RANCANG BANGUN SISTEM DETONATOR ROBUST PADA FUZE PROXIMITI BPPT

Muamar Khadafi[1]
Program Studi Teknik Elektro Institute Teknologi Indonesia
Email: mkhadafi1998.mk@gmail.com

Ade Purwanto[2]
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)
Email: ade.purwanto@bppt.go.id

Tris Dewi Indraswati[1]
Program Studi Teknik Elektro Institute Teknologi Indonesia
Email: mkhadafi1998.mk@gmail.com

ABSTRACT: *Fuze is a device to ensure the safety, to prepare and to detonate a warhead, with a certain requirements which is set from the design of the mechanism. The design of the fuze requires that the system must be robust so that it will not endangered the handling, transporting and storing the warhead. In addition to that, a fuze must be confirmed that it will trigger the explosion of the warhead when it reaches the target. The sensitive application of the fuze in the military world makes the design mostly confidential and only a little portion is revealed in the media and scientific article. All of this problem contribute to the inability of Indonesia to produce it's own fuze, either the mechanic, chemical or electro-mechanic version of it. All of Indonesian warhead uses imported fuze from overseas, which makes Indonesian military depends on other countries. In this study, prototype of a robust detonator system for a proximity fuze, a type of electro-mechanic fuze that uses a range-sensor to determine the detonation time of the warhead, is made. The system was made using an SF30C Laser as the proximity sensor and a detonation system utilizing an electric signal. The Printed Circuit Board (PCB) was custom built with the majority of components using the Surface Mount Devices (SMD) design style, a Lithium Polymer type battery with a voltage of 7.4 VDC was used as the power supply. The Arduino Pro-Micro was used to be the processor, which was placed on the PCB using a Pin Through Hole (PTH) system. Several configurations have been tested and documented.The detonation system using double-PhotoMOS was proved to be the most reliable compared to several other systems. PhotoMOS was configured so that when it was activated, Proximity Fuze would be able to send an electric current to the detonator, so that the detonator will be burt. The results of experiments shows that the Photomos can trigger detonator explosions at an average error target distance of 1,15%. Thus the Proximiti fuze prototype can be said to work well and is possible to be applied in the defense industry.*
Keywords*: Fuze, Photomos, Detonator, Proximity*

ABSTRAK: Fuze merupakan perangkat untuk mengamankan, menyiapkan dan meledakan suatu hulu ledak dengan persyaratan yang telah ditetapkan pada perancangan mekanisme kerjanya. Desain Fuze mewajibkan agar sistem yang digunakan robust sehingga tidak membahayakan penanganan, pemindahan dan penyimpanan hulu ledak. Di sisi lain, fuze harus dipastikan bisa meledakkan hulu ledak ketika mencapai sasaran. Penggunaan fuze yang sangat sensitif di dunia militer membuat desain Fuze bersifat rahasia, dan hanya sedikit yang diulas secara detil di media maupun artikel ilmiah. Beberapa masalah ini membuat Indonesia belum mampu membuat Fuze, baik tipe mekanik, kimia maupun elektronik. Seluruh hulu ledak yang menggunakan Fuze di Indonesia menggunakan Fuze impor dari luar negri, menjadikan militer Indonesia bergantung kepada negara lain.Dalam studi ini dibuat prototipe sistem detonator handal untuk fuze Proximiti, yaitu salah satu tipe Fuze elektro-mekanik, yang menggunakan sensor jarak untuk menentukan waktu peledakan hulu ledaknya. Sistem dibuat menggunakan Laser SF30C sebagai sensor proximity dan sistem detonasi berupa sinyal elektrik. *Printed Circuit Board* (PCB) dibangun secara khusus dengan mayoritas komponen menggunakan gaya desain *Surface Mount Devices* (SMD), catu daya menggunakan baterai tipe *Lithium Polymer* dengan tegangan 7.4 VDC. Prosesor menggunakan Arduino Pro-Micro yang diletakkan pada PCB dengan sistem *Pin Through Hole* (PTH). Beberapa konfigurasi telah diujikan dan didokumentasikan. Sistem detonasi menggunakan double-PhotoMOS terbukti paling handal dibandingkan beberapa sistem yang lainnya. PhotoMOS dikonfigurasikan agar ketika telah aktif, fuze Proximiti dapat mengalirkan arus listrik kepada detonator, sehingga detonator akan terbakar. Hasil percobaan yang dilakukan fuze Proximiti dapat memicu ledakan detonator pada rata – rata error jarak dari target sebesar 1.15%. Dengan demikian prototipe fuze Proximiti dapat dikatakan bekerja dengan baik dan dimungkinkan untuk dapat direalisasikan dalam industri pertahanan.
Kata kunci: Fuze, Photomos, Detonator, Proximiti

