JASEE
Journal of Application and Science on Electrical Engineering

https://jurnal.widyagama.ac.id/index.php/jasee/index

RANCANG BANGUN *FIRING SYSTEM* PADA AMUNISI BERBASIS ARDUINO MENGGUNAKAN *RADIO FREQUENCY*

Andryas Doni Irani[1], Gigih Priyandoko [2], Dedi Usman Effendy[3]
[1,2,3] Teknik Elektro Universitas Widyagama Malang, Indonesia
Corresponding email: andryazdoni@gmail.com

Abstract

Currently, there is a growing demand for more sophisticated, efficient, and secure fire systems in military applications. The use of microcontroller technology and wireless systems has become a trend in a variety of fields, including military applications. Arduino as a microcontroller platform has attracted much attention due to its flexibility, availability, and affordability. The firing system is one of the important parts of weapons and ammunition that controls the launch of bullets or projectiles. The research is aimed at developing a mechanism for a remote-controllable fire system using radio frequency. The research uses several main components, including the Arduino Mega 2560, the TFT LCD ILI9486, and the radio-frequency module Digi XTend 900, electronic firing control and 38mm ammunition. The output of this research is a firing system that can be controlled remotely using a 38mm caliber ammunition with two shooting modes: single mode and salvo mode.

Keywords: *Ammunition, firing system, Arduino Mega 2560, Digi XTend 900.*

CC BY NC

p-ISSN : 2721-3625
e-ISSN : 2721-320X

1. PENDAHULUAN

Saat ini terdapat peningkatan permintaan untuk sistem tembakan yang lebih canggih, efisien, dan aman dalam aplikasi militer. Penggunaan teknologi mikrokontroler dan sistem nirkabel telah menjadi tren dalam berbagai bidang, termasuk aplikasi militer. Dalam penelitian sebelumnya, telah dilakukan kontrol prototipe sistem senjata. Kontrol sistem senjata ini bekerja menggunakan frekuensi radio 27 MHz dengan senapan laser *dummy* sebagai senjatanya. Sistem tersebut menggunakan pasangan *encoder* dan *decoder* data TX6/RX6. Jangkauan maksimum dari model ini terbatas hingga 25 meter [1].

Sistem Pemicu Jarak Jauh (*Remote Firing System*) adalah perangkat teknologi canggih yang dirancang khusus untuk digunakan oleh personel militer dan penegak hukum dalam menjalankan operasi yang melibatkan bahan peledak. Perangkat ini memungkinkan untuk memicu peledakan dari jarak yang aman, sehingga mengurangi risiko yang terkait dengan berada di dekat bahan peledak saat meledak. Sistem ini menggunakan radio frekuensi (RF) yang mana terdiri dari dua komponen utama yakni penerima (*receiver*) dan pemancar (*transmitter*). Penerima bertugas untuk menangkap sinyal yang dikirimkan oleh pemancar dan kemudian mentransfer energi yang diperlukan untuk memicu peledakan. Penerima ini dirancang dengan presisi tinggi agar dapat merespons sinyal dengan tepat dan

https://doi.org/10.31328/jasee

Received: 12-08-2024
Revised: 22-08-2024
Accepted: 01-11-2024 , published by ©UWG Press tahun

memastikan bahwa peledakan terjadi sesuai perintah yang diberikan. Sementara itu, pemancar berfungsi sebagai pusat kendali yang mengirimkan sinyal ke penerima. Pemancar ini harus mampu mengirimkan sinyal dengan akurasi tinggi dan memastikan bahwa sinyal tersebut tidak dapat diinterferensi oleh sinyal lain, sehingga memastikan peledakan dapat dilakukan dengan aman dan terkendali [2, 3]**.**

Amunisi adalah perangkat yang dirancang khusus untuk menghancurkan atau merusak sasaran dengan mengandalkan kombinasi dari reaksi kimia dan energi kinetik. Ketika digunakan, amunisi menghasilkan ledakan yang menciptakan tekanan tinggi, menggerakkan proyektil dengan kecepatan tinggi menuju target. Proyektil tersebut kemudian memanfaatkan momentum dan energi kinetik untuk menimbulkan kerusakan. Berdasarkan ukuran kalibernya, yaitu diameter proyektil atau peluru yang digunakan, amunisi diklasifikasikan menjadi tiga kategori utama: kaliber kecil, kaliber sedang, dan kaliber besar [4].

Berdasarkan data dan penelitian diatas, penelitian ini mengimplementasikan rancang bangun *firing system* pada amunisi berbasis Arduino menggunakan radio frekuensi (RF) yang mana kontrol penembakan dapat dilakukan pada jarak jauh. Sistem ini menggunakan modul radio Digi XTend 900 sebagai perangkat penerima (*receiver*) sekaligus sebagai perangkat pengirim (*transmitter*), Arduino Mega 2560 sebagai pengolah data input dan output, layar LCD TFT dengan kemampuan *touchscreen* sebagai perangkat *user interface*. Amunisi yang digunakan dalam penelitian ini adalah amunisi kaliber 38mm elektrik *dummy*. Sistem ini juga dilengkapi dengan motor servo guna mengatur sudut elevasi dan azimuth pada perangkat sistem senjata dan amunisi.

