



Rancang Bangun Sistem Keamanan Body Harness Berbasis Sensor Proximity Induktif dan MPX 5010 untuk Pekerja di Ketinggian dengan Menggunakan Metode Simple Learning Decision Tree

Tugas Akhir

**Oleh:
DENNI. T.S (4242211024)**

**Program Studi Teknologi Rekayasa Elektronika
Jurusan Teknik Elektro
Politeknik Negeri Batam
2026**

Lembar Pengesahan

Tugas Akhir disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T)

Disusun oleh:
Denni. T.S (4242211024)

Tanggal Sidang: 14 Januari 2026

Disetujui oleh :



1. Ika Karlina Laila Nur Suciningtyas S.Si., M.Si
NIK: 198807062019032012



1. Sumantri Kurniawan Risandriya, ST, MT
NIK: 197604072012121005



2. Illa Aryeni, S.T., M.T
NIK: 199001292022032006

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan karunia-Nya penulis akhirnya dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan judul “Rancang Bangun Sistem Keamanan *Body Harness* Berbasis Sensor Proximity Induktif dan MPX 5010 untuk Pekerja di Ketinggian dengan Menggunakan Metode *Simple Learning Decision Tree*”.

Penyusunan laporan ini merupakan salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan pada Program Studi Teknologi Rekayasa Elektronika Politeknik Negeri Batam. Selama proses penulisan, penulis mendapatkan banyak dukungan, bimbingan, dan bantuan dari berbagai pihak. Dengan segala kerendahan hati, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa atas segala nikmat dan kemudahan yang diberikan.
2. Kedua orang tua tercinta yang tidak henti-hentinya memberikan doa, dukungan, dan kasih sayang.
3. Dosen pembimbing yang telah sabar memberikan arahan, masukan, serta motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Seluruh dosen dan staf Program Studi Teknologi Rekayasa Elektronika yang telah membekali penulis dengan ilmu dan pengetahuan selama masa studi.
5. Teman-teman seperjuangan yang selalu memberi semangat dan membantu penulis dalam proses penyusunan laporan ini.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan ke depannya. Semoga laporan ini dapat memberikan manfaat serta menambah wawasan bagi pembaca.

Batam, 14 Januari 2026



(Denni. T.S)

Rancang Bangun Sistem Keamanan *Body Harness* Berbasis Sensor Proximity Induktif dan MPX 5010 untuk Pekerja di Ketinggian dengan Menggunakan Metode *Simple Learning Decision Tree*

Abstrak

Pekerjaan pada ketinggian merupakan aktivitas dengan tingkat risiko kecelakaan yang tinggi, khususnya akibat kesalahan dalam penggunaan alat pelindung diri seperti *body harness*. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem keamanan *body harness* berbasis sensor proximity induktif dan sensor tekanan MPX5010 yang mampu memantau kebenaran pemasangan harness secara otomatis dan real-time. Sensor proximity berfungsi untuk mendeteksi keterhubungan *hook* dengan titik jangkar, sedangkan sensor tekanan MPX5010 digunakan untuk memantau tekanan berlebih pada tali harness sebagai indikasi kondisi berbahaya. Data yang diperoleh dari kedua sensor tersebut diproses oleh mikrokontroler Arduino Uno menggunakan metode *Decision Tree* untuk menentukan kondisi pemasangan aman atau tidak aman. Sistem ini juga dilengkapi dengan modul GSM sebagai media peringatan darurat melalui mekanisme *misscall*. Pengujian dilakukan secara bertahap, dimulai dengan pengujian masing-masing sensor secara terpisah sebelum diintegrasikan ke dalam sistem, kemudian dilanjutkan dengan pengujian sistem secara keseluruhan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor proximity dan sensor tekanan MPX5010 masing-masing memiliki tingkat keberhasilan sebesar 100% pada tahap pengujian awal. Setelah seluruh komponen sistem dirangkai dan diuji menggunakan metode *Decision Tree*, diperoleh tingkat akurasi klasifikasi sebesar 88% dalam membedakan kondisi aman dan tidak aman. Berdasarkan hasil tersebut, sistem yang dikembangkan mampu memberikan pemantauan dan peringatan dini secara otomatis serta berpotensi meningkatkan keselamatan kerja bagi pekerja yang melakukan aktivitas di ketinggian.

Keywords : *Body Harness*, Keselamatan Kerja, Sensor Proximity, Sensor Tekanan MPX5010, Arduino Uno, *Decision Tree*, *Misscall*..

Design of Body Harness Safety System Based on Inductive Proximity Sensor and MPX 5010 for Workers at Altitude by Using Simple Learning Decision Tree

Abstract

Working at heights is an activity with a high risk of accidents, especially due to errors in the use of personal protective equipment such as body harnesses. This study aims to develop a body harness safety system based on inductive proximity sensors and MPX5010 pressure sensors that can automatically and in real-time monitor the correct installation of the harness. The proximity sensor functions to detect the connection of the hook to the anchor point, while the MPX5010 pressure sensor is used to monitor excessive pressure on the harness strap as an indication of dangerous conditions. The data obtained from both sensors is processed by an Arduino Uno microcontroller using the Decision Tree method to determine whether the harness is installed safely or unsafely. This system is also equipped with a GSM module as a means of emergency warning through a misscall mechanism. Testing was conducted in stages, beginning with testing each sensor separately before integrating them into the system, followed by testing the entire system. The test results showed that the proximity sensor and MPX5010 pressure sensor each had a success rate of 100% in the initial testing stage. After all system components were assembled and tested using the Decision Tree method, a classification accuracy rate of 88% was obtained in distinguishing between safe and unsafe conditions. Based on these results, the developed system is capable of providing automatic monitoring and early warning and has the potential to improve work safety for workers performing activities at heights.

Keywords: Body Harness, Work Safety, Proximity Sensor, MPX5010 Pressure Sensor, Arduino Uno, Decision Tree, Missed Call,.

Daftar Isi

Lembar Pengesahan	i
KATA PENGANTAR	ii
Abstrak	iii
<i>Abstract</i>	iv
Daftar Isi	v
Daftar Gambar	vii
Daftar Tabel	viii
Bab 1. Pendahuluan	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan	2
1.4. Manfaat	3
1.5. Batasan Masalah	4
Bab 2. Tinjauan Pustaka	5
2.1 Machine Learning	6
2.2 Decision Tree	7
2.3 Tiny Decision Tree Classifier	8
2.4 Scikit-Learn	10
2.5 Body Harness	11
2.6 Sensor Proximity	11
2.7 Sensor MPX5010	12
2.8 Komunikasi Misscall	12
Bab 3. Metodologi Penelitian	13
3.1. Perancangan Sistem	13
3.1.1 Perancangan Sistem Kerja	14
3.1.2 Perancangan program	16
3.1.3 Perancangan Mechanical	17

3.1.4 Perancangan Elektrikal	18
3.2. Alat dan Bahan	20
3.3. Pengujian.....	20
3.3.1. Pengujian Respon Sensor terhadap Mikrokontroler dan Integrasi Metode <i>Decision Tree</i>	21
3.3.2. Pengujian Sistem <i>Body Harness</i> Terhadap Pekerja.....	22
3.4 Jadwal Pelaksanaan	23
Bab 4. Hasil dan Pembahasan	24
4.1 Hasil Pengujian Sensor Sebelum di Rangkai	24
4.1.1 Kalibrasi dan Pengujian Sensor Proximity Induktif	24
4.1.2 Kalibrasi Sensor Tekanan MPX5010	26
4.1.3 Pengujian Sensor Proximity	26
4.1.4 Pengujian Sensor Mpx 5010	28
4.1.5 Pengujian Decision Tree Pada Mikrokontroler	30
4.2 Hasil Dataset pengujian bodyharness	33
4.2.1 Penentuan Ambang Batas Tekanan MPX5010 Berdasarkan Uji Pemakaian	36
4.2.2 Hasil Pengujian Berdasarkan Alur Algoritma <i>Decision Tree</i>	37
4.2.3 Hasil Pengujian Sistem secara Aktual	39
4.2.4 Evaluasi Efektivitas Sistem terhadap Keselamatan Kerja	45
4.3 Pembahasan	46
Bab 5. Penutup	47
5.1 Simpulan.....	47
5.2 Saran	47
Daftar Pustaka	48
Lampiran	50
Program <i>Visual Code Decision Tree</i>	50
Link Youtube Demo Alat.....	51

Daftar Gambar

Gambar 1. Struktur Decision Tree	9
Gambar 2. Body harness	11
Gambar 3. Sensor Proximity.....	11
Gambar 4. Sensor MPX5010.....	12
Gambar 5. Modul GSM Sim 800L	12
Gambar 6. Tahap Pelaksanaan Penelitian	13
Gambar 7. Perancangan Sistem Kerja	15
Gambar 8. Perancangan Program	16
Gambar 9. Perancangan Mekanikal	17
Gambar 10. Perancangan Elektrikal	18
Gambar 11. <i>Visualisasi</i> Dataset <i>Machine Learning</i>	33
Gambar 12. Pohon <i>Decision Tree</i>	35
Gambar 13. Posisi Hook Aman	39
Gambar 14. Posisi Hook Tidak Aman.....	39
Gambar 15. Posisi tali Gesper Body Harness Aman.....	40
Gambar 16. Posisi Tali Gesper Body Harness Tidak aman.....	40
Gambar 17. Notifikasi Emergency Miscall Pada Saat Tidak Aman.....	41
Gambar 18. Confusion Matrix	43
Gambar 19. <i>Classification Report</i>	44
Gambar 20. <i>Coding Visual Code Decision Tree</i>	50
Gambar 21. Coding Arduino Uno	51

Daftar Tabel

Tabel 1. Perancangan Elektrikal	19
Tabel 2. Anggaran Biaya Penelitian	20
Tabel 3. Pengujian Respon Sensor terhadap Mikrokontroler dan Integrasi <i>Decision tree</i>	21
Tabel 4. Jadwal Kegiatan	23
Tabel 5. Jarak Proximity Induktif	24
Tabel 6. Hasil Pengujian Sensor Proximity.....	27
Tabel 7. Hasil Pengujian Sensor Mpx 5010.....	28
Tabel 8. Hasil Pengujian Decision Tree Pada Mikrokontroler.....	30
Tabel 9. Dataset Hasil Pengujian Sistem Keamanan Body Harness	34
Tabel 10. Hasil Pengujian Penentu Ambang Batas Tekanan MPX 5010	36
Tabel 11. Hasil Pengujian berdasarkan alur Algoritma <i>Decision Tree</i>	37
Tabel 12. Hasil pengujian sistem berdasarkan Pemakaian.....	41

Bab 1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Dalam industri, keselamatan kerja sangat penting, terutama untuk pekerjaan di area ketinggian. Pekerjaan yang melibatkan pemasangan struktur baja, perawatan gedung bertingkat, dan pekerjaan di atas *scaffolding* adalah contoh pekerjaan yang memiliki risiko jatuh yang tinggi. Data kecelakaan kerja menunjukkan bahwa insiden yang terjadi karena jatuh dari ketinggian masih paling sering terjadi di bidang konstruksi. Alat pelindung diri (APD) seperti *body harness* telah menjadi perlengkapan yang harus dimiliki oleh semua orang, tetapi kecelakaan yang disebabkan oleh kesalahan yang dilakukan oleh orang-orang masih sering terjadi. Dengan mendistribusikan gaya ke area tubuh tertentu seperti paha, pinggul, dan dada, *body harness* berfungsi untuk menahan tubuh pekerja ketika terjatuh. Namun, dalam kenyataannya, penyebab utama kegagalan alat ini adalah kesalahan seperti tidak mengaitkan *hook* ke titik jangkar atau pengencangan tali yang tidak tepat. Sebuah penelitian yang dilakukan oleh [1] menemukan bahwa pemasangan *harness* yang tidak sesuai prosedur adalah penyebab utama kecelakaan jatuh. Hal ini menunjukkan bahwa sistem keselamatan kerja yang hanya bergantung pada kedisiplinan karyawan tidak efisien.

Menurut [1], sistem berbasis teknologi dapat mengidentifikasi kesalahan pemasangan *harness* sejak awal. Sementara itu, [2] menunjukkan bahwa audit internal, pelatihan ulang, dan pembinaan berkelanjutan sangat penting untuk meningkatkan kepatuhan pekerja terhadap prosedur penggunaan alat pelindung diri (APD). Mereka juga mengatakan bahwa keberhasilan pelaksanaan keselamatan kerja tidak hanya bergantung pada ketersediaan alat; keberhasilan sistem pengawasan juga bergantung pada disiplin pekerja dan kinerja sistem pengawasan. Untuk mencapai tujuan ini, sistem pemantauan otomatis berbasis mikrokontroler dikembangkan yang dapat mengidentifikasi posisi dan kekuatan sambungan *harness* secara langsung. Sensor proximity induktif dapat mendeteksi keberadaan sambungan pada titik jangkar tanpa melakukan kontak langsung dengan menggunakan prinsip induksi elektromagnetik. Sistem ini dianggap cocok untuk *scaffolding* dan lingkungan kerja lainnya yang terbuat dari logam [3]. Sensor MPX5010 juga berfungsi sebagai indikator kekuatan sambungan untuk mengukur tekanan pada tali pengaman. Konsep ini digunakan secara efektif oleh [4]. [5] menunjukkan bahwa MPX5010 akurat untuk mengukur perubahan tekanan secara real-time pada alat kesehatan. Sistem ini menggunakan algoritma *Simple Learning Decision Tree*, metode klasifikasi berbasis pohon keputusan yang mudah dan fleksibel, untuk membuat keputusan. Karena struktur logisnya yang mudah dipahami dan efisien, *decision tree* sangat cocok untuk diterapkan pada sistem tertanam (*embedded*), menurut [6]. Menurut [7], algoritma ini dapat menangani

data sensorik dengan baik dan menghasilkan simpul keputusan yang jelas dan akurat.

