterima pesawat berupa identifikasi nada singkat terputus-putus (dot tone) ( ° ° ° ) secara terus-menerus. Pilot juga akan akan memonitor lampu indikator huruf “I” berwarna putih yang akan berkedip-kedip dan ini mengindikasikan kepada pilot bahwa pesawat akan segera sampai di threshold landasan pacu. Peralatan inner marker memancarkan sinyal 3000 Hz dan diletakkan pada jarak sekitar 450 m dari runway threshold.

Gambar 2 Marker Beacon

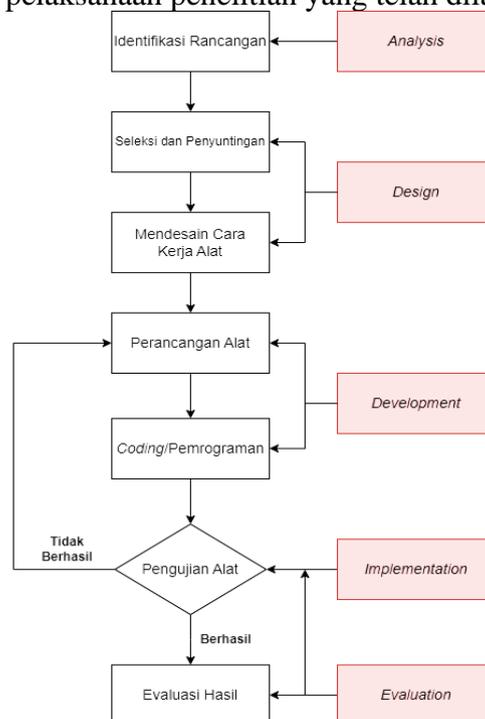


Gambar 3 Lampu Indikator Marker Beacon



## METODOLOGI Desain Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan yaitu Research and Development (R&D) dengan model ADDIE pengembangan Sugiyono pada tahun 2019. Langkah-langkah dalam penelitian dan pengembangan pada metode ADDIE menurut Sugiyono (2019) melalui lima tahap, yaitu Analysis, Design, Development, Implementation, dan Evaluation. Menurut Waruwu (2024) dalam penelitiannya mengenai metode penelitian R&D, model ADDIE sering digunakan sebagai salah satu alternatif untuk pengembangan produk atau model tertentu dalam proses pembelajaran karena lebih sistematis dan terstruktur. Berikut merupakan flowchart alur pelaksanaan penelitian yang telah dilaksanakan penulis :



Gambar 1 Flowchart Alur Penelitian

### 1. Analysis (Analisis)

Pada tahap analisis, dilakukan identifikasi terhadap kebutuhan pembelajaran terkait Marker Beacon dengan melakukan survei laboratorium untuk menilai kondisi laboratorium ILS, khususnya peralatan yang ada seperti DVOR, DME, Glidepath, Localizer, dan Marker Beacon. Pada tahap analisis selanjutnya juga dilakukan wawancara dengan ketua program studi TNU di Politeknik Penerbangan Medan, dosen, serta taruna/I untuk memahami kendala yang dihadapi dalam proses pembelajaran mengenai peralatan Marker Beacon termasuk ketersediaan fasilitas media pembelajaran yang di laboratorium. Selanjutnya adalah menentukan komponen hardware yang akan digunakan dalam pengembangan

prototipe, seperti Arduino Uno, RF 433 MHz, nRF24L01, sinyal generator, dan LED.

## **2. Design (Desain)**

Pada penelitian dan pengembangan ini menggunakan dua desain, yaitu sisi pemancar dan penerima. Dalam tahapan desain penelitian ini, perancangan dimulai dengan merancang perangkat keras pada sisi pemancar (Ground). Desain ini menciptakan sistem yang mampu mendeteksi pergerakan pesawat dan mengirimkan sinyal informasi ke sisi penerima. Langkah pertama adalah pemilihan komponen yang tepat, yaitu sensor ultrasonik untuk mendeteksi pergerakan pesawat, Arduino Uno sebagai pengendali utama, sinyal generator untuk menghasilkan sinyal informasi, dan modul nRF24L01 untuk transmisi data. Setelah komponen dipilih, skema rangkaian elektronik dirancang untuk mengintegrasikan semua komponen tersebut, diikuti dengan pengembangan firmware Arduino yang akan mengatur operasi sensor dan sinyal generator. Selanjutnya, perancangan dilakukan pada sisi penerima (Pesawat) untuk menerima sinyal dari sisi pemancar dan mengonversinya menjadi bentuk informasi. Proses ini dimulai dengan pemilihan komponen untuk sisi penerima, seperti modul nRF24L01 untuk menerima sinyal, Arduino Uno untuk pemrosesan, buzzer untuk menghasilkan bunyi identifikasi, LED sebagai indikator visual, dan osiloskop untuk visualisasi sinyal. Setelah itu, dirancang rangkaian elektronik dan firmware Arduino yang dikembangkan untuk memastikan sinyal yang diterima dapat diproses dengan benar. Setelah kedua sisi (pemancar dan penerima) selesai dirancang dan diuji secara individual, tahap berikutnya adalah mengintegrasikan kedua sisi tersebut menjadi satu sistem yang bekerja secara kohesif.

