



## RANCANG BANGUN SAFETY RELAY MODULE PADA SISTEM KENDALI INTERNAL COMBUSTION ENGINE MITSUBISHI S4S-DT MENGUNAKAN ARDUINO NANO

Ahmad Nurul Aziz<sup>1</sup>, Trinil Muktingrum<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Kahuripan Kediri

<sup>1</sup>[an.aziz1993@gmail.com](mailto:an.aziz1993@gmail.com)

### Abstract

Penelitian ini membahas perancangan, pembuatan, dan pengujian *safety relay module* pada sistem kendali *internal combustion engine* Mitsubishi S4S berbasis Arduino Nano. Latar belakang penelitian berangkat dari keterbatasan sistem kendali asli mesin S4S-DT yang tidak dilengkapi dengan tombol *emergency stop* serta indikator penyebab *shutdown*, padahal keduanya merupakan fasilitas wajib dalam standar keselamatan industri. Metode penelitian yang digunakan adalah *Research and Development (R&D)* dengan pendekatan eksperimental. Proses meliputi identifikasi masalah, studi literatur, perancangan sistem, pembuatan purwarupa, hingga pengujian dalam kondisi simulasi *fault*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *safety relay module* yang dirancang mampu bekerja sesuai fungsi utamanya dalam mengendalikan mesin pada kondisi *off*, *on*, *running*, *fault*, dan *emergency*. Modul ini dapat memverifikasi syarat *start-up*, memantau parameter penting seperti kondisi *low oil pressure* dan *high coolant temperature*, serta secara otomatis memutus mesin jika terdeteksi *fault condition*. Tambahan fitur berupa lampu indikator memudahkan operator dalam mengidentifikasi kondisi mesin. Kesimpulannya, sistem *safety relay* ini dapat meningkatkan aspek keselamatan operasional mesin Mitsubishi S4S sekaligus memberikan kontribusi nyata dalam penerapan sistem kendali mesin berbasis mikrokontroler yang lebih andal. **Kata kunci:** *safety relay module*, Arduino Nano, Mitsubishi S4S, *fault condition*, *emergency stop*

### Abstract

*This research focuses on the design, development, and testing of a safety relay module for the Mitsubishi S4S internal combustion engine control system based on Arduino Nano. The study originates from the limitation of the original S4S-DT control panel, which lacks an emergency stop button and fault indicators, both of which are mandatory features under industrial safety standards. The research method applied is Research and Development (R&D) with an experimental approach, consisting of problem identification, literature review, system design, prototype development, and testing under simulated fault conditions. The results reveal that the designed safety relay module functions effectively to control the engine in off, on, running, fault, and emergency states.*

### Article History

Received: September 2025

Reviewed: September 2025

Published: September 2025

Plagiarism Checker No: 235

Prefix DOI :

[10.8734/Kohesi.v1i2.365](https://doi.org/10.8734/Kohesi.v1i2.365)

Copyright : Author

Publish by : Kohesi



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



*The module verifies start-up requirements, monitors key parameters such as low oil pressure and high coolant temperature, and automatically shuts down the engine when a fault condition is detected. The additional indicator lamps provide operators with clearer fault identification. In conclusion, the system enhances the operational safety of the Mitsubishi S4S engine and contributes to the development of more reliable microcontroller-based engine control systems.*  
**Keywords:** *safety relay module, Arduino Nano, Mitsubishi S4S, fault condition, emergency stop*

## PENDAHULUAN

Mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*) merupakan salah satu teknologi penting dalam mendukung kebutuhan energi di berbagai sektor industri, transportasi, hingga konstruksi. Pada penelitian ini, objek yang digunakan adalah mesin diesel Mitsubishi tipe S4S-DT. Mesin ini menggunakan bahan bakar solar (*diesel fuel*) dengan proses pembakaran yang berlangsung di dalam ruang bakar (*combustion chamber*). Mekanisme kerjanya dimulai ketika udara murni dikompresi di dalam silinder sehingga mencapai tekanan dan temperatur tinggi. Pada kondisi tersebut, bahan bakar yang diinjeksikan akan terbakar secara spontan. Proses ini menjadi ciri khas dari mesin diesel, di mana efisiensi dan torsi tinggi dapat dicapai melalui sistem pembakaran berbasis kompresi.

Pada unit S4S-DT, produsen telah melengkapi sistem dengan panel kendali elektronik yang berfungsi mematikan mesin ketika operasi berakhir atau saat terjadi kegagalan (*fault*). Beberapa kondisi *fault* yang diantisipasi adalah tekanan oli rendah (*low oil pressure*) dan temperatur pendingin yang melebihi batas aman (*high coolant temperature*). Namun demikian, hasil telaah terhadap diagram pengawatan mesin S4S-DT menunjukkan adanya kekurangan mendasar, yakni tidak tersedianya fasilitas tombol *emergency shutdown* serta tidak adanya indikator penyebab *shutdown*. Padahal, fasilitas *emergency shutdown* merupakan fitur wajib (*mandatory*) sesuai ISO 13850:2015 yang menekankan pentingnya penerapan sistem penghentian darurat untuk menjamin keselamatan operator maupun peralatan, khususnya dalam lingkungan berisiko tinggi seperti industri, pertambangan, dan sektor minyak dan gas.

Ketiadaan indikator penyebab *shutdown* pada sistem asli juga menimbulkan tantangan tersendiri. Tanpa indikator yang jelas, operator maupun teknisi sulit mengidentifikasi penyebab mesin berhenti mendadak. Hal ini berpotensi memperlambat proses perbaikan dan menurunkan efisiensi operasional. Untuk menjawab permasalahan tersebut, penelitian ini berfokus pada perancangan *safety relay module* berbasis mikrokontroler Arduino Nano yang mampu menggantikan fungsi *timer control relay* pada sistem kendali mesin. Modul ini tidak hanya berfungsi sebagai pengendali urutan kerja mesin, tetapi juga menambahkan fitur penting berupa tombol *emergency stop* dan lampu indikator penyebab *fault*.

Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Ahmad Hendrawan dan tim terkait simulasi *safety device overheat generator set engine* berbasis Arduino membuktikan bahwa penggunaan mikrokontroler efektif dalam membangun sistem proteksi mesin. Pada penelitian tersebut, komponen yang digunakan meliputi Arduino Uno R3, sensor suhu DS18B20, *relay module* dua kanal, *buzzer*, serta beberapa perangkat pendukung lain. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem berbasis Arduino mampu mendeteksi dan mengantisipasi kondisi berbahaya pada mesin.



Berangkat dari temuan tersebut, penelitian ini mengadopsi prinsip serupa dengan menggunakan Arduino Nano sebagai pusat pemrosesan data. Arduino Nano dipilih karena memiliki dimensi fisik kecil (45 mm × 18 mm) namun tetap menyediakan kapabilitas pemrosesan dan antarmuka input-output yang memadai untuk aplikasi kendali mesin.