Modul GSM SIM800L berfungsi sebagai perangkat pengirim sinyal peringatan otomatis untuk mendukung sistem komunikasi darurat. Saat kondisi tidak aman terdeteksi, modul ini dapat melakukan panggilan ke nomor petugas keselamatan. Modul GSM SIM800L telah digunakan secara efektif dalam berbagai sistem otomatisasi berbasis Arduino, seperti pada proyek kendali jarak jauh dan sistem notifikasi berbasis sinyal GSM[8][9], yang menunjukkan kemampuannya dalam mendukung komunikasi sederhana dan langsung. Metode *misscall* menggunakan lebih sedikit daya dan tidak membutuhkan koneksi internet, sehingga cocok untuk digunakan di tempat kerja dengan jaringan data yang terbatas. Perangkat komunikasi SIM800L berfungsi dengan baik dalam beberapa proyek sistem peringatan GSM. Penelitian ini berfokus pada pengembangan sistem pemantauan otomatis berbasis body harness berbasis mikrokontroler yang menggabungkan sensor, algoritma klasifikasi, dan sistem komunikasi darurat untuk mendukung keselamatan kerja secara real-time dan responsif.

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana merancang sistem keamanan *body harness* berbasis sensor proximity induktif dan sensor tekanan MPX5010 yang mampu mendeteksi secara otomatis pemasangan *hook body harness* pada titik jangkar?
2. Bagaimana metode *Simple Learning Decision Tree* dapat digunakan untuk memvalidasi data dari sensor dan mengklasifikasikan kondisi pemasangan sebagai aman atau darurat?
3. Sejauh mana sistem yang dikembangkan dapat membantu mengurangi ketergantungan terhadap pemeriksaan manual dan meningkatkan keselamatan kerja pada pekerjaan di ketinggian?
4. Bagaimana membangun sistem notifikasi peringatan otomatis berupa *misscall* ke bagian keselamatan kerja ketika terdeteksi kondisi pemasangan hook yang tidak sesuai prosedur?

1.3. Tujuan

1. Merancang dan membangun prototipe sistem keamanan *body harness* berbasis sensor proximity induktif dan sensor tekanan MPX5010 untuk mendeteksi otomatis pemasangan *hook body harness* pada titik jangkar.
2. Menerapkan metode *Simple Learning Decision Tree* untuk mengklasifikasikan kondisi pemasangan *body harness* menjadi kategori aman atau tidak aman (darurat) berdasarkan data sensor secara real-time.

3. Mengevaluasi efektivitas sistem dalam meningkatkan keselamatan kerja dan mengurangi risiko kecelakaan akibat kesalahan dalam pemasangan alat pelindung diri di lingkungan kerja ketinggian.
4. Mendesain dan mengimplementasikan sistem notifikasi otomatis berupa panggilan telepon (*misscall*) ke bagian keselamatan kerja saat terdeteksi kondisi pengaitan yang tidak sesuai prosedur, dengan pembuktian konsep melalui uji coba sistem pada simulasi penggunaan *body harness*.

1.4. Manfaat

Manfaat Jangka Pendek:

1. Memberikan peringatan dini secara otomatis jika *body harness* tidak dikaitkan dengan benar pada titik jangkar.
2. Membantu pekerja di lapangan untuk lebih disiplin dan sadar akan pentingnya prosedur keselamatan kerja.
3. Mengurangi potensi kecelakaan akibat kelalaian penggunaan alat pelindung diri (APD).
4. Memudahkan petugas keselamatan kerja (*safety officer*) dalam melakukan pemantauan tanpa harus selalu mengawasi secara langsung.

Manfaat Jangka Panjang:

1. Mendorong terciptanya budaya kerja yang lebih aman di lingkungan industri, khususnya yang melibatkan pekerjaan di ketinggian.
2. Dapat diintegrasikan ke dalam sistem keselamatan kerja berbasis IoT untuk pemantauan yang lebih luas dan efisien.
3. Menjadi dasar pengembangan sistem keselamatan kerja otomatis di berbagai sektor berisiko tinggi seperti pertambangan, kelistrikan, dan konstruksi.
4. Mendukung pengembangan teknologi lokal dalam bidang keselamatan kerja berbasis sensor dan mikrokontroler.

1.5. Batasan Masalah

1. Sistem yang dirancang merupakan sistem monitoring otomatis pemasangan body harness.
2. Sensor yang digunakan:
 - Sensor tekanan MPX5010 untuk mengukur kekuatan sambungan.
 - Sensor proximity untuk mendeteksi keberadaan pengait pada titik jangkar.
3. Sistem dikendalikan oleh mikrokontroler Arduino Uno.
4. Metode klasifikasi yang digunakan adalah Simple Learning Decision Tree.
5. Klasifikasi hanya terbatas pada kondisi aman dan tidak aman.
6. Komunikasi antara alat dan pengawas keselamatan menggunakan metode misscall.
7. Sistem tidak menggunakan koneksi internet atau cloud.
8. Penelitian tidak menguji berbagai tipe body harness.
9. Sistem tidak diintegrasikan dengan perangkat lunak manajemen keselamatan kerja secara penuh.
10. Pengujian dilakukan dalam lingkungan simulasi yang terkendali.

Bab 2. Tinjauan Pustaka

Pekerjaan di ketinggian adalah salah satu pekerjaan yang paling berisiko dalam dunia industri, terutama karena orang tidak menggunakan alat pelindung diri seperti *body harness*. Menurut penelitian yang dilakukan oleh [1], salah satu faktor utama yang menyebabkan kecelakaan kerja adalah pemasangan harness yang tidak tepat atau tidak terhubung ke titik jangkar. Hal ini menunjukkan bahwa sistem keselamatan kerja yang hanya bergantung pada kepatuhan pekerja memiliki kelemahan. Karena itu, diperlukan teknologi pemantauan otomatis yang dapat secara real-time mengidentifikasi tingkat APD yang digunakan.

Untuk mengatasi masalah ini, sejumlah penelitian telah mengembangkan sistem pemantauan berbasis sensor. Sementara sensor tekanan MPX5010 mengidentifikasi tarikan berlebihan pada tali, yang dapat menunjukkan posisi pemasangan yang tidak stabil atau gerakan pengguna yang mendadak, [4] menjelaskan bahwa sensor proximity dapat digunakan untuk mengetahui apakah hook telah terpasang di titik jangkar. [3] menyatakan bahwa sensor proximity induktif sangat baik untuk mendeteksi objek logam tanpa kontak langsung. Ini membuatnya ideal untuk sistem yang terdiri dari scaffolding dan struktur logam lainnya. Konsep sensor tekanan MPX5010 untuk pemantauan sistem juga telah digunakan di bidang lain, seperti alat kesehatan di mana sensor ini mengukur tekanan udara sebagai indikator kondisi, seperti yang ditunjukkan oleh [5]. Hal ini menjadi referensi yang relevan untuk digunakan dalam sistem yang mengawasi harness tubuh. Hal ini menjadi referensi yang relevan untuk digunakan dalam sistem yang mengawasi *harness* tubuh. Arduino Uno adalah mikrokontroler utama karena dapat diintegrasikan dengan berbagai sensor dan dapat dikembangkan untuk sistem tertanam (embedded).

Menurut [6], algoritma *Decision Tree Simple* digunakan untuk memproses data sensor dan menentukan kondisi "aman" atau "tidak aman". *Decision Tree* adalah metode klasifikasi yang efektif dan mudah diterapkan pada sistem berbasis mikrokontroler karena memiliki struktur logis yang sederhana. Menurut [7], metode ini bekerja dengan menghitung entropy dan gain informasi untuk setiap fitur. Kemudian, data dibagi berdasarkan simpul keputusan yang mudah dipahami. Metode ini terbukti efektif dan responsif dalam sistem klasifikasi yang menggunakan sensor.

Modul GSM SIM800L digunakan untuk berkomunikasi sebagai bagian dari sistem keselamatan kerja darurat. Saat sistem mendeteksi kondisi tidak aman, modul ini dapat secara otomatis mengirimkan sinyal *missed call* ke nomor petugas keselamatan. Metode *misscall* lebih disukai daripada pengiriman SMS karena lebih hemat uang dan dapat memberikan peringatan cepat yang mudah dikenali. Modul GSM SIM800L telah digunakan dengan baik dalam beberapa sistem otomatisasi berbasis Arduino, seperti sistem notifikasi berbasis sinyal GSM dan proyek kendali

jarak jauh[8][9], yang menunjukkan kemampuan untuk mendukung komunikasi langsung yang mudah.

Diharapkan sistem ini dapat meningkatkan keandalan pemantauan penggunaan *body harness* sekaligus memberikan respons dengan menggabungkan sensor proximity dan tekanan, algoritma *decision tree*, dan modul GSM SIM800L sebagai sistem *misscall emergency*.

2.1 Machine Learning

Machine learning adalah bagian dari kecerdasan buatan (AI) yang memungkinkan sistem untuk belajar secara otomatis dari data. Proses pembelajaran dilakukan melalui analisis contoh data yang tersedia, kemudi, dan model yang mampu mengenali pola tertentu dari data, memungkinkan sistem untuk membuat keputusan atau prediksi tanpa harus diprogram secara eksplisit.

Machine Learning terdiri dari tiga komponen utama, yaitu model, fungsi pembelajaran, dan fungsi evaluasi. Model berfungsi menunjukkan informasi yang dipelajari dari data fungsi pembelajaran menyesuaikan parameter model agar mampu menangkap pola dengan benar, dan fungsi evaluasi mengukur kinerja model dalam melakukan prediksi, sehingga model dapat diperbaiki dan dioptimalkan sebelum diimplementasikan.

Teori pembelajaran mesin telah berkembang menjadi beberapa kategori. Salah satu kategori tersebut adalah pembelajaran yang diawasi, yang merupakan metode pembelajaran dengan data berlabel. Metode ini dilatih dengan menggunakan pasangan input-output sehingga model memiliki kemampuan untuk memberi label pada data baru. Salah satu tugas utama pembelajaran yang diawasi adalah klasifikasi, yaitu proses menempatkan data ke dalam kelas tertentu berdasarkan nilai fitur. Metode ini sangat cocok untuk sistem pengawasan keselamatan kerja karena dapat membuat keputusan dengan data sensor secara cepat.

Penelitian ini menggunakan machine learning untuk membantu sistem mengklasifikasikan kondisi pemasangan harness tubuh ke dalam dua kategori: "aman" dan "darurat". Sensor proximity dan tekanan MPX5010 menggunakan data untuk mengidentifikasi pola kondisi lapangan. Metode ini relevan karena machine learning memiliki kemampuan untuk mengurangi ketergantungan pada penilaian manusia dan memberikan respons otomatis terhadap bahaya yang mungkin terjadi. Oleh karena itu, pembelajaran mesin membantu mengembangkan sistem keselamatan kerja yang lebih andal dan fleksibel yang juga mampu bekerja secara real-time pada perangkat yang memiliki kapasitas komputasi terbatas seperti mikrokontroler.

2.2 Decision Tree

Decision Tree adalah metode klasifikasi yang digunakan untuk membantu proses pengambilan keputusan berbasis data. Teknik ini membentuk struktur menyerupai pohon yang terdiri dari simpul keputusan, cabang, dan simpul akhir yang menggambarkan hasil klasifikasi. Setiap keputusan diambil berdasarkan nilai input yang dibandingkan dengan ambang tertentu, sehingga menghasilkan output yang mudah dipahami dan diimplementasikan, terutama dalam sistem berbasis mikrokontroler.

Penelitian ini menggunakan *Decision Tree* untuk menentukan apakah kondisi pemasangan *body harness* aman. Dibandingkan dengan menilai kekuatan sambungan, penilaian berfokus pada dua faktor utama: keberadaan kaitan yang dideteksi oleh sensor proximity dan nilai tekanan yang dicatat oleh sensor MPX5010. Pada sistem ini, MPX5010 digunakan untuk mendeteksi tekanan berlebih pada tali harness. Selanjutnya, data dari kedua sensor ini diproses dan diklasifikasikan menggunakan simpul logika yang telah ditentukan sebelumnya.

Keunggulan dari metode ini terletak pada strukturnya yang sederhana, proses klasifikasi yang cepat, serta kemampuannya beroperasi dalam sistem dengan keterbatasan komputasi seperti mikrokontroler. Namun, penggunaan metode ini dibatasi hanya pada dua jenis sensor dan menghasilkan keputusan biner tanpa mempertimbangkan level risiko yang lebih kompleks.

Dalam penelitian ini, metode *Decision Tree* juga digunakan untuk mengkategorikan kondisi pemasangan *body harness* ke dalam dua kategori: "aman" dan "darurat". Tujuan utama dari penggunaan metode ini adalah untuk memungkinkan sistem melakukan pengambilan keputusan secara otomatis berdasarkan input dari dua jenis sensor: sensor proximity induktif yang mendeteksi keberadaan hook pada titik jangkar dan MPX5010 mendeteksi tekanan berlebih pada tali harness.

. Struktur pohon keputusan membantu sistem menelusuri jalur logika secara terstruktur melalui simpul yang menunjukkan kondisi fisik tertentu.

Metode ini dipilih karena lebih efisien, sederhana, dan mudah digunakan untuk sistem tertanam, seperti mikrokontroler Arduino Uno, yang memiliki keterbatasan daya komputasi. Algoritma *Decision Tree* memungkinkan sistem untuk menanggapi kondisi tidak aman secara cepat tanpa memerlukan koneksi internet atau pemrosesan berbasis server eksternal. Selain itu, hasil klasifikasi metode ini dapat dijelaskan dan ditelusuri secara logis, mendukung elemen interpretasi sistem dan keandalan dalam pemantauan keselamatan kerja.

Metode ini dipilih karena efisien untuk sistem real-time dan memberikan hasil yang cukup akurat dalam proses validasi otomatis pemasangan *body harness*.

Decision Tree memiliki beberapa rumus dasar yaitu :

- **Entropy**

Entropy digunakan untuk mengukur tingkat ketidakpastian atau impurity dari suatu himpunan data.

$$Entropy(s) = - \sum_{i=1}^n p_i \text{Log}_2 p_i \quad (1)$$

- **Information Gain**

Digunakan untuk menentukan atribut terbaik untuk pemisahan data pada tiap node.

$$(S, A) = Entropy(S) \sum_{v \in \text{Values}(A)} \frac{|S_v|}{|S|} Entropy(S_v) \quad (2)$$

2.3 Tiny Decision Tree Classifier

Tiny Decision Tree Classifier merupakan pustaka ringan berbasis bahasa pemrograman C/C++ yang dikembangkan untuk menjalankan algoritma pohon keputusan secara langsung pada perangkat mikrokontroler seperti Arduino, ESP32, dan NRF52840. Pustaka ini bersifat mandiri (*standalone*) dan hanya memerlukan pustaka standar seperti `<stdint.h>`, `<math.h>`, dan `<stdlib.h>`, sehingga sangat ideal digunakan pada sistem dengan keterbatasan memori dan daya komputasi.