## **3. Development (Pengembangan)**

Pada tahap "Development" ini membuat desain konseptual menjadi sebuah prototipe nyata yang siap digunakan sebagai alat bantu pembelajaran di Politeknik Penerbangan Medan bagi taruna/I dalam mempelajari dan memahami sistem marker beacon secara praktis sebelum mereka terjun ke lapangan. Proses pengembangan ini melibatkan pembuatan rangkaian perangkat keras, di mana setiap bagian komponen dipasang dan dihubungkan sesuai dengan desain yang telah direncanakan. Pada saat yang sama, proses coding atau pemrograman menjadi elemen penting dalam tahap ini. Kode program disusun menggunakan bahasa pemrograman yang sesuai dengan platform Arduino untuk memberikan instruksi yang tepat kepada mikrokontroler dalam mengatur operasi seluruh sistem. Kode ini mencakup berbagai jenis perintah yang mengendalikan fungsi sensor, modul komunikasi, serta komponen output seperti buzzer dan LED.

## **4. Implementation (Implementasi)**

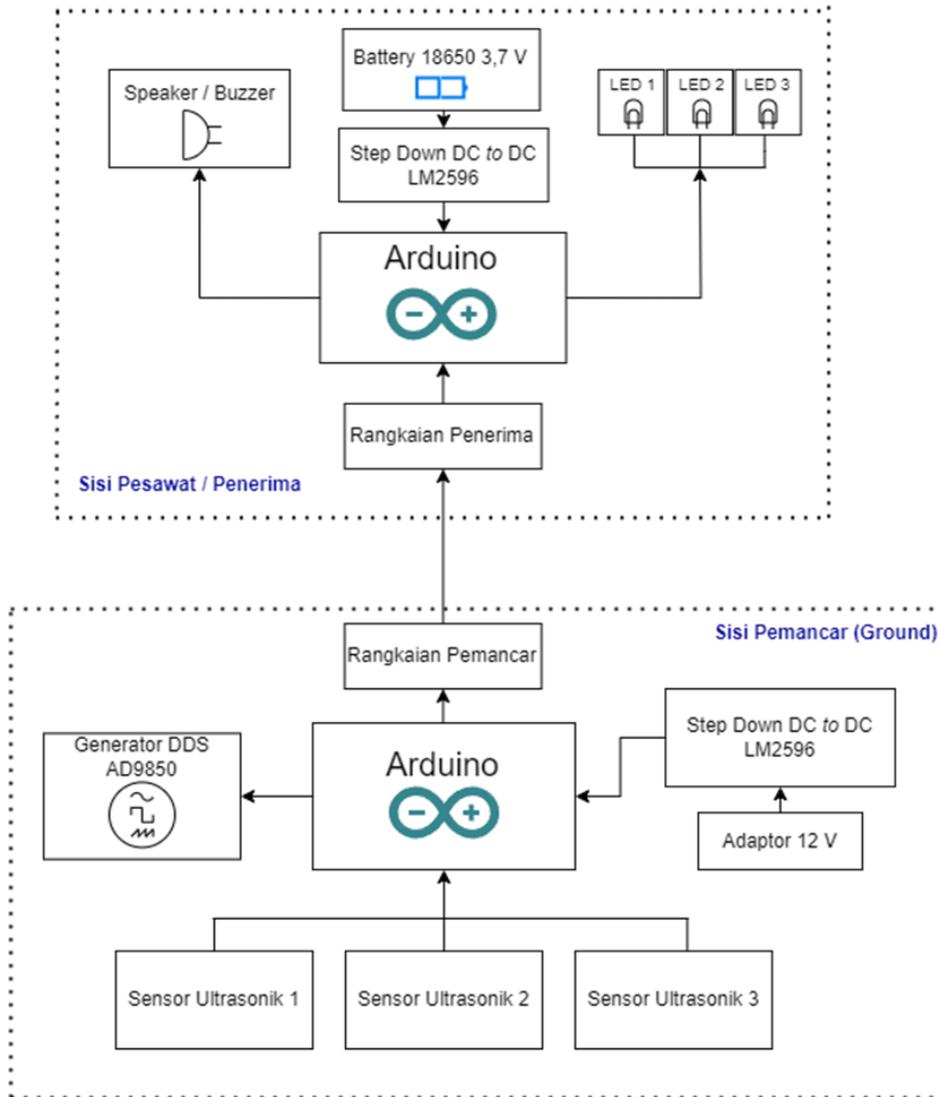
Proses implementasi dimulai dengan menetapkan teknik pengujian yang paling sesuai untuk menilai kinerja prototipe. Teknik pengujian ini mencakup uji fungsional untuk memastikan bahwa setiap komponen, seperti sensor, modul komunikasi, dan perangkat output, beroperasi sesuai dengan spesifikasi. Pengujian dilakukan dalam kondisi yang menyerupai situasi nyata di mana prototipe akan digunakan, seperti simulasi pergerakan pesawat dan transmisi sinyal marker beacon. Setiap hasil pengujian dianalisis untuk menilai apakah perangkat bekerja secara optimal dan sesuai dengan tujuan pembelajaran yang diharapkan.