2. STUDI PUSTAKA

2.1 Firing System

Firing system atau sistem pemicu pada senjata adalah mekanisme yang digunakan untuk menghasilkan percikan atau pelepasan api untuk menembakkan proyektil. Sistem ini banyak digunakan pada berbagai jenis senjata api, baik itu senapan, pistol, maupun meriam. Terdapat dua jenis sistem pemicu yang umum digunakan adalah sistem perkusi (*percussion*) dan sistem primer listrik (*electric primer*).

2.2 Amunisi

Amunisi adalah suatu benda yang berisi bahan peledak/bahan kimia/bahan biologi/bahan radio aktif, yang dikemas dalam wadah tertentu dengan bentuk, sifat dan balistik serta komposisi jumlah dan jenis tertentu, agar aman untuk disimpan, diangkut, dilemparkan, dijatuhkan, ditembakkan, diledakkan, dikendalikan atau dengan cara lain, dengan tujuan untuk menghancurkan atau merusak sasaran [5].

2.3 Amunisi Kaliber 38mm

Amunisi kal. 38mm termasuk dalam katergori amunisi Kaliber Sedang (MKS) yang memiliki diameter proyektik 38 mm. Amunisi ini mempunyai beberapa jenis. Diantaranya adalah amunsi kal. 38 AR (*Anti Riot*) dan amunisi kal. 38 *Rubber Ball*. Kedua jenis amunisi tersebut memiliki fungsi dan tujuan masing-masing dalam penggunannya di lapangan.

2.4 Squib (*Electric Match*)

Squib merupakan bagian dari *igniter* suatu motor roket dan pemantik paling pertama untuk membakar komposisi primer (inisiator atau bahan isian) squib, kemudian membakar bahan isian utama *igniter* [6]. Squib merupakan sumbu penyala listrik.

2.5 Black Powder

Black Powder adalah campuran mekanis kalium nitrat, sulfur, dan arang, yang sebagian besar prosesnya adalah dengan ditekan, digranulasi, dan diklasifikasikan ke dalam butiran dengan ukuran tertentu [7]. Kelebihan dari *Black Powder* adalah relatif mudah dibuat menggunakan bahan-bahan yang tersedia secara alami dan ketersediannya di pasar yang cukup banyak.

2.6 Arduino Mega 2560

Arduino adalah sebuah kit elektronik atau papan rangkaian elektronik *open source* yang di dalamnya terdapat berbagai macam komponen utama seperti sebuah chip mikrokontroler dengan jenis AVR dari perusahaan Atmel. Pada dasarnya Arduino Mega 2560 berbasis ATMega 250 yang mana memiliki 54 pin input dan output (15 pin PWM), UART serta dilengkapi kristal 16 MHz.

2.7 Digi XTend 900

Digi X-Tend 900 adalah modul *radio frequency* (RF) yang bekerja pada frekuensi 900 MHz. Modul ini dirancang untuk menyediakan komunikasi nirkabel jarak jauh yang andal dengan daya tinggi. Secara teknis, modul ini beroperasi pada frekuensi 900 MHz (902 - 928 MHz ISM Band) dengan daya transmisi hingga 1 watt (30 dBm) dan kecepatan data hingga 115.2 kbps.

2.8 Baterai Li-Po

Baterai *Lithium Polymer* merupakan baterai yang banyak digunakan pada saat ini, baterai *Lithium Polymer* dapat mensuplai dengan arus yang tinggi hingga mencapai dua puluh kali kapasitasnya. Selain itu desain baterai *Lithium Polymer* lebih kecil dibangkan dengan baterai *Lead Acid* maupun Ni-CD dengan kapasitas yang sama [8].

2.9 UBEC Regulator

UBEC (*Universal Battery Eliminator Circuit*) adalah regulator tegangan DC yang mana berfungsi menurunkan tegangan baterai sekaligus menstabilkan tegangan. Dimana sering kali output dari baterai tidak stabil dan mengalami fluktuasi [9].

2.10 TFT LCD ILI9486

TFT LCD ILI9486 adalah salah satu jenis layar LCD berwarna yang menggunakan teknologi *Thin-Film Transistor* (TFT) untuk memberikan kualitas gambar yang lebih baik dan lebih responsif. Driver ILI9486 adalah komponen utama yang mengontrol layar ini.

2.11 Motor Servo

Motor servo adalah motor dengan sistem *closed feedback* dimana posisi motor akan diinformasikan kembali ke rangkaian control yang ada didalam motor servo [10]. Servo motor dikendalikan oleh sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*).

2.12 Galvanic Isolation

Galvanic Isolation adalah pemisahan sistem listrik yang mencegah adanya aliran arus antara dua atau lebih bagian dari suatu sistem. Pengisolasian sinyal dan daya melindungi personel dan peralatan serta mematuhi standar industri dan internasional [11].