Selain ukuran yang ringkas, Arduino Nano juga memiliki sejumlah keunggulan lain sebagaimana diuraikan dalam literatur. Pertama, papan ini tidak membutuhkan *chip programmer* tambahan karena sudah dilengkapi dengan *bootloader* yang mendukung proses unggah program langsung dari komputer. Kedua, bahasa pemrograman yang digunakan relatif sederhana (C/C++), ditunjang dengan perangkat lunak Arduino IDE yang memiliki antarmuka grafis (*Graphical User Interface/GUI*) yang mudah dipahami, pustaka (*library*) yang lengkap, serta sifatnya yang *open source*. Ketiga, komunikasi serial dan unggah program menggunakan jalur yang sama melalui USB, sehingga meminimalisasi kebutuhan kabel tambahan.

Melalui pendekatan ini, rancangan *safety relay module* diharapkan dapat memberikan solusi nyata terhadap permasalahan keselamatan operasional mesin diesel Mitsubishi S4S-DT. Kehadiran tombol *emergency stop* akan memastikan penghentian mesin secara cepat dalam kondisi berbahaya, sementara indikator *fault* yang ditambahkan mampu membantu operator mengidentifikasi sumber kegagalan secara lebih akurat.

#### Batasan Masalah

Agar penelitian lebih terfokus, beberapa batasan ditetapkan. Pertama, Arduino Nano digunakan sebagai pusat kendali utama yang berisi program *timer shutdown* serta pengendali keluaran ke lampu indikator. Kedua, rancangan alat disusun berdasarkan diagram pengawatan (*wiring diagram*) dan prinsip kerja mesin Mitsubishi S4S. Dengan pembatasan ini, penelitian tidak mencakup modifikasi komponen mekanis mesin, melainkan berfokus pada pengembangan modul elektronik kendali.

#### Rumusan Masalah

Rumusan masalah penelitian ini diformulasikan dalam tiga pertanyaan utama:

1. Bagaimana desain *safety relay module* yang dilengkapi fitur *emergency stop* dan indikator *fault* dapat dikembangkan?
2. Bagaimana alur proses kerja modul dalam mendeteksi urutan kerja serta *fault condition* pada mesin Mitsubishi S4S-DT?
3. Bagaimana hasil pengujian simulasi rangkaian modul ketika terjadi kondisi kegagalan operasi akibat *overheat* maupun *low oil pressure*?

#### Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Merancang *safety relay module* lengkap dengan fitur *emergency stop* dan lampu indikator *fault*.
2. Menjelaskan alur kerja modul dalam mendeteksi urutan operasi serta kondisi *fault* pada mesin Mitsubishi S4S-DT.
3. Menampilkan hasil pengujian modul berdasarkan simulasi kondisi *overheat* dan *low oil pressure*.



## Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini mencakup tiga aspek. Pertama, menghasilkan rancangan *safety relay module* dengan fitur tambahan yang meningkatkan aspek keselamatan mesin. Kedua, memberikan pemahaman yang lebih baik mengenai alur kerja sistem proteksi berbasis Arduino Nano dalam mendeteksi urutan kerja dan kondisi *fault*. Ketiga, memudahkan operator dalam menganalisis penyebab kegagalan operasi melalui simulasi kondisi *fault*, sehingga penanganan dapat dilakukan dengan lebih cepat dan tepat

## TINJAUAN PUSTAKA

### Kajian Pustaka

Perkembangan teknologi mikrokontroler dalam satu dekade terakhir telah mendorong berbagai inovasi pada sistem kendali mesin berbasis elektronik. Mesin diesel, baik yang digunakan pada kendaraan, genset, maupun unit industri, semakin banyak diintegrasikan dengan *control panel* berbasis mikrokontroler karena keunggulannya dalam hal fleksibilitas, efisiensi, serta biaya produksi yang relatif rendah.

Beberapa penelitian terdahulu dapat dijadikan rujukan penting dalam konteks penelitian ini. Agustini dkk. (2023) mengembangkan sistem *real-time monitoring* putaran mesin (*RPM engine*) dan temperatur oli menggunakan mikrokontroler ESP32 dengan sensor encoder serta DS18B20. Sistem ini terbukti memiliki tingkat kesalahan (*error rate*) rendah sekitar 1% dan dapat mengirimkan peringatan kondisi abnormal melalui jaringan *Internet of Things (IoT)*. Walaupun penelitian tersebut tidak menggunakan Arduino Nano, konsep dasar mengenai pemantauan parameter penting mesin dapat diadaptasi pada penelitian ini, khususnya dalam penerapan sistem proteksi berbasis indikator.

Selanjutnya, Dalimarta et al. (2022) merancang *Electronic Control Unit (ECU)* berbasis Arduino untuk sepeda motor dua langkah. Dalam penelitian ini, Arduino Nano digunakan untuk mengolah sinyal dari sensor *throttle position sensor (TPS)* dan *pulser*, yang kemudian memicu pengaktifan *fuel pump* serta injektor. Meskipun konteksnya berbeda, yakni mesin bensin dua langkah, penelitian tersebut menunjukkan bahwa Arduino Nano memiliki kemampuan memproses input sensor serta menentukan *sequence* kerja sesuai dengan logika mesin pembakaran dalam. Hal ini relevan dengan perancangan *safety relay module* yang dikembangkan dalam penelitian ini, karena sama-sama memerlukan pemrosesan input digital untuk mengendalikan aktuator, dalam hal ini solenoid *fuel stop*.

Rayatman et al. (2021) juga melakukan penelitian mengenai sistem *Automatic Transfer Switch (ATS)* berbasis Arduino Nano. Sistem ini memungkinkan perpindahan sumber listrik secara otomatis pada rumah tinggal sederhana dengan rata-rata *delay* hanya 2-3 detik. Walaupun penelitian tersebut tidak secara langsung membahas mesin diesel Mitsubishi S4S, prinsip kerja *start/stop* otomatis dan proteksi terhadap kondisi abnormal relevan untuk diaplikasikan dalam sistem kendali mesin. Fitur ini menjadi acuan dalam merancang *safety relay module* dengan kemampuan *fault detection* pada kondisi *low oil pressure* dan *high coolant temperature*.

Penelitian lain oleh Aditya Putra Mahendra et al. (2024) mengembangkan sistem *IoT-based monitoring* untuk *main engine* kapal berbasis Arduino Uno. Sistem tersebut memfokuskan pada pemantauan kondisi mesin secara *real-time* dan memberikan fleksibilitas bagi operator untuk mengatur parameter dari jarak jauh. Walaupun konteks penelitian ini berbeda,



pendekatan *real-time monitoring* dapat menjadi rujukan dalam pengembangan sistem proteksi jarak jauh pada modul yang dirancang, terutama jika diintegrasikan dengan sistem pemantauan berbasis IoT.