## **5. Evaluation (Evaluasi)**

Tahap evaluasi dilakukan pada prototipe marker beacon yang sudah melalui tahap pengujian untuk menentukan apakah dapat bekerja dengan baik dan layak untuk dijadikan sebagai media pembelajaran atau tidak. Jika alat berhasil dan sesuai dengan rancangan pada tahapan-tahapan sebelumnya dalam pengujian, maka alat dinyatakan selesai dan siap untuk digunakan. Apabila terdapat kekurangan atau ketidaksesuaian pada rancangan prototipe

maka akan dilakukan uji ulang pada tahap implementasi agar dilakukan perbaikan.

**Perancangan Alat**  
**Desain Alat**



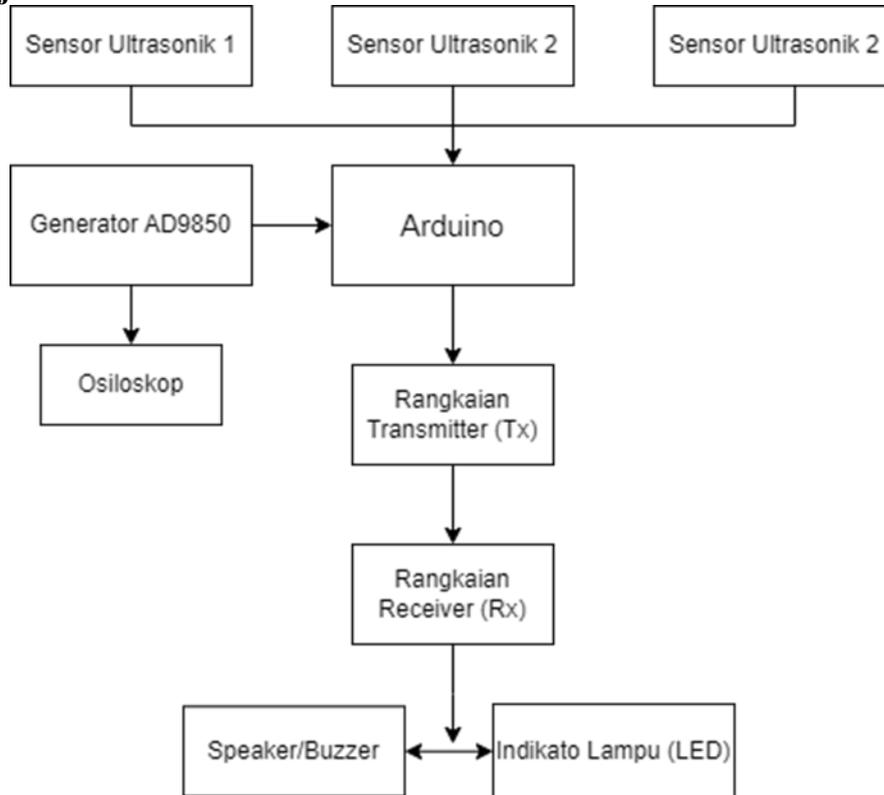
Gambar 2. Blok Diagram Alat

Penjelasan dan fungsi dari masing-masing blok adalah sebagai berikut :

1. Arduino UNO : menerima input dari sensor ultrasonik dan modul receive atau penerima, serta sebagai controller yang memberikan perintah terhadap output yang akan dikeluarkan sesuai dengan kebutuhan
2. Sensor Ultrasonik HC-SR04 : sebuah modul sensor ultrasonik yang biasa digunakan sebagai alat pengukur jarak dan memberikan output pada controller arduino
3. Generator DDS AD9850 : modul atau perangkat yang digunakan untuk menghasilkan sinyal frekuensi dan menerima input dari arduino
4. Buzzer : komponen yang menghasilkan output berupa bunyi ident
5. LED (Light Emitting Diode) : komponen yang memancarkan cahaya yang bertindak sebagai lampu indikator untuk marker beacon
6. Step Down DC to DC LM2596 : menurunkan tegangan 12 VDC menjadi 5 VDC (tegangan kerja perangkat arduino) serta memastikan arus berjalan stabil agar komponen peralatan lainnya tidak mudah rusak

7. Adaptor 12 V dan Battery 18650 3,7 V : sebagai sumber tegangan untuk perangkat arduino
8. Modul nRF24L01 digunakan sebagai media komunikasi wireless antara rangkaian pemancar dan rangkaian penerima