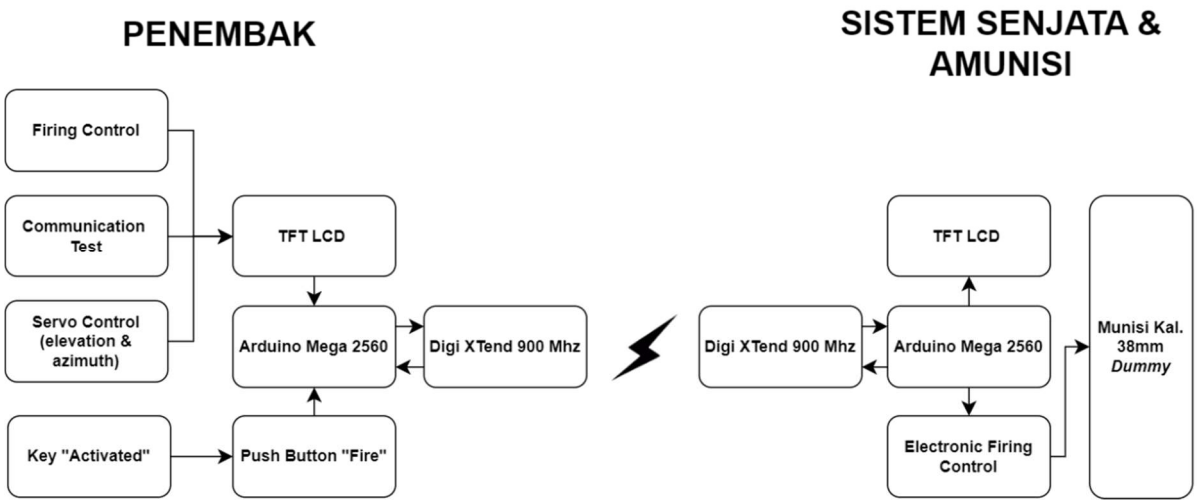
3. METODE

Metode penelitian ini akan dilakukan dalam beberapa tahapan. Tahap-tahap ini berguna untuk membantu mempermudah alur proses penelitian. Adapun tahap-tahap tersebut sebagai berikut:

1. Pencarian Referensi
   Pada tahap ini bertujuan untuk mengumpulkan infromasi dan referensi yang komperhensif guna menunjang penelitian ini. Tahap ini dilakukan dengan berkonsultasi dengan dosen pembimbing, pihak-pihak terkait, mencari jurnal atau artikel yang kredibel.
2. Pengumpulan Data
   Data yang dibutuhkan guna menunjang penelitian ini adalah data terkait spesifikasi modul radio frekuensi Digi Xtend 900, spesifikasi squib. Data tersebut digunakan guna menunjang proses desain dan merancang *firing system* beserta *electronic firing circuit* pada amunisi kaliber 38mm.
3. Pembuatan *Firing System*
   Pada tahap pembuatan *firing system* terdiri dari beberapa langkah yang harus dilakukan diantarnya adalah desain serta pembuatan perangkat Penembak dan perangkat Sistem Senjata dan Amunisi.
4. Pengujian Alat
   Pengujuan firing system pada amunisi bertujuan untuk memastikan kinerja dan kemampuan *firing system* untuk dapat melakukan kontrol penembakan pada jarak jauh.
5. Analisa dan Evaluasi
   Pada tahap ini akan dilakukan analisa terhadap fungsi dari *firing system* pada amunisi kal. 38mm dan kemudian sistem akan dievaluasi secara menyeluruh untuk mengetahui apakah sudah sesuai dengan target penelitian.

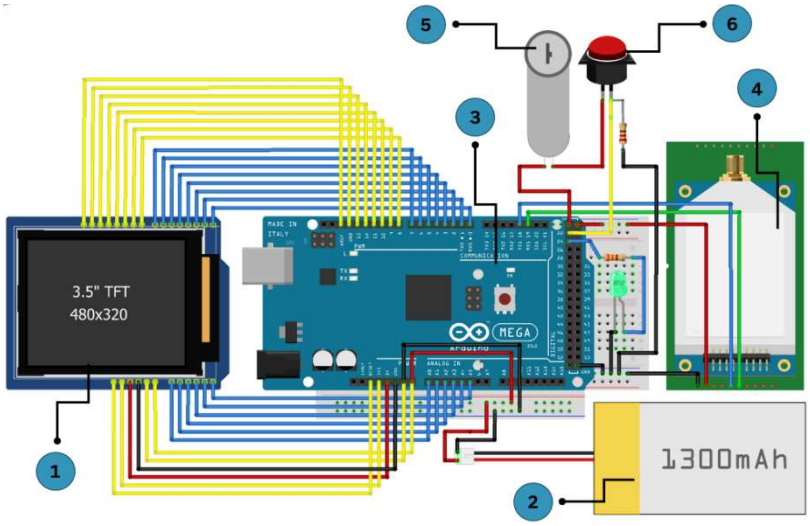
3.1 Rancangan Blok Diagram

Penelitian ini dimulai dengan pembuatan perangkat yang terdapat pada sisi penembak dimana terdiri dari beberapa komponen utama yakni Arduino Mega 2560 sebagai *main controller*, LCD TFT ILI9486 sebagai *user interface*, dan modul radio Digi XTend 900 sebagai *transceiver*. Data akan dikirimkan melalui serial pada modul radio. Kemudian perangkat pada sistem senjata dan amunisi akan menampilkan dan melakukan mekanisme penembakan. Dalam memastikan keamanan dalam mekanisme penembakan maka dibuat rangkaian *electronic firing control* yang didalamnya tersusun atas *galvanic isolation* guna mencegah adanya *auto ignition* pada amunisi. Sebagai mana yang sudah terdapat pada diagram alir dibawah ini



