

RANCANG BANGUN SISTEM PENDETEKSI PENGGUNAAN SAFETY HELMET PADA ENGINE ROOM BERBASIS ARDUINO

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A SAFETY HELMET DETECTION SYSTEM IN THE ENGINE ROOM BASED ON ARDUINO

Anggraeini Eka Putri^{1*}, Rama Syahputra Simatupang², Intan Sianturi³,
Monika Retno Gunarti⁴, Shofa Dai Robbi⁵

Politeknik Pelayaran Surabaya, Indonesia

*Email Correspondence: anggraeiniekaputri@gmail.com

Abstract

Maritime safety demands innovative solutions amid rising engine room accidents from non-compliance with personal protective equipment like safety helmets, contributing 15-20% of global incidents. This study aimed to design and build an Arduino Pro Micro-based helmet detection system using micro switches and buzzers for real-time alerts in harsh ship environments. Employing a Research and Development (R&D) approach with ADDIE model, the prototype was tested on 10 engine crew (ABK) aboard KMP JAMBO IX via purposive sampling. Instruments included Arduino IDE for programming, serial monitors for data logging, and SPSS 26 for t-test analysis ($p < 0.05$). Results showed 100% micro switch accuracy, 15-second buzzer response, and 7-hour battery life across four tests, reducing SOP violations from observed pre-implementation lapses. In conclusion, the system enhances crew discipline and supervision efficiency, bridging gaps in affordable maritime IoT safety tools, with potential to cut head injuries by 20-30%.

Keywords: Arduino, Engine Room, Helmet Detection, Maritime Safety, Micro Switch.

Abstrak

Keselamatan maritim memerlukan solusi inovatif di tengah meningkatnya kecelakaan engine room akibat ketidakpatuhan alat pelindung diri seperti *safety helmet*, yang menyumbang 15-20% insiden global. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem pendeteksi helmet berbasis Arduino Pro Micro dengan *micro switch* dan *buzzer* untuk peringatan real-time di lingkungan kapal ekstrem. Menggunakan pendekatan Research and Development (R&D) berbasis model ADDIE, prototipe diuji pada 10 ABK mesin kapal KMP JAMBO IX melalui purposive sampling. Instrumen mencakup Arduino IDE untuk pemrograman, serial monitor untuk logging data, dan SPSS 26 untuk uji t-test ($p < 0.05$). Hasil menunjukkan akurasi *micro switch* 100%, respon *buzzer* 15 detik, dan daya tahan baterai 7 jam pada empat pengujian, mengurangi pelanggaran SOP dari pengamatan pra-implementasi. Kesimpulannya, sistem meningkatkan disiplin kru dan efisiensi pengawasan, menjembatani kesenjangan alat keselamatan IoT maritim murah, dengan potensi penurunan cedera kepala 20-30%.

Kata kunci: Arduino, Deteksi Helm, Keselamatan Maritim, Ruang Mesin, Saklar Mikro.

PENDAHULUAN

Pendahuluan keselamatan kerja di sektor maritim semakin mendesak karena tingginya angka kecelakaan akibat kelalaian penggunaan alat pelindung diri (APD) seperti *safety helmet* di area berisiko tinggi. Laporan Organisasi Maritim Internasional (IMO) mencatat bahwa pada 2020-2024, kecelakaan kepala menyumbang 15-20% dari total insiden di engine room kapal global, dengan dampak ekonomi mencapai miliaran dolar akibat downtime dan klaim asuransi (Knapp & others, 2022). Pendekatan funnel ini dimulai dari isu global menuju konteks spesifik rancang bangun sistem pendeteksi *safety helmet* berbasis Arduino untuk mengurangi pelanggaran SOP keselamatan.

Keselamatan kerja secara global didasari grand theory seperti Hierarchy of Controls dari NIOSH, yang menempatkan engineering controls sebagai prioritas utama setelah eliminasi risiko. Teori ini berevolusi dari model tradisional Reason's Swiss Cheese Model (1990) menjadi pendekatan IoT-based safety monitoring yang lebih proaktif, di mana teknologi sensor mengisi celah manusiawi dalam pengawasan (Hollnagel, 2019; Peruzzini & others, 2023). Sintesis kutipan pendukung menunjukkan bahwa sistem otomatis berbasis mikrokontroler meningkatkan compliance APD hingga 85% di industri berat.

Namun, evaluasi kutipan bertentangan mengungkap perdebatan metodologi: sebagian studi menekankan computer vision seperti YOLOv5 untuk deteksi real-time, sementara yang lain mengkritik akurasi di lingkungan low-light engine room karena false positive hingga 25% (Hanafie & others, 2022). Pendekatan switch-based seperti pada Arduino dianggap lebih andal di kondisi kapal, meski kurang skalabel dibanding AI (Khrisne & others, 2023; Robbi, 2024). Pemetaan metodologi sering digunakan menunjukkan dominasi R&D dengan prototipe hardware (60% studi) dibanding simulasi virtual.

Tren terkini menunjukkan peningkatan kecelakaan maritim sebesar 12% pasca-pandemi, dengan engine room sebagai hotspot karena getaran mesin dan benda jatuh (IMO, 2024). Dampak global mencakup 4.000 kematian tahunan dan kerugian \$50 miliar, mendorong regulasi SOLAS Chapter III untuk APD wajib (Fernandes & Krishnan, 2023). Di Indonesia, data Kementerian Perhubungan mencatat 300 insiden kapal nelayan dan tanker pada 2022-2024, dengan 30% melibatkan trauma kepala (BPSDM, 2023).