### Cara Kerja Alat



Gambar 3. Flowchart Cara Kerja Alat

Pada saat sensor ultrasonik mendeteksi pergerakan pesawat yang lewat di atasnya, maka instrumen terintegrasi akan diproses oleh arduino sesuai perintah yang diinginkan. Arduino akan mengirimkan perintah pada modul sinyal generator AD9850 untuk membangkitkan frekuensi marker, kemudian dipancarkan oleh rangkaian transmitter yang terdapat pada instrumen tersebut. Setelah itu, pancaran diterima oleh rangkaian receiver yang terhubung dengan speaker (buzzer) untuk mengeluarkan nada (tone) berupa kode morse yang sesuai terhadap marker yang dilalui pesawat. Selain itu, lampu indikator marker (LED) pada pesawat juga akan menyala berkedip-kedip bersamaan dengan bunyi kode morse.

### Teknik Pengujian

Teknik pengujian pada penelitian ini menjabarkan tentang rencana langkah-langkah pengujian yang akan ditempuh apabila prototipe marker beacon berbasis arduino telah siap diuji guna memperoleh data yang dapat dianalisis. Uji coba alat simulasi marker beacon berbasis arduino yang telah dirancang dilakukan dengan tahapan sebagai berikut :

1. Siapkan adaptor 12 volt lalu hubungkan dengan arduino untuk menguji bahwa alat aktif dan dapat berfungsi dengan normal
2. Siapkan osiloskop kemudian lakukan kalibrasi agar pembacaan gelombang akurat
3. Selanjutnya melakukan simulasi dengan menggerakkan pesawat melewati outer marker, middle marker, dan inner marker sehingga tampak gelombang yang terpancar dari peralatan tersebut
4. Ketika sensor ultrasonik mendeteksi pesawat yang lewat, maka receiver yang berada di pesawat mengeluarkan output berupa nada kode morse yang terdengar

melalui speaker dan lampu indikator marker akan menyala berkedip-kedip  
**Teknik Analisis Data**

Metode analisis data pada penelitian rancangan prototipe marker beacon ini dibuat untuk dapat menyatakan apakah alat dapat bekerja dengan baik atau tidak.

Tabel 2 Analisis Data

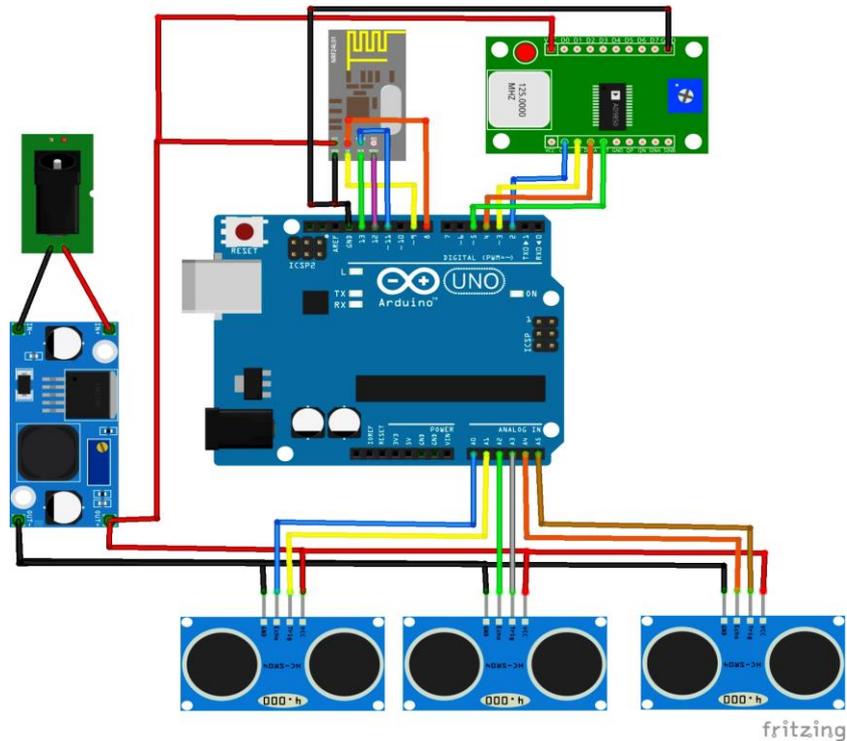
No.	Indikator yang Diuji	Langkah	Hasil yang Diharapkan
1.	<i>Outer Marker</i>	Pada saat sensor satu mendeteksi pesawat yang lewat di atasnya, maka sinyal generator membangkitkan frekuensi 400 Hz, kemudian dipancarkan ke pesawat.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Terdapat bunyi kode morse berupa nada panjang “<i>dash tone</i>” ( ____ ) dari pesawat</li> <li>2. Lampu indikator <i>outer marker</i> menyala berkedip-kedip bersamaan dengan bunyi kode morse</li> <li>3. Pancaran gelombang 400 Hz dapat dilihat di osiloskop</li> </ol>
2.	<i>Middle Marker</i>	Pada saat sensor dua mendeteksi pesawat yang lewat di atasnya, maka sinyal generator membangkitkan frekuensi 1300 Hz, kemudian dipancarkan ke pesawat.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Terdapat bunyi kode morse berupa nada panjang dan singkat bergantian (<i>dash dot tone</i>) ( ____° ____° ) dari pesawat</li> <li>2. Lampu indikator <i>middle marker</i> menyala berkedip-kedip bersamaan dengan bunyi kode morse</li> <li>3. Pancaran gelombang 1300 Hz dapat dilihat di osiloskop</li> </ol>
3.	<i>Inner Marker</i>	Pada saat sensor tiga mendeteksi pesawat yang lewat di atasnya, maka sinyal generator membangkitkan frekuensi 3000 Hz, kemudian dipancarkan ke pesawat.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Terdapat bunyi kode morse berupa nada singkat terputus-putus (<i>dot tone</i>) ( ° ° ° ) secara terus-menerus dari pesawat</li> <li>2. Lampu indikator <i>inner marker</i> menyala berkedip-kedip bersamaan dengan bunyi kode morse</li> </ol>