Algoritma dasar yang digunakan dalam pustaka ini adalah **C4.5**, yang mampu memproses atribut numerik atau kontinu. Keunggulan pustaka ini terletak pada efisiensinya, dengan kompleksitas rata-rata sebesar $O(N \log N)$, serta antarmuka pemrograman (API) yang dibuat menyerupai pustaka **scikit-**

learn di *Python*, seperti penggunaan fungsi `fit()`, `predict()`, dan `score()`, sehingga memudahkan integrasi model dari lingkungan pengembangan lain.

Dengan menggunakan pustaka ini, Arduino dapat:

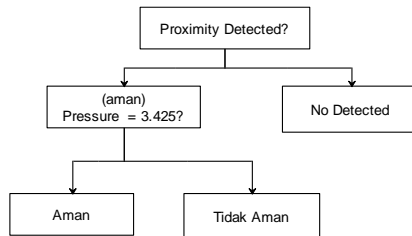
- Menjalankan proses klasifikasi secara langsung dan real-time di perangkat.
- Menghilangkan ketergantungan terhadap pemrosesan eksternal seperti cloud atau server pusat.
- Meningkatkan responsivitas dan kemandirian sistem pemantauan berbasis sensor.

$$GainRatio(S, A) = \frac{Gain(S, A)}{SplitInfo(S, A)}$$

Gain ratio menggunakan algoritma C4.5 sebagai pembagian nilai (split information) untuk menghindari nilai bias atau nilai yang banyak ditampilkan :

Dengan :

$$SplitInfo(S, A) = - \sum_{v=1}^n \frac{S_v}{S} \log_2 \left(\frac{|S_v|}{|S|} \right)$$



Gambar 1. Struktur Decision Tree

2.4 Scikit-Learn

Decision Tree adalah salah satu algoritma pembelajaran supervised yang digunakan untuk tugas klasifikasi dan regresi. Dalam Scikit-Learn, *Decision Tree* digunakan melalui kelas *DecisionTreeClassifier* dan *DecisionTreeRegressor*. Kelas-kelas ini dirancang untuk memetakan data ke dalam kategori tertentu berdasarkan aturan pemisahan, yang dibuat dari data pelatihan. Algoritma ini bekerja dengan membangun struktur pohon yang berfungsi sebagai output prediksi. Struktur ini terdiri dari node akar (root node), node keputusan (internal node), dan node daun (leaf node).

Dengan menggunakan ukuran impuritas seperti Gini Impurity atau Entropy, SciKit-Learn memilih atribut terbaik dengan membandingkan nilai gain informasi untuk setiap atribut. Pada pohon, node dengan nilai pemisahan tertinggi akan digunakan sebagai titik keputusan. Sampai seluruh data dapat diklasifikasikan atau batas kedalaman tertentu tercapai, proses ini berlanjut secara rekursif. Dengan cara ini, *Decision Tree* menghasilkan aturan berbentuk if-else yang mudah dipahami dan diikuti. Salah satu keunggulan *Decision Tree* dalam *Scikit-Learn* adalah kemampuan untuk membuat model yang dapat diartikan dengan cepat, kemampuan untuk menangani data campuran numerik dan kategorikal, dan kemampuan untuk menangani data campuran. Selain itu, *Decision Tree* mampu menangani hubungan non-linear antarvariabel dan tidak memerlukan normalisasi data. Karena nilai sensor tidak selalu memiliki pola linier, hal ini menjadi keuntungan besar bagi sistem berbasis sensor.

Dalam penelitian ini, *SciKit-Learn* digunakan untuk melatih model *Decision Tree* dengan data sensor proximity dan tekanan MPX5010. Sensor proximity menunjukkan status pemasangan *hook* pada titik jangkar, dan sensor tekanan menunjukkan nilai tekanan sebagai tanda adanya tekanan berlebih. Selama proses pelatihan, SciKit-Learn membuat pohon keputusan yang membedakan kondisi "aman" dan "darurat" berdasarkan ambang nilai masing-masing. Setelah itu, model *Decision Tree* yang dihasilkan diterjemahkan ke dalam logika dasar aturan, yang dapat digunakan pada mikrokontroler seperti Arduino Uno.

2.5 Body Harness

Body harness merupakan alat pelindung diri yang dirancang untuk melindungi pekerja dari risiko jatuh saat bekerja di ketinggian. Alat ini bekerja dengan menahan tubuh secara merata pada bagian bahu, dada, dan paha. Keamanan sistem ini bergantung pada pemasangan kait (*hook*) yang benar ke titik *anchor*, sehingga penting untuk memastikan koneksi terpasang dengan aman.



Gambar 2. Body harness

2.6 Sensor Proximity

Sensor proximity digunakan untuk mendeteksi objek tanpa kontak langsung, biasanya dalam jarak dekat. Dalam penelitian ini, sensor ini berfungsi untuk mengetahui apakah *hook* pada *body harness* telah dikaitkan pada titik jangkar. Sensor ini memberikan sinyal digital ke mikrokontroler saat keberadaan kait terdeteksi.



Gambar 3. Sensor Proximity

2.7 Sensor MPX5010

MPX5010 adalah sensor tekanan diferensial yang mampu membaca tekanan hingga 10 kPa. Sensor ini digunakan untuk memantau gaya tekan antara pengait , sebagai indikator tambahan bahwa koneksi telah dilakukan dengan kekuatan yang cukup. Sensor ini menawarkan akurasi tinggi dan respon cepat untuk aplikasi keselamatan.



Gambar 4. Sensor MPX5010

2.8 Komunikasi Misscall

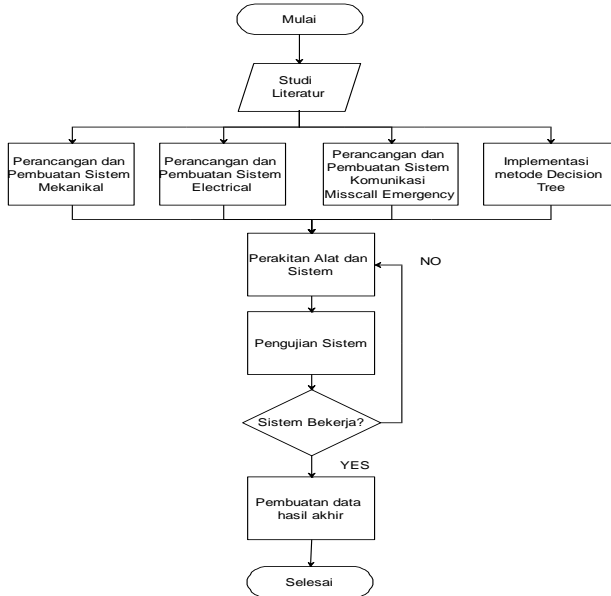
Metode *misscall* adalah teknik komunikasi sederhana yang mengirimkan panggilan tak terjawab sebagai sinyal notifikasi. Dalam konteks sistem ini, misscall dikirimkan ke pihak keselamatan jika terdeteksi kondisi tidak aman, seperti pengait tidak terpasang atau tekanan tidak mencukupi. Cara ini efektif, hemat daya, dan tidak memerlukan jaringan internet.



Gambar 5. Modul GSM Sim 800L

Bab 3. Metodologi Penelitian

3.1. Perancangan Sistem



Gambar 6. Tahap Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini diawali dengan melakukan studi literatur yang bertujuan untuk mengumpulkan berbagai informasi dan teori yang relevan dengan sistem pemantauan *body harness* otomatis. Kajian literatur membahas penggunaan sensor tekanan MPX5010, yang digunakan untuk mendeteksi tekanan berlebih pada tali harness ketika terjadi tarikan kuat atau kondisi tidak normal. Sensor ini tidak digunakan untuk mengukur kekuatan sambungan secara langsung, tetapi berfungsi sebagai tanda adanya kondisi berbahaya seperti tarikan mendadak, atau potensi jatuh.

Tahapan berikutnya adalah merancang dan membangun sistem secara keseluruhan. Proses ini meliputi beberapa komponen utama, yaitu: perancangan sistem mekanik yang berfokus pada desain fisik dan penempatan sensor pada *body harness*; perancangan sistem kelistrikan yang mencakup koneksi antar

sensor, Arduino Uno sebagai mikrokontroler, serta modul komunikasi; pengembangan sistem komunikasi darurat yang mengandalkan sinyal *misscall*; dan implementasi metode *Decision Tree* yang berfungsi untuk mengevaluasi kondisi pemasangan harness berdasarkan data yang diperoleh.

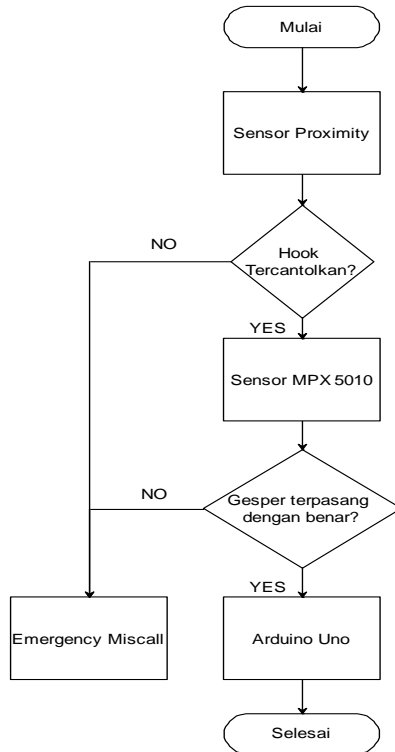
Setelah seluruh bagian sistem dirancang, dilakukan proses perakitan alat dan sistem secara menyeluruh. Selanjutnya, sistem diuji untuk mengevaluasi kemampuannya dalam mendeteksi kondisi pemasangan harness, memberikan peringatan jika terdeteksi kesalahan, serta mengirimkan notifikasi darurat. Jika sistem belum berfungsi sebagaimana mestinya, maka dilakukan revisi dan penyesuaian hingga sistem beroperasi dengan baik. Ketika sistem telah berhasil memenuhi fungsinya, langkah terakhir adalah mendokumentasikan data hasil uji coba dan menyusun laporan penelitian secara lengkap.

3.1.1 Perancangan Sistem Kerja

Sistem ini dirancang untuk secara otomatis memverifikasi kebenaran pemasangan body harness guna meminimalkan potensi kecelakaan akibat kesalahan manusia. Penggunaan sensor proximity memungkinkan sistem mendeteksi apakah kaitan harness telah terpasang pada titik jangkar. Selain itu, sensor tekanan MPX5010 digunakan untuk mendeteksi adanya tekanan berlebih pada tali harness ketika terjadi tarikan kuat atau kondisi tidak normal, bukan untuk mengukur kekuatan sambungan secara langsung.

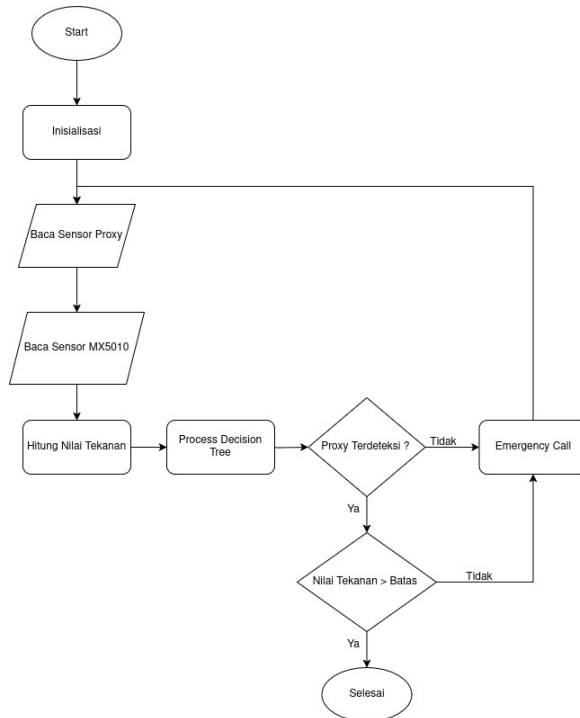
Proses dimulai ketika sensor proximity memantau keberadaan kaitan *body harness* terhadap titik pengait. Jika tidak terdeteksi adanya sambungan, sistem akan segera memberikan peringatan. Selanjutnya, sensor tekanan memberikan data nilai tekanan yang muncul ketika tali mengalami tarikan. Informasi dari kedua sensor ini diproses oleh mikrokontroler Arduino Uno yang telah ditanamkan algoritma *Decision Tree*, guna menentukan apakah kondisi pemasangan harness tergolong aman atau berbahaya.

Apabila sistem mengidentifikasi adanya kondisi tidak aman, modul komunikasi akan segera mengirimkan sinyal darurat dalam bentuk *misscall* ke nomor pihak yang berwenang sebagai sistem peringatan dini. Seluruh mekanisme ini dirancang berjalan secara otomatis dan real-time, sehingga respon cepat dapat dilakukan. Data yang terkumpul juga dapat digunakan sebagai bukti atau bahan evaluasi untuk peningkatan keselamatan kerja di masa mendatang.



Gambar 7. Perancangan Sistem Kerja

3.1.2 Perancangan program



Gambar 8. Perancangan Program

Gambar tersebut menunjukkan bagan alir (*flowchart*) program yang digunakan pada sistem. Proses diawali dengan aktivasi sistem (*start*), kemudian dilanjutkan dengan tahap inisialisasi variabel serta pustaka (*library*) yang diperlukan. Setelah itu, sistem membaca data dari sensor proximity untuk mendeteksi apakah pengait *body harness* telah terpasang pada titik jangkar, di mana sensor ini memberikan keluaran berupa data biner yang merepresentasikan kondisi terhubung atau tidak terhubung. Selain itu, sensor tekanan MPX5010 digunakan untuk mendeteksi adanya tekanan berlebih pada tali *harness* akibat tarikan kuat atau kondisi tidak normal. Data tekanan yang diperoleh selanjutnya diproses dan dikonversi menjadi nilai yang dapat dianalisis oleh sistem.