Selain itu, Fikroh dan Syahririni (2024) dalam *Indonesian Journal of Innovation Studies* menunjukkan bahwa sensor Arduino mampu merekam fluktuasi kompresi mesin akibat perubahan suhu. Studi ini menegaskan kemampuan Arduino dalam mendeteksi kondisi mesin abnormal, seperti *overheating* atau *misfire*. Walaupun penelitian ini lebih menekankan pada pemrosesan data analog, relevansinya tetap tinggi terhadap penelitian ini, karena prinsip dasar yang digunakan sama, yakni deteksi kondisi tidak normal mesin melalui masukan sensor.

Secara keseluruhan, kajian pustaka menunjukkan bahwa penggunaan Arduino Nano maupun Uno telah terbukti berhasil dalam berbagai aplikasi kendali mesin. Hal ini meliputi pengendalian injeksi bahan bakar, pemantauan parameter operasional mesin, prosedur *start-stop* otomatis, hingga integrasi dengan IoT. Pada penelitian ini, kekhususan terletak pada perancangan *safety relay module* untuk mesin diesel Mitsubishi S4S-DT yang sebelumnya tidak dilengkapi dengan *emergency stop* maupun lampu indikator penyebab *shutdown*. Dengan demikian, penelitian ini berupaya memberikan kontribusi terhadap aspek keselamatan mesin sekaligus meningkatkan efisiensi operasional.

#### Mesin Diesel Mitsubishi S4S

Mesin Mitsubishi S4S merupakan mesin diesel berbahan bakar *diesel fuel* yang dilengkapi sistem *starting* berupa motor listrik 12V-2.2 kW. Mesin ini menggunakan *alternator charger* berkapasitas 12V-50A serta sistem *engine shut-off* berbasis solenoid listrik. Sebagai bentuk perlindungan, mesin ini dilengkapi *oil pressure switch* dan *thermo switch*.

Proteksi terhadap kondisi *low oil pressure* dilakukan melalui *oil pressure switch* dengan spesifikasi tekanan operasi 49 kPa (0,49 bar). Tegangan operasi dari *oil pressure switch* adalah 12V dengan daya 5W, serta memiliki konfigurasi kontak *Normally Close (NC)*. Sementara itu, untuk proteksi terhadap *high coolant temperature*, digunakan *thermo switch* dengan batas operasi  $105^{\circ}\text{C} \pm 4^{\circ}\text{C}$  pada kondisi terbuka, serta  $>105^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  pada kondisi tertutup (*close*). Tegangan nominal untuk komponen ini adalah 12V dengan arus maksimal 1A.

Adapun *solenoid stop* yang digunakan pada mesin S4S bertipe *run-off*, sehingga perlu diaktifkan untuk menghentikan mesin dengan cara menutup saluran pada *fuel injection pump*. Tegangan nominalnya adalah 12V, dengan rentang operasi 8-14V, arus nominal hingga 22,6A, serta rentang suhu kerja  $-30^{\circ}\text{C}$  hingga  $90^{\circ}\text{C}$ . Data ini menunjukkan bahwa mesin Mitsubishi S4S telah dirancang dengan mekanisme proteksi dasar, namun masih membutuhkan integrasi sistem kendali yang lebih modern.

#### Arduino Nano

Arduino Nano merupakan papan pengembangan mikrokontroler berbasis ATmega328 yang ringkas, dengan dimensi 45 × 18 mm. Papan ini menggunakan prosesor 8-bit berkecepatan 16 MHz dengan performa hingga 16 MIPS. Arduino Nano dilengkapi dengan 32 kB memori flash, 2 kB SRAM, dan 1 kB EEPROM. Untuk keperluan *input-output (I/O)*, Arduino Nano menyediakan 20 pin digital, 8 pin analog, serta 6 kanal PWM.

Arduino Nano juga memiliki keunggulan dalam fleksibilitas sumber daya. Papan ini dapat diberi suplai melalui USB mini-B, tegangan eksternal 7-15V (pin VIN), atau suplai 5V teratur (pin +5V). Selain itu, Arduino Nano dilengkapi fitur *sleep mode* untuk efisiensi energi, komunikasi USART, SPI, serta kompatibilitas penuh dengan *Arduino IDE*. Diagram blok dari papan ini



menunjukkan adanya integrasi jalur data dan daya melalui pin VIN dan pin +5V, serta sistem komunikasi serial UART.

Keunggulan Arduino Nano yang paling relevan terhadap penelitian ini adalah ukurannya yang kecil, sehingga mudah diintegrasikan dalam panel kendali mesin, serta kemampuannya dalam mengolah input digital dari berbagai sensor seperti *low oil pressure switch*, *thermo switch*, dan tombol *emergency stop*.

#### **Relai**

Relai adalah komponen elektromekanis yang berfungsi sebagai saklar otomatis, dikendalikan oleh arus listrik pada kumparan magnet. Ketika kumparan diberi arus, medan magnet yang dihasilkan akan menarik kontak saklar sehingga terjadi perubahan kondisi dari *Normally Open (NO)* menjadi tertutup atau sebaliknya dari *Normally Close (NC)* menjadi terbuka. Relai yang digunakan dalam penelitian ini berfungsi untuk mengendalikan tegangan kerja 12V dari output Arduino Nano yang hanya mampu memberikan arus 20 mA pada 5V.

#### **Dioda**

Dioda adalah komponen semikonduktor dengan dua kutub yang berfungsi menyearahkan arus listrik. Struktur dasarnya terdiri dari sambungan *p-n junction* yang memungkinkan arus mengalir hanya pada satu arah. Dioda memiliki tiga kondisi utama: *forward biased*, *unbiased*, dan *reverse biased*. Pada kondisi *forward biased*, dioda menghantarkan arus, sedangkan pada kondisi *reverse biased*, arus tertahan. Peran dioda dalam penelitian ini terkait dengan proteksi rangkaian relai agar tidak terjadi arus balik yang dapat merusak komponen.

#### **Optocoupler**

Optocoupler, juga disebut *optoisolator*, merupakan komponen elektronika yang bekerja berdasarkan prinsip isolasi optik. Komponen ini terdiri dari pemancar cahaya (biasanya LED) dan penerima cahaya (fototransistor). Optocoupler digunakan untuk menghubungkan dua rangkaian listrik tanpa kontak langsung, sehingga dapat mengurangi risiko gangguan akibat perbedaan tegangan atau *noise*. Dalam sistem kendali mesin, optocoupler dapat berfungsi sebagai pengaman tambahan pada jalur kontrol.

#### **IC Regulator**

IC regulator merupakan komponen pengatur tegangan yang menjaga kestabilan output. Salah satu jenis yang banyak digunakan adalah seri 78XX, misalnya IC 7805 yang menghasilkan tegangan keluaran 5V DC stabil. Komponen ini penting untuk memastikan suplai daya yang konstan bagi mikrokontroler Arduino Nano dan perangkat pendukung lain dalam rangkaian.