Gambar 1 Diagram Alir Perencanaan Sistem

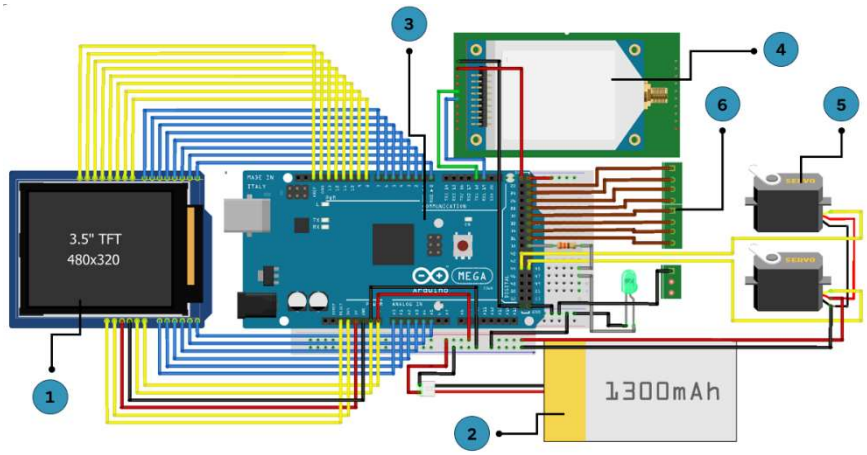
3.2 Skematik Rangkaian



Keterangan :

1. *TFT LCD*
2. *Baterai Li-Po*
3. *Arduino Mega 2560*
4. *Digi XTend 900*
5. *Activation Key*
6. *Push Button "FIRE"*

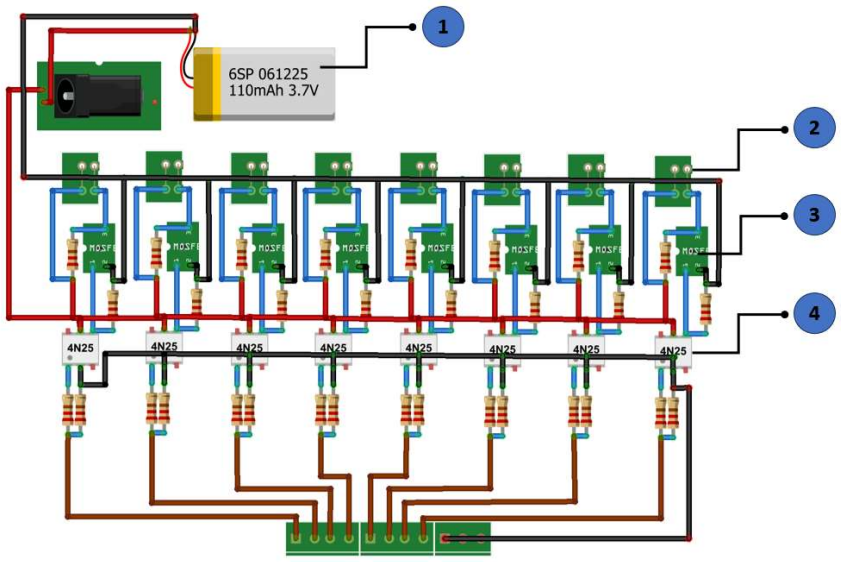
Gambar 2 Skematik Rangkaian pada Perangkat "Penembak"



Keterangan :

1. *TFT LCD*
2. *Baterai Li-Po*
3. *Arduino Mega 2560*
4. *Digi XTend 900*
5. *Motor Servo*
6. *Electronic Firing Control*

Gambar 3 Skematik Rangkaian pada Perangkat "Sistem Senjata dan Amunisi"



Keterangan :