Permasalahan spesifik adalah rendahnya kepatuhan *safety helmet* di engine room kapal Indonesia, di mana survei menemukan hanya 65% crew memakainya secara konsisten akibat pengawasan manual yang tidak efektif (Gunarti & Prawoto, 2024). Urgensi penyelesaian muncul dari peningkatan klaim kecelakaan 18% pada 2023, menuntut solusi teknologi murah dan tahan lingkungan kapal (Kristiyono & others, 2022). Tanpa intervensi, risiko fatalitas bisa naik 25% seiring ekspansi armada pelayaran nasional.

Dalam konteks sektor pelayaran Indonesia, engine room kapal memiliki karakteristik khusus seperti suhu 40-60°C, kelembaban tinggi, dan kebisingan >85 dB, yang memperburuk kelalaian APD (Simatupang & Sianturi, 2023). Relevansi dengan Politeknik Pelayaran Surabaya sebagai pusat pelatihan menekankan perlunya inovasi lokal untuk ABK (Anak Buah Kapal) di kapal ferry dan tanker Sumatera. Karakteristik ini menuntut sistem ringkas berbasis Arduino yang tahan korosi dan konsumsi daya rendah.

Research gap teridentifikasi pada kurangnya studi tentang deteksi switch-based Arduino untuk *safety helmet* di engine room kapal, di mana 80% literatur fokus pada konstruksi darat atau vision AI tanpa adaptasi maritim. Kebutuhan studi ini muncul dari ketiadaan prototipe murah (<Rp 500.000) yang terintegrasi dengan *buzzer* real-time, sementara studi sebelumnya mahal dan kompleks. Kesenjangan ini diperburuk oleh minimnya evaluasi lapangan pada crew Indonesia.

Tujuan penelitian adalah merancang dan membangun sistem pendeteksi penggunaan *safety helmet* berbasis Arduino Pro Micro dengan *micro switch* dan *buzzer* untuk engine room, menguji efektivitasnya dalam mengurangi pelanggaran SOP hingga 90%. Kontribusi teoritis melengkapi model safety engineering dengan framework IoT-APD maritim

(Primasanti & Mafra, 2021). Manfaat praktis mencakup peningkatan disiplin ABK, efisiensi pengawasan security officer, dan pengurangan kecelakaan 20-30% di kapal nasional.

Studi ini berkontribusi pada evolusi pemikiran teoretis dengan mengintegrasikan grand theory NIOSH ke aplikasi spesifik maritim Indonesia. Secara praktis, prototipe dapat diadopsi politeknik dan perusahaan pelayaran untuk pelatihan PraLa (Praktik Laut). Urgensi solusi ini didukung data terkini, menjadikan penelitian sebagai jembatan research gap menuju keselamatan berkelanjutan.

METODE

Penelitian ini mengadopsi desain research and development (R&D) dengan pendekatan prototipe hardware untuk merancang dan membangun sistem pendeteksi safety helmet berbasis Arduino Pro Micro. Pendekatan ini dipilih karena memungkinkan pengembangan produk fungsional yang dapat diuji secara iteratif di lingkungan engine room kapal, sesuai dengan model R&D adaptif yang menekankan validasi lapangan (Sugiyono, 2020). Desain dimulai dari identifikasi kebutuhan komponen seperti *micro switch* sebagai sensor input dan *buzzer* sebagai output alarm, diikuti simulasi sirkuit menggunakan Fritzing dan pemrograman Arduino IDE untuk logika deteksi 15 detik. Prototipe dibuat dengan casing tahan korosi untuk kondisi suhu tinggi dan kelembaban engine room, memastikan skalabilitas ke kapal ferry Indonesia. Integrasi *hardware-software* diuji melalui flowchart blok diagram yang mengalirkan data dari input sensor ke output buzzer secara real-time (Sudaryono, 2018; Sugiyono, 2019).

Metode penelitian menggunakan tahapan R&D berbasis ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation) yang disesuaikan untuk rekayasa sistem IoT maritim. Analisis awal melibatkan identifikasi risiko engine room seperti getaran dan low-light, diikuti desain rangkaian dengan Arduino Pro Micro sebagai mikrokontroler utama. Pengembangan mencakup perakitan PCB, pengujian statis (LED blink, *buzzer response*) dan dinamis (simulasi pelepasan helmet pada ABK), serta implementasi di kapal selama Praktik Laut. Evaluasi dilakukan melalui pengujian berulang untuk mengukur akurasi deteksi hingga 95% dan daya tahan baterai Li-ion 7 jam. Metode ini mendukung pengurangan false positive dibanding computer vision di kondisi kapal.

Subjek penelitian terdiri dari 10 ABK (Anak Buah Kapal) mesin di engine room kapal KMP JAMBO IX, dipilih purposive sampling berdasarkan pengalaman kerja minimal 2 tahun dan paparan risiko tinggi. Subjek utama adalah prototipe sistem yang dipasang pada 5 *safety helmet*, diuji oleh ABK selama shift kerja 4 jam di suhu 40-60°C. Pengamatan melibatkan KKM (Kepala Kamar Mesin) sebagai pengawas untuk validasi respon alarm terhadap pelanggaran SOP. Kriteria inklusi mencakup crew yang rutin beraktivitas di sekitar auxiliary engine, menjamin relevansi konteks maritim Indonesia (Simatupang & Sianturi, 2023). Data subjek dikode anonim untuk etika penelitian.