#### **Transistor**

Transistor adalah komponen aktif yang berfungsi sebagai penguat sekaligus saklar. Terdapat dua tipe utama, yaitu NPN dan PNP. Pada penelitian ini, transistor digunakan sebagai penggerak relai karena output Arduino Nano tidak mampu langsung mengalirkan arus yang dibutuhkan. Transistor bekerja pada dua kondisi, yakni *cut-off* (saklar terbuka) dan *saturation* (saklar tertutup). Dengan konfigurasi yang tepat, transistor mampu mengendalikan arus lebih besar pada relai tanpa membebani pin I/O Arduino Nano.

#### **Sintesis Kajian Pustaka**

Berdasarkan kajian pustaka dan landasan teori di atas, dapat disimpulkan bahwa integrasi Arduino Nano dengan komponen pendukung seperti relai, transistor, dioda, optocoupler, serta IC regulator dapat menghasilkan sistem proteksi mesin yang lebih komprehensif. Studi terdahulu menegaskan keandalan Arduino dalam berbagai aplikasi kontrol



mesin, meskipun belum ada penelitian yang secara khusus membahas perancangan *safety relay module* pada mesin Mitsubishi S4S-DT. Oleh karena itu, penelitian ini memiliki posisi penting dalam memberikan kontribusi terhadap aspek keselamatan mesin diesel, terutama dengan penambahan fitur *emergency stop* dan lampu indikator penyebab *shutdown*.

## METODE PENELITIAN

### Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Balikpapan, Provinsi Kalimantan Timur. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada ketersediaan fasilitas laboratorium dan lingkungan yang mendukung kegiatan eksperimen perancangan sistem kendali mesin diesel. Waktu penelitian berlangsung selama delapan bulan, dimulai pada Januari 2025 hingga 31 Agustus 2025. Rentang waktu ini mencakup tahap persiapan, perancangan, pembuatan purwarupa, pengujian, analisis data, hingga penyusunan laporan penelitian.

Untuk memperjelas tahapan kegiatan, penelitian dijabarkan dalam bentuk jadwal sebagaimana tersaji pada Tabel 3.1. Tahapan mencakup persiapan penelitian (perizinan, koordinasi, dan rancangan desain), pelaksanaan percobaan, pengujian peralatan, analisis hasil, penyusunan laporan, hingga tahap ujian skripsi dan revisi.

### Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Research and Development (R&D)* dengan metode eksperimen. Tujuan utama dari metode ini adalah merancang dan menguji panel kontrol mesin diesel berbasis mikrokontroler Arduino Nano. Melalui pendekatan ini, penelitian tidak hanya menghasilkan rancangan teoritis, tetapi juga purwarupa nyata yang diuji secara eksperimental.

Alur penelitian dapat digambarkan dalam bentuk diagram alir yang terdiri dari beberapa tahapan utama:

1. Identifikasi masalah: mengkaji kelemahan sistem kendali asli mesin Mitsubishi S4S-DT.
2. Studi literatur: menelaah teori dasar serta penelitian terdahulu terkait mesin diesel dan penerapan Arduino sebagai pengendali.
3. Perancangan sistem: menyusun desain panel kontrol, baik dari sisi perangkat keras maupun perangkat lunak.
4. Pembuatan purwarupa: merakit rangkaian berdasarkan rancangan sistem.
5. Pengujian dan analisis: melakukan simulasi kondisi operasi mesin dan mencatat performa purwarupa.
6. Kesimpulan dan saran: menyusun interpretasi hasil serta rekomendasi untuk pengembangan lebih lanjut.

### Perancangan Sistem

#### a. Perancangan Perangkat Keras

Rancangan perangkat keras bertujuan menentukan urutan langkah dalam pembuatan alat. Proses diawali dengan identifikasi kebutuhan sistem, dilanjutkan pembuatan diagram blok, perancangan rangkaian elektronik, serta pemrograman logika kerja Arduino Nano menggunakan bahasa C++ di platform Arduino IDE.

Komponen utama yang digunakan ditampilkan dalam Tabel 3.2. Daftar ini mencakup Arduino Nano sebagai pusat kendali, *box panel* berukuran 30 × 40 × 15 cm, kunci kontak, relai 5VDC dan 12VDC, transistor BC547, tombol *emergency stop*, *toggle switch*, solenoid,



aki 12V, serta lampu indikator dengan tiga warna (hijau, kuning, merah). Selain itu, rangkaian juga dilengkapi IC LM7805, dioda 1N4002, dan *terminal block* untuk distribusi arus.

Untuk mendukung proses perakitan, digunakan pula seperangkat perkakas dan instrumen ukur, antara lain tang, solder, multimeter digital dan analog, *project board*, *drill set*, serta *adapter* AC-DC. Peralatan ini memastikan pembuatan purwarupa dapat dilakukan dengan presisi dan reliabilitas tinggi.

## b. Prinsip Kerja Sistem

Sistem *safety relay module* dirancang untuk mengendalikan kondisi mesin diesel dalam lima keadaan utama: *key off*, *engine off*, *key on*, *engine running*, dan *engine fault*. Alur kerjanya dimulai ketika kunci kontak berada pada posisi *off*, di mana Arduino Nano tidak menerima suplai daya. Saat kunci diputar ke posisi *on*, Arduino Nano aktif dan melakukan inisialisasi pin input-output. Modul kemudian memverifikasi kondisi awal sensor, yakni *thermo switch* harus dalam posisi *open* dan *low oil pressure switch* dalam posisi *close*. Jika syarat ini terpenuhi, lampu indikator hijau menyala menandakan mesin siap dioperasikan.

Ketika kunci kontak diputar ke posisi *start*, motor starter mengaktifkan *flywheel* hingga mesin hidup. Pada kondisi *running normal*, lampu kuning menyala bersamaan dengan lampu hijau. Namun, jika terjadi *fault*, misalnya tekanan oli turun di bawah 49 kPa atau suhu pendingin melebihi 105°C, modul segera mengaktifkan solenoid *shutdown* dan menyalakan lampu indikator merah yang sesuai. Tekan tombol *emergency stop* juga akan memicu prosedur serupa, yakni solenoid aktif sehingga mesin berhenti.

## Perancangan Perangkat Lunak

Selain perangkat keras, perangkat lunak juga menjadi komponen krusial dalam sistem. Arduino Nano diprogram untuk membaca kondisi input dari kunci kontak, tombol *emergency stop*, *thermo switch*, serta *low oil pressure switch*. Berdasarkan input ini, Arduino mengendalikan keluaran berupa aktivasi lampu indikator (hijau, kuning, merah) dan solenoid *shutdown*.