PENDAHULUAN

Peluru kendali (rudal) merupakan alat utama sistem persenjataan (alutsista) yang berperan penting untuk menjaga kedaulatan suatu negara. Rudal terbagi – bagi menjadi beberapa subsistem yang masing – masing mempunyai state of the art teknologinya tersendiri. Salah satu komponen utama

[1] Program Studi Teknik Elektro Institute Teknologi Indonesia
[2] Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)

untuk rudal adalah Fuze. Fuze berfungsi sebagai pengaman sekaligus juga pemicu pertama dari hulu ledak [1]. Dengan sebab ini maka kehandalan fuze adalah hal paling kritis agar hulu ledak tetap aman ketika disimpan, dipindahkan, serta dipasang dan diangkut oleh wahana pembawa senjata. Di sisi lain, fuze ini harus mematikan (lethal) untuk target senjata. Hulu ledak harus selalu berfungsi ketika mengenai target.

Fuze digunakan di semua matra, baik di matra udara dengan diterapkan di Rudal, matra darat di Mortar maupun Munisi Kaliber Besar (MKB), maupun matra laut di Torpedo dan senjata yang lainnya [2], [3]. Cara tradisional untuk menerapkan Safety dan Arming adalah dengan menggunakan pegas, pemberat dan jarum [4] yang menjalankan fungsinya dengan bantuan dari energi inersia yang dialami oleh wahana fuze tersebut. Teknologi ini disebut sebagai impact fuze, dan kekurangannya adalah fuze tipe ini hanya bisa meledak apabila mekanisme jarum mampu menembus piroteknik, yaitu apabila fuze terbentur dengan suatu benda setelah ditembakkan (menabrak target). Kemudian teknologi fuze bergeser ke chemical based, dan electro-mechanical based [5]–[7] . Untuk electro-mechanical based, teknologi berkembang mulai dari pengaturan delay detonasi, pengenalan target dan jarak dari target, hingga berbagai metoda trigger untuk primer peledak [5], [8], [9]. Riset mengenai fuze telah dilakukan di Indonesia akan tetapi porsinya sangat sedikit [1]. Dalam kaitannya dengan kemandirian teknologi fuze, riset dalam hal ini menjadi penting untuk Indonesia agar tidak lagi bergantung kepada impor fuze dari negara lain.

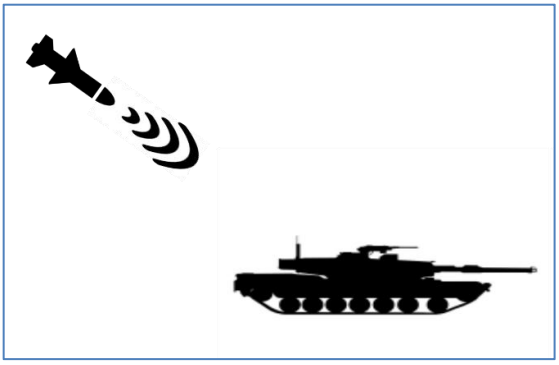
Studi ini menekankan pada fuze electro-mechanic, dengan desain sistem detonasi pada fuze proximiti menggunakan detonator elektronik dan sistem arming mekanik menggunakan bandul dan pegas. Studi dikhususkan pada kehandalan sistem elektronik dan diujikan pada wahana bergerak di skala laboratorium.

METODE DAN MATERIAL

Pada bab ini akan dijelaskan tentang perancangan alat yang akan dibuat untuk studi ini. Pada alat ini terdapat dua bagian yaitu software dan hardware. Pada software dilakukan pemprograman pada mikrokontroler Arduino Pro-micro. Sedangkan pada hardware terdapat sensor SF30/C, PCB, catu daya dan komponen detonator.

A. Diagram Blok

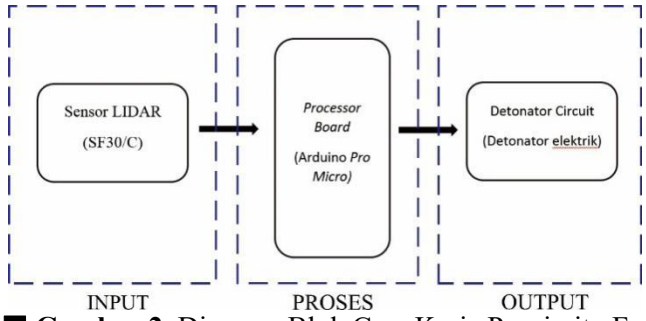
Secara umum, cara kerja Proximity Fuze adalah dengan mendeteksi target sekian meter dari hulu ledak dan kemudian mengatur peledakan. Sebagai ilustrasi adalah pada Gambar 1, rudal mendeteksi adanya target berupa sebuah tank, dan hulu ledak diprogram untuk meledak 15 meter dari target. Dengan keadaan seperti ini maka daya rusak dari ledakan rudal ini akan tersebar lebih luas sehingga bisa melumpuhkan target di area tersebut.