Data dari kedua sensor tersebut kemudian diolah menggunakan metode *Simple Learning Decision Tree* sebagai mekanisme pengambilan keputusan. Dalam metode ini, keluaran sensor proximity dijadikan sebagai parameter keputusan

utama karena keberadaan pengait merupakan aspek fundamental dalam keselamatan kerja. Apabila sensor proximity tidak mendeteksi pengait, sistem secara langsung mengklasifikasikan kondisi sebagai tidak aman tanpa melakukan evaluasi lanjutan. Namun, jika pengait terdeteksi, proses klasifikasi dilanjutkan dengan membandingkan nilai tekanan yang terbaca dengan batas aman yang telah ditentukan sebelumnya.

Berdasarkan hasil proses tersebut, sistem akan mengirimkan panggilan darurat (*emergency call*) apabila pengait tidak terdeteksi atau nilai tekanan melebihi ambang batas aman. Sebaliknya, jika pengait terdeteksi dengan baik dan nilai tekanan berada dalam rentang aman, sistem menetapkan kondisi sebagai aman dan proses dinyatakan selesai.

3.1.3 Perancangan Mechanical

Sistem mekanis ini dirancang untuk memastikan bahwa setiap komponen digunakan dengan nyaman dan ergonomis, serta tidak mengganggu mobilitas pengguna. Sensor jarak ditempatkan di sekitar area pengait (*hook*) pada sabuk tubuh untuk menentukan apakah pengait telah terpasang pada titik jangkar. Di sisi lain, sensor MPX5010 ditempatkan secara strategis di bagian tali dada untuk mendeteksi adanya tekanan berlebih pada tali sabuk saat terjadi tarikan tinggi atau kondisi abnormal, bukan untuk menentukan apakah tali telah terpasang dengan benar.

Arduino Uno dan modul komunikasi GSM digunakan untuk memastikan keandalan dan ketahanan. Komponen sistem ini dirancang untuk memfasilitasi komunikasi dan mencegah gangguan pada aktivitas kerja pengguna. Untuk meminimalkan risiko tersangkut atau rusak selama penggunaan, pemasangan kabel dilakukan dengan rapi dan aman. Desain ini tidak hanya meningkatkan fungsi sistem, tetapi juga meningkatkan keselamatan dan produktivitas pengguna.

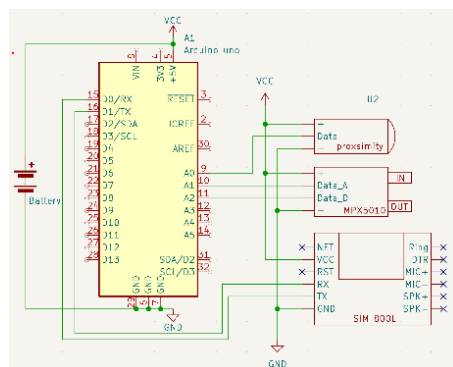


Gambar 9. Perancangan Mekanikal

3.1.4 Perancangan Elektrikal

Perancangan elektrikal sistem ini mencakup integrasi antara sensor, mikrokontroler, dan modul komunikasi untuk memastikan proses pemantauan pemasangan *body harness* berjalan secara akurat dan real-time. Arduino Uno digunakan sebagai pusat pengendali yang menerima dan mengolah data dari sensor proximity dan sensor tekanan MPX5010. Sensor proximity berfungsi untuk mendeteksi ada atau tidaknya kaitan *body harness* pada titik jangkar. Sementara itu, sensor tekanan MPX5010 digunakan untuk mendeteksi adanya tekanan berlebih pada bagian gesper tali dada yang muncul ketika tali mengalami tarikan kuat atau kondisi tidak normal. Sensor ini tidak digunakan untuk menentukan apakah harness telah terpasang dengan benar, tetapi sebagai indikator jika terjadi potensi kondisi berbahaya akibat tekanan yang melebihi ambang batas.

Data dari kedua sensor tersebut kemudian diproses dengan metode *Decision Tree* untuk menentukan apakah kondisi yang terdeteksi tergolong aman atau tidak. Jika sistem mendeteksi kondisi tidak aman—baik karena hook tidak terpasang maupun tekanan melebihi ambang—Arduino Uno akan mengaktifkan modul GSM untuk mengirim sinyal *missed call* ke pihak pengawas sebagai notifikasi darurat. Sistem dirancang ringkas, menggunakan sumber daya baterai



Gambar 10. Perancangan Elektrikal

Tabel 1. Perancangan Elektrikal

No	Nama Komponen	From (Sumber)	To (Tujuan)	Keterangan
1	Proximity Inductive Sensor	Pin A1 Arduino Uno	Pin Data Proximity Sensor	Digunakan untuk mendeteksi keberadaan objek logam
2	Modul SIM800L	Pin D2 dan D3 Arduino Uno	Pin RX dan TX Modul SIM800L	Digunakan untuk komunikasi GSM
3	Step Down Converter 12V-5V	Baterai Li-Ion	Pin VIN Arduino Uno	Menurunkan tegangan dari 12V ke 5V
4	Pressure Sensor	Pin A0 Arduino Uno	Pin Data Pressure Sensor	Digunakan untuk membaca tekanan
5	Arduino Uno	Arduino Uno	Mengontrol seluruh sensor dan modul	Sebagai pusat kendali sistem

Arduino Uno berfungsi sebagai pusat kendali utama yang mengolah data dari sensor proximity inductive dan pressure sensor, serta mengatur komunikasi data melalui modul SIM800L. Sumber daya sistem disuplai oleh baterai Li-Ion yang diturunkan tegangannya menggunakan step down converter agar sesuai dengan kebutuhan Arduino Uno.

3.2. Alat dan Bahan

Anggaran Biaya ini adalah harga yang akan dikeluarkan untuk membeli barang atau produk yang akan dibuat untuk menjadi alat proteksi *body harness*.

Tabel 2. Anggaran Biaya Penelitian

NO	Jenis Pengeluaran	Sumber Dana	Besaran Dana (Rp)
1	Komponen Elektronik		
	-Arduino Uno	Pribadi	Rp125,00
	-Sensor Proximity Induktif	Pribadi	Rp31,00
	-Mpx 5010	Pribadi	Rp560,00
	- Modul Misscall emergency	Pribadi	Rp85,00
	- Baterai Li-ion (4 Pcs)	Pribadi	Rp108,00
2	Material Rangka dan Konstruksi		
	- Body Harness	Pribadi	Rp240,00
	- kantong udara	Pribadi	Rp18,00
	- Selang Udara	Pribadi	Rp40,00
	Biaya lainnya	Pribadi	Rp500,00
Jumlah			Rp1.707.000

3.3. Pengujian

Pengujian dalam penelitian ini bertujuan untuk menilai efektivitas sistem pemantauan keselamatan pada *body harness* yang memanfaatkan sensor proximity, sensor tekanan MPX5010, dan algoritma *Simple Decision Tree* yang diintegrasikan ke dalam mikrokontroler Arduino Uno. Algoritma klasifikasi tersebut dirancang berdasarkan data hasil pengukuran sensor dari berbagai kondisi pemasangan harness, baik yang aman maupun tidak aman. Keputusan sistem terkait status keamanan sambungan ditentukan oleh hasil klasifikasi tersebut. Selain itu, sistem juga diuji dalam hal kemampuan mengirinkan

peringatan darurat melalui fitur *misscall* saat kondisi tidak aman terdeteksi. Seluruh pengujian dilakukan dengan skenario penggunaan nyata untuk mengevaluasi keakuratan sistem dalam mendeteksi kondisi serta kecepatan respons dalam penyampaian informasi kepada petugas keselamatan.

3.3.1. Pengujian Respon Sensor terhadap Mikrokontroler dan Integrasi Metode *Decision Tree*

Pengujian ini dilakukan untuk memastikan kemampuan sensor proximity dan sensor tekanan MPX5010 dalam mengirimkan data secara akurat dan tepat waktu ke mikrokontroler Arduino Uno. Data sensor yang diterima kemudian dimanfaatkan sebagai input dalam sistem klasifikasi berbasis algoritma *Decision Tree* yang tertanam dalam perangkat.

Prosedur pengujian melibatkan simulasi berbagai kondisi kaitan hook ke titik jangkar, serta variasi tekanan pada sensor MPX5010. Sensor proximity bertugas mendeteksi keberadaan kaitan, sementara sensor tekanan mengukur intensitas gaya tekan untuk mengidentifikasi apakah sambungan tersebut tergolong aman.

Data yang terkumpul dari kedua sensor dikirimkan ke mikrokontroler untuk diproses menggunakan metode *Decision Tree*. Algoritma ini menentukan status keselamatan berdasarkan pola data yang diperoleh, apakah memenuhi kriteria aman atau tidak. Keputusan dari sistem ini kemudian dibandingkan dengan kondisi aktual untuk menilai akurasi serta responsivitas sistem.

Melalui pengujian ini, diperoleh gambaran menyeluruh mengenai keandalan sistem dalam membaca sinyal sensor dan kemampuan metode *Decision Tree* dalam menghasilkan klasifikasi yang efektif dan efisien terhadap kondisi kerja pengguna.

Tabel 3. Pengujian Respon Sensor terhadap Mikrokontroler dan Integrasi *Decision tree*

No	Aspek yang Diuji	Metode Pengujian	Kriteria Keberhasilan	Alat/Software
1	Akurasi pembacaan sensor proximity	Uji kaitan hook ke titik jangkar (pasang/lepas) dan bandingkan dengan output Decision Tree	Deteksi keberadaan hook sesuai kondisi aktual ($\geq 95\%$ akurasi)	Arduino Uno, Sensor Proximity
2	Akurasi pembacaan tekanan MPX5010	Beri tekanan bertahap ke tali dada, bandingkan hasil dengan aktual	Nilai tekanan terbaca sesuai $\pm 10\%$ dari tekanan sebenarnya	MPX5010, Multimeter, Arduino IDE

3	Keputusan algoritma Decision Tree	Uji kombinasi kondisi (hook + tekanan), bandingkan output dengan logika Decision Tree	Output sistem sesuai kondisi aktual (aman/tidak aman)	Arduino Uno, kode Decision Tree
4	Robustness Decision Tree terhadap noise	Simulasikan input batas (misalnya tekanan fluktuatif dekat ambang batas)	Keputusan tetap stabil, tidak fluktuatif	Generator sinyal, Arduino
5	Waktu respon sistem (response time)	Ukur waktu dari perubahan sensor → keluaran sistem	Respon sistem < 1 detik	Stopwatch, Arduino Serial Monitor

3.3.2. Pengujian Sistem *Body Harness* Terhadap Pekerja

Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sistem monitoring keselamatan yang dipasang pada *body harness* ketika digunakan secara langsung oleh pekerja. Fokus utama pengujian ini adalah menilai integrasi sensor proximity dan sensor tekanan MPX5010 dalam kondisi nyata saat pekerja menggunakan harness pada simulasi pekerjaan di ketinggian.

Prosedur pengujian dilakukan dengan meminta subjek (pekerja) mengenakan *body harness* yang telah terintegrasi dengan sistem monitoring. Selama pengujian, dilakukan beberapa skenario:

1. *Hook* terpasang dengan benar pada titik jangkar.
2. *Hook* tidak terpasang (terlepas).
3. *Hook* terpasang tanpa tekanan berlebih pada tali harness

Dalam setiap skenario, sensor proximity akan mendeteksi apakah hook telah berada pada posisi kait, sementara sensor tekanan MPX5010 digunakan untuk mendeteksi tekanan berlebih sebagai indikator adanya gaya tarik yang tidak normal pada tali *body harness*. Data dari kedua sensor diolah oleh mikrokontroler Arduino Uno dan dievaluasi oleh metode *Decision Tree* untuk menghasilkan status sistem (aman atau tidak aman).

Selain aspek teknis, pengujian ini juga memperhatikan faktor kenyamanan dan mobilitas pekerja. Sistem harus tidak mengganggu gerakan pekerja dan tetap memberikan sinyal yang akurat tanpa menyebabkan kesalahan baca akibat posisi tubuh atau gerakan dinamis

3.4 Jadwal Pelaksanaan

Tabel 4. Jadwal Kegiatan

Kegiatan	Juni 2025	Jul-25	Agst 2025	Sep-25	Oct-25	Nov-25	Dec-25	Jan-26
Studi Literatur	■							
Perancangan Sistem	■	■						
Perakitan dan Implementasi Prototipe		■	■					
Pelatihan dan Integrasi Decision Tree			■	■				
Pengujian dan Evaluasi Body Harness				■	■			
Revisi Sistem					■			
Penyusunan Laporan dan Dokumentasi					■	■	■	■

Bab 4. Hasil dan Pembahasan


4.1 Hasil Pengujian Sensor Sebelum di Rangkai





Pada pengujian sensor ini dilakukan secara terpisah sebelum seluruh bagian dirangkai dan dimasukkan ke dalam *Body Harness*. Tujuan pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa sensor proximity dan tekanan MPX5010 beroperasi dengan baik dan mampu menghasilkan keluaran yang sesuai dengan kondisi yang diuji. Pengujian sensor secara mandiri memungkinkan analisis dasar kinerja setiap sensor tanpa terpengaruh oleh komponen mekanik, integrasi sistem, atau kondisi penggunaan langsung oleh pekerja. Hasil pengujian ini membentuk dasar kelayakan setiap sensor untuk digunakan.