Diagram alir perangkat lunak menunjukkan alur kondisi sebagai berikut:

- Key off/engine off: semua keluaran tidak aktif.
- Key on/engine on: lampu hijau aktif, sistem siap *running*.
- Engine running: lampu hijau dan kuning menyala.
- Fault condition: lampu merah menyala sesuai jenis *fault* (tekanan oli rendah, temperatur tinggi, atau *emergency stop*), solenoid *shutdown* aktif, mesin berhenti.

## Perancangan Pengujian

Pengujian dilakukan dalam dua tahap:

### 1. Pengujian relai

Tujuan pengujian ini adalah memastikan setiap relai dapat berfungsi normal. Relai diuji dengan memberikan tegangan pada kumparan dan mengukur perubahan kondisi pin *Normally Close (NC)* dan *Normally Open (NO)*. Hasil pengukuran resistansi, arus koil, serta tegangan dicatat untuk memastikan kesesuaian dengan spesifikasi.

### 2. Pengujian sistem keseluruhan

Pengujian modul dilakukan dengan mensimulasikan kondisi *fault* menggunakan *toggle switch* sebagai pengganti *thermo switch* dan *low oil pressure switch*. Hasil pengujian dicatat dalam format tabel yang memuat status kunci kontak, tombol *emergency stop*,



kondisi mesin, serta keluaran lampu indikator dan solenoid *shutdown*. Uji ini bertujuan memastikan modul dapat beroperasi sesuai skenario kerja mesin Mitsubishi S4S-DT.

### Analisis Data

Data hasil pengujian dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan performa purwarupa terhadap spesifikasi komponen serta logika kerja yang telah ditentukan. Analisis ini mencakup evaluasi keandalan relai, keakuratan respon sensor, serta efektivitas sistem proteksi dalam menghentikan mesin pada kondisi *fault*.

### Ringkasan Metodologi

Secara keseluruhan, metodologi penelitian ini berfokus pada perancangan dan pengujian *safety relay module* berbasis Arduino Nano. Dengan pendekatan *Research and Development (R&D)*, penelitian ini tidak hanya menghasilkan desain konseptual, tetapi juga purwarupa nyata yang dapat diuji. Hasil pengujian diharapkan memberikan gambaran kinerja sistem dalam meningkatkan aspek keselamatan mesin diesel Mitsubishi S4S-DT, sekaligus menjadi dasar untuk pengembangan lebih lanjut pada aplikasi industri berskala luas.

## METODE PENELITIAN

### Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Balikpapan, Provinsi Kalimantan Timur. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada ketersediaan fasilitas laboratorium dan lingkungan yang mendukung kegiatan eksperimen perancangan sistem kendali mesin diesel. Waktu penelitian berlangsung selama delapan bulan, dimulai pada Januari 2025 hingga 31 Agustus 2025. Rentang waktu ini mencakup tahap persiapan, perancangan, pembuatan purwarupa, pengujian, analisis data, hingga penyusunan laporan penelitian.

Untuk memperjelas tahapan kegiatan, penelitian dijabarkan dalam bentuk jadwal sebagaimana tersaji pada Tabel 3.1. Tahapan mencakup persiapan penelitian (perizinan, koordinasi, dan rancangan desain), pelaksanaan percobaan, pengujian peralatan, analisis hasil, penyusunan laporan, hingga tahap ujian skripsi dan revisi.

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Research and Development (R&D)* dengan metode eksperimen. Tujuan utama dari metode ini adalah merancang dan menguji panel kontrol mesin diesel berbasis mikrokontroler Arduino Nano. Melalui pendekatan ini, penelitian tidak hanya menghasilkan rancangan teoritis, tetapi juga purwarupa nyata yang diuji secara eksperimental.

Alur penelitian dapat digambarkan dalam bentuk diagram alir yang terdiri dari beberapa tahapan utama:

1. Identifikasi masalah: mengkaji kelemahan sistem kendali asli mesin Mitsubishi S4S-DT.
2. Studi literatur: menelaah teori dasar serta penelitian terdahulu terkait mesin diesel dan penerapan Arduino sebagai pengendali.
3. Perancangan sistem: menyusun desain panel kontrol, baik dari sisi perangkat keras maupun perangkat lunak.
4. Pembuatan purwarupa: merakit rangkaian berdasarkan rancangan sistem.
5. Pengujian dan analisis: melakukan simulasi kondisi operasi mesin dan mencatat performa purwarupa.
6. Kesimpulan dan saran: menyusun interpretasi hasil serta rekomendasi untuk pengembangan lebih lanjut.



## Perancangan Sistem

### a. Perancangan Perangkat Keras

Rancangan perangkat keras bertujuan menentukan urutan langkah dalam pembuatan alat. Proses diawali dengan identifikasi kebutuhan sistem, dilanjutkan pembuatan diagram blok, perancangan rangkaian elektronik, serta pemrograman logika kerja Arduino Nano menggunakan bahasa C++ di platform Arduino IDE.

Komponen utama yang digunakan ditampilkan dalam Tabel 3.2. Daftar ini mencakup Arduino Nano sebagai pusat kendali, *box panel* berukuran  $30 \times 40 \times 15$  cm, kunci kontak, relai 5VDC dan 12VDC, transistor BC547, tombol *emergency stop*, *toggle switch*, solenoid, aki 12V, serta lampu indikator dengan tiga warna (hijau, kuning, merah). Selain itu, rangkaian juga dilengkapi IC LM7805, dioda 1N4002, dan *terminal block* untuk distribusi arus.

Untuk mendukung proses perakitan, digunakan pula seperangkat perkakas dan instrumen ukur, antara lain tang, solder, multimeter digital dan analog, *project board*, *drill set*, serta *adapter* AC-DC. Peralatan ini memastikan pembuatan purwarupa dapat dilakukan dengan presisi dan reliabilitas tinggi.

### b. Prinsip Kerja Sistem

Sistem *safety relay module* dirancang untuk mengendalikan kondisi mesin diesel dalam lima keadaan utama: *key off*, *engine off*, *key on*, *engine running*, dan *engine fault*. Alur kerjanya dimulai ketika kunci kontak berada pada posisi *off*, di mana Arduino Nano tidak menerima suplai daya. Saat kunci diputar ke posisi *on*, Arduino Nano aktif dan melakukan inisialisasi pin input-output. Modul kemudian memverifikasi kondisi awal sensor, yakni *thermo switch* harus dalam posisi *open* dan *low oil pressure switch* dalam posisi *close*. Jika syarat ini terpenuhi, lampu indikator hijau menyala menandakan mesin siap dioperasikan.

Ketika kunci kontak diputar ke posisi *start*, motor starter mengaktifkan *flywheel* hingga mesin hidup. Pada kondisi *running normal*, lampu kuning menyala bersamaan dengan lampu hijau. Namun, jika terjadi *fault*, misalnya tekanan oli turun di bawah 49 kPa atau suhu pendingin melebihi  $105^{\circ}\text{C}$ , modul segera mengaktifkan solenoid *shutdown* dan menyalakan lampu indikator merah yang sesuai. Tekan tombol *emergency stop* juga akan memicu prosedur serupa, yakni solenoid aktif sehingga mesin berhenti.