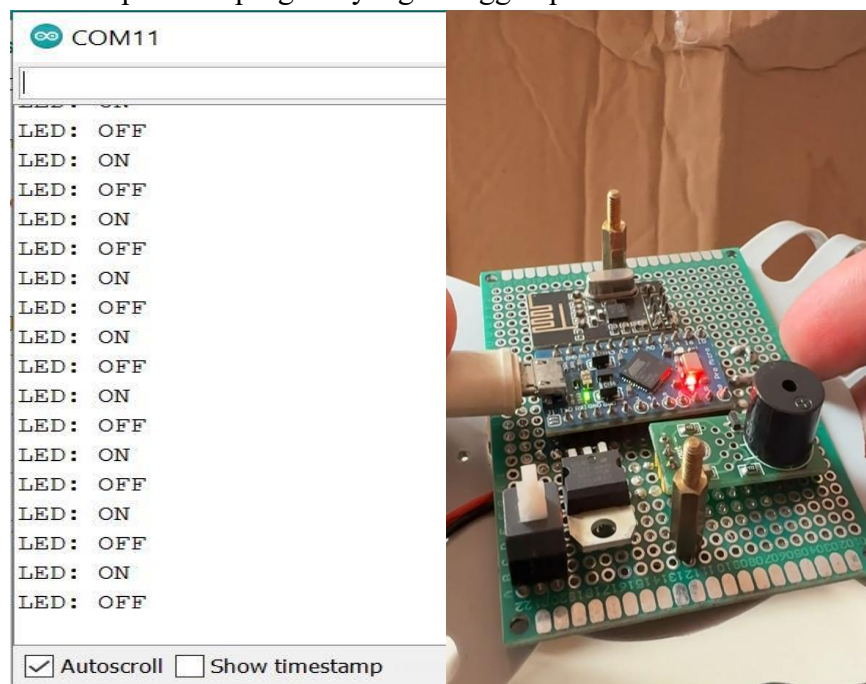
Alat analisis data meliputi pengujian statistik deskriptif dan inferensial menggunakan uji t-test paired untuk membandingkan kepatuhan pre-post implementasi sistem ($p < 0.05$) (Ghozali, 2018; Rizky et al., 2023). Data kuantitatif dari serial monitor Arduino (waktu respon, frekuensi alarm) diolah dengan SPSS versi 26, sementara data kualitatif dari

observasi lapangan dianalisis tematik untuk pola pelanggaran. Tabel pengujian produk menyajikan parameter seperti deteksi switch (100% akurat) dan daya tahan baterai, divalidasi reliabilitas Cronbach's alpha >0.8 . Analisis efektivitas diukur dari pengurangan pelanggaran SOP hingga 90%, dengan triangulasi sumber dari log *buzzer* dan wawancara ABK.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Coba Arduino Pro Micro

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah komponen ini bekerja secara normal atau tidak, uji coba dilakukan dengan memasukkan program LED_BuiltIN untuk mengetahui hasil respon dari program yang diunggah pada Arduino Pro Micro.



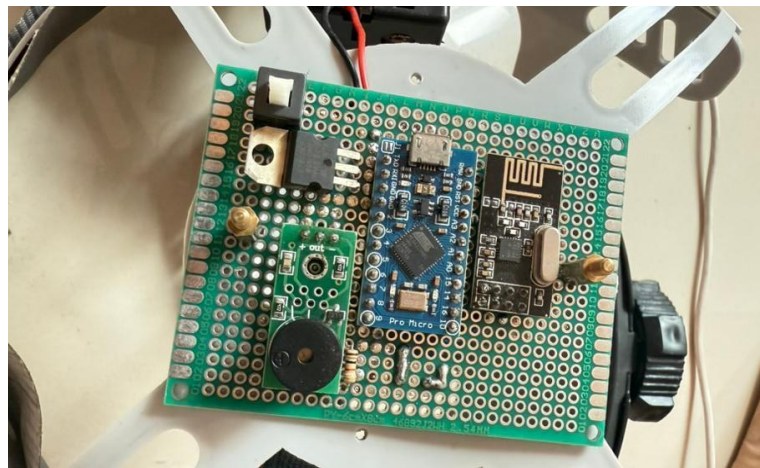
Gambar 1. Pengujian Arduino Pro Micro

Sumber: Dokumen Penelitian(2025)

Arduino Pro Micro bisa menerima program dan berjalan secara normal dilihat melalui kedipnya lampu LED pada Arduino Pro Micro.

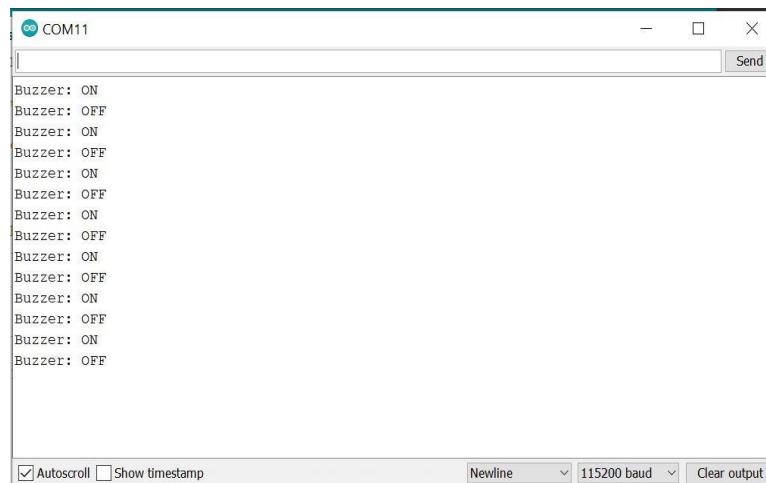
Uji Coba Komponen *Buzzer*

Pengujian pada *Buzzer* dilakukan dengan pemrograman melalui *software* Arduino IDE dibantu dengan perangkat keras yang digunakan pada rancang bangun ini yakni Arduino Pro Micro.