■ **Gambar 1.** Rudal menuju target berupa Tank dengan deteksi jarak menggunakan proximity sensor

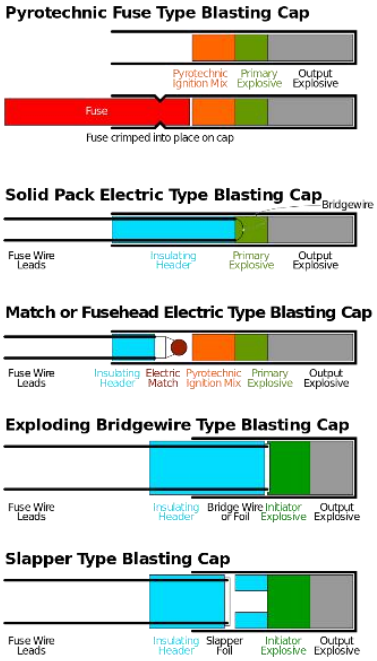
Sistem Proximity Sensor sendiri secara umum terdiri dari beberapa bagian yaitu: sensor, Processor Board dan Detonator Circuit, sebagaimana digambarkan pada gambar 2. Bagian pertama adalah berupa sensor proximity, dalam hal ini divais yang digunakan adalah SF30/C Laser Range Finder sebagai pembaca jarak antara amunisi dengan target. Bagian kedua adalah mikrokontroler Arduino Pro-micro sebagai mesin penghitung jarak, eksekusi keputusan meledak atau tidak, dan

mengirimkan sinyal ledakan ke Detonator. Pada bagian detonator sendiri, sebagai pemicu ledak dan catu daya yang digunakan yaitu baterai Lithium-Polimer 7.4 VDC.



■ **Gambar 2.** Diagram Blok Cara Kerja Proximity Fuze

Untuk detonator sendiri, di pasaran terdapat berbagai macam tipe dengan kelebihan dan kekurangan masing – masing. Untuk studi ini, detonator yang digunakan adalah yang paling mudah didapatkan di Indonesia, yaitu tipe Solid Pack Electric Type Blasting Cap. Struktur dari berbagai macam detonator bisa dilihat pada gambar 3 berikut ini.



■ **Gambar 3.** Beberapa tipe detonator (G. W. Herbert)

Secara teori, tipe detonator Solid Pack Electric Type Blasting Cap adalah bekerja dengan cara memanaskan kawat yang berada di dalam blasting cap. Panas ini kemudian mengagitasi material aktif berupa bubuk mesiu primer yang biasanya bertipe double-based. Di pasaran, rata – rata tahanan dari kawat blasting cap adalah 2-36 Ohms. Primer double-based sendiri membutuhkan energi tipikal sekitar 3 hingga 15 joules untuk bisa terbakar. Dengan rasio yang telah diketahui bahwa 1 joules = 1 watt/detik maka secara teori dibutuhkan catu daya sebesar minimal 3 watt/detik untuk bisa terbakar, dan hingga 15 watt/detik untuk terbakar sempurna.

Dengan asumsi daya yang diperlukan adalah 15 watt/detik maka resistansi maksimum dari blasting cap adalah:

$$R = \frac{V^2}{P} \quad \text{.....(1)}$$

$$= \frac{7.4^2}{15}$$

$$= 3.65\ \Omega$$

Dengan diketahuinya resistansi maksimum, maka kebutuhan arus maksimum yang dibutuhkan menjadi diketahui, yaitu:

$$i = \frac{V}{R} \quad \text{.....(2)}$$

$$= \frac{7.4}{3.65}$$

$$= 2.02\ A$$

Dengan diketahuinya kebutuhan arus listrik, maka tipe baterai yang dibutuhkan menjadi diketahui. Minimal baterai tersebut harus bisa mengeluarkan arus sebesar 2.02 Ampere per detik. Dengan kebutuhan ini, maka tipe baterai dengan discharge current yang mencukupi adalah VRLA, NiMh, LiFePO, Li-ion. Dalam studi ini, digunakan baterai LiFePO.