1. *Baterai Li-Po*
2. *Ammunition Port*
3. *N-Ch MOSFET*
4. *4N25 Optocoupler*

Gambar 4 Skematik Rangkaian *Electronic Firing Control*

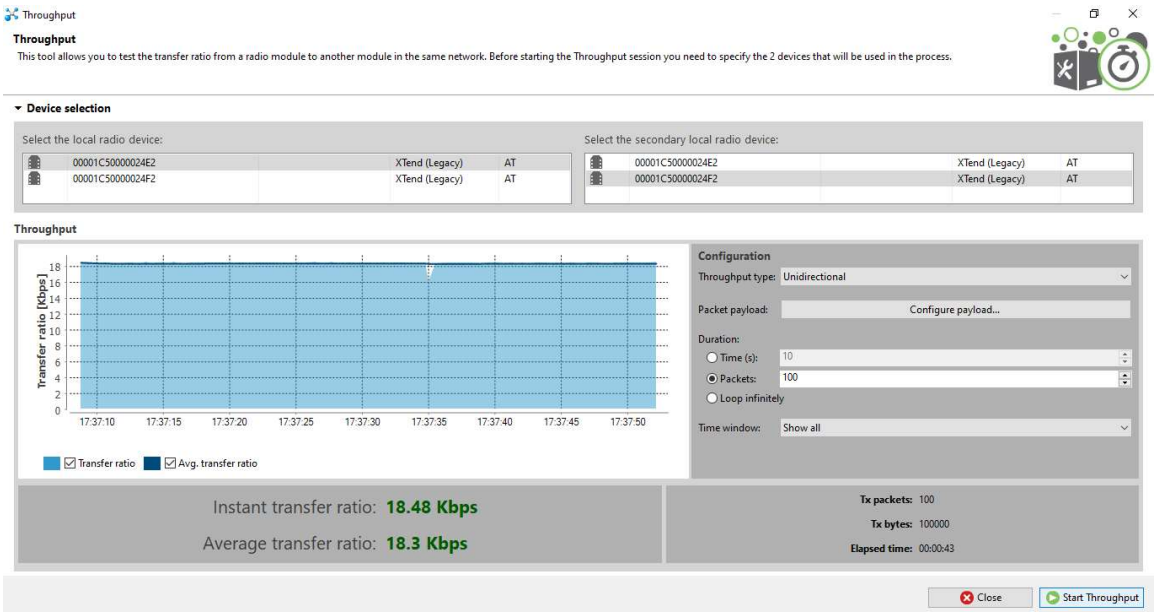
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Throughput Ratio Radio Frekuensi

Tujuan dari pengujian throughput pada modul radio frekuensi Digi XTend 900 adalah untuk mengukur dan mengevaluasi seberapa efektif modul tersebut dalam mengirimkan data melalui jaringan komunikasi nirkabel. Pada pegujian ini menggunakan software XCTU untuk kecepatan data yang diterima.

Tabel 1 Pengujian Throughput Radio Frekuensi

Packet Payload (bytes)	Tx Packets	Tx Bytes	Elapsed Time (s)	Avg. Transfer Ratio (Kbps)
1000	5	5000	2	18,27
	10	10000	4	18,30
	20	20000	8	18,34
	30	30000	12	18,24
	40	40000	17	18,33
	50	50000	21	18,22
	60	60000	26	18,18
	70	70000	30	18,24
	80	80000	35	18,30
	90	90000	39	18,21
	100	100000	43	18,30



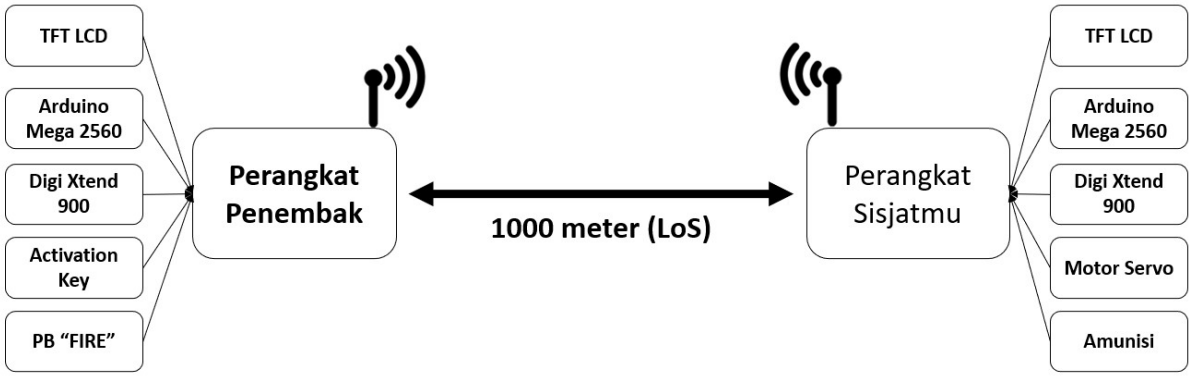
Gambar 5 Pengujian Throughput Digi XTend 900

Pengujian throughput yang dilakukan menunjukkan bahwa kecepatan transfer data rata-rata (*Avg. Transfer Ratio*) relatif konsisten di kisaran 18,2 hingga 18,3 Kbps, meskipun terjadi peningkatan dalam jumlah paket yang dikirim dan jumlah byte yang ditransfer. Waktu yang dibutuhkan untuk mentransfer data (*Elapsed Time*) bertambah seiring dengan meningkatnya jumlah paket, yang menunjukkan bahwa semakin banyak data yang dikirim, semakin banyak waktu yang diperlukan.

Meskipun demikian, efisiensi transfer data tetap terjaga, dengan rasio transfer yang stabil meskipun beban data bertambah. Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki performa yang stabil dan mampu mempertahankan kecepatan transfer yang konsisten.

4.2 Pengujian Komunikasi Perangkat Penembak dengan Perangkat Sistem Senjata dan Amunisi

Pengujian komunikasi perangkat penembak dengan perangkat sistem senjata dan amunisi dilakukan dengan menempatkan perangkat penembak sejauh 1000 meter dengan perangkat sistem senjata. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah kedua perangkat tersebut memiliki konektivitas yang stabil hingga jarak 1000 meter.



