



**PENURUNAN TINGKAT RISIKO KECELAKAAN  
PENGOPERASIAN *DRONE* MENGGUNAKAN METODE  
*FMEA* DAN *BOWTIE ANALYSIS***

**LAPORAN SKRIPSI**

**UNIVERSITAS  
MERCU BUANA**

**THOMAS THEO ALVANOV**

**41621110044**

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MERCU BUANA  
JAKARTA  
2025**



**PENURUNAN TINGKAT RISIKO KECELAKAAN  
PENGOPERASIAN *DRONE* MENGGUNAKAN METODE  
*FMEA* DAN *BOWTIE ANALYSIS***

**LAPORAN SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana**

**UNIVERSITAS  
THOMAS THEO ALVANOV  
41621110044  
MERCU BUANA**

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MERCU BUANA  
JAKARTA  
2025**

## HALAMAN PERNYATAAN KARYA SENDIRI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Thomas Theo Alvanov  
NIM : 41621110044  
Program Studi : Teknik Industri  
Judul Skripsi : Penurunan Tingkat Risiko Kecelakaan  
Pengoperasian Drone Menggunakan Metode FMEA  
dan *Bowtie Analysis*

Menyatakan bahwa Laporan Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri dan bukan plagiat, serta semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar. Apabila ternyata ditemukan di dalam Laporan Skripsi saya terdapat unsur plagiat, maka saya siap mendapatkan sanksi akademis yang berlaku di Universitas Mercu Buana.

Jakarta, 5 Juni 2025

UNIVERSITAS  
MERCU BUANA



Thomas Theo Alvanov

## HALAMAN PENGESAHAN

Laporan Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Thomas Theo Alvanov  
NIM : 41621110044  
Program Studi : Teknik Industri  
Judul Laporan Skripsi : Penurunan Tingkat Risiko Kecelakaan  
Pengoperasian Drone Menggunakan Metode FMEA  
dan *Bowtie Analysis*

Telah berhasil dipertahankan pada sidang di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana/Strata I pada Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik / Program Sarjana Universitas Mercu Buana.

Disahkan oleh:

Pembimbing : Resa Taruna Suhada, S.Si, MT  
NIDN : 0428026801

()

Ketua Penguji : Prof. Herry Agung Prabowo, Ir, M.Sc, Ph.D  
NIDN : 0422116801

()

Anggota Penguji : Selamat Riadi, ST, MT  
NIDN : 0320117105

()

Jakarta, 12 Juni 2025

Mengetahui,

➤ Dekan Fakultas Teknik

()  
(Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, M.T.)

Ketua Program Studi Teknik Industri

()  
(Dr. Uly Amrina, S.T., M.M.)

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan Laporan Skripsi ini. Penulisan Laporan Skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Program Studi Teknik Industri pada Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan Laporan Skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Andi Adriansyah, M.Eng selaku Rektor Universitas Mercu Buana.
2. Ibu Zulfa Fitri Ikatrinasari, Dr, MT selaku Dekan Fakultas Teknik.
3. Ibu Uly Amrina, Dr, ST, MM selaku Ketua Program Studi Teknik Industri.
4. Bapak Resa Taruna Suhada, S.Si., M.T selaku Dosen Pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
5. Bapak Herry Agung Prabowo, Ir, M.Sc, Ph.D selaku Ketua Dosen Penguji Skripsi atas koreksi dan arahan serta masukannya.
6. Bapak Selamat Riadi, S.T, M.T selaku Dosen Penguji 1 Skripsi atas koreksi dan arahan serta masukannya.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga Laporan Skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Jakarta, 5 Juni 2025

Thomas Theo Alvanov

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Mercu Buana, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Thomas Theo Alvanov  
NIM : 41621110044  
Program Studi : Teknik Industri  
Judul Laporan Skripsi : Penurunan Tingkat Risiko Kecelakaan Pengoperasian Drone Menggunakan Metode FMEA dan *Bowtie Analysis*

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, dengan ini memberikan izin dan menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Mercu Buana **Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul di atas beserta perangkat yang ada.

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Universitas Mercu Buana berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk penangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan Laporan Skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta, 5 Juni 2025

Yang menyatakan,



(Thomas Theo Alvanov)

## ABSTRAK

Nama : Thomas Theo Alvanov  
NIM : 41621110044  
Program Studi : Teknik Industri  
Judul Laporan Skripsi : Penurunan Tingkat Risiko Kecelakaan  
Pengoperasian *Drone* Menggunakan Metode  
*FMEA* dan *Bowtie Analysis*  
Pembimbing : Resa Taruna Suhada, S.Si., M.T