### Perancangan Perangkat Lunak

Selain perangkat keras, perangkat lunak juga menjadi komponen krusial dalam sistem. Arduino Nano diprogram untuk membaca kondisi input dari kunci kontak, tombol *emergency stop*, *thermo switch*, serta *low oil pressure switch*. Berdasarkan input ini, Arduino mengendalikan keluaran berupa aktivasi lampu indikator (hijau, kuning, merah) dan solenoid *shutdown*.

Diagram alir perangkat lunak menunjukkan alur kondisi sebagai berikut:

- Key off/engine off: semua keluaran tidak aktif.
- Key on/engine on: lampu hijau aktif, sistem siap *running*.
- Engine running: lampu hijau dan kuning menyala.
- Fault condition: lampu merah menyala sesuai jenis *fault* (tekanan oli rendah, temperatur tinggi, atau *emergency stop*), solenoid *shutdown* aktif, mesin berhenti.

### Perancangan Pengujian

Pengujian dilakukan dalam dua tahap:

#### 1. Pengujian relai

Tujuan pengujian ini adalah memastikan setiap relai dapat berfungsi normal. Relai diuji dengan memberikan tegangan pada kumparan dan mengukur perubahan kondisi pin *Normally Close* (NC) dan *Normally Open* (NO). Hasil pengukuran resistansi, arus koil, serta tegangan dicatat untuk memastikan kesesuaian dengan spesifikasi.



## 2. Pengujian sistem keseluruhan

Pengujian modul dilakukan dengan mensimulasikan kondisi *fault* menggunakan *toggle switch* sebagai pengganti *thermo switch* dan *low oil pressure switch*. Hasil pengujian dicatat dalam format tabel yang memuat status kunci kontak, tombol *emergency stop*, kondisi mesin, serta keluaran lampu indikator dan solenoid *shutdown*. Uji ini bertujuan memastikan modul dapat beroperasi sesuai skenario kerja mesin Mitsubishi S4S-DT.

### Analisis Data

Data hasil pengujian dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan performa purwarupa terhadap spesifikasi komponen serta logika kerja yang telah ditentukan. Analisis ini mencakup evaluasi keandalan relai, keakuratan respon sensor, serta efektivitas sistem proteksi dalam menghentikan mesin pada kondisi *fault*.

### Ringkasan Metodologi

Secara keseluruhan, metodologi penelitian ini berfokus pada perancangan dan pengujian *safety relay module* berbasis Arduino Nano. Dengan pendekatan *Research and Development (R&D)*, penelitian ini tidak hanya menghasilkan desain konseptual, tetapi juga purwarupa nyata yang dapat diuji. Hasil pengujian diharapkan memberikan gambaran kinerja sistem dalam meningkatkan aspek keselamatan mesin diesel Mitsubishi S4S-DT, sekaligus menjadi dasar untuk pengembangan lebih lanjut pada aplikasi industri berskala luas.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Penelitian

#### a. Pengujian Relai

Salah satu aspek krusial dalam perancangan *safety relay module* adalah pemanfaatan relai sebagai komponen penghubung antara mikrokontroler Arduino Nano dan perangkat keluaran yang bekerja pada tegangan lebih tinggi, seperti lampu indikator 12V dan solenoid. Arduino Nano hanya mampu menyediakan arus maksimum 20 mA pada keluaran digitalnya, sehingga diperlukan rangkaian relai untuk mengendalikan beban eksternal yang memerlukan arus lebih besar.

Relai yang digunakan dalam penelitian ini memiliki nomor model SRD-05VDC-SL-C. Berdasarkan datasheet, relai tipe ini tersedia dalam beberapa varian tegangan kumparan, di antaranya 3VDC, 5VDC, 6VDC, hingga 48VDC, dengan struktur kumparan magnetik tertutup (*sealed type*) dan konsumsi daya bervariasi antara 0,36 Watt hingga 0,45 Watt tergantung sensitivitas koil. Model relai yang digunakan dalam penelitian ini adalah varian 5VDC dengan arus nominal 71,4 mA.

Untuk memastikan kinerja, dilakukan pengujian resistansi, tegangan, serta arus koil dari masing-masing relai. Tabel 4.3 menunjukkan hasil pengujian konsumsi arus listrik pada enam relai yang digunakan. Hasilnya konsisten, dengan nilai arus koil berada pada kisaran 62-63 mA pada tegangan 5,05 VDC, sementara resistansi koil berkisar antara 67-70  $\Omega$ . Hal ini sesuai dengan spesifikasi teknis yang tercantum pada *Coil Data Chart* dalam datasheet relai.

Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa arus konsumsi relai melebihi kemampuan maksimum pin digital Arduino Nano. Oleh karena itu, diperlukan tambahan rangkaian transistor untuk mengemudikan relai. Transistor bekerja sebagai saklar elektronik yang mampu mengendalikan arus lebih besar daripada yang dapat diberikan langsung oleh mikrokontroler.

#### b. Pemanfaatan Transistor BC547B

Untuk mengendalikan relai, penelitian ini menggunakan transistor tipe BC547B. Pemilihan transistor ini didasarkan pada kesesuaian parameter listriknya. Berdasarkan data karakteristik, transistor BC547B memiliki tegangan maksimum kolektor-emitor (VCEO)



sebesar 45 VDC, arus kolektor kontinu (IC) hingga 100 mA, serta tegangan saturasi kolektor-emitor (VCEsat) sebesar 0,6 VDC pada arus kolektor 100 mA dan arus basis 5 mA.

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa ketika transistor berada pada kondisi saturasi, tegangan yang jatuh pada koil relai adalah sekitar 4,4 VDC. Nilai ini masih cukup untuk menarik kontak relai, karena datasheet menyebutkan bahwa tegangan minimum yang dibutuhkan untuk *pull-in coil* adalah 75% dari tegangan nominal, yaitu sekitar 3,75 VDC. Dengan demikian, meskipun terjadi *voltage drop* akibat saturasi transistor, relai tetap dapat bekerja normal.

Perhitungan lebih lanjut terhadap resistor basis (RB) menunjukkan nilai ideal sebesar 860  $\Omega$  untuk menghasilkan arus basis 5 mA. Namun karena keterbatasan nilai resistor standar di pasaran, digunakan resistor 1000  $\Omega$ . Dengan konfigurasi ini, arus basis yang mengalir adalah sekitar 3,98 mA, cukup untuk menjaga transistor tetap dalam kondisi saturasi sehingga mampu mengalirkan arus kolektor hingga 60 mA. Hasil pengujian praktis menunjukkan bahwa rangkaian driver dengan resistor 1000  $\Omega$  bekerja stabil tanpa melebihi batas arus maksimum transistor.