4.1.1 Kalibrasi dan Pengujian Sensor Proximity Induktif

Kalibrasi dan pengujian sensor proximity induktif dilakukan untuk memastikan bahwa sensor dapat beroperasi secara andal dan konsisten dalam mendeteksi keberadaan objek logam sebelum diterapkan pada sistem keamanan *body harness*. Mengingat sensor proximity induktif menghasilkan keluaran berupa sinyal digital dengan kondisi aktif dan tidak aktif, proses kalibrasi tidak dilakukan melalui penyesuaian nilai numerik, melainkan melalui pengujian fungsional guna memverifikasi karakteristik kerja sensor sesuai dengan spesifikasi teknis yang ditetapkan oleh pabrikan. Tahapan pengujian diawali dengan menghubungkan sensor proximity induktif ke papan Arduino berdasarkan konfigurasi pin yang digunakan, yaitu pin VCC terhubung ke sumber tegangan 5 volt, pin GND ke ground, serta pin keluaran sensor ke salah satu pin digital Arduino. Selanjutnya, sistem Arduino diprogram untuk membaca kondisi keluaran sensor dan menampilkannya melalui Serial Monitor. Pada kondisi awal, pengujian dilakukan tanpa adanya objek logam di sekitar sensor untuk memastikan bahwa keluaran sensor berada pada kondisi tidak aktif dan tidak terjadi pembacaan yang keliru.

Tabel 5. Jarak Proximity Induktif

NO	Proximity Induktif		
	Jarak	LED	Gambar
1	1mm	ON	

2	2mm	ON	
3	3mm	OFF	
4	4mm	OFF	
5	5mm	OFF	

Pengujian dilanjutkan dengan mengevaluasi jarak deteksi sensor menggunakan objek logam uji dengan variasi jarak tertentu. Hasil pengujian jarak deteksi sensor proximity induktif disajikan pada Tabel 4. Berdasarkan hasil tersebut, sensor mampu mendeteksi objek logam secara optimal pada jarak 1 mm hingga 2 mm yang ditunjukkan oleh aktifnya indikator LED sensor. Pada jarak yang lebih jauh, yaitu antara 3 mm hingga 5 mm, sensor tidak lagi memberikan respons terhadap objek logam sehingga indikator LED berada pada kondisi tidak aktif.

Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa sensor proximity induktif memiliki jarak kerja efektif yang sangat terbatas dan hanya optimal pada jarak yang dekat dengan objek logam. Kondisi ini sejalan dengan prinsip kerja sensor proximity induktif yang memanfaatkan medan elektromagnetik, di mana intensitas medan akan berkurang secara signifikan seiring dengan bertambahnya jarak antara sensor dan objek logam. Oleh karena itu, sensor proximity induktif secara desain memang diperuntukkan untuk mendeteksi objek logam pada jarak pendek dan

mendekati kondisi kontak. Berdasarkan hasil kalibrasi dan pengujian tersebut, penempatan sensor proximity induktif pada sistem keamanan body harness dirancang sedekat mungkin dengan *hook* logam. Pendekatan ini dilakukan untuk menjamin bahwa deteksi keterpasangan *hook* dapat berlangsung secara konsisten dan andal. Dengan demikian, desain sistem yang diusulkan bukan merupakan keterbatasan, melainkan penyesuaian terhadap karakteristik sensor guna meningkatkan keandalan sistem dalam mendukung pengambilan keputusan keselamatan kerja secara real-time.

4.1.2 Kalibrasi Sensor Tekanan MPX5010

Kalibrasi sensor tekanan MPX5010 dilakukan untuk memastikan bahwa nilai tekanan yang dibaca oleh sistem benar-benar mencerminkan kondisi tarikan pada rantai badan karet. Karakteristik sensor MPX5010 berupa tegangan analog yang dapat dibaca oleh mikrokontroler melalui ADC 10-bit. Untuk mengonversi nilai ADC menjadi tegangan dan mengetahui nilai offset sensor, proses kalibrasi dimulai dengan menghubungkan sensor MPX5010 ke Arduino dan menggunakan persamaan konversi ADC ke tegangan untuk mengubah nilai ADC menjadi tegangan. Tegangan keluaran sensor sekitar ± 122 mV dicatat dalam kondisi tanpa tekanan eksternal, yaitu ketika body harness dikenakan tanpa tarikan tambahan. Nilai ini dikenal sebagai tegangan offset sensor, yang merupakan karakteristik bawaan sensor. Nilai offset tersebut selanjutnya dikompensasikan di dalam program dengan cara mengurangkannya dari tegangan keluaran sensor, sehingga pembacaan tekanan dimulai dari nol. Setelah proses kompensasi dilakukan, sensor diuji kembali dengan memberikan variasi tarikan pada strap *body harness* untuk memastikan sensor merespons perubahan tekanan secara stabil dan konsisten. Berdasarkan hasil pengujian tersebut, sensor MPX5010 dinyatakan telah terkalibrasi dan siap digunakan dalam sistem keamanan body harness.

$$V_{out} = \frac{ADC}{1024} \times 5000 \text{ mV}$$

4.1.3 Pengujian Sensor Proximity

Sebelum sensor dirangkai ke dalam *Body Harness*, pengujian sensor proximity dilakukan secara terpisah. Tujuan pengujian adalah untuk mengetahui kemampuan sensor untuk mendeteksi keberadaan objek logam sebagai indikator keterpasangan *hook*. Kondisi objek terdeteksi dan tidak terdeteksi diberikan, dan hasil pengujian dicatat dalam tabel hasil pengujian.

Tabel 6. Hasil Pengujian Sensor Proximity

No	Kondisi Uji	Perlakuan Objek Logam	Output Sensor	Respon Sensor	Kesesuaian
1	Kondisi awal	Tidak ada objek logam di depan sensor	0	Tidak aktif	Sesuai
2	Objek logam didekatkan	Objek logam didekatkan ke sensor	1	Aktif	Sesuai
3	Objek logam tetap	Objek logam tetap di dekat sensor	1	Aktif	Sesuai
4	Objek logam dijauhkan	Objek logam dijauhkan dari sensor	0	Tidak aktif	Sesuai
5	Objek logam didekatkan ulang	Objek logam didekatkan kembali	1	Aktif	Sesuai
6	Objek logam tetap	Objek logam tetap di dekat sensor	1	Aktif	Sesuai
7	Objek logam dijauhkan	Objek logam dijauhkan kembali	0	Tidak aktif	Sesuai
8	Objek logam didekatkan	Objek logam didekatkan ke sensor	1	Aktif	Sesuai
9	Objek logam tetap	Objek logam tetap di dekat sensor	1	Aktif	Sesuai
10	Objek logam dijauhkan	Objek logam dijauhkan dari sensor	0	Tidak aktif	Sesuai

Sebelum sensor proximity dirangkai ke dalam sistem *body harness*, persentase keberhasilan dihitung berdasarkan hasil pengujian. Ini dilakukan dengan membandingkan jumlah pengujian yang memberikan respon sesuai dengan

jumlah total pengujian. Persamaan menunjukkan rumus yang digunakan untuk menghitung persentase keberhasilan.

$$\{Persentase\ Keberhasilan\} = \frac{N_{berhasil}}{N_{total}} \times 100\%$$

Hasil Nilai yang dihitung:

$$\{Persentase\ Keberhasilan\ Proximity\} = \frac{10}{10} \times 100\% = 100\%$$

Hasil ini menunjukkan bahwa sensor proximity dapat secara konsisten mendeteksi keberadaan objek logam dan berfungsi dengan baik pada tahap pengujian awal sebelum dimasukkan ke dalam sistem *Body Harness*.

4.1.4 Pengujian Sensor Mpx 5010

Sebelum dimasukkan ke dalam sistem *harness* badan, sensor tekanan MPX5010 diuji secara terpisah. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa sensor MPX5010 dapat merespons perubahan tekanan secara konsisten dalam kondisi tertentu. Pada titik ini, sensor diuji dengan memberikan variasi tekanan secara bertahap. Nilai keluaran sensor dibaca oleh mikrokontroler Arduino Uno dan dibandingkan dengan keluaran yang diharapkan untuk setiap kondisi pengujian. Baik dalam kondisi tekanan rendah maupun tinggi, sensor berfungsi dengan baik apabila nilai tekanan yang dibaca berubah sesuai dengan perlakuan tekanan. Tabel 6 menunjukkan hasil pengujian sensor tekanan MPX5010.

Tabel 7. Hasil Pengujian Sensor Mpx 5010

No	Kondisi Tekanan	Nilai Tekanan Terbaca (kPa)	Perubahan Tekanan	Keterangan
1	Tanpa Tekanan	0,07	–	Kondisi Awal
2	Tekanan Ringan	0,23	Naik	Respon Baik
3	Tekanan Ringan	0,27	Stabil	Konsisten

4	Tekanan Sedang	1,3	Naik	Respon Baik
5	Tekanan Sedang	1,9	Stabil	Konsisten
6	Tekanan Kuat	2,9	Naik	Respon Baik
7	Tekanan Kuat	3,5	Stabil	Konsisten
8	Tekanan Sangat Kuat	4,71	Naik	ResponTinggi
9	Tekanan Sangat Kuat	5,91	Naik Signifikan	Respon Ekstrim
10	Batas Maksimum	6,7	Naik maksimum	Batas Sensor

Tabel di atas menunjukkan hasil pengujian sensor tekanan MPX5010 yang dilakukan secara terpisah sebelum sensor dimasukkan ke dalam sistem rantai tubuh. Sensor diuji dengan berbagai tingkat tekanan dari kondisi tanpa tekanan hingga tekanan maksimum yang dapat dibaca sensor. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengukur perubahan nilai tekanan yang dibaca dalam satuan kilopascal (kPa).

Sensor mencatat nilai tekanan sebesar 0,07 kPa pada kondisi awal tanpa tekanan, menunjukkan keadaan dasar sensor. Setelah diberikan tekanan ringan hingga sedang, nilai tekanan meningkat secara bertahap dan stabil dari 0,23 kPa hingga 1,9 kPa. Ini menunjukkan bahwa sensor memiliki kemampuan untuk merespons perubahan tekanan dengan baik dan konsisten.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor MPX5010 memiliki kemampuan untuk mendeteksi perubahan tekanan secara bertahap, stabil, dan konsisten sesuai dengan perlakuan tekanan yang diberikan. Pada kondisi tekanan yang kuat hingga sangat kuat, sensor menunjukkan peningkatan nilai tekanan yang signifikan, mencapai 5,91 kPa. Pada pengujian dengan batas tekanan maksimum, sensor mencatat nilai 6,7 kPa, yang menandakan batas kemampuan pembacaan sensor.

$$\{Persentase\ Keberhasilan\} = \frac{\text{Jumlah data sesuai}}{\text{Jumlah seluruh data}} \times 100\%$$

Hasil Nilai yang dihtiung :

$$\{Persentase\ Keberhasilan\ Mpx\ 5010\} = \frac{10}{10} \times 100\% = 100\%$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa sensor tekanan MPX5010 memiliki tingkat keberhasilan sebesar 100% pada tahap pengujian awal. Ini menunjukkan bahwa sensor ini bekerja dengan baik dan cocok untuk digunakan dalam sistem keamanan *Body Harness*.

4.1.5 Pengujian Decision Tree Pada Mikrokontroler

Pengujian algoritma *Decision Tree* di mikrokontroler dilakukan dengan memasukkan data secara manual, tanpa menggunakan sensor. Setiap kombinasi nilai fitur diberikan secara langsung sehingga respons sistem dapat diamati secara real-time. Tujuan pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa keluaran klasifikasi yang dihasilkan mikrokontroler sesuai dengan model yang telah dilatih sebelumnya. Hasil percobaan dicatat dalam tabel yang memuat nilai input, prediksi output, serta catatan kecocokan, sehingga memudahkan evaluasi akurasi dan kinerja sistem secara keseluruhan.

Tabel 8. Hasil Pengujian Decision Tree Pada Mikrokontroler

No	Fitur		Kelas Prediksi		Serial Monitor
	Proximity	Mpx 5010	Aman	Tidak Aman	
1	0	0,5		×	Tidak Aman
2	1	1,5	✓		Aman
3	0	2		×	Tidak Aman
4	1	2,1	✓		Aman
5	0	2,5		×	Tidak Aman
6	1	2,3	✓		Aman
7	0	3,6		×	Tidak Aman
8	1	3,7	×		Tidak Aman
9	0	3,8		×	Tidak Aman
10	1	2,1	✓		Aman

Tabel di atas menunjukkan hasil pengujian algoritma *Decision Tree* yang digunakan pada mikrokontroler yang data inputnya dimasukkan secara manual tanpa menggunakan sensor fisik. Kolom "Kelas Prediksi" menunjukkan hasil klasifikasi model berdasarkan perhitungan Decision Tree (Aman atau Tidak Aman), dan kolom "Monitor Serial" menunjukkan output aktual yang muncul saat percobaan dilakukan pada mikrokontroler. Dari tabel, sebagian besar prediksi

model sesuai dengan output serial monitor. Dalam percobaan nomor 2 dan 4, misalnya, model memprediksi "Aman", dan hasilnya juga menunjukkan "Aman". Di sisi lain, dalam percobaan nomor 8, model memprediksi "Tidak Aman", yang sesuai dengan output mikrokontroler. Tabel ini menunjukkan bahwa algoritma *Decision Tree* masih dapat menghasilkan klasifikasi yang konsisten meskipun input diberikan secara manual. Selain itu, pola hubungan antara nilai fitur Proximity dan MPX 5010 dengan status keamanan ditunjukkan dalam tabel. Nilai Proximity = 1 cenderung menghasilkan prediksi "Aman", sedangkan nilai MPX 5010 yang lebih tinggi cenderung menghasilkan prediksi "Tidak Aman".