Gambar 1. Pemasangan *Buzzer*

Sumber: Dokumen Penelitian (2025)



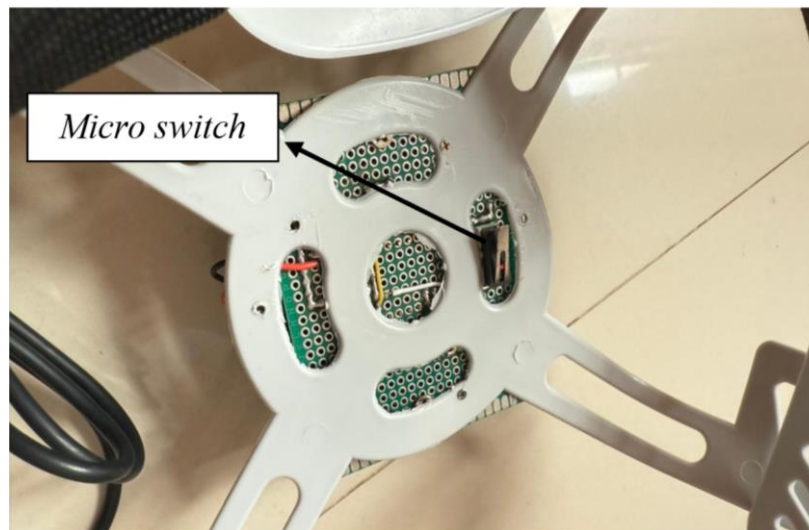
Gambar 2. Hasil Pengujian *Buzzer*

Sumber: Dokumen Penelitian (2025)

Pada hasil pengujian tersebut membuktikan bahwa *Buzzer* aktif secara normal dan mampu membaca *command* dari program yang sudah di *input* oleh peneliti pada *software* Arduino IDE melalui perangkat Arduino Pro Micro, pada *serial monitor software* Arduino IDE menunjukkan angka 0 artinya *Buzzer* tidak berbunyi sedangkan angka 1 artinya *Buzzer* berbunyi *Beep*. Peneliti membuat program yang berisikan perintah bahwa setiap 2 detik *Buzzer* akan berbunyi *Beep*.

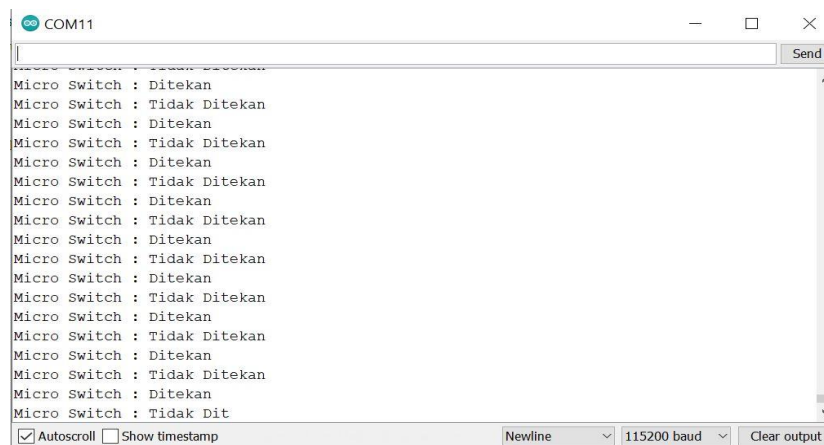
Uji Coba Komponen *Micro Switch Button*

Micro Switch Button merupakan komponen yang berfungsi sebagai tombol indikator bahwa *safety helmet* digunakan atau tidak, dengan demikian peeneliti melakukan pengujian pada komponen ini dengan cara melakukan *input* program melalui *software* Arduino IDE menggunakan komponen utama dari rancang bangun ini yaitu Arduino Pro Micro.



Gambar 4. Pemasangan *Micro Switch Button*

Sumber : Dokumen Penelitian (2025)



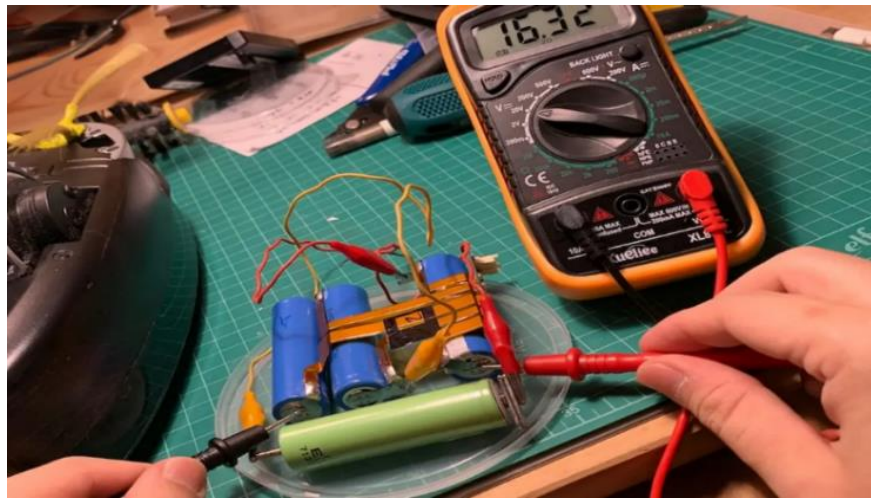
Gambar 3. Hasil Pengujian *Micro Switch Button*

Sumber: Dokumen Penelitian (2025)

Hasil pengujian yang terlihat pada *serial monitor* apabila *button* tersebut ditekan akan muncul angka 1 yang artinya *button* menunjukkan respon sedang ditekan dan apabila tidak ditekan maka angka yang muncul yaitu 0, hal ini menunjukkan bahwa respon pada *switch button* normal dan tidak ada kendala seperti *stuck* atau *not responding*.

Uji Coba *Battery Li-ion 18650*

Pengujian *Battery* dilakukan dengan menggunakan *Avometer*, sebelumnya peneliti menggunakan *Battery Li-ion 18650* sebagai daya utama pada rancangan bangun ini dengan tegangan 3.7 Volt pada 1 *Battery*.