			3. Pancaran gelombang 3000 Hz dapat dilihat di osiloskop
--	--	--	--

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut merupakan gambar design perancangan prototipe marker beacon menggunakan arduino uno:

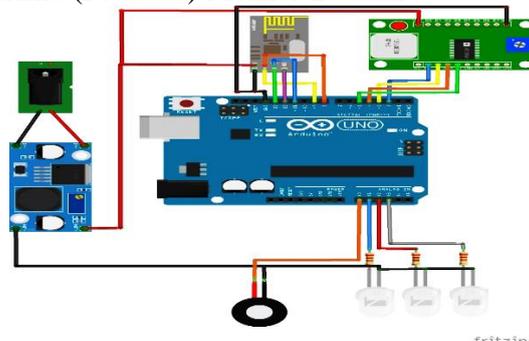
a. Rancangan Sisi Pemancar (Ground) Marker Beacon



Gambar 1 Rancangan Sisi Pemancar Marker Beacon

Gambar 1, menggambarkan design rangkaian pemancar dari peralatan Marker Beacon. Pada rangkaian pemancar, sensor ultrasonik mendeteksi pergerakan pesawat yang lewat di atasnya. Kemudian, data dari hasil deteksi sensor dikirimkan ke arduino yang kemudian memberikan perintah terhadap output yang akan dikeluarkan oleh sinyal generator. Output yang dihasilkan oleh sinyal generator tersebut kemudian dipancarkan/dikirimkan ke rangkaian penerima oleh modul nRF24L01 ke sisi penerima. Rancangan sisi penerima dapat dilihat pada gambar 2 berikut.

b. Rancangan Sisi Penerima (Pesawat) Marker Beacon

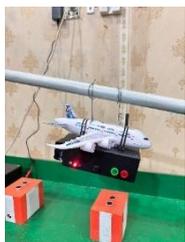
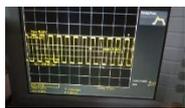


Gambar 2 Rancangan Sisi Penerima Marker Beacon

Gambar 2, menggambarkan design rangkaian penerima dari peralatan Marker Beacon. Pada rangkaian penerima, modul nRF24L01 menerima data dari rangkaian pemancar. Data tersebut dikirimkan ke arduino untuk diproses sehingga menghasilkan output identifikasi marker beacon berupa bunyi ident yang dihasilkan oleh komponen buzzer, indikator lampu yang dihasilkan oleh LED, dan sinyal informasi.

Sebelum melakukan pengujian atau demonstrasi prototipe, pastikan komponen yang sudah dirangkai terhubung ke sumber daya atau power DC dan sumber listrik 220V melalui modul step down DC/DC LM2596. Sumber listrik akan mengalir ke seluruh rangkaian prototipe dan mengaktifkan seluruh komponen. Selanjutnya melakukan simulasi dengan menggerakkan pesawat melewati outer marker, middle marker, dan inner marker. Berikut merupakan tabel hasil pengujian prototipe marker beacon:

Tabel 9 Hasil Uji Indikator

Marker	Indikator yang Diuji			
	Buzzer	LED	Sinyal Generator	Sensor Ultrasonik
Outer Marker	Terdapat bunyi kode morse berupa nada panjang “dash tone” (— —)	 <p>Lampu indikator <i>outer marker</i> menyala berkedip-kedip bersamaan dengan bunyi kode morse</p>	 <p>Pancaran gelombang 400 Hz dapat dilihat di osiloskop</p>	Jarak deteksi 10cm
Keterangan	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil
Middle Marker	Terdapat bunyi kode morse berupa nada panjang dan singkat bergantian ( <i>dash dot tone</i> ) (— ° ° —)	 <p>Lampu indikator <i>middle marker</i> menyala berkedip-kedip bersamaan dengan bunyi kode morse</p>	 <p>Pancaran gelombang 1300 Hz dapat dilihat di osiloskop</p>	Jarak deteksi 7,5cm
Keterangan	Berhasil	Berhasil	Berhasil	Berhasil