Dan data diatas memiliki Parameter perhitungan :

- **Entropy Total :**

$$E(S) = - \sum_{i=1}^c p_i \log_2(p_i)$$

Dengan data: Total = 10, Aman = 5, Tidak Aman = 5

$$p(\text{Aman}) = \frac{5}{10} = 0.5, \quad p(\text{Tidak Aman}) = \frac{5}{10} = 0.5$$

$$E(S) = -(0.5 \log_2 0.5 + 0.5 \log_2 0.5) = 1$$

Entropy total = 1

- **Entropy Tiap Fitur :**

1. Fitur Proximity ;

Proximity = 0 → data 1,3,5,7,9 → Data: → 0 Aman, 5 Tidak Aman

$$E(\text{Proximity} = 0) = - \left(\frac{0}{5} \log_2 \left(\frac{0}{5} \right) + \frac{5}{5} \log_2 \left(\frac{5}{5} \right) \right) = 0$$

Proximity = 1 → data 2,4,6,8,10 → 4 Aman, 1 Tidak Aman

$$p(\text{Aman}) = \frac{4}{5} = 0.8, \quad p(\text{Tidak Aman}) = \frac{1}{5} = 0.2$$

$$E(\text{Proximity} = 1) = -(0.8 \log_2 0.8 + 0.2 \log_2 0.2) \approx 0.722$$

Weighted Entropy:

$$E(\text{Proximity}) = \frac{5}{10} \cdot 0 + \frac{5}{10} \cdot 0.722 = 0.361$$

2. Fitur MPX 5010 :

Threshold :

$$\text{Threshold}_i = \frac{x_i + x_{i+1}}{2}, \quad i = 1, 2, \dots, n - 1$$

Contoh threshold: 1.0, 1.75, 2.05, 2.2, 2.4, 3.05, 3.65, 3.75

Threshold \leq 2.2 Kpa :

Data nomor 1,2,3,4,10 \rightarrow MPX = [0.5, 1.5, 2, 2.1, 2.0]
Kelas = [Tidak Aman, Aman, Tidak Aman, Aman, Aman]

$$p(\text{Aman}) = \frac{3}{5} = 0.6, \quad p(\text{Tidak Aman}) = \frac{2}{5} = 0.4$$

$$E_{\leq 2.2} = -(0.6 \log_2 0.6 + 0.4 \log_2 0.4) \approx 0.971$$

Jika Threshold $>$ 2.2

Data nomor 5,6,7,8,9 \rightarrow MPX = [2.3, 2.5, 3.6, 3.7, 3.8]
Kelas = [Tidak Aman, Aman, Tidak Aman, Tidak Aman, Tidak Aman]

$$p(\text{Aman}) = \frac{1}{5} = 0.2, \quad p(\text{Tidak Aman}) = \frac{4}{5} = 0.8$$

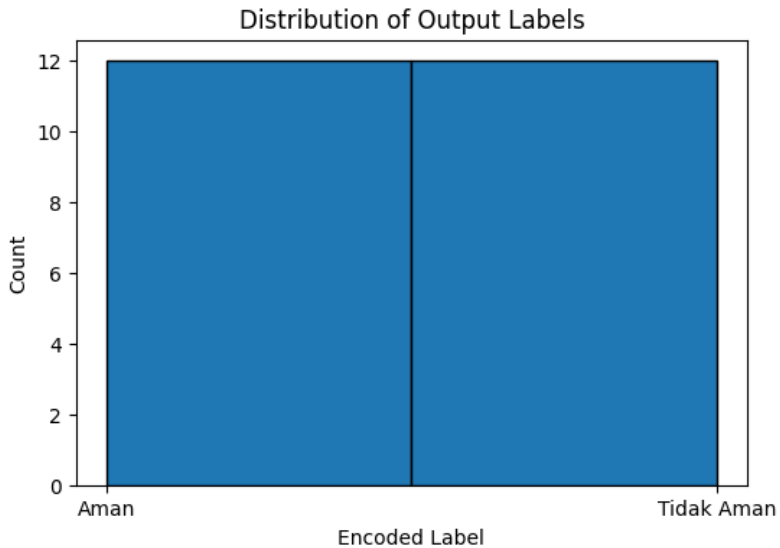
$$E_{> 2.2} = -(0.2 \log_2 0.2 + 0.8 \log_2 0.8) \approx 0.722$$

Weighted Entropy :

$$E(\text{MPX}) = \frac{5}{10} \cdot 0.971 + \frac{5}{10} \cdot 0.722 \approx 0.847$$

Pengujian tersebut berdasarkan data terbaru yang diambil dari pengujian *Decision Tree* pada mikrokontroler dan 10 data tersebut diambil secara Real-Time untuk menjadi data yang untuk dijadikan parameter masing masing fitur.

4.2 Hasil Dataset Pengujian Body Harness



Gambar 11. Visualisasi Dataset Machine Learning

Gambar diatas menunjukkan visualisasi data yang digunakan dalam proses algoritma *Decision Tree*. Grafik ini menunjukkan penyebaran jumlah data yang sudah dilabel dalam kondisi aman dan tidak aman, yang diperoleh secara real time dari kedua sensor untuk penggunaan *Body Harness*.

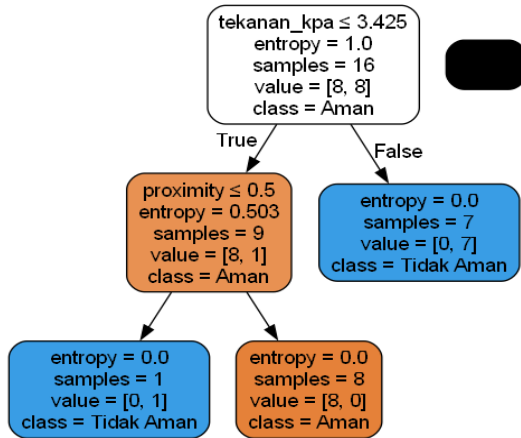
Data didistribusikan secara relatif seimbang di kedua kelas, seperti yang ditunjukkan pada gambar. Dengan keseimbangan ini yang menunjukkan bahwa dataset yang digunakan tidak didominasi oleh kelas tertentu, proses pembelajaran dapat membentuk aturan keputusan secara lebih objektif. Sebelum memulai pembentukan model *Decision Tree* dan penerapan aturan keputusan pada sistem, visualisasi ini digunakan untuk memberikan gambaran awal karakteristik dataset.

Tabel 9. Dataset Hasil Pengujian Sistem Keamanan Body Harness

No	Proximity	Tekanan (kPa)	Label
1	1	0,85	Aman
2	1	1,5	Aman
3	1	2,2	Aman
4	1	1,32	Aman
5	1	0,8	Aman
6	1	2,8	Aman
7	1	3	Aman
8	1	3,5	Aman
9	1	0,2	Aman
10	1	0,7	Aman
11	1	2,65	Aman
12	1	3,35	Aman
13	0	2,8	Tidak Aman
14	0	3,5	Tidak Aman
15	1	5	Tidak Aman
16	0	6,2	Tidak Aman
17	1	5,5	Tidak Aman
18	1	3,7	Tidak Aman
19	0	8	Tidak Aman
20	0	9	Tidak Aman
21	1	5	Tidak Aman
22	0	6	Tidak Aman
23	1	5,1	Tidak Aman
24	0	4,5	Tidak Aman

Tabel yang ada diatas adalah dataset yang digunakan dalam *machine learning Decision Tree* untuk data yang dilabelkan untuk dua kelas yaitu aman dan tidak aman dan dimana dataset ini diambil ketika kedua sensor di gunakan secara actual atau real time.

Dan dari dataset ini mendapatkan nilai entropy dari pohon *decision tree* yang sudah dilearningkan












Gambar 12. Pohon *Decision Tree*

Berdasarkan hasil pengujian dan proses pembelajaran *Decision Tree*, sensor tekanan MPX5010 adalah parameter utama dalam menentukan kondisi keselamatan *harness* badan. Tekanan dengan ambang 3,425 kPa digunakan sebagai batas untuk menentukan kondisi berisiko. Tekanan yang melebihi ambang ini langsung diklasifikasikan sebagai Tidak Aman karena menunjukkan gaya tarik berlebih pada tali *harness*. Pada kondisi tekanan yang berada dalam batas aman, sistem melakukan pemeriksaan lanjutan menggunakan sensor proximity. Sensor ini mendeteksi keberadaan ikat pinggang tubuh pada titik jangkar dengan keluaran biner, menunjukkan apakah terdeteksi atau tidak. Hasil pengujian menunjukkan bahwa jika *hook* tidak terdeteksi, kondisi tetap diklasifikasikan sebagai Tidak Aman meskipun tekanan normal. Sebaliknya, jika *hook* terdeteksi terpasang dan tekanan berada di batas aman, sistem menetapkan kondisi Aman.

Hasil ini menunjukkan bahwa sensor tekanan berfungsi sebagai indikator awal kondisi darurat, sedangkan sensor proximity berfungsi sebagai validasi pemasangan *harness*. Kombinasi kedua sensor ini memungkinkan sistem mengambil keputusan secara akurat dan konsisten dalam pemantauan keselamatan kerja secara real-time.

4.2.1 Penentuan Ambang Batas Tekanan MPX5010 Berdasarkan Uji Pemakaian

Tabel 10. Hasil Pengujian Penentu Ambang Batas Tekanan MPX 5010

No	Percobaan Pemakaian Body Harness	Mpx 5010 (kpa)	Klasifikasi		Gambar		Keterangan
			Normal	Tidak Normal	Pemakaian	Serial Monitor	
1	Percobaan 1	0 Kpa	✓				Body harness telah dikenakan oleh pengguna, namun strap berada dalam kondisi longgar sehingga belum memberikan gaya tarik yang signifikan pada sensor tekanan MPX5010. Oleh karena itu, tekanan terbaca berada di 0 kPa dan diklasifikasikan sebagai kondisi Normal.
2	Percobaan 2	1,77 Kpa	✓				Body harness dikenakan dengan penyesuaian awal pada strap, namun belum dikencangkan secara penuh. Tekanan yang terbaca berasal dari kontak awal dan berat pasif harness, tanpa adanya gaya tarik berlebih, sehingga dikategorikan sebagai kondisi Normal.
3	Percobaan 3	3,26 Kpa	✓				Body harness dikenakan dan strap dikencangkan hingga mencapai batas kenyamanan pemakaian pengguna. Tekanan 3,26 kPa diperoleh sebagai tekanan maksimum yang masih dirasakan nyaman dan aman, sehingga masih diklasifikasikan sebagai kondisi Normal.
4	Percobaan 4	4,58 Kpa		×			Strap body harness dikencangkan melebihi batas kenyamanan pemakaian, sehingga memberikan gaya tarik tambahan pada sensor. Tekanan yang terbaca melebihi ambang batas hasil uji kenyamanan, sehingga sistem mengklasifikasikan kondisi sebagai Tidak Normal.
5	Percobaan 5	5,33 Kpa		×			Pengujian mensimulasikan kondisi berisiko dengan gaya tarik yang lebih besar pada body harness. Tekanan yang terbaca jauh melebihi batas kenyamanan pemakaian, sehingga dikategorikan sebagai kondisi Tidak Normal.

Pengujian pemakaian body harness dilakukan untuk mengevaluasi respons sensor tekanan MPX5010 terhadap variasi kekencangan tali strap saat digunakan oleh pekerja. Kondisi pengujian termasuk ketika body harness dikenakan tetapi tali masih longgar, strap mulai disesuaikan, dan strap dipasang dengan benar dan nyaman sesuai prosedur keselamatan kerja.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor MPX5010 menunjukkan nilai tekanan di atas 0 kPa meskipun *body harness* belum berada dalam kondisi terpasang yang ideal. Ini karena tekanan awal dari kontak tali strap dengan tubuh pengguna menyebabkan nilai tekanan tidak menunjukkan kondisi tanpa beban murni. Nilai tekanan maksimum yang diperoleh dalam kondisi pemakaian normal dan nyaman berkisar antara 3,26 kPa. Nilai ini digunakan sebagai referensi untuk menentukan batas keputusan sistem.

Untuk menghindari kesalahan klasifikasi yang disebabkan oleh perubahan sinyal sensor dan perbedaan kenyamanan pemakaian pengguna, nilai ambang tekanan diberikan toleransi menjadi 3,425 kPa, yang digunakan oleh algoritma *Decision Tree* sebagai batas pemisah antara kondisi Aman dan Tidak Aman. Dengan demikian, keputusan sistem tetap konsisten dengan kondisi pemakaian di lapangan.

4.2.2 Hasil Pengujian Berdasarkan Alur Algoritma *Decision Tree*

Tabel 11. Hasil Pengujian berdasarkan alur Algoritma *Decision Tree*

No	Langkah Pengujian	Kondisi yang Diuji	Output yang Diharapkan	Hasil Aktual	Sesuai / Tidak Sesuai
1	Inisialisasi sistem	Arduino menyala, sensor aktif	Sensor siap terbaca	✓	sesuai
2	Baca sensor proximity (Hook tidak terpasang)	Hook tidak terpasang	Tidak terdeteksi	×	sesuai
3	Baca sensor proximity (Hook terpasang)	Hook terpasang	Terdeteksi	✓	sesuai

4	Baca sensor tekanan (Tekanan < batas)	Tekanan rendah (hook longgar)	Nilai tekanan rendah	✓	sesuai
5	Baca sensor tekanan (Tekanan ≥ batas)	Tekanan tinggi (hook terkunci)	Nilai tekanan tinggi	✓	sesuai
6	Decision Tree memproses data	Kombinasi data proximity dan tekanan	Klasifikasi: Aman / Tidak Aman	✓	sesuai
7	Proxy tidak terdeteksi	Tidak ada kaitan terpasang	Emergency Call aktif	✓	sesuai
8	Proxy terdeteksi, tekanan < batas	Kaitan tidak terkunci rapat	Tidak ada peringatan	✓	sesuai
9	Proxy terdeteksi, tekanan ≥ batas	Kaitan terpasang dengan benar	Emergency Call aktif	✓	sesuai
10	Respons sistem	Kecepatan sistem < 1 detik	Respon cepat dan konsisten	✓	sesuai
11	Uji gangguan / noise	Simulasi gangguan sinyal sensor	Klasifikasi tetap benar atau error tertangani	✓	sesuai

Tabel hasil pengujian yang menunjukkan bahwa sistem mampu mengikuti alur algoritma *Decision Tree* yang dirancang. Sensor proximity MPX5010 dapat mengidentifikasi kondisi kunci terpasang dan tidak terpasang secara konsisten. Ketika kunci terpasang, sensor tekanan dapat membedakan tekanan di bawah dan di atas ambang batas. Tekanan rendah dianggap sebagai kondisi aman, sedangkan tekanan yang melebihi ambang batas dianggap sebagai kondisi tidak aman.