Gambar 6 Skema Pengujian Komunikasi Perangkat

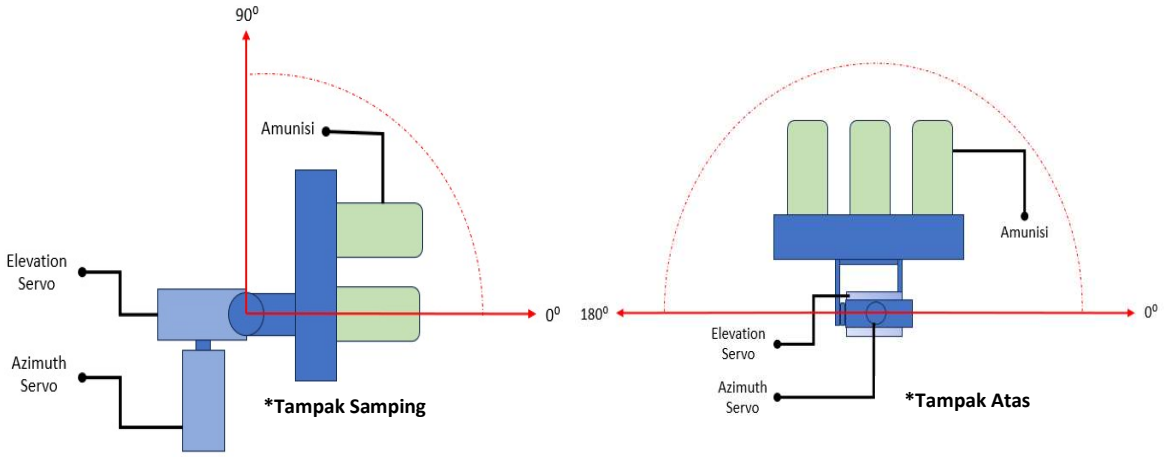
Tabel 2 Pengujian Komunikasi Perangkat Penembak dengan Perangkat Sistem Senjata dan Amunisi

Jarak (Penembak – Sistem Senjata) (m)	Daya Transmisi	Perangkat Penembak		Perangkat Sistem Senjata &
		Tampilan LCD	LED Indikator	LED Indikator
50	500 mW	Connected	Menyala	Menyala
100		Connected	Menyala	Menyala
200		Connected	Menyala	Menyala
300		Connected	Menyala	Menyala
400		Connected	Menyala	Menyala
500		Connected	Menyala	Menyala
600		Connected	Menyala	Menyala
700		Connected	Menyala	Menyala
800		Connected	Menyala	Menyala
900		Connected	Menyala	Menyala
1000		Connected	Menyala	Menyala

Sistem transmisi dan konektivitas antara penembak dan sistem senjata menunjukkan kinerja yang stabil dan handal dalam berbagai jarak yang diuji, yaitu dari 50 meter hingga 1000 meter. Dengan daya transmisi sebesar 500 mW, perangkat penembak selalu menunjukkan status "Connected" pada tampilan LCD di semua jarak. Selain itu, indikator LED pada perangkat penembak dan sistem senjata & amunisi tetap menyala tanpa adanya gangguan. Hal ini menandakan bahwa sistem bekerja dengan baik dan konsisten dalam menjaga konektivitas dan fungsi indikator LED, terlepas dari jarak antara penembak dan sistem senjata. Kesimpulannya, sistem ini mampu mempertahankan performa optimal hingga jarak 1000 meter.

4.3 Pengujian Kontrol Motor Servo

Pengujian kontrol motor servo bertujuan untuk mengetahui akurasi dari motor servo pada perangkat sistem senjata dan amunisi. Sudut elevasi terbatas antara 0^o hingga 90^o. Sedangkan untuk sudut azimuth antara 0^o hingga 180^o.



Gambar 7 Skema Pengujian Kontrol Servo (Elevasi dan Azimuth)

Tabel 3 Pengujian Kontrol Motor Servo (Elevasi dan Azimuth)

Perangkat Penembak		**Perangkat Sistem Senjata &**		**Penyimpangan**	
Input Sudut (°)		**Sudut Aktual (°)**			
Elevasi	**Azimuth**	**Elevasi**	**Azimuth**	**Elevasi**	**Azimuth**
0	0	0.52	0	0.52	0
10	20	10.68	19.6	0.68	0.4
20	40	20.45	39.3	0.45	0.45
30	60	30.68	58.9	0.68	1.1
40	80	39.78	79.2	0.22	0.8
45	90	45.66	91.7	0.66	1.7
50	100	50.32	99	0.32	1
60	120	61.04	118.5	1.04	1.5
70	140	70.52	138.8	0.52	1.2
80	160	79.41	159.3	0.59	0.7
90	180	88.37	178.2	1.63	1.8

Berdasarkan table diatas terdapat penyimpangan antara sudut input yang diinginkan dan sudut aktual yang dicapai oleh perangkat sistem senjata dan amunisi. Penyimpangan ini terjadi pada sudut elevasi dan azimuth, dengan nilai penyimpangan yang bervariasi pada setiap tingkat input. Misalnya, pada sudut elevasi 0°, penyimpangan hanya sebesar 0,52°, sedangkan pada sudut elevasi 90°, penyimpangan mencapai 1,63°. Penyimpangan pada azimuth juga menunjukkan variasi, dengan penyimpangan terbesar terjadi pada sudut input 45° di mana azimuth menyimpang sebesar 1,7°. Secara keseluruhan, penyimpangan ini menunjukkan adanya ketidaksempurnaan dalam sistem yang mengakibatkan perbedaan antara sudut yang diinginkan dan yang dicapai. Besarnya nilai penyimpangan masih bisa ditoleransi mengingat penelitian ini tidak fokus untuk keakuratan 100 % dari kontrol sudut servo.