<p><i>Inner Marker</i></p>	<p>Terdapat bunyi kode morse berupa nada singkat terputus-putus (<i>dot tone</i>) (° ° °) secara terus-menerus.dari pesawat</p>	 <p>Lampu indikator <i>inner marker</i> menyala berkedip-kedip bersamaan dengan bunyi kode morse</p>	 <p>Pancaran gelombang 3000 Hz dapat dilihat di osiloskop</p>	<p>Jarak deteksi 2,5cm</p>
<p>Keterangan</p>	<p>Berhasil</p>	<p>Berhasil</p>	<p>Berhasil</p>	<p>Berhasil</p>

Dari hasil uji yang ditampilkan pada tabel 4.9, dapat disimpulkan bahwa prototipe marker beacon berfungsi dengan baik dalam semua aspek yang diuji. Setiap indikator (buzzer, LED, sinyal generator, dan sensor ultrasonik) menunjukkan hasil yang sesuai dengan spesifikasi desain, sehingga prototipe dianggap layak untuk digunakan sebagai media pembelajaran sesuai tujuan dari penelitian ini.

Adapun program yang berjalan pada software Arduino IDE saat pengujian prototipe dapat dilihat melalui tampilan di “Serial Monitor”. Langkah pertama yang dilakukan adalah menghubungkan rangkaian prototipe/arduino ke laptop. Selanjutnya, pastikan program tersimpan di arduino lalu lakukan uji coba prototipe. Berikut tampilan serial monitor pada rangkaian receiver saat pengujian prototipe :

a. Pengujian Outer Marker

```

196 | digitalWrite(merah, LOW);
197 | // digitalWrite(buzzer, LOW);
198 | }
199 | // }
200 | if(state3 == true){
201 | |   // frekuensi = 1200000;
202 | |   // pins_setfreq(3000, a);

```

Output Serial Monitor x

Message (Enter to send message to 'Arduino Uno' on 'COM7')

```

- Frekuensi: 400 Hz Outer
1 - Frek

```

Gambar 21 Serial Monitor Outer Marker (Rx)

Gambar ini menunjukkan hasil dari pengujian Outer Marker menggunakan Serial Monitor. Pada Serial Monitor, terlihat bahwa sistem menerima data frekuensi yang sesuai dengan frekuensi Outer Marker (400 Hz). Frekuensi ini digunakan untuk menunjukkan posisi pesawat di dekat ujung jalur pendaratan (runway).

b. Pengujian Middle Marker

```

241 | }
242 | digitalWrite(putih, LOW);
243 | }
244 |

```

Output Serial Monitor x

Message (Enter to send message to 'Arduino Uno' on 'COM7')

```

0 - Frekuensi: 1300 Hz Middle
1 - Frekuensi: 1300 Hz Middle
1 - Frekuensi: 1300 Hz Middle
1 - Frekuensi: 13

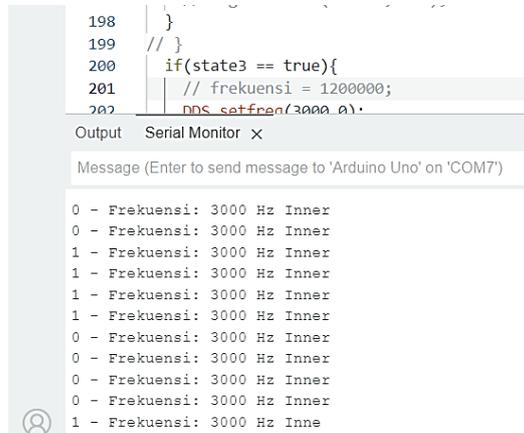
```

Gambar 22 Serial Monitor Middle Marker (Rx)

Pada gambar ini, Serial Monitor menunjukkan hasil pengujian Middle Marker. Middle

Marker memiliki frekuensi yang berbeda dari Outer Marker, yaitu sekitar 1.300 Hz. Middle Marker digunakan untuk memberikan sinyal kepada pesawat bahwa pesawat berada lebih dekat ke titik pendaratan. Hasil pada Serial Monitor menunjukkan bahwa frekuensi Middle Marker berhasil diterima dan dikenali oleh sistem.

c. Pengujian Inner Marker



Gambar 23 Serial Monitor Inner Marker (Rx)

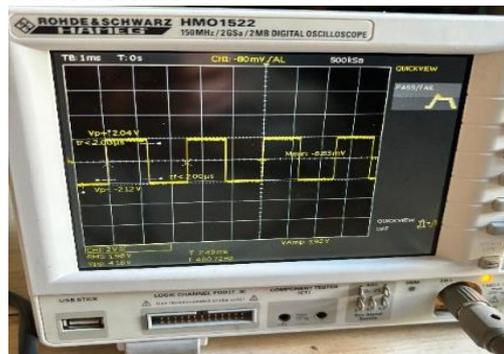
Gambar ini memperlihatkan hasil dari pengujian Inner Marker di Serial Monitor. Frekuensi yang ditampilkan menunjukkan bahwa Inner Marker bekerja dengan frekuensi 3.000 Hz. Inner Marker biasanya ditempatkan paling dekat dengan titik pendaratan dan memberikan informasi penting mengenai posisi pesawat saat berada dalam tahap akhir pendaratan.