### c. Hasil Pengujian Sistem

Tahap berikutnya adalah pengujian sistem *safety relay module* secara keseluruhan. Pengujian dilakukan dengan mensimulasikan kondisi normal maupun kondisi *fault* pada mesin Mitsubishi S4S-DT. *Toggle switch* digunakan sebagai pengganti *low oil pressure switch* dan *thermo switch* untuk memudahkan simulasi.

Hasil pengujian sistem ditampilkan pada Tabel 4.7, yang memuat enam kondisi operasi mesin, mulai dari keadaan *engine off* hingga kondisi *emergency stop*. Secara garis besar, terdapat beberapa pola utama:

1. Engine Off  
Pada kondisi ini, kunci kontak dalam posisi *off*, sehingga mesin tidak beroperasi. Semua indikator lampu padam dan solenoid *shutdown* tidak aktif.
2. Key On (belum Running)  
Ketika kunci diputar ke posisi *on*, lampu hijau menyala sebagai tanda sistem siap beroperasi. Karena tekanan oli belum naik, lampu merah *low oil pressure* ikut menyala. Namun solenoid tetap tidak aktif, sehingga mesin masih dalam keadaan siap untuk dinyalakan.
3. Engine Running Normal  
Setelah mesin berhasil *crank* dan masuk kondisi *running*, tekanan oli naik sehingga *low oil pressure switch* berubah menjadi *open*. Lampu hijau dan kuning menyala bersamaan, sementara lampu merah padam. Kondisi ini menandakan mesin beroperasi normal.
4. Running - Fault Low Oil Pressure  
Jika terjadi penurunan tekanan oli saat mesin *running*, lampu merah *low oil pressure* menyala. Sistem proteksi segera mengaktifkan solenoid *shutdown* selama sembilan detik, sehingga mesin berhenti.
5. Running - Fault High Coolant Temperature  
Pada kondisi *overheating*, *thermo switch* berubah menjadi *close*. Lampu merah *high coolant temperature* menyala, dan solenoid *shutdown* aktif selama sembilan detik hingga mesin berhenti.
6. Running - Emergency Stop  
Jika tombol *emergency stop* ditekan, lampu merah indikator darurat menyala dan solenoid *shutdown* aktif. Mesin segera berhenti dalam kurun waktu sembilan detik.



## Pembahasan

### a. Desain *Safety Relay Module*

Hasil penelitian menunjukkan bahwa *safety relay module* berhasil dirancang dan diimplementasikan sesuai kebutuhan mesin diesel Mitsubishi S4S. Modul ini menggunakan enam pin keluaran digital dari Arduino Nano untuk mengendalikan relai yang terhubung dengan lampu indikator dan solenoid shutdown. Input sistem berasal dari lima pin yang digunakan untuk membaca kondisi kunci kontak, tombol emergency stop, serta dua sensor proteksi (tekanan oli dan suhu pendingin).

Keberhasilan integrasi sistem ini terlihat dari kemampuannya mengatur alur kerja mesin secara otomatis berdasarkan logika yang diprogram. Ketika terjadi kondisi abnormal, sistem segera memberikan respon berupa aktivasi solenoid dan indikator visual, sehingga operator dapat dengan cepat mengidentifikasi sumber permasalahan.

### b. Perbandingan dengan Sistem Asli Mitsubishi S4S

Sistem kendali asli pada mesin Mitsubishi S4S-DT hanya menyediakan panel dasar tanpa fitur *emergency stop* maupun indikator penyebab *shutdown*. Hal ini menimbulkan kelemahan signifikan, karena operator kesulitan mengetahui penyebab mesin berhenti mendadak. Melalui penelitian ini, fitur tambahan berhasil ditanamkan, sehingga aspek keselamatan meningkat secara nyata.

Selain itu, adanya indikator visual yang terpisah untuk kondisi *low oil pressure*, *high coolant temperature*, dan *emergency stop* memberikan nilai tambah signifikan. Operator tidak hanya mengetahui bahwa mesin berhenti, tetapi juga penyebab spesifik dari kondisi tersebut. Dengan demikian, perawatan dan perbaikan dapat dilakukan lebih cepat, efisien, dan akurat.

### c. Efektivitas Sistem Proteksi

Sistem proteksi yang dikembangkan terbukti efektif dalam merespons tiga jenis kondisi *fault*. Waktu reaksi sistem yang konsisten, yaitu aktivasi solenoid selama sembilan detik, memastikan penghentian mesin berjalan aman tanpa menimbulkan kerusakan tambahan. Kecepatan respon ini sangat penting dalam mencegah kerusakan serius pada mesin akibat tekanan oli rendah atau suhu pendingin tinggi.

Selain itu, tombol *emergency stop* memungkinkan operator menghentikan mesin secara manual dalam situasi darurat. Kehadiran fitur ini sesuai dengan standar ISO 13850:2015 mengenai sistem penghentian darurat, sehingga meningkatkan aspek keselamatan mesin diesel dalam aplikasi industri berisiko tinggi.

### d. Implikasi terhadap Keselamatan dan Operasional

Penerapan *safety relay module* berbasis Arduino Nano memiliki implikasi langsung terhadap keselamatan kerja dan efisiensi operasional. Dari sisi keselamatan, sistem ini mencegah terjadinya kecelakaan akibat keterlambatan identifikasi kondisi abnormal. Dari sisi operasional, indikator visual membantu teknisi melakukan diagnosa awal sehingga waktu henti (*downtime*) dapat diminimalkan.

Hasil penelitian juga menunjukkan potensi pengembangan lebih lanjut, misalnya dengan integrasi sistem pemantauan berbasis IoT yang memungkinkan pengawasan kondisi mesin dari jarak jauh. Dengan demikian, modul ini tidak hanya meningkatkan keamanan, tetapi juga membuka peluang efisiensi operasional pada skala industri yang lebih luas.

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa *safety relay module* yang dirancang berhasil memenuhi fungsi utama:

1. Mengendalikan mesin diesel Mitsubishi S4S pada kondisi *off*, *on*, *running*, *fault*, dan *emergency*.
2. Memberikan proteksi otomatis terhadap kondisi *low oil pressure* dan *high coolant temperature*.



3. Menyediakan fitur tambahan berupa tombol *emergency stop* dan indikator visual yang mempermudah identifikasi penyebab *shutdown*.

Dengan demikian, sistem ini terbukti meningkatkan aspek keselamatan dan efisiensi dalam pengoperasian mesin diesel Mitsubishi S4S.

## KESIMPULAN

Berdasarkan rangkaian proses perancangan, pembuatan, serta pengujian *safety relay module* pada sistem kendali *internal combustion engine* Mitsubishi S4S berbasis Arduino Nano, dapat dirumuskan beberapa kesimpulan penting.