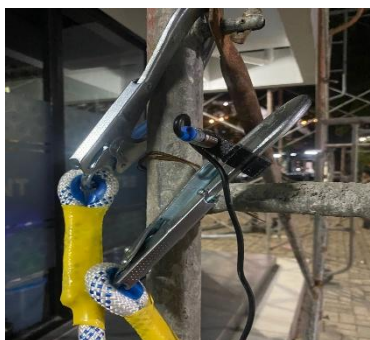
Algoritma *Decision Tree* memproses data dari kedua sensor dengan baik, sehingga membuat keputusan yang sesuai dengan kondisi sebenarnya. Semua skenario pengujian menunjukkan hasil yang sesuai dengan harapan, dengan respons sistem kurang dari satu detik dan fungsi notifikasi darurat yang baik.

4.2.3 Hasil Pengujian Sistem secara Aktual



Gambar 13. Posisi Hook Aman

Gambar diatas menjelaskan bahwa posisi *hook* yang aman, dan sensor proximity pada lampu indikatornya menyala bahwa menyatakan aman. Pada penjelasan tersebut bahwa sensor proximity mengeluarkan nilai biner yaitu 1 bahwa 1 adalah nilai yang benar untuk dimasukkan kedalam kelas aman



Gambar 14. Posisi Hook Tidak Aman

Gambar di atas menunjukkan situasi pemasangan hook yang tidak aman. Situasi ini berbeda dengan yang digambarkan pada Gambar 13, di mana *hook* hanya menjepit pada pipa *scaffolding* dan tidak terpasang dengan benar pada titik jangkar. Akibatnya, sensor proximity tidak dapat mengidentifikasi hook. Ini ditunjukkan oleh indikator lampu yang tidak menyala dan nilai keluaran sensor sebesar 0, yang menandakan kondisi yang tidak aman. Dalam situasi ini, sistem secara otomatis mengaktifkan modul GSM untuk mengirimkan panggilan darurat.



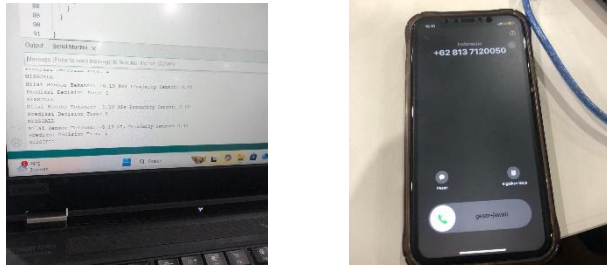
Gambar 15. Posisi tali Gesper Body Harness Aman

Saat sensor tekanan MPX5010 digunakan dengan benar, kondisi pembacaannya ditunjukkan pada gambar di atas. Nilai tekanan yang terdeteksi berada di bawah ambang batas sistem, jadi kondisi aman, dan sistem tidak mengaktifkan peringatan darurat.



Gambar 16. Posisi Tali Gesper Body Harness Tidak aman

Kondisi pembacaan sensor tekanan MPX5010 pada tali body harness saat digunakan ditunjukkan pada gambar di atas. Pada situasi ini, tingkat tekanan yang diamati melebihi batas sistem. Setelah menganggap tekanan berlebih tersebut sebagai kondisi yang tidak aman, sistem secara otomatis mengaktifkan modul GSM untuk melakukan panggilan darurat.



Gambar 17. Notifikasi Emergency Miscall Pada Saat Tidak Aman

Notifikasi berupa panggilan masuk pada perangkat seluler ini menandakan bahwa sistem mampu memberikan peringatan secara real-time tanpa memerlukan pemeriksaan manual dari pengawas. Dengan adanya mekanisme notifikasi ini, potensi keterlambatan penanganan kondisi berbahaya dapat diminimalkan sehingga sistem berkontribusi dalam meningkatkan keselamatan kerja pada pekerjaan di ketinggian.

Tabel berikut menunjukkan hasil pengujian sistem berdasarkan pengukuran sensor proximity dan tekanan MPX5010 pada berbagai kondisi penggunaan.

Tabel 12. Hasil pengujian sistem berdasarkan Pemakaian

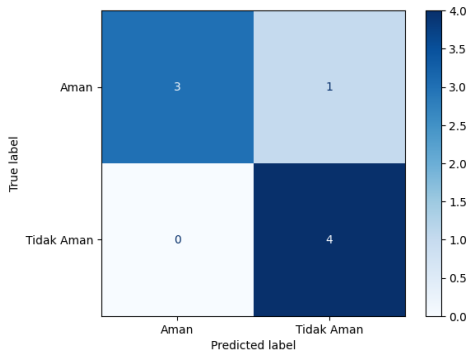
No	Fitur		Kelas Prediksi		Aktual
	Proximity	Mpx 5010	Aman	Tidak Aman	
1	1	0,25	✓		Aman
2	1	3,7		×	Tidak Aman
3	1	3,65		×	Tidak Aman
4	1	1,14	✓		Aman
5	1	4,7		×	Tidak Aman
6	1	0,17	✓		Aman
7	1	1,09	✓		Aman
8	1	1,23	✓		Aman

9	1	1,34	✓		Aman
10	1	1,4	✓		Aman
11	1	1,82	✓		Aman
12	1	2,13	✓		Aman
13	1	1,22	✓		Aman
14	0	2,68		×	Tidak Aman
15	0	3,12		×	Tidak Aman
16	0	1,8		×	Tidak Aman
17	0	5,7		×	Tidak Aman
18	0	1,51		×	Tidak Aman
19	0	0,58		×	Tidak Aman
20	0	0,68		×	Tidak Aman

Pembacaan sensor proximity dan sensor tekanan MPX5010 diproses menggunakan algoritma *Decision Tree*. Sensor proximity menentukan apakah hook body harness telah terpasang pada titik jangkai. Jika nilai sensor proximity adalah 0 (*hook* tidak terdeteksi), sistem secara langsung mengklasifikasikan kondisi sebagai Tidak Aman, karena hook tidak terhubung ke titik jangkai dan berpotensi menyebabkan kecelakaan

Jika nilai sensor proximity, atau tarikan terdeteksi, bernilai 1, sistem akan mengevaluasi nilai tekanan sensor MPX5010. Nilai tekanan sensor MPX5010 dihitung oleh tarikan tali *harness*. Nilai tekanan yang berada di bawah atau sama dengan ambang batas 3,425 kPa dianggap sebagai kondisi Aman karena menunjukkan tidak adanya tarikan berlebih. Sebaliknya, nilai tekanan yang melebihi ambang batas dianggap sebagai kondisi Tidak Aman, yang menunjukkan adanya tarikan kuat yang disebabkan oleh kondisi berbahaya, seperti ketika pekerja terpeleset atau terjatuh.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki kemampuan untuk mengklasifikasikan kondisi pemasangan *body harness* secara konsisten dan sesuai dengan kondisi lapangan yang sebenarnya. Terbukti bahwa kombinasi sensor proximity yang berfungsi sebagai pendeteksi keterpasangan hook dan sensor tekanan MPX5010 yang berfungsi sebagai indikator tekanan berlebih dapat membantu pengambilan keputusan keselamatan kerja secara otomatis dan real-time.



Gambar 18. Confusion Matrix

Dengan menggunakan algoritma *Decision Tree*, evaluasi kesesuaian antara hasil prediksi sistem dan kondisi aktual pemasangan *body harness* di lapangan dilakukan menggunakan confusion matrix. Hasil pengujian menunjukkan bahwa 3 data dengan kondisi aktual Aman berhasil diprediksi sebagai Aman, 1 data Aman salah diprediksi sebagai Tidak Aman (*false positive*), dan 4 data dengan kondisi aktual Tidak Aman seluruhnya diprediksi dengan benar. Tidak terdapat kondisi Aman yang diklasifikasikan sebagai Aman (*false negative*). Hal ini menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi seluruh kondisi berisiko dengan baik, sehingga tetap mengutamakan aspek keselamatan kerja meskipun terdapat satu kesalahan klasifikasi.

Sistem menghasilkan tingkat akurasi sebesar 88% berdasarkan hasil pengujian pada data uji menggunakan algoritma *Decision Tree*. Nilai akurasi ini dipengaruhi oleh jumlah dataset yang terbatas dan perbedaan antara data latih dan data uji, sehingga satu kesalahan klasifikasi berdampak signifikan terhadap nilai akurasi. Meskipun demikian, sensor tetap bekerja dengan baik dalam membaca data, dan hasil evaluasi ini mencerminkan performa sistem pengambilan keputusan secara objektif.

	precision	recall	f1-score	support
0	1.00	0.75	0.86	4
1	0.80	1.00	0.89	4
accuracy			0.88	8
macro avg	0.90	0.88	0.87	8
weighted avg	0.90	0.88	0.87	8

Gambar 19. Classification Report

Gambar tersebut menunjukkan *classification report* yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja sistem klasifikasi kondisi pemasangan *body harness* menggunakan algoritma Decision Tree. Laporan ini menampilkan nilai *precision*, *recall*, *F1-score*, dan *support* untuk masing-masing kelas, yaitu kelas Aman dan Tidak Aman, serta nilai akurasi keseluruhan sistem. Evaluasi ini dilakukan untuk memberikan gambaran yang lebih komprehensif terhadap performa sistem selain menggunakan confusion matrix.

Dan confusion matrix memiliki rumus untuk menentukan *True Positive*, *False Positive*, *True Negative*, *False Negative* yaitu :

$$TP = 3, \quad FN = 1, \quad FP = 0, \quad TN = 4$$

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$$

$$= \frac{3 + 4}{3 + 4 + 0 + 1} = \frac{7}{8} = 0.875 = 88\%$$

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} = \frac{3}{3 + 0} = 1.00$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} = \frac{3}{3 + 1} = 0.75$$

$$F1\text{-score} = 2 \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall} = 0.86$$

Berdasarkan hasil penghitungan confusion matrix dan metrik evaluasi, diperoleh nilai True Positive (TP) sebesar 3, True Negative (TN) sebesar 4, False Positive (FP) sebesar 0, serta False Negative (FN) sebesar 1. Dari nilai tersebut, sistem menghasilkan tingkat akurasi sebesar 88%, dengan nilai *precision* sebesar 1,00, *recall* sebesar 0,75, dan *F1-score* sebesar 0,86 pada kelas Aman. Adapun pada kelas Tidak Aman, nilai *recall* mencapai 1,00 yang menunjukkan bahwa seluruh kondisi berisiko berhasil dikenali oleh sistem. Oleh karena itu, hasil perhitungan ini mengindikasikan bahwa sistem memiliki kinerja klasifikasi yang baik dan mampu menjalankan fungsi deteksi keselamatan sesuai dengan tujuan penelitian.

4.2.4 Evaluasi Efektivitas Sistem terhadap Keselamatan Kerja

Berdasarkan hasil pengujian dataset *body harness* yang telah dibahas pada Subbab 4.2, sistem keamanan *body harness* menunjukkan kemampuan yang efektif dalam mendeteksi kondisi berisiko akibat kesalahan pemasangan alat pelindung diri. Hal ini ditunjukkan oleh hasil confusion matrix yang tidak menghasilkan kesalahan false negative, sehingga seluruh kondisi Tidak Aman berhasil terdeteksi oleh sistem.

Selain itu, sistem dilengkapi dengan mekanisme notifikasi darurat berupa panggilan telepon (*misscall*) yang aktif secara otomatis ketika kondisi Tidak Aman terdeteksi, baik akibat *hook* yang tidak terpasang maupun tekanan yang melebihi ambang batas 3,425 kPa. Mekanisme ini memungkinkan adanya peringatan dini dan respons cepat terhadap kondisi berbahaya. Dengan demikian, sistem dinilai efektif sebagai alat bantu dalam meningkatkan keselamatan kerja dan mengurangi risiko kecelakaan pada pekerjaan di ketinggian dan sistem ini mampu mengurangi ketergantungan terhadap inspeksi manual dan memberikan dukungan nyata terhadap peningkatan keselamatan kerja di ketinggian.

4.3 Pembahasan

Hasil pengujian sistem keamanan *Body Harness* menunjukkan bahwa sistem dapat berfungsi sesuai dengan desain yang dibuat. Sensor proximity MPX5010 memiliki kemampuan untuk mendeteksi keterpasangan hook pada titik jangkar. Di sisi lain, sensor tekanan MPX5010 memiliki kemampuan untuk mendeteksi perubahan tekanan yang disebabkan oleh kondisi pekerja terjatuh atau gaya tarik berlebihan. Algoritma *Decision Tree* kemudian digunakan untuk mengklasifikasikan kondisi kerja ke dalam kategori Aman dan Tidak Aman berdasarkan data dari kedua sensor tersebut.

Hasil klasifikasi algoritma *Decision Tree* menunjukkan akurasi sebesar 88%. Nilai ini dipengaruhi oleh jumlah dataset yang relatif kecil dan perbedaan kondisi antara data uji dan data latih, sehingga satu kesalahan klasifikasi memengaruhi nilai akurasi. Sebaliknya, tidak ditemukan kesalahan false negative, menunjukkan bahwa sistem dirancang untuk memprioritaskan keselamatan kerja daripada mencapai nilai akurasi.

Bab 5. Penutup

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem keamanan *body harness* berbasis sensor proximity induktif dan sensor tekanan MPX5010 berhasil dikembangkan dan berfungsi sesuai dengan tujuan penelitian. Hasil pengujian sensor secara terpisah sebelum dirangkai ke dalam *body harness* menunjukkan bahwa sensor proximity memiliki tingkat keberhasilan sebesar 100% dalam mendeteksi keterpasangan *hook* pada titik jangkar, sedangkan sensor tekanan MPX5010 juga menunjukkan tingkat keberhasilan sebesar 100% dalam merespons perubahan tekanan secara konsisten.

Dari sisi proses pengambilan keputusan, penerapan metode *Decision Tree* menghasilkan tingkat akurasi sebesar 88% dalam mengklasifikasikan kondisi pemasangan *body harness* ke dalam kategori Aman dan Tidak Aman. Nilai akurasi ini dipengaruhi oleh jumlah dataset yang terbatas serta adanya variasi data uji, sehingga tidak seluruh prediksi dapat diklasifikasikan secara sempurna. Meskipun demikian, sistem tetap dirancang untuk meminimalkan risiko keselamatan dengan tidak menghasilkan kesalahan *false negative*. Secara keseluruhan, kombinasi kinerja sensor yang andal dan algoritma *Decision Tree* yang cukup akurat memungkinkan sistem bekerja secara real-time dan memberikan peringatan dini melalui mekanisme *misscall*, sehingga sistem ini dinilai layak digunakan sebagai alat bantu peningkatan keselamatan kerja di ketinggian.