Kode biner 0 dan 1 yang muncul dalam hasil pengujian pada Serial Monitor berkaitan dengan pengaktifan atau penonaktifan komponen buzzer dan LED pada prototipe marker beacon yang berbasis Arduino Uno. “0” berarti OFF atau mati, sedangkan “1” berarti ON atau menyala. Misalnya, ketika Arduino menerima sinyal dari Outer Marker, Middle Marker, atau Inner Marker, ia akan menyalakan atau mematikan buzzer dan LED berdasarkan frekuensi marker yang diterima.

Buzzer akan diaktifkan (1) atau dinonaktifkan (0) berdasarkan deteksi sinyal dari marker beacon. Contohnya, ketika sistem mendeteksi frekuensi dari Outer Marker, buzzer akan menyala (1) untuk memberi tahu bahwa pesawat berada di area Outer Marker. Demikian pula, LED akan menyala (1) atau mati (0) berdasarkan sinyal yang diterima. Setiap jenis marker beacon memiliki warna LED yang berbeda untuk menandakan posisi pesawat (misalnya, LED biru untuk Outer Marker, LED merah untuk Middle Marker, dan LED putih untuk Inner Marker).

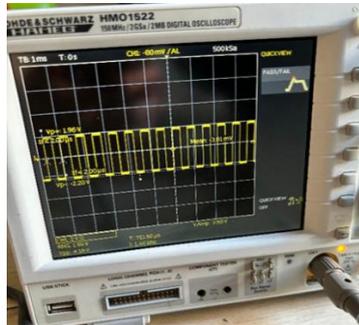
Berdasarkan hasil uji prototipe dan pengukuran pada osiloskop, berikut tampilan gelombang marker beacon:

a. Tampilan gelombang Outer Marker



RMS	Vpp	Periode (T)	Frekuensi (F)	Vamp
1.96 V	4.16 V	2.49 ms	400 Hz	3.92 V

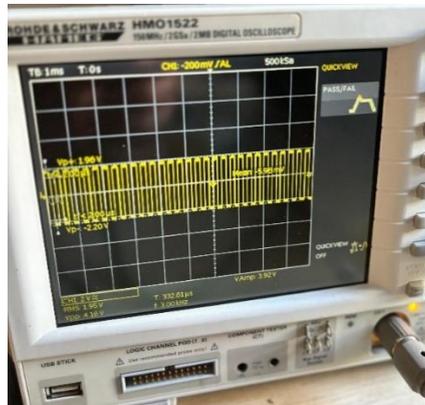
b. Tampilan gelombang Middle Marker



Gambar 25 Hasil Ukur Gelombang Middle Marker

RMS	Vpp	Periode (T)	Frekuensi (F)	Vamp
1.95 V	4.16 V	711.50 $\mu$ S	1.30 kHz	3.90 V

c. Tampilan Gelombang Inner Marker



Gambar 26 Hasil Ukur Gelombang Inner Marker

RMS	Vpp	Periode (T)	Frekuensi (F)	Vamp
1.95 V	4.16 V	332.61 $\mu$ S	3.00 kHz	3.92 V

Ketiga gelombang yang diukur memiliki karakteristik yang berbeda dalam hal frekuensi dan periode, yang mencerminkan fungsinya dalam sistem navigasi marker. Inner Marker memiliki frekuensi tertinggi dan periode terpendek, sesuai dengan posisinya yang paling dekat dengan landasan. Middle Marker memiliki karakteristik yang berada di antara Inner dan Outer Marker, sementara Outer Marker memiliki frekuensi terendah dan periode terpanjang, sesuai dengan jaraknya yang paling jauh dari landasan.

Penggunaan frekuensi yang berbeda memungkinkan pesawat untuk membedakan posisi relatif mereka terhadap landasan saat mendekati untuk pendaratan. Tingkat tegangan (Vpp dan Vamp) yang hampir sama menunjukkan bahwa semua sinyal marker disiarkan dengan kekuatan yang relatif serupa, meskipun frekuensinya berbeda.

## KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian dan pembahasan melalui tahap perancangan dan pengujian Prototipe Marker Beacon sebagai media pembelajaran di Politeknik Penerbangan Medan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Rancangan prototipe marker beacon yang dikembangkan dengan berbasis mikrokontroler arduino uno mampu mensimulasikan fungsi dan prinsip kerja

marker beacon dalam dunia penerbangan. Perangkat ini dapat diintegrasikan dengan sensor dan modul komunikasi lainnya untuk meniru scenario operasional yang realists sehingga dapat digunakan sebagai media pembelajaran di Politeknik Penerbangan Medan.