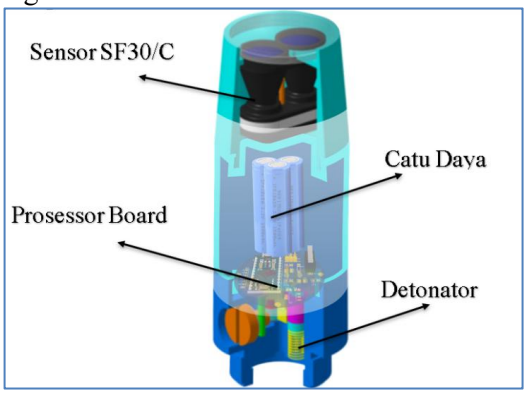
Adapun fungsi dari masing-masing bagian dalam diagram blok pada gambar 2 adalah sebagai berikut :

1. Sensor SF30/C berfungsi untuk mendeteksi jarak antara fuze dengan target. Begitu sistem diaktifkan sensor SF30/C akan memancarkan cahaya laser kepada target melalui bagian transmitter. Data laser ditembakkan setiap 10ms. Laser yang dipancarkan akan memantul dari target, kemudian ditangkap oleh receiver sensor.
2. Receiver akan memberikan data jarak target ke pada mikrokontroler, jarak target dibandingkan dengan seting jarak peledakan, dan apabila mencukupi, kemudian perintah peledakan diteruskan pada kepada photoMOS.
3. photoMOS dapat mengalirkan listrik yang masuk kepada detonator untuk melakukan peledakan.
4. Detonator yang dialirkan listrik akan mengalami short circuit, kemudian bagian koil detonator akan panas dan terbakar.

Prinsip kerja dari proximity fuze ini adalah detonator diaktifkan berdasarkan jarak untuk memicu ledakan pada amunisi peledak. Data berupa jarak antara wahana dengan target akan diterima oleh mikrokontroler dari sensor, data jarak tersebut akan diproses sebagai perintah untuk mengaktifkan kontak on pada photoMOS saat jarak amunisi dan target ≤ 5 meter. Kontak on pada photoMOS akan mengalirkan arus listrik kepada detonator, sehingga detonator mengalami short circuit yang menyebabkan koil pada detonator terbakar.

B. Desain dan Layout Prosessor Board

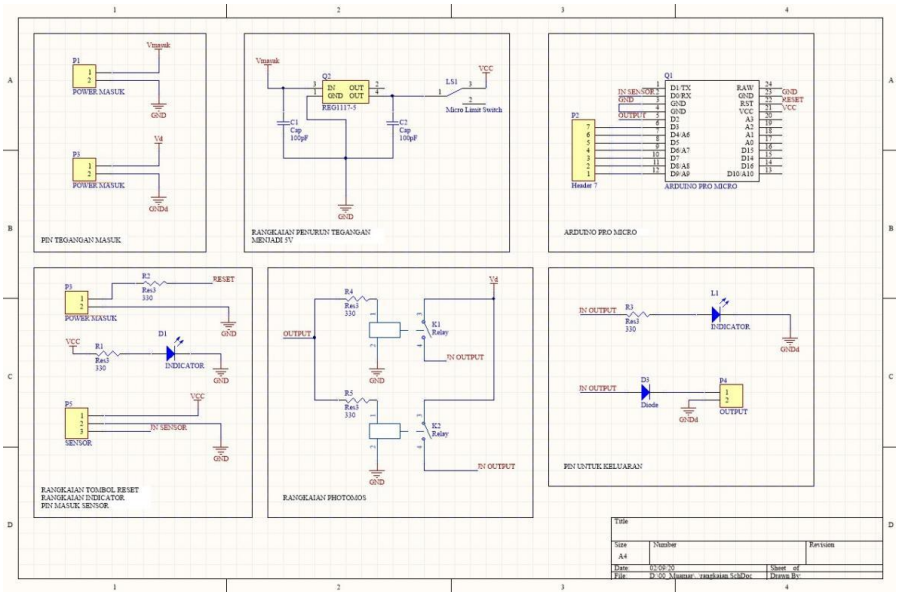
Proximity fuze memiliki beberapa bagian yaitu sensor SF30/C pada bagian depan fuze, rangakaian eletronik pada PCB (Arduino Pro Micro, IC Regulator, PhotoMOS (AQY211G2S)) dan baterai 18650 yang terletak pada bagian tengah badan fuze, detonator terletak dibagian belakang pada badan fuze. Dapat dilihat pada gambar 4.