4.4 Pengujian *Firing System Single Mode*

Tabel 4 Pengujian *Firing System Single Mode*

Jarak Penembak - Sisjatmu	Daya Transmisi	Perangkat Penembak			Perangkat Sistem Senjata & Amunisi	
		Input LCD (Ammo No.)	Activation Key	Push Button "FIRE"	Output LCD (Ammo No.)	Amunisi
1000 meter	500 mW	1	ON	HIGH	1	Meluncur
			OFF	-		Tidak Meluncur
		2	ON	HIGH	2	Meluncur
			OFF	-		Tidak Meluncur
		3	ON	HIGH	3	Meluncur
			OFF	-		Tidak Meluncur
		4	ON	HIGH	4	Meluncur
			OFF	-		Tidak Meluncur
		5	ON	HIGH	5	Meluncur
			OFF	-		Tidak Meluncur
		6	ON	HIGH	6	Meluncur
			OFF	-		Tidak Meluncur

Gambar 8 Pengujian *Firing System Single Mode*

Dalam pengujian tersebut menempatkan penembak yang berjarak 1000 meter dari sistem senjata dan amunisi menggunakan daya transmisi sebesar 500 mW. Perangkat penembak memiliki input LCD yang menampilkan nomor amunisi dan menggunakan *Activation Key* untuk mengaktifkan sistem penembakan, serta tombol "FIRE" untuk menembakkan amunisi. Pada perangkat sistem senjata dan amunisi, LCD menampilkan nomor amunisi yang sesuai dengan input dari perangkat penembak. Aktivasi sistem penembakan dilakukan dengan menyalakan *Activation Key* ke posisi "ON" dan menekan

tombol "FIRE" pada posisi HIGH menyebabkan amunisi meledak. Sebaliknya, jika *Activation Key* berada pada posisi "OFF" maka amunisi tidak akan meledak walaupun tombol “FIRE” ditekan.

4.5 Pengujian *Firing System Salvo Mode*

Tabel 5 Pengujian *Firing System Salvo Mode*

Jarak Penembak - Sisjatmu	Daya Transmisi	Perangkat Penembak				Perangkat Sistem Senjata & Amunisi		
		LCD		Activation Key	Push Button “FIRE”	Salvo Activation Status	Amunisi	
		Salvo Activation Button	Activation Status					
1000 meter	500 mW	HIGH	Activated	ON	HIGH	Activated	1	Meluncur
							2	Meluncur
							3	Meluncur
							4	Meluncur
							5	Meluncur
							6	Meluncur
		HIGH	Activated	OFF	-	Activated	1	Tidak Meluncur
							2	Tidak Meluncur
							3	Tidak Meluncur
							4	Tidak Meluncur
							5	Tidak Meluncur
							6	Tidak Meluncur

Gambar 9 Pengujian *Firing System Salvo Mode*

Dalam pengujian *Firing System Salvo Mode* menempatkan penembak yang berjarak 1000 meter dari sistem senjata dan amunisi menggunakan daya transmisi sebesar 500 mW. Pada perangkat penembak memiliki input LCD *Salvo Activation Button* dimana akan berniali HIGH saat ditekan. Saat

Salvo Activation Button bernilai HIGH maka akan muncul tampilan “ACTIVATED” pada layar LCD penembak dam layar LCD sistem senjata dan amunisi. *Activation Key* berfungsi untuk mengaktifkan sistem penembakan, serta tombol "FIRE" untuk menembakkan amunisi. Aktivasi sistem penembakan dilakukan dengan menyalakan *Activation Key* ke posisi "ON" dan menekan tombol "FIRE" pada posisi HIGH menyebabkan amunisi meledak. Pada mode salvo, amunisi meledak secara berurutan dari 1 sampai 6 dengan jeda 1,5 detik pada tiap peledakan.

5. SIMPULAN

Beberapa Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. *Firing System* pada amunisi dibuat dengan menggunakan beberapa komponen utama diantaranya adalah Arduino Mega 2560, radio modul Digi Xtend 900, LCD TFT, dan tentunya amunisi itu sendiri. Pengujian *firing system* pada amunisi kal. 38mm telah berhasil dilakukan. Terdapat dua mode penembakan yaitu *Single Mode* dan *Salvo Mode*. Pada *Single Mode*, penembak dapat memilih nomor amunisi yang akan ditembakkan. Sedangkan pada *Salvo Mode* penembakan dilakukan berurutan dari amunisi nomor 1 hingga nomor 6 dengan jeda 1,5 detik pada tiap amunisi.
2. *Firing System* bekerja berdasarkan input dari perangkat penembak yang dikirimkan ke perangkat sistem senjata dan amunisi. Input dari perangkat penembak dikirimkan dengan menggunakan radio frekuensi (RF) 900 MHz. Data tersebut akan diterima dan selanjutnya akan diolah oleh perangkat sistem senjata dan amunisi untuk dilakukan penembakan. *Activation Key* dan *Push Button* “FIRE” berperan sebagai pemegang kendali untuk melakukan penembakan.
3. Pengujian jarak transmisi antara perangkat penembak dan perangkat sistem senjata dan amunisi menggunakan daya transmisi 100 mW dan 500 mW. Daya transmisi berpengaruh signifikan terhadap jarak koneksi antara penembak dan sistem senjata. Pada daya 100 mW, koneksi terputus setelah 600 meter, sedangkan pada daya 500 mW, koneksi tetap stabil hingga 1000 meter. Ini menandakan bahwa peningkatan daya transmisi memungkinkan koneksi yang lebih stabil dan jarak yang lebih jauh

UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah Atas Berkat Rachmat Allah Yang Maha Esa, atas nikmat yang begitu luar biasa sehingga penulis bisa dengan lancar dalam penyusunan laporan skripsi ini. Terima kasih untuk sukma dan raga penulis yang tetap kuat dan semangat sehingga sampai di titik ini. Terima kasih untuk orang tua atas doa dan dukungan yang tanpa henti sehingga penulis mendapatkan energi positif dan semangat yang berlebih. Terima Kasih untuk Dosen Pembimbing, Kaprodi dan Keluarga besar Universitas Widyagama Malang atas arahan, dorongan serta dukungannya sehingga penulis lebih mudah dalam prosesnya. Terima Kasih untuk saudara, teman, dan rekan-rekan BP Munisi PT. Pindad. Tanpa dukungan dan semangatnya penulis menyadari tidak akan dengan mudah melewati ini semua, serta semua yang tidak mungkin penulis sebutkan satu persatu.

DAFTAR RUJUKAN

[1] D. Garba, M. Afolayan, dan S. Udabor, "Design of a Prototype Remote Control Weapon System," *Arabian Journal for Science and Engineering*, vol. 12, no. 1, hlm. 19–30, 2018.

[2] M. Brunaes, S. Jorgensen, A. Sirajuddin, B.-I. Bekkevold, K. Alfheim, dan A. S. Brendoy, "SPARK-Remote Firing System," Thesis, University of South-Eastern Norway, Norway, 2020. [Daring]. Tersedia pada: https://hdl.handle.net/11250/2978534

[3] N. Ayir, T. Riihonen, M. Allen, dan M. F. Trujillo Fierro, "Waveforms and End-to-End Efficiency in RF Wireless Power Transfer Using Digital Radio Transmitter," *IEEE Trans. Microwave Theory Techn.*, vol. 69, no. 3, hlm. 1917–1931, Mar 2021, doi: 10.1109/TMTT.2020.3047654.

[4] M. S. Akbar dan B. W. Otok, "Generalized Reduced Gradient Untuk Optimasi Amunisi Kaliber 57 mm C-60 Het," *Jurnal ILMU DASAR*, vol. 10, no. 2, hlm. 225–235, 2009.

[5] R. P. Jati dan M. S. La Ore, "Prediksi Usia Simpan Amunisi Kaliber Kecil dan Uji Performa Balistiknya: Studi di Gudang Senjata AAU," *Seminar Nasional Sains Teknologi dan Inovasi Indonesia*, vol. 4, no. 1, hlm. 103–110, 2022.

[6] E. Lestariana, "Squib Sebagai Sumbu Penyala Listrik," *Berita Dirgantara*, vol. 9, no. 2, hlm. 46–50, Jun 2008.

[7] D. B. Dahl dan P. F. Lott, "Determination of Black and Smokeless Powder Residues in Firearms and Improvised Explosive Devices," *Microchemical Journal*, vol. 35, no. 1, hlm. 40–50, Feb 1987, doi: 10.1016/0026-265X(87)90198-6.

[8] M. P. S. Simbolon, H. Wijanarko, F. Nakul, dan R. Mahdaliza, "Penerapan Komunikasi Nirkabel LoRa pada Sistem Pencatat Kehadiran Portabel," *JAEE*, vol. 5, no. 2, hlm. 30–35, Des 2021, doi: 10.30871/jaee.v5i2.3096.

[9] A. Dwicahyo, L. Herdiman, dan S. Susmartini, "Power efficiency analysis by using UBEC for prosthetic hand," dipresentasikan pada PROCEEDINGS OF 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL, MECHANICAL, ELECTRICAL AND CHEMICAL ENGINEERING 2021 (ICIMECE 2021), Surakarta, Indonesia, 2023, hlm. 030023. doi: 10.1063/5.0117185.

[10] B. A. Nugroho dan Y. M. Djaksana, "Implementasi Mikrokontroler Arduino Uno dan Multi Sensor Pada Tempat Sampah," *Scientia Sacra: Jurnal Sains, Teknologi dan Masyarakat*, vol. 2, no. 4, 2022.

[11] A. Chub, D. Vinnikov, F. Blaabjerg, dan F. Z. Peng, "A Review of Galvanically Isolated Impedance-Source DC–DC Converters," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 31, no. 4, hlm. 2808–2828, Apr 2016, doi: 10.1109/TPEL.2015.2453128.