2. Sensor ultrasonik digunakan sebagai media pengganti dari tiap-tiap marker, dimana ketika pesawat atau receiver melewati area sensor, maka modul nRF24L01 sebagai modul transceiver akan mengirimkan data ke rangkaian penerima berupa bunyi kode morse melalui buzzer dan indikator visual berupa lampu atau LED.
3. Berdasarkan hasil pengujian dan analisa yang dilakukan, prototipe marker beacon berbasis mikrokontroler ini mampu menampilkan gelombang sinyal informasi audio 400 Hz, 1300 Hz, dan 3000 Hz berbentuk kotak (square) pada instrumen marker beacon melalui komponen sinyal generator AD9850.

### **Saran**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, rancangan Prototipe Marker Beacon ini tidak terlepas dari berbagai kelebihan dan kekurangan. Pada rancangan prototipe ini, belum ada indikator yang menggambarkan status atau keterangan marker dan juga jarak antar marker sehingga peneliti memberikan saran sebagai pengembangan selanjutnya, yaitu dengan menambahkan elemen atau fitur tambahan berupa pendeteksi jarak untuk tiap-tiap marker, dan penambahan indikator status marker menggunakan liquid crystal display (LCD).

### **DAFTAR PUSTAKA**

- Adiputra, F. (2013). Perancangan dan Realisasi Prototipe Blok Pemancar Middle Marker Beacon pada ILS (Instrument Landing System) dengan Frekuensi 75 MHz (B. Prasetya & Y. S. Rohmah (eds.)). Universitas Telkom.
- Ahmad fatoni,Dhany Dwi Nugroho, A. I. (2015). Rancang Bangun Alat Pembelajaran Microcontroller Berbasis ATmega 328 di Universitas Serang Raya. *JurnalJurnal PROSISKO* Vol. 2 No. 1 Maret 2015, 2(1), 10–18.
- Atmia, K., & Aswar, M. (2018). Microcontroller-based Marker Beacon Simulation at Akademi Teknik dan Keselamatan Penerbangan Makassar. *Jurnal Teknik Dan Keselamatan Transportasi*, 1, 5–8.
- Hamdani, R., Puspita, H., & Wildan, D. R. (2019). Pembuatan Sistem Pengamanan Kendaraan Bermotor Berbasis Radio Frequency Identification (Rfid). *Indept*, 8(2), 56–63.
- ICAO. (2006). Annex-10 Aeronautical Telecommunications Volume-1 Radio Navigation Aids. In *International Civil Aviation Organization: Vol. I (Issue July)*.
- Nadzifar, S., & Sabur, F. (2022). Simulasi Identifikasi Marker Beacon Berbasis Mikrokontroler Sebagai Media Pembelajaran Di Politeknik Penerbangan Makassar Simulation of Marker Beacon Identification Based on Microcontroller as Learning Media at Makassar Aviation Polytechnic. *Journal of Air Navigation Technology*, 24–31.
- Ponto, H. (2018). *Dasar Teknik Listrik* (D. Olii (ed.); Issue september 2016). Penerbit Deepublish.
- Rohman, A. A. N., Hidayat, R., & Ramadhan, F. R. (2021). Pemrograman Mesin Smart Bartender Menggunakan Saftware Arduini IDE Berbasis Microcontroller ATmega2560. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro*, 6, 14–21.
- Sabur, F., Bahrawi, A., & Raharjo, M. A. (2020). Analisis Pengaruh Instrument Landing System (ILS) untuk Peningkatan Peningkatan Pelayanan Keselamatan di Bandar Udara Haluoleo Kendari. *Airman: Jurnal Teknik Dan Keselamatan Transportasi*, 3(1), 76–85. <https://doi.org/10.46509/ajtk.v3i1.55>
- Sugiyono. (2019). *Metode Penelitian & Pengembangan: Research and Development* (3rd ed.). Bandung: Alfabeta.
- Surat Keputusan Direktur Jenderal Perhubungan Udara. (2002). SKEP/113/VI/2002.
- Suryana, T. (2021). Implementasi Modul Nirkabel nRF24L01+ Sebagai Media Pengiriman dan

- Penerimaan Data Dengan Antarmuka NodeMCU. *Jurnal Komputa Unikom*, 1–26.
- Warsito, D. (2017). *Manajemen Bandar Udara - Alat Bantu Visual untuk Navigasi Penerbangan*. Penerbit Erlangga.
- Waruwu, M. (2024). Metode Penelitian dan Pengembangan (R&D): Konsep, Jenis, Tahapan dan Kelebihan. *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*, 9(2), 1220–1230. <https://doi.org/10.29303/jipp.v9i2.2141>.