■ **Gambar 4.** Desain Body Proximity Fuze

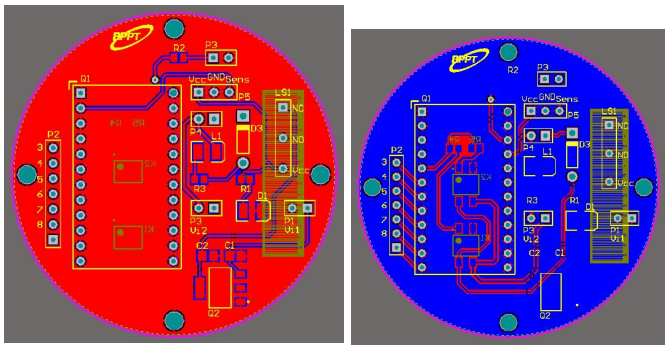
Rangkaian elektronika yang digunakan dirancang dalam 6 blok rangkaian sesuai fungsinya masing-masing, yaitu rangkaian pin tegangan masuk, rangkaian penurun tegangan, rangkaian Arduino Pro Micro, rangkaian pin masukkan, tombol reset dan indikator, rangkaian photoMOS, dan rangkaian

pin keluaran. Pada gambar 5 dapat dilihat skematik rangkaian prosessor board yang tersusun pada satu PCB.



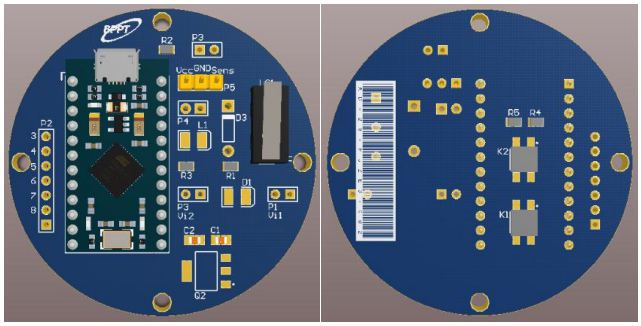
■ **Gambar 5**. Skematik Rangkaian Proximity Fuze

Layout PCB proximity fuze memakai dua layer yaitu top layer dan bottom layer seperti terlihat pada gambar 6.



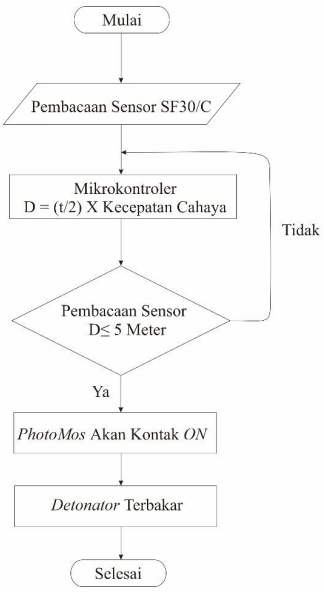
■ **Gambar 6.** Top Layer PCB (kiri) dan Bottom Layer PCB (kanan)

Pada bagian top layer terdapat komponen utama yang terdiri dari Arduino Pro Micro (Q1), IC regulator 1117 (Q2), Pin sensor SF30/C (P5), pin detonator (P4) komponen ini diletakkan pada top layer. Pada bagian bottom layer komponen utama yang diletakkan pada bagian ini yaitu photoMOS. Komponen yang telah disusun menjadi satu PCB dapat di lihat dalam bentuk gambar 3D dapat dilihat pada gambar 7.



■ **Gambar 7**. Rangkaian Proximity Fuze dalam gambar 3D

Adapun diagram alir program perangkat lunak sistem proximity fuze dapat dilihat pada Gambar 8 di bawah ini.

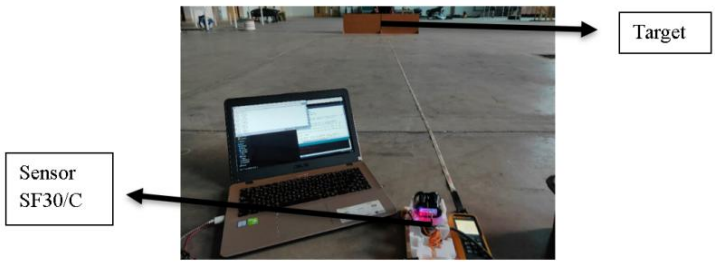


■ **Gambar 8.** Diagram alir Proses Kerja Proximity Fuze

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Sensor SF30/C

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui akurasi sensor SF30/C. Pengujian dilakukan dengan cara membandingkan hasil pengukuran jarak sensor dengan laser range finder terkalibrasi dengan 3 kali pengulangan pengambilan data, dan dalam satu kali pengujian dilakukan 10 kali pembacaan jarak yang berbeda dimulai dari 1,5 meter sampai 15 meter dengan penambahan jarak sebesar 1,5 meter untuk setiap pembacaan.