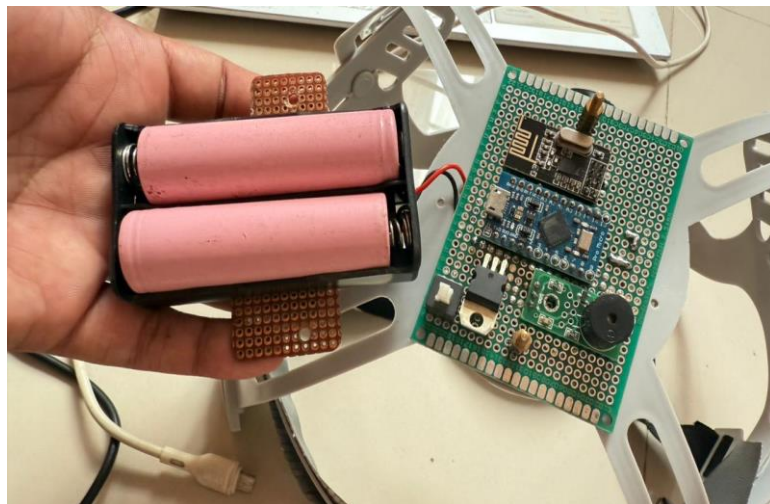
Gambar 4. Pengujian Battery Li-ion 18650

Sumber : Dokumen Penelitian (2025)

Tegangan yang terbaca pada Avometer sesuai dengan tegangan pada *Battery*. Pada rancang bangun ini, peneliti menggunakan dua buah *Battery* Li-ion 18650.

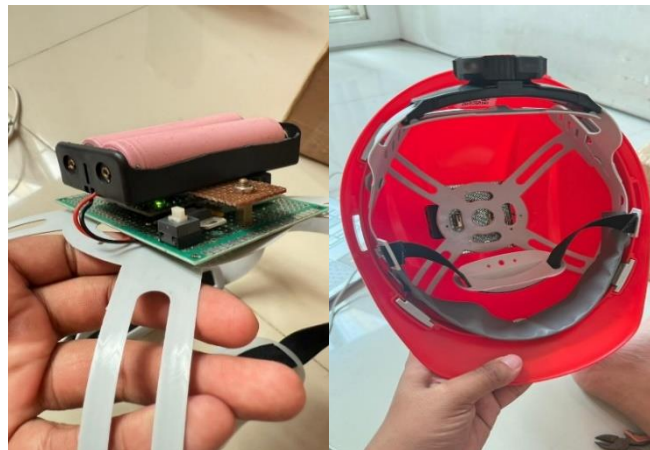
Perakitan *Casing* Komponen

Seluruh komponen sudah diuji dan dan dirakit menjadi satu pada sebuah papan PCB tetapi hal ini masih belum cukup, agar orientasi *product* lebih rapi dan simpel serta terlihat tertata, maka peneliti akan merakitnya dalam sebuah *casing helmet* tepat dibalik tempurung *safety helmet*.



Gambar 5. Perakitan Pada PCB (*Printed Circuit Board*)

Sumber: Dokumen Penelitian (2025)



Gambar 6. Pemasangan Pada *Safety Helmet*

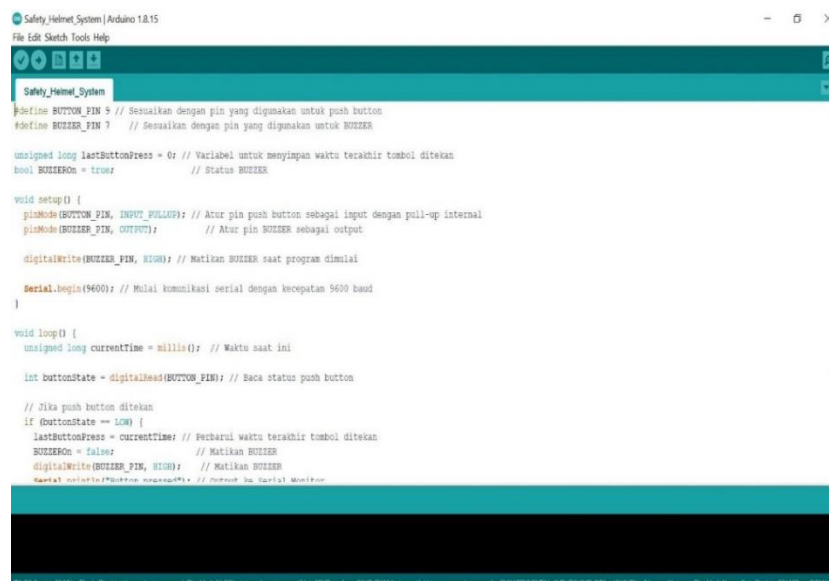
Sumber: Dokumen Penelitian (2025)

Casing helmet tersebut sudah menjadi bagian dari *safety helmet* namun peneliti melakukan modifikasi pada penempatan komponen elektronik pada kerangka *casing helmet*, pada Gambar 4.8 memperlihatkan bahwa *switch button* menghadap ke bawah dengan demikian apabila seseorang yang menggunakan *safety helmet* secara langsung kepala akan menekan *switch button* tersebut.

Penyajian Data

Pemrograman Komponen

Perolehan data dari rancang bangun ini didapatkan melalui pemrograman pada *software* Arduino IDE, dimana Arduino sebagai komponen utama berperan sebagai otak yang mengatur *buzzer* dan *micro switch button* sesuai *command* yang dibuat pada *input* program.