5.2 Saran

Hasil penelitian ini memberikan beberapa saran untuk pengembangan sistem yang akan datang. Pertama, sistem keamanan harness tubuh dapat ditingkatkan dengan menambahkan sensor tambahan, seperti accelerometer atau gyroscope, yang dapat memantau pergerakan karyawan dan mendeteksi kemungkinan jatuh dengan lebih akurat. Selain itu, penting untuk mempertimbangkan penggabungan modul komunikasi jarak jauh seperti GSM, LoRa, atau Wi-Fi agar pengawas dapat memantau informasi kondisi aman maupun tidak aman secara real-time.

Diharapkan, dalam hal pengolahan data, peningkatan jumlah dataset aktual dan pengujian berbagai kondisi lingkungan kerja akan meningkatkan keandalan dan akurasi metode *Decision Tree* yang digunakan. Untuk membuat perangkat lebih nyaman digunakan, desain fisiknya harus diperbarui agar lebih ergonomis, ringan, dan tidak mengganggu aktivitas pekerja. Terakhir, penelitian lebih lanjut disarankan untuk melakukan uji lapangan yang lebih mendalam di lingkungan kerja nyata. Ini akan memungkinkan evaluasi kinerja sistem yang lebih akurat.

Daftar Pustaka

- [1] M. Mushidah, M. F. Aliansyah, and A. Maghfiroh, "Hubungan Penggunaan Alat Pelindung Diri Body Harness Terhadap Kejadian Kecelakaan Kerja Jatuh Dari Ketinggian Pada Teknisi Pemasangan Jaringan Di Pt Telkom Akses Kendal," *SAINTEKES J. Sains, Teknol. Dan Kesehat.*, vol. 2, no. 4, pp. 586–592, 2023, doi: 10.55681/saintekes.v2i4.216.
- [2] W. P. Ningrum, I. Siboro, L. M. Zainul, and D. Saputra, "Penggunaan Full Body Harness Pada Pekerja Perancah Di Pt Graha Mandala Sakti Balikpapan," *Identifikasi*, vol. 9, no. 2, pp. 858–863, 2023, doi: 10.36277/identifikasi.v9i2.283.
- [3] M. E. Santika, M. Prasetyo, D. Nugroho, and B. Murtianta, "Evaluasi Kinerja Sensor Proximity Induktif sebagai Alternatif Pengganti RFID pada Prototipe Rail Guided Vehicle Berbasis Arduino," vol. 19, no. x, pp. 611–622, 2025.
- [4] A. I. Shaleh, A. U. Bani, and B. G. Sudarsono, "Design and Manufacture of Air Pressure Measuring Instruments With Arduino Microcontroller-Based Pressure Water Sensors," *J. Math. Technol.*, vol. 1, no. 1, pp. 17–28, 2022, [Online]. Available: <http://journal.binainternusa.org/index.php/matech/article/view/22/15>
- [5] Widharma, "SENSOR TEKANAN PADA ALAT KESEHATAN," no. December, 2020.
- [6] Suyanto, *Machine Learning Tingkat Dasar Dan Lanjut Edisi 2*. INFORMATIKA, 2018.
- [7] D. Septhya *et al.*, "Implementasi Algoritma Decision Tree dan Support Vector Machine untuk Klasifikasi Penyakit Kanker Paru," *MALCOM Indones. J. Mach. Learn. Comput. Sci.*, vol. 3, no. 1, pp. 15–19, 2023, doi: 10.57152/malcom.v3i1.591.
- [8] G. Tendra, "SISTEM PENYIRAMAN PESTISIDA OTOMATIS MENGGUNAKAN ARDUINO UNO DAN GSM SHEILD SIM 800L," vol. 12, no. 2, pp. 13–19, 2020.
- [9] D. T. Pandiangan, "Perancangan Sistem Alat Kontrol Lampu menggunakan Perintah SMS dengan Modul GSM SIM 8001 berbasis Metode Arduino," *JUKI J. Komput. dan Inform.*, vol. 3, no. 2, pp. 52–58, 2021, doi: 10.53842/juki.v3i2.61.
- [10] A. Daniati and W. W. Fadilla, "Analisis Kepatuhan Penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) Full Body Harness pada Pekerja PLN ULP Amuntai Tahun 2020," *J. Lentera Kesehat. Masy.*, vol. 1, no. 2, pp. 50–57, 2022, [Online]. Available: <http://jurnalkesmas.co.id/index.php/jlkm/article/view/11/12%0Ahttp://jurnalkesma>

- [11] M. A. Hasanah, S. Soim, and A. S. Handayani, "Implementasi CRISP-DM Model Menggunakan Metode Decision Tree dengan Algoritma CART untuk Prediksi Curah Hujan Berpotensi Banjir," *J. Appl. Informatics Comput.*, vol. 5, no. 2, pp. 103–108, 2021, doi: 10.30871/jaic.v5i2.3200.
- [12] F. Fassa, A. F. Setiawan, and N. Agnidjunaedi, "Analisis Kesadaran Pekerja terhadap Penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) pada Pekerjaan di Ketinggian dalam Proyek Konstruksi," vol. 10, no. 2, pp. 45–54, 2024.
- [13] J. M. A. F. Dina Rachmawaty, "Penerapan Metode Klasifikasi Decision Tree Untuk Memprediksi Kelulusan Tepat Waktu," *J. Ind. Eng. Technol.*, vol. 2, no. 1, pp. 61–74, 2022, doi: 10.24176/jointtech.v2i1.7432.
- [14] P. B. N. Setio, D. R. S. Saputro, and Bowo Winarno, "Klasifikasi Dengan Pohon Keputusan Berbasis Algoritme C4.5," *Prism. Pros. Semin. Nas. Mat.*, vol. 3, pp. 64–71, 2020.
- [15] Anggara Trisna Nugraha, Edy Prasetyo Hidayat, Purwidi Asri, Briyen Rangga Prayoga W, and Diego Ilham Yoga Agna, "Prototipe Sistem Pengendalian Dan Pemantauan Cargo Hold Bilge Kapal Dengan Metode Decision Tree Berbasis Mikrokontroler," *J. 7 Samudra*, vol. 8, no. 2, pp. 93–108, 2023, doi: 10.54992/7samudra.v8i2.130.

Lampiran

Program Visual Code Decision Tree

```
import pandas as pd
from sklearn.preprocessing import LabelEncoder
from sklearn.metrics import classification_report, confusion_matrix, ConfusionMatrixDisplay
import matplotlib.pyplot as plt
from sklearn.tree import DecisionTreeClassifier
from sklearn.model_selection import train_test_split
# LOAD FILE DATASET
dataset = pd.read_csv("../dataset/bodyharness.csv")
dataset.head(5)
# Pisah kan data features dan output dari file csv
features = dataset.drop(columns="label", axis=1).to_numpy()
output = dataset["label"]
features.shape, output.shape
# Label Encode terhadap output categorical
label_encoder = LabelEncoder()
output = label_encoder.fit_transform(output)
output
plt.figure(figsize=(6,4))
plt.hist(output, bins=len(set(output)), edgecolor='black')
plt.title("Distribution of Output Labels")
plt.xlabel("Encoded Label")
plt.ylabel("Count")
plt.xticks(
    ticks=range(len(label_encoder.classes_)),
    labels=label_encoder.classes_
)
plt.show()
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(features, output, test_size=0.3, random_state=42, stratify=output,
shuffle=True)
X_train.shape, X_test.shape, y_train.shape, y_test.shape
from sklearn.model_selection import GridSearchCV

param_grid = {
    'max_depth': [None, 2, 3, 4, 5],
    'min_samples_split': [2, 3, 4],
    'min_samples_leaf': [1, 2, 3],
    'criterion': ['Entropy', 'gini', 'log_loss']
}

grid_search = GridSearchCV(DecisionTreeClassifier(), param_grid, cv=3)
grid_search.fit(X_train, y_train)
print("Best parameters:", grid_search.best_params_)

model = DecisionTreeClassifier(**grid_search.best_params_)
model.fit(X_train, y_train)
y_pred = model.predict(X_test)
cm = confusion_matrix(X_test, y_pred)
print(classification_report(X_test, y_pred))

disp = ConfusionMatrixDisplay(confusion_matrix=cm, display_labels=label_encoder.classes_)
disp.plot(cmap=plt.cm.Blues)
plt.show()
from sklearn.tree import export_graphviz
from six import StringIO
from IPython.display import Image
import io
from sklearn import tree
from sklearn.metrics import port
feature_cols = ["proximity", "tekanan_kosa"]

dot_data = StringIO()
export_graphviz(model, out_file=dot_data,
                filled=True, rounded=True,
                special_characters=True, feature_names = feature_cols, class_names=label_encoder.classes_)

graph = pydotplus.graph_from_dot_data(dot_data.getvalue())
Image(graph.create_png())
#Test Model
data_baru = [(0, 3.5)]
test_predict = model.predict(data_baru)
results = label_encoder.inverse_transform(test_predict)
results[0], test_predict
print(port(model))
```

Gambar 20. Coding Visual Code Decision Tree

```

#define ADC_MV 4.8838125 //Conversion, multiple ADC to voltage in mv
#define OFSET_SENSOR 322.02 // in mv from datasheet
#define SENSITIVITY 4.412 // in mv from datasheet
#define MM200_KPA 0.00981 // Convert mmHg to kPa
#define MMS200_KPA 0.00981 // Convert mmHg to kPa
#define MMS200_PIN_A0
#define MMS200_PIN_A1
#include "MMS200.h"
#include "SoftwareSerial.h"
#define BU110M_PIN 7

SoftwareSerial serial(MM200, 7);
SSMSMSCall call(sserial);

unsigned long epochMSB = 0;
const int TIME_1_HOUR = 3600;

float sensorM1 = 0; //Decimals to use; 0;
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  SSMSMS.begin(19200);
  pinMode(MMS200_PIN_A0, INPUT);
  pinMode(MMS200_PIN_A1, INPUT_PULLUP);
  pinMode(BU110M_PIN, INPUT_PULLUP);
  //OpenSerial COM and USB Call
  call.open();
  SSMSMS.print("MMS Call");
  call.openCall();
  serial.begin(115200);
  // Serial.print("Set Phone (function...)");
  // Serial.println(call.setPhone());
  // Serial.println();
  // Serial.print("Is Module Registered to Network?...");
  // Serial.println();
  // Serial.println();

  //Serial.print("Signal Quality...");
  //Serial.println(call.signalQuality());
  //Serial.println();
  //Serial.print("Operator Name...");
  //Serial.println(call.operatorName());
  //Serial.println();
  //Serial.print("MMS Call...");
  //Serial.println(call.mmsCall()); // Its optional but highly recommended. Some function work with
  // this function.
  //Serial.println();
}

void loop() {
  while (call.available() && (TIME_1_HOUR - 0) <
  (call.epochMSB() - TIME_1_HOUR) &&
  epochMSB < epochMSB + 1) {
    float sensorM1; // read in kPa
    * MMS200_KPA; // read in kPa
    // float MMS200_value = (call.getSensor(MMS200_PIN) * ADC_MV - OFSET_SENSOR) /
    SENSITIVITY / MM200_KPA; // in mmHg
    float sensorM1 = (call.getSensor(MMS200_PIN) *
    ADC_MV - OFSET_SENSOR) / SENSITIVITY;
    SSMSMS.print(sensorM1);
    SSMSMS.println("Pressure Sensor: " + String(sensorM1));
    SSMSMS.print("Proximity Sensor: ");
    SSMSMS.println(sensorM1);

    //Printout
    float sensorM1 = (epochMSB - epochMSB_value);
    int epoch = (epochMSB - epochMSB_value);
    SSMSMS.println("Final Decision Tree: " + String(sensorM1));
    if (epoch == 1) { // Only 1 time when sensorM1
      SSMSMS.println("MMS Call");
      epochMSB = epochMSB + 1;
      epochMSB = epochMSB;
      SSMSMS.println("MMS Call");
    }
  }
}

```



Gambar 21. Coding Arduino Uno

Link Youtube Demo Alat

https://youtube.com/shorts/U2PP9sK9M_E?si=IKOkuYyzJLnnpFCY

Lembar Revisi Sidang Tugas Akhir
Program Studi Teknologi Rekayasa Elektronika

Nama : Denni.T.S
 NIM : 4242211024
 Judul Tugas Akhir : Rancang Bangun Sistem Keamanan Body Harness Berbasis Sensor Proximity Induktif dan MPX 5010 untuk Pekerja di Ketinggian dengan Menggunakan Metode Simple Learning Decision Tree
 Tanggal Sidang : Rabu, 14 Januari 2026

No	Nama Penguji	Saran Perbaikan	Perbaikan	TTD Penguji
1	Ika Karlina Laila Nur Suciningtyas S.Si., M.Si	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kenapa batas ambangnya 3,425? dan referensi data yang ada di mpunya 2. Perancangan elektrikal dalam penjelasannya (ok) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Data serial monitor mpx dan foto(halaman 36 & 37) 2. Halaman 19 	
2	Illa Aryeni, S.T., M.T	<ol style="list-style-type: none"> 1. Buatlah langkah langkah sensor untuk dikalibrasi 2. Rumusan masalah nomor 3 & 4 harus memiliki bukti (ok) 3. Perancangan elektrikal dalam bentuk table dan penjelasan (ok) 4. Jarak data sensor proximity dalam bentuk table, dan bukti 5. Evaluasi efektivitas dalam meningkatkan keselamatan kerja(ok) 6. Bukti implementasi system notifikasi(ok) 7. Kenapa memakai decision tree dan sedangkan kedua sensor berjalan 100% (ok) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kalibrasi Proximity dan Mpx 5010 Pada halaman 24, 25, 26 2. Rumusan Masalah untuk di nomor 3 & 4 berada dihalaman 39-44 3. Perancangan Elektrikal di halaman 19 4. Jarak Proximity dihalaman 24,25,26 5. Evaluasi dihalaman 44 6. Notifikasi Pada halaman 41 7. Decision Tree dihalaman 44 & 43 	

Dosen Pembimbing



Sumantri Kurniawan Risandriya, ST, MT