■ **Gambar 9.** Pengujian Pembacaan Sensor SF30/C

` Hasil pembacaan jarak dibandungkan dengan cara dengan menghitung selisih pembacaan keduanya dan menghitung error pembacaan SF30/C terhadap pembacaan laser range finder. Contoh hasil pengukuran dituangkan dalam table berikut:

■ **Tabel 1.** Perbandingan pembacaan SF30/C dan Laser Range Finder percobaan ke 1

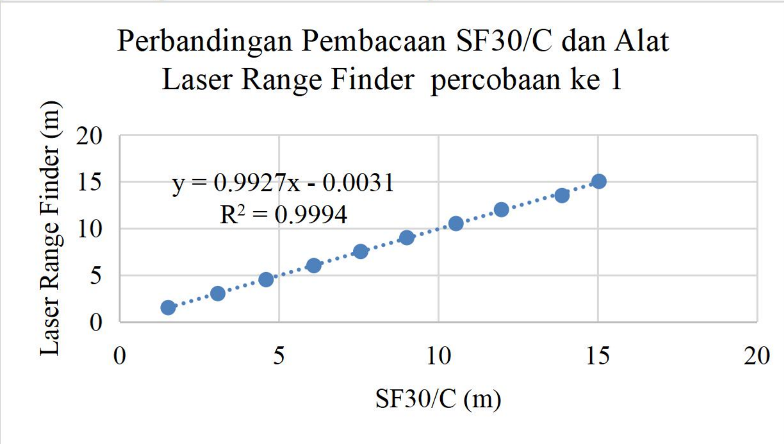
No	Sensor SF30/C (m)	Laser Range Finder (m)	Selisih (m)	Error
1	1,523	1,525	0,002	0,13%
2	3,082	3,025	0,057	1,88%
3	4,597	4,522	0,075	1,66%
4	6,097	6,024	0,073	1,21%
5	7,566	7,528	0,038	0,50%
6	9,015	9,011	0,004	0,04%
7	10,558	10,52	0,038	0,36%
8	11,984	12,011	0,027	0,23%
9	13,886	13,517	0,369	2,73%
10	15,046	15,032	0,014	0,09%
Rata -rata Nilai Error				**0,88%**

Nilai error dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Nilai Error} = \frac{A-B}{B} \times 100\% \quad \ldots\ldots \quad (3)$$

Keterangan : A = Nilai pembacaan jarak sensor SF30/C
B = Nilai pembacaan jarak Laser Range Finder

Dari hasil yang didapat pada pengujian pertama didapat nilai selisih minimum 0,002m dan maksimum 0,369m dengan nilai rata-rata error 0,88%. Pengujian kedua didapat nilai selisih minimum 0,014m dan maksimum 0,104m dengan nilai rata-rata error 1,15%. Pengujian ketiga didapat nilai selisih minimum 0,004m dan maksimum 0,105m dengan nilai rata-rata error 1,04%. Nilai selisih dan nilai rata-rata error yang didapat dari 3 pengujian tersebut paling besar yaitu nilai selisih 0,369m dan nilai rata-rata error paling sebesar 1,15%. Nilai selisih tidak mencapai 1m dan nilai error masih dibawah 10%, sehingga sensor SF30/C dapat digunakan pada prototipe proximity fuze. Pada plot gambar 10, terlihat bahwa koefisien regresi linear mampu mencapai angka 0.9994, artinya secara statistic perbedaan antara Laser Range Finder dengan sensor SF30/C sangat kecil.



■ **Gambar 10.** Grafik hasil Perbandingan Pembacaan SF30/C dan Alat Laser Range Finder

B. Pengujian PhotoMOS

Pengujian PhotoMos dilakukan dengan dua kondisi yaitu menggunakan satu photoMOS dan dua photoMOS yang dirangkai paralel, kemudian dilakukan pengukuran tegangan, arus dan daya listrik yang melewati photoMOS pada kedua kondisi tersebut yang mampu melakukan peledakan detonator. Dari hasil yang didapat pada pengujian ini, pengujian menggunakan satu photoMOS tidak mampu untuk membuat detonator terbakar. Hasil pengujian menggunakan dua photoMOS dapat dilihat tabel 2, PhotoMOS dirangkai paralel; kondisi detonator terbakar saat photoMOS aktif.