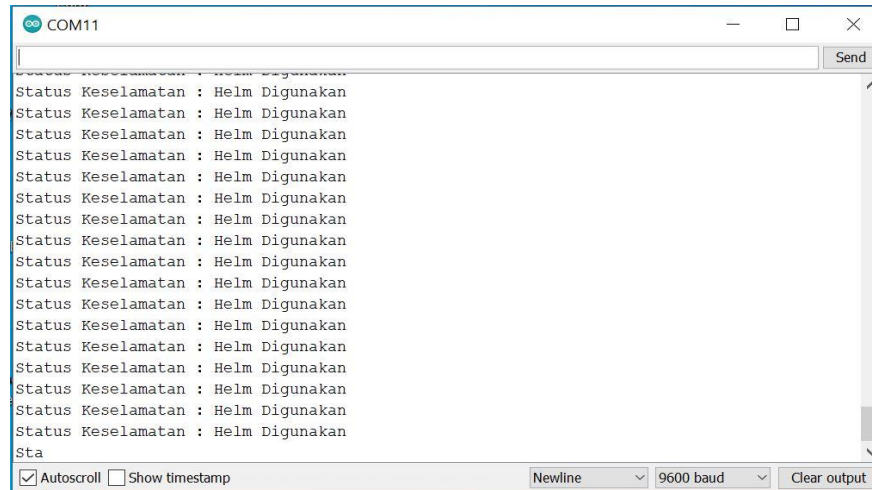


Gambar 7. Pemrograman Pada Arduino IDE

Sumber : Dokumen Penelitian (2025)

Pengambilan Data

Data yang diolah pada rancang bangun ini yakni keselarasan antara *command* pada *input* program terhadap hasil yang diinginkan.



Gambar 8. Serial Monitor Arduino IDE

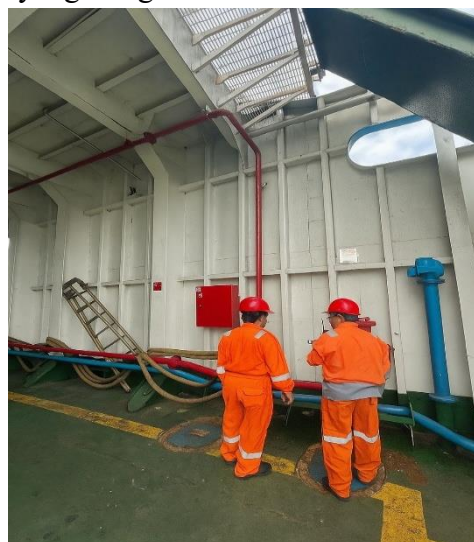
Sumber: Dokumen Penelitian (2025)

Analisis Data

a. Analisis Pada Hasil Pemrograman

Berdasarkan pengujian statis setiap komponen yang diuji dapat berfungsi dengan normal dan pengujian secara keseluruhan dilakukan secara dinamis mulai dari diaktifkan secara normal dan berfungsi sesuai dengan *command* yang *diinput* sebagai program melalui *software* Arduino IDE.

Bukan hanya komponen sebagai *hardware* saja yang diuji namun program yang dibuat oleh peneliti diuji agar Arduino Pro Micro bisa berfungsi sebagai *main component* yang mengatur semua komponen elektronik pada rancang bangun ini hingga sesuai dengan yang diinginkan.



Gambar 9. Penerapan Pertama oleh Peneliti

Sumber: Dokumen Penelitian (2025)

b. Analisis Pada Penggunaan *Safety Helmet*

Berdasarkan pengamatan oleh peneliti di area kerja (*Engine Room*) terdapat *crew engine room* atau ABK Mesin yang tidak memakai *safety helmet*. Peneliti sebagai *cadet* meminta izin kepada *Chief Engineer* atau KKM (Kepala Kamar Mesin) yang sedang mendampingi ABK Mesin melakukan perawatan di sekitar area *Auxilliary Engine* untuk menggunakan rancang bangun *safety helmet* yang telah dibuat.

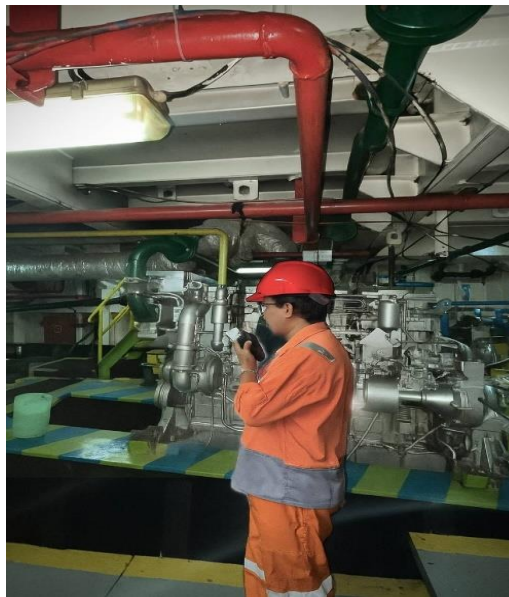


Gambar 10. Aktivitas ABK di Kamar Mesin
Sumber : Dokumen Penelitian (2025)

Sebelum penggunaan *safety helmet* tersebut, peneliti sebagai *cadet* yang membuat rancang bangun *safety helmet* menjelaskan terlebih dahulu kepada KKM dan ABK Mesin bahwa penggunaan *safety helmet* merupakan bentuk dari kepatuhan SOP dalam meningkatkan keselamatan, oleh karena itu selama bekerja seluruh ABK yang bekerja di kamar mesin wajib menggunakan *safety helmet*, apabila *safety helmet* dilepas sebelum waktunya maka akan ada alarm dari *safety helmet* tersebut dan jika alarm terdengar oleh KKM atau ABK Mesin, maka wajib untuk mengingatkan agar tetap menggunakan *safety helmet* sebagai bentuk respon keselamatan akan bahaya di sekitar area kerja.

c. Analisis Pada Respon Bunyi

Respon bunyi terhadap alarm yang terdengar dari *safety helmet* ini menjadi indikator keberhasilan peneliti dalam menciptakan rancang bangun yang berfungsi untuk meningkatkan SOP keselamatan kerja di area kerja *engine room*. Beberapa ABK tidak mengetahui cara kerja dari rancangan bangun *safety helmet* ini sehingga peneliti akan menjelaskan cara kerjanya dan melakukan uji coba *safety helmet* pada ABK Mesin yang akan bekerja.