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi risiko operasional UAV/*drone* dalam kegiatan inspeksi infrastruktur melalui integrasi metode *Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)* dan *Bowtie Analysis (BTA)*. Variabel *FMEA* yang digunakan meliputi tingkat keparahan (*severity*), frekuensi kejadian (*occurrence*), dan kemampuan deteksi (*detection*) yang dihitung menjadi *Risk Priority Number (RPN)*. Sampel penelitian terdiri dari 27 data insiden kecelakaan pengoperasian *drone* yang diambil dengan teknik *purposive sampling* berdasarkan ketersediaan laporan kecelakaan dari tahun 2018 hingga 2024. Teknik analisis data dilakukan dengan menghitung RPN untuk mengidentifikasi risiko kritis, kemudian dianalisis secara mendalam terkait *barrier* preventif dan mitigasi melalui BTA. Hasil penelitian menunjukkan bahwa gangguan sistem navigasi (RPN=504), kegagalan baterai (RPN=448), dan kelalaian operator (*human error*) (RPN=441) menjadi faktor kegagalan tertinggi. Risiko lainnya memiliki nilai RPN yang berkisar antara 48-280. *Barrier* preventif dan mitigasi memainkan peran penting dalam pengendalian risiko, dengan setiap penyebab memiliki minimal dua *barrier* preventif dan dua *barrier* mitigasi untuk konsekuensi. Setelah penerapan strategi pengendalian, RPN tertinggi menurun menjadi 135, 128, dan 108, sementara risiko lainnya berkisar antara 28-96. Penelitian ini menunjukkan efektivitas integrasi *FMEA* dan BTA dalam mengidentifikasi, menganalisis, dan mengurangi risiko operasional *drone*, serta membantu merancang strategi mitigasi yang lebih optimal.

**Kata Kunci:** *Drone*, *FMEA*, *Bowtie Analysis*, risiko, infrastruktur

## ABSTRACT

*Name* : Thomas Theo Alvanov  
*NIM* : 41621110044  
*Study Program* : Industrial Engineering  
*Title of Thesis* : Reducing Drone Operational Accident Risk  
Using FMEA and Bowtie Analysis Method  
*Counsellor* : Resa Taruna Suhada, S.Si., M.T

*This study aims to identify and evaluate the operational risks of UAV/drones in infrastructure inspections by integrating Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) and Bowtie Analysis (BTA). The FMEA assesses severity, occurrence, and detection, which are multiplied to obtain the Risk Priority Number (RPN). The study sample comprises 27 accident reports of drone operations, purposively selected based on incident data from 2018 to 2024. Data analysis involves calculating the RPN to identify critical risks, followed by an in-depth assessment of preventive and mitigative barriers using BTA. Results show that navigation system failure (RPN = 504), battery failure (RPN = 448), and operator error (human error) (RPN = 441) are the highest risk factors. Other risks have RPN values ranging from 48 to 280. Preventive and mitigation barriers play a crucial role in risk control, with each failure mode having at least two preventive barriers and two mitigation barriers. After implementing risk control strategies, the highest RPN values reduced to 135, 128, and 108, while other risks ranged between 28 and 96. This study demonstrates the effectiveness of FMEA and BTA integration in identifying, analyzing, and reducing drone operational risks, providing valuable insights for optimizing mitigation strategies.*

**Keywords:** drone, FMEA, Bowtie Analysis, risk, infrastructure

## DAFTAR ISI

|                                                                                             |             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>HALAMAN JUDUL .....</b>                                                                  | <b>i</b>    |
| <b>HALAMAN PERNYATAAN KARYA SENDIRI .....</b>                                               | <b>ii</b>   |
| <b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>                                                              | <b>iii</b>  |
| <b>KATA PENGANTAR.....</b>                                                                  | <b>iv</b>   |
| <b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI<br/>UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....</b> | <b>v</b>    |
| <b>ABSTRAK .....</b>                                                                        | <b>vi</b>   |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                                                       | <b>vii</b>  |
| <b>DAFTAR ISI.....</b>                                                                      | <b>viii</b> |
| <b>DAFTAR TABEL .....</b>                                                                   | <b>xi</b>   |
| <b>DAFTAR GAMBAR .....</b>                                                                  | <b>xii</b>  |
| <b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>                                                                | <b>xiii</b> |
| <b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>                                                               | <b>1</b>    |
| 1.1 Latar Belakang .....                                                                    | 1           |
| 1.2 Perumusan Masalah.....                                                                  | 4           |
| 1.3 Tujuan Penelitian.....                                                                  | 5           |
| 1.4 Manfaat Penelitian.....                                                                 | 5           |
| 1.5 Batasan Penelitian .....                                                                | 5           |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>                                                        | <b>7</b>    |
| 2.1 Konsep dan Teori.....                                                                   | 7           |
| 2.1.1 Robotika .....                                                                        | 7           |
| 2.1.2 Sejarah Sistem UAV ( <i>Unmanned Aerial Vehicle</i> ) .....                           | 7           |
| 2.1.3 Sistem UAV atau <i>Drone</i> .....                                                    | 8           |
| 2.1.4 Prinsip Penerbangan.....                                                              | 11          |