■ **Tabel 2.** Hasil Pengujian Menggunakan PhotoMOS 1 dan 2 dirangkai Paralel

No.	Arus (Amper)	Tegangan (Volt)	Daya (Watt)	Kondisi Detonator
1	0,693	1,885	1,306	Terbakar
2	0,652	1,932	1,259	Terbakar
3	0,695	1,749	1,216	Terbakar
4	0,687	1,806	1,241	Terbakar
5	0,707	2,105	1,488	Terbakar
Rata -rata	0,687	1,895	1,302	

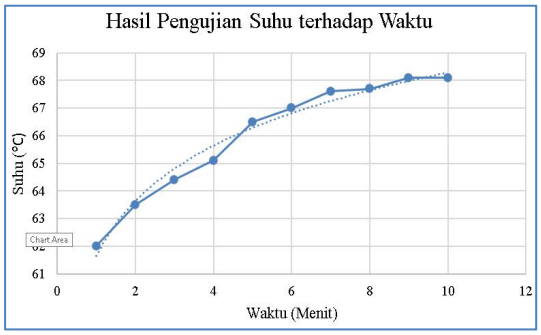
Pengujian ini dilakukan tiga kali baik menggunakan satu photoMOS maupun menggunakan 2 photoMOS. Hasil pertama dengan satu PhotoMos, didapat nilai rata-rata arus, tegangan dan daya listrik yang digunakan yaitu 0,356A, 0,840V, dan 0,297W dengan kondisi detonator tidak ada yang terbakar. Pada hasil percobaan menggunakan dua photoMOS didapat nilai rata-rata arus, tegangan dan daya listrik yang digunakan yaitu 0,687A, 1,896V, dan 1,302W dengan kondisi detonator terbakar. Berdasarkan hasil yang didapat, sehingga pada prototipe proximity fuze ini harus menggunaan dua photoMOS yang dirangkai paralel agar menghasilkan arus yang efektif untuk memicu terbakarnya detonator.

C. Pengujian IC Regulator

Pengujian dilaksanakan dengan mengukur perubahan suhu dan tegangan keluar dari IC Regulator 1117 setiap menitnya saat digunakan dalam waktu 10 menit. Pengujian ini dilakukan 2 kali, setiap pengujian diambil 10 data.

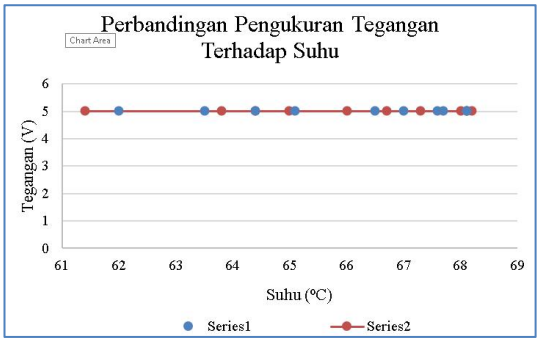
■ **Gambar 11.** Rangkaian Pengujian IC Regulator 1117

Dari hasil yang didapat pada pengujian ini dapat dilihat pada grafik di gambar 12, yaitu perbandingan suhu dari IC 1117 selama 10 menit, pengujian suhu pertama selama 10 menit.



■ **Gambar 12.** Grafik Hasil Pengujian IC 1117 Terhadap Tegangan Keluar

Pada pengujian daya tahan IC 1117 terhadap suhu selama 10 menit, suhu mulai stabil pada menit ke 9 pemakaian dengan nilai suhu tercatat 68,1ºC.



■ **Gambar 13.** Grafik hasil temperature IC terhadap tegangan

Pada gambar 12 diperlihatkan hasil pengujian IC regulator 1117, data yang didapat memperlihatkan bahwa tegangan konstan pada tegangan 5V meskipun IC 1117 mengalami kenaikan suhu.

D. Pengujian sistem secara keseluruhan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah seluruh sistem telah berjalan dengan baik atau tidak dan melihat akurasi sensor pada saat kondisi wahana pembawa proximity fuze bergerak.

Pengujian dilakukan dengan menggunakan wahana pembawa proximity fuze yang diluncurkan menuju target. Pengamatan dilakukan untuk melihat kondisi LED atau detonator pada saat posisi proximity fuze berada pada jarak ≤5 meter dari target.

■ **Gambar 14.** Detonator Terbakar saat Berada pada Jarak yang Ditentukan

Dari hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 3 untuk yang menggunakan LED dan tabel 4 untuk yang menggunakan Detonator.