Pertama, simulasi *safety relay module* yang dirancang terbukti mampu bekerja sesuai fungsi utamanya, yaitu mengendalikan operasi mesin pada kondisi *off*, *on*, *running*, serta *fault*. Hal ini menandakan bahwa rancangan perangkat keras maupun perangkat lunak yang diterapkan pada Arduino Nano berhasil mengintegrasikan logika kerja sesuai kebutuhan sistem.

Kedua, *safety relay module* yang dibuat dengan mengacu pada manual spesifikasi mesin Mitsubishi S4S-DT dapat berperan sebagai pengawas utama yang mengatur urutan kerja mesin. Modul ini tidak hanya mengendalikan kondisi *off* hingga *running*, tetapi juga merespons keadaan abnormal seperti *fault* dan *emergency*. Mekanisme proteksi bekerja dengan cara memverifikasi syarat *start-up*, memantau parameter penting selama operasi (misalnya posisi kunci kontak pada *Off*, *ACC*, *IG*, *Start*, serta kondisi sensor *low oil pressure* dan *high coolant temperature*), dan secara otomatis mematikan mesin apabila terdeteksi *fault condition*.

Ketiga, hasil pengujian pada kondisi simulasi menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan informasi yang jelas mengenai keadaan mesin. Kehadiran indikator visual untuk kondisi *fault* sangat membantu operator maupun teknisi dalam mengidentifikasi penyebab kegagalan. Dengan demikian, modul tidak hanya menjaga mesin tetap beroperasi dalam urutan yang benar, tetapi juga melindungi operator serta mesin dari risiko kerusakan dan kecelakaan.

Secara keseluruhan, penerapan *safety relay module* ini membuktikan bahwa penggunaan Arduino Nano sebagai pusat kendali efektif untuk meningkatkan aspek keselamatan dan reliabilitas mesin diesel Mitsubishi S4S.

## Saran

Berdasarkan hasil penelitian, terdapat beberapa rekomendasi untuk pengembangan lebih lanjut:

1. Pengembangan fitur tambahan  
Modul dapat ditingkatkan dengan menambahkan indikator audio, seperti *buzzer*, agar operator memperoleh peringatan lebih jelas saat kondisi bahaya terjadi.
2. Integrasi dengan sistem monitoring  
Disarankan agar modul dihubungkan dengan komputer atau sistem *Internet of Things (IoT)* sehingga status relay dan kondisi keamanan dapat dipantau dari jarak jauh.
3. Peningkatan keandalan perangkat keras  
Komponen relai yang digunakan dapat diganti dengan spesifikasi lebih tinggi serta ditambahkan fitur proteksi terhadap tegangan lebih (*over-voltage protection*) maupun arus lebih (*over-current protection*).
4. Optimasi perangkat lunak  
Program pada Arduino Nano dapat dikembangkan lebih lanjut dengan algoritma *fail-safe* sehingga sistem tetap aman meskipun terjadi kesalahan pada sensor atau mikrokontroler.
5. Pengujian pada skala industri  
Penelitian ini masih terbatas pada uji simulasi di laboratorium. Oleh karena itu, diperlukan pengujian lapangan dalam skala lebih luas untuk mengevaluasi kinerja, ketahanan, serta kepraktisan modul dalam kondisi operasional nyata.



Dengan mempertimbangkan hasil dan saran di atas, penelitian ini berhasil menghadirkan sebuah *safety relay module* yang tidak hanya memenuhi fungsi dasar kendali mesin, tetapi juga menambahkan fitur penting bagi keselamatan operator. Modul ini sekaligus membuktikan relevansi penggunaan mikrokontroler Arduino Nano sebagai solusi kendali mesin berbasis elektronik yang sederhana, efisien, namun tetap andal.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. K. Samlawi, "Teori Dasar Motor Diesel," *J. Tek. Mesin*, p. 126, 2012.
- [2] H. Andrianto and A. Darmawan, *Arduino Belajar Cepat dan Pemrograman*. Informatika, 2016.
- [3] S. A. Agustini, P. Mulyatno, and W. Amiruddin, "Perancangan Sistem Digitalisasi Monitoring Data RPM Engine dan Temperatur Minyak Lubrikan Kapal Berbasis Internet of Things (IoT) dengan Metode Simulasi Prototype ESP32," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 11, no. 4, pp. 111-119, 2023, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>
- [4] F. F. Dalimarta, M. Mahdi, J. Jaelani, and R. D. Wibisono, "Rancang Bangun Electronic Control Unit Berbasis Arduino pada Mesin Motor Dua Langkah," *J. Din. Vokasional Tek. Mesin*, vol. 7, no. 2, pp. 105-111, 2022, doi: 10.21831/dinamika.v7i2.53301.
- [5] A. Rayatman, Y. Arifin, S. Dewi, and M. Mardiansyah, "Automatic Transfer Switch Untuk Rumah Tinggal Sederhana Berbasis Arduino Nano," *Foristek*, vol. 11, no. 2, 2021, doi: 10.54757/fs.v11i2.109.
- [6] Aditya Putra Mahendra, Sri Mulyanto Herlambang, and Prima Yudha Yudianto, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Kinerja Main Engine Kapal Berbasis IOT," *Globe Publ. Ilmu Tek. Teknol. Kebumian, Ilmu Perkapalan*, vol. 2, no. 4, pp. 139-159, 2024, doi: 10.61132/globe.v2i4.575.
- [7] U. Fikroh and S. Syahrurini, "Arduino Sensors Reveal Temperature-Driven Compression Fluctuations in Vehicle Engines," *Indones. J. Innov. Stud.*, vol. 25, no. 4, pp. 1-12, 2024, doi: 10.21070/ijins.v25i4.1195.
- [8] "Mitsubishi S4S\_Manual\_Specification."
- [9] A. Microcontroller, "Arduino Nano," *Lancet*, vol. 300, no. 7770, p. 222, 1972, doi: 10.1016/S0140-6736(72)91649-2.
- [10] F. Mulyana and Ismanto, *Dasar-Dasar Teknik Elektronika Semester 2 SMK/MAK KELAS X 1-328*. 2022.
- [11] Y. Evrita Lusiana Utari, Irawadi Buyung, *Elektronika Teori dan Penerapan*, 2023rd ed., vol. 4, no. 1. Yogyakarta, 2016.
- [12] "Pengertian Optocoupler: Cara Kerja, Jenis, Simbol, dan Kegunaannya," Kelas PLC. [Online]. Available: [www.kelasplc.com/optocoupler/](http://www.kelasplc.com/optocoupler/)
- [13] "Steady State Switching Characteristics of Devices".
- [14] Songle Relay, "Power Relay SRD-5VDC-SL-C datasheet," pp. 1-2, 2000.
- [15] P. By ALLDATASHEETCOM, "BC547 NPN Silicon MAXIMUM RATINGS," pp. 1-6, 1996.