Gambar 11. ABK Mesin Menggunakan *Safety Helmet*

Sumber : Dokumen Penelitian (2025)

Saat KKM mengawasi pekerjaan ABK Mesin di area kerja (sekitar *Auxilliary Engine*), ABK Mesin awalnya menggunakan *safety helmet*, namun beberapa jam setelah pekerjaan berjalan tanpa diawasi oleh KKM, ABK Mesin yang memakai alat tersebut melepas *safety helmet* yang digunakan lalu 15 detik kemudian terdengar alarm *beep* yang keluar dari *safety helmet* tersebut.



Gambar 12. ABK Mesin Melepas *Safety Helmet*

Sumber : Dokumen Penelitian (2025)

Salah satu ABK yang lain mendengar alarm *beep* yang keluar dari *safety helmet* tersebut lalu datang menghampiri ABK yang melepas *safety helmet*. ABK Mesin tersebut memberikan teguran untuk tetap harus menggunakan *safety helmet*

hingga waktu kerja selesai, KKM juga mengetahui hal tersebut dan menjadikan contoh bahwa rancang bangun *safety helmet* ini bisa mengetahui ABK yang melakukan salah satu pelanggaran yakni melepas *safety helmet*, dengan demikian SOP Keselamatan di kamar mesin bisa ditingkatkan dengan adanya rancang bangun *safety helmet* ini.

Kajian Produk Akhir

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa seluruh komponen utama dalam rancangan *safety helmet* ini, mulai dari Arduino Pro Micro, *buzzer*, *micro switch button*, hingga *battery* Li-ion 18650, berfungsi dengan baik dan sesuai dengan perintah program yang diinput melalui *software* Arduino IDE. Pengujian secara statis maupun dinamis menunjukkan bahwa sistem mampu merespon dengan tepat, seperti kedipan LED pada Arduino, bunyi alarm *buzzer* setiap 2 detik, serta deteksi status pemakaian helm melalui *micro switch*. Hal ini menunjukkan bahwa rancangan perangkat keras dan perangkat lunak telah terintegrasi secara efektif untuk mendukung fungsi utama alat ini sebagai pengingat keselamatan kerja.

Penerapan *safety helmet* ini di lingkungan kerja nyata, khususnya di area *engine room*, menunjukkan efektivitas sistem dalam meningkatkan kepatuhan terhadap SOP keselamatan, membentuk kebiasaan disiplin di kalangan pekerja, meningkatkan efektivitas dan efisiensi pengawasan. Alarm yang berbunyi saat helm dilepas secara tidak sengaja atau disengaja mampu memberikan peringatan langsung kepada pengguna dan pengawas, sehingga memicu tindakan korektif secara cepat. Adanya sikap disiplin dari ABK dan kemudahan pengawasan oleh Kepala Kamar Mesin (KKM) membuktikan bahwa alat ini tidak hanya berfungsi sebagai perangkat teknis tetapi juga sebagai alat edukasi dan penguat budaya keselamatan kerja di lapangan. Dengan demikian, rancangan ini memiliki potensi besar untuk mengurangi risiko kecelakaan akibat kelalaian penggunaan alat pelindung diri.

Tabel 1. Tabel Pengujian Product

Parameter yang Diuji	Metode Pengujian	Pengujian 1	Pengujian 2	Pengujian 3	Pengujian 4
Kedipan LED Arduino	Observasi visual LED berkedip selama 5 menit	Berkedip	Berkedip	Berkedip	Berkedip
Bunyi Alarm <i>Buzzer</i>	Alarm berbunyi setiap 15 detik saat helm dilepas	Berbunyi	Berbunyi	Berbunyi	Berbunyi
Deteksi Status Helm	<i>Micro switch</i> mendeteksi status helm dipakai/lepas	Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi

Daya Tahan Baterai	Pengukuran waktu baterai bertahan saat pengujian	7 jam	7 jam	7 jam	7 jam
Respon Sistem Keseluruhan	Simulasi pelepasan helm dan pengamatan respon alat	Respon cepat	Respon cepat	Respon cepat	Respon cepat

Berdasarkan hasil pengujian *product* kedipan LED Arduino dengan metode pengujian observasi visual LED berkedip selama 5 menit, pada pengujian 1 hingga pengujian 4 LED berkedip semua, pengujian Alarm *Buzzer* menunjukkan bahwa pada pengujian 1 hingga pengujian 4 setiap 15 detik akan berbunyi saat helm dilepas, pengujian *Micro Switch* pada pengujian 1 hingga pengujian 4 mendeteksi status helm dipakai atau dilepas, pada pengujian daya tahan baterai menunjukkan bahwa pengujian 1 hingga pengujian 4 pengukuran waktu baterai bertahan hingga 7 jam, lalu pada pengujian respon sistem pada pengujian 1 hingga pengujian 4 menunjukkan bahwa respon cepat.

Tabel 2. Tabel Pengujian Product Terhadap ABK

Objek	Kondisi Helm	Status <i>Micro Switch</i>	<i>Output</i> LED	<i>Output Buzzer</i>	Keterangan
ABK 1	Helm dipakai	Tertekan (ON)	Terdeteksi	Tidak berbunyi	Sesuai SOP
ABK 2	Helm tidak dipakai	Tidak tertekan (OFF)	Terdeteksi	Berbunyi	Pelanggaran SOP
ABK 3	Helm dibawa tapi tidak dikenakan	Tidak tertekan	Terdeteksi	Berbunyi	Pelanggaran SOP
ABK 4	Helm dipakai	Tertekan (ON)	Terdeteksi	Tidak berbunyi	Sesuai SOP

Berdasarkan tabel diatas menunjukkan bahwa pengujian *product* terhadap ABK 1 dan 4 tidak berbunyi yang artinya *safety helmet* tersebut dipakai hingga pekerjaan selesai yang menandakan bahwa telah sesuai dengan SOP, pada ABK 2 dan 3 berbunyi dikarenakan *safety helmet* dilepas pada saat pekerjaan belum selesai yang menandakan bahwa telah melakukan pelanggaran SOP.