■ **Tabel 3**. Pengujian Keseluruhan Menggunakan LED

No	Jarak Pembacaan (m)	Error
1	4,950	1,0%
2	4,950	1,0%
3	4,980	0,4%
4	4,940	1,2%
5	4,950	1,0%
6	4,930	1,4%
7	4,930	1,4%
Rata - rata	4,947	1,1%

■ **Tabel 4.** Pengujian Keseluruhan Menggunakan Detonator

No	Jarak Pembacaan (m)	Error
1	4,830	3,4%
2	4,600	8,0%
3	4,860	2,8%
4	4,800	4,0%
5	4,630	7,4%
Rata - rata	4,744	5,1%

Pada pengujian keseluruhan data yang diambil merupakan nilai jarak pada kondisi LED menyala atau detonator terbakar. Pada pengujian menggunakan LED jarak rata-rata untuk menyalakan LED yaitu 4,95 meter dengan nilai error 1,1%, sedangkan pada pengujian menggunakan detonator, jarak rata-rata untuk membakar detonator yaitu 4,74 meter dengan nilai error 5,1%. Dari hasil pengujian keseluruhan di atas dapat dikatakan bahwa prototipe proximity fuze dapat bekerja dengan baik karena nilai error yang terjadi dari 10%.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa Arduino pro-micro yang digunakan sebagai prosesor board pada prototipe fuze dapat berfungsi dengan baik. Sensor SF30/C mempunyai akurasi yang baik dengan nilai selisih dengan laser range finder paling besar 0,369m dan nilai rata-rata Error paling besar 1,15%. PhotoMOS (AQY211G2S) untuk prototipe proximity fuze minimal diperlukan dua buah agar arus, tegangan, dan daya yang lewat dapat membakar detonator. Percobaan dengan satu PhotoMos, didapat nilai rata-rata arus, tegangan dan daya

listrik yang digunakan yaitu 0,356 Ampere, dengan hasil menunjukkan detonator tidak terbakar. Rata-rata nilai arus yang dapat membakar detonator yaitu 0,687 Ampere. Dapat disimpulkan bahwa detonator blasting cap yang ad di pasar di Indonesia membutuhkan daya minimal sebesar 4.4 Watt/detik, sesuai dengan teori bahwa detonator akan terbakar di kisaran daya 3-15 Watt/detik.IC regulator 1117 dapat digunakan pada prototipe proximity fuze dengan hasil pengujian tegangan keluarannya konstan 5 volt pada suhu kerja tercatat 61.4 sampai maksimum mencapai 68,2ºC dalam waktu kerja selama 10 menit. Suhu bekerja dalam batas wajar karena masih masuk dalam suhu kerja komponen pada datasheet. Hasil pengujian keseluruhan menunjukkan bahwa prototipe proximity fuze dapat bekerja dengan baik dengan nilai error ≤ 10%.

DAFTAR PUSTAKA

[1] E. S. Hasrito and F. A. Kaharjito, "Rancang Bangun Sistem Sensor pada Model Fuze Proximity untuk Mendukung Rudal Nasional," *J. Tesla*, vol. 17, no. 1, pp. 78–87, 2015.

[2] L. Fan, H. Last, R. Wood, B. Dudley, C. Khan Malek, and Z. Ling, "SLIGA Based underwater weapon safety and arming system," *Microsyst. Technol.*, vol. 4, no. 4, pp. 168–171, 1998.

[3] R. Li, D. Li, and J. Fan, "Correction strategy of mortars with trajectory correction fuze based on image sensor," *Sensors (Switzerland)*, vol. 19, no. 5, 2019.

[4] M. Li and T. Hu, "Research status and development trend of MEMS S&A devices: A review," *Def. Technol.*, vol. 17, no. 2, pp. 450–456, 2021.

[5] P. Y. Jadhav and R. A. Patil, "Mechanism of Electronic Delay Device for Detonator," pp. 8640–8651, 2016.

[6] C. H. Robinson, M. R. Gelak, T. Q. Hoang, R. H. Wood, and U. S. A. Armament, "Mems-Based Architecture To Improve Submunition Fuze Safety and Reliability."

[7] W. W. Focke, S. M. Tichapondwa, Y. C. Montgomery, J. M. Grobler, and M. L. Kalombo, "Review of Gasless Pyrotechnic Time Delays," *Propellants, Explos. Pyrotech.*, vol. 44, no. 1, pp. 55–93, 2019.

[8] M. J. Balk, "The Evolution of the DSU-33 C/B Proximity Sensor, A Success in Customer-Contractor Partnership," no. May 2006, pp. 1–17, 2006.

[9] A. B. Z. Zuraida, S. D. S. Fairuz, M. S. Risby, A. Amirah, A. R. M. Raziff, and S. B. Camp, "Special Issue AN INVESTIGATION ON DETONATOR TRIGGERING EFFECT SUBJECTED TO," 2017.