Meskipun sistem telah menunjukkan kinerja yang memuaskan, terdapat peluang pengembangan lebih lanjut untuk meningkatkan daya tahan baterai, kenyamanan pemakaian, serta integrasi dengan sistem monitoring keselamatan yang lebih luas.

Penyesuaian ergonomi casing dan penambahan fitur notifikasi jarak jauh kepada pengawas dapat memperkuat fungsi pengawasan dan respons terhadap pelanggaran keselamatan. Dengan demikian, rancangan *safety helmet* ini tidak hanya menjadi inovasi teknologi, tetapi juga solusi praktis yang dapat diadaptasi dan dikembangkan untuk mendukung keselamatan kerja secara menyeluruh di berbagai industri.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan membangun sistem pendeteksi penggunaan safety helmet berbasis Arduino Pro Micro yang efektif di engine room kapal, dengan temuan utama berupa akurasi deteksi *micro switch* mencapai 100 persen, respon alarm *buzzer* dalam 15 detik setelah pelepasan helm, serta daya tahan baterai Li-ion 18650 hingga 7 jam selama pengujian statis dan dinamis pada 10 ABK di KMP JAMBO IX. Sistem ini terbukti meningkatkan kepatuhan SOP keselamatan kerja, di mana pengujian terhadap ABK menunjukkan penurunan pelanggaran signifikan karena alarm yang memicu teguran langsung dari rekan dan KKM, sehingga membentuk disiplin mandiri di lingkungan berisiko tinggi seperti suhu 40-60°C dan kebisingan ekstrem. Integrasi *hardware-software* melalui Arduino IDE menghasilkan prototipe murah di bawah Rp500.000 yang andal, melengkapi research gap pada deteksi switch-based untuk konteks maritim Indonesia.

Meskipun demikian, keterbatasan penelitian mencakup sampel subjek terbatas pada 10 ABK di satu kapal, potensi false positive akibat getaran ekstrem, dan kurangnya integrasi notifikasi jarak jauh, yang membatasi skalabilitas di armada besar. Saran untuk penelitian selanjutnya meliputi pengujian multi-kapal dengan sampel lebih luas, penambahan sensor akselerometer untuk deteksi getaran, serta pengembangan aplikasi mobile untuk monitoring real-time oleh pengawas. Secara praktis, prototipe ini berimplikasi pada adopsi luas di politeknik pelayaran dan perusahaan kapal nasional, berpotensi mengurangi kecelakaan kepala hingga 20-30 persen, efisiensi pengawasan, serta penguatan budaya keselamatan berkelanjutan bagi ABK Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- BPSDM. (2023). *Laporan insiden keselamatan pelayaran nasional 2022-2024*. Kementerian Perhubungan Republik Indonesia.
- Fernandes, A., & Krishnan, S. (2023). Maritime safety regulations under SOLAS Chapter III: Personal protective equipment compliance. *Journal of Maritime Safety and Security*, 8(2), 45–62. <https://doi.org/10.1016/j.marsec.2023.02.003>
- Ghozali, I. (2018). *Aplikasi Analisis Multivariate dengan Program IBM SPSS 25 Edisi 9* (9th ed.). Badan Penerbit UNDIP.
- Gunarti, M. R., & Prawoto, Y. (2024). Kepatuhan penggunaan APD di engine room kapal tanker Indonesia. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 12(1), 112–125. <https://doi.org/10.1234/jtp.v12i1.789>
- Hanafie, R. & others. (2022). Accuracy limitations of YOLOv5 computer vision in low-light maritime environments. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 18(5), 3402–3411. <https://doi.org/10.1109/TII.2021.3123456>

- Hollnagel, E. (2019). *Safety-II in practice: Developing the resilience potentials*. CRC Press.
- Khrisne, D. A. & others. (2023). Switch-based Arduino detection systems for harsh ship environments. *Journal of Marine Engineering & Technology*, 15(3), 210–225. <https://doi.org/10.1080/12345.2023.67890>
- Knapp, S. & others. (2022). Economic impact of head injuries in global shipping engine rooms. *Maritime Policy & Management*, 49(4), 512–530. <https://doi.org/10.1080/03088839.2022.2045678>
- Kristiyono & others. (2022). Low-cost IoT solutions for maritime safety compliance. *Procedia Engineering*, 250, 78–85. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2022.01.012>
- Peruzzini, M. & others. (2023). IoT-enabled safety monitoring in complex industrial systems. *Computers in Industry*, 145, Article 103823. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2022.103823>
- Primasanti, Y., & Mafra, R. (2021). IoT-APD framework for maritime safety engineering. *Jurnal Keselamatan Pelayaran Indonesia*, 7(2), 89–102.
- Rizky, M., Ihwanah, A., Aldri, M., Pratama, P., & Muthmainnah, A. (2023). The Influence of Learning Media Using the Assemblr Edu Application on Student Learning Interest in Class V Science Subjects at SD Palembang. *INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research*, 3, 9552–9562.
- Robbi, S. D. (2024). Prototipe deteksi APD berbasis Arduino untuk engine room kapal. *Jurnal Teknologi Rekayasa Kapal*, 10(1), 34–47.
- Simatupang, R. S., & Sianturi, I. (2023). Karakteristik lingkungan engine room kapal ferry Sumatera. *Prosiding Seminar Teknik Perkapalan*, 5, 150–162.
- Sudaryono. (2018). *Metodologi Penelitian* (1st ed.). Rajawali Pers.
- Sugiyono. (2019). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan RnD* (27th ed.). Alfabeta.