|                                        |                                                              |           |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.1.5                                  | Cara Kerja dan Mekanisme Operasional <i>Drone</i> .....      | 13        |
| 2.1.6                                  | Manajemen Risiko .....                                       | 15        |
| 2.1.7                                  | Metode <i>Failure Modes and Effect Analysis (FMEA)</i> ..... | 19        |
| 2.1.8                                  | Metode <i>Bowtie Analysis (BTA)</i> .....                    | 22        |
| 2.2                                    | Penelitian Terdahulu .....                                   | 28        |
| 2.3                                    | Kerangka Pemikiran .....                                     | 33        |
| <b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b> |                                                              | <b>34</b> |
| 3.1                                    | Jenis Penelitian .....                                       | 34        |
| 3.2                                    | Jenis Data dan Informasi .....                               | 35        |
| 3.3                                    | Metode Pengumpulan Data .....                                | 37        |
| 3.4                                    | Metode Pengolahan dan Analisis Data.....                     | 38        |
| 3.4.1                                  | Analisis Peringkat Risiko dengan <i>FMEA</i> .....           | 38        |
| 3.4.2                                  | Pemetaan Risiko dengan <i>Bowtie Analysis (BTA)</i> .....    | 41        |
| 3.5                                    | Langkah-Langkah Penelitian.....                              | 43        |
| <b>BAB IV PEMBAHASAN.....</b>          |                                                              | <b>45</b> |
| 4.1                                    | Pengumpulan Data .....                                       | 45        |
| 4.1.1                                  | Data Spesifikasi <i>Drone</i> .....                          | 45        |
| 4.1.2                                  | Data Kecelakaan Pengoperasian <i>Drone</i> .....             | 49        |
| 4.1.3                                  | Data Nilai RPN pada <i>FMEA</i> .....                        | 53        |
| 4.2                                    | Pengolahan Data.....                                         | 57        |
| 4.2.1                                  | Pengolahan Data Jumlah Kecelakaan .....                      | 57        |
| 4.2.2                                  | Pengolahan Data Hasil <i>FMEA</i> .....                      | 58        |
| 4.3                                    | Hasil.....                                                   | 62        |
| 4.3.1                                  | Analisis <i>FMEA</i> .....                                   | 62        |
| 4.3.2                                  | Perhitungan nilai RPN pada <i>FMEA</i> .....                 | 68        |

|                                                                  |            |
|------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.3.2 Diagram <i>Bowtie</i> Pengoperasian <i>Drone</i> .....     | 77         |
| 4.4 Pembahasan .....                                             | 79         |
| 4.4.1 Pembahasan Hasil Penilaian Risiko dengan <i>FMEA</i> ..... | 79         |
| 4.4.2 Pembahasan Hasil Diagram <i>Bowtie</i> .....               | 80         |
| 4.4.3 Penurunan Risiko Kegiatan Operasional <i>Drone</i> .....   | 87         |
| <b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>                          | <b>96</b>  |
| 5.1 Kesimpulan.....                                              | 96         |
| 5.2 Saran .....                                                  | 98         |
| <b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>                                       | <b>99</b>  |
| <b>LAMPIRAN.....</b>                                             | <b>104</b> |



## DAFTAR TABEL

|                                                                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 2. 1 Skala <i>Severity</i> (Keparahan) Secara Umum .....                                                              | 16 |
| Tabel 2. 2 Skala <i>Likelihood</i> (Kemungkinan) Secara Umum.....                                                           | 17 |
| Tabel 2. 3 Nilai untuk <i>Severity</i> (S), <i>Occurrence</i> (O), dan <i>Detection</i> (D).....                            | 21 |
| Tabel 2. 4 Rekapitulasi hasil penelitian dari penelitian terdahulu .....                                                    | 28 |
| Tabel 2. 5 Rekapitulasi hasil penelitian dari penelitian terdahulu (Lanjutan).....                                          | 29 |
| Tabel 2. 6 Rekapitulasi hasil penelitian dari penelitian terdahulu (Lanjutan) <b>Error!</b><br><b>Bookmark not defined.</b> |    |
| Tabel 2. 7 Rekapitulasi hasil penelitian dari penelitian terdahulu (Lanjutan) <b>Error!</b><br><b>Bookmark not defined.</b> |    |
| Tabel 3. 1 Rincian data penelitian .....                                                                                    | 36 |
| Tabel 3. 2 Contoh Tabel <i>FMEA</i> .....                                                                                   | 40 |
| Tabel 4. 1 Spesifikasi Pesawat .....                                                                                        | 45 |
| Tabel 4. 2 Spesifikasi <i>Remote Control</i> .....                                                                          | 46 |
| Tabel 4. 3 Spesifikasi <i>Vision System</i> .....                                                                           | 47 |
| Tabel 4. 4 Spesifikasi <i>Infrared ToF Sensing System</i> .....                                                             | 48 |
| Tabel 4. 5 Spesifikasi FPV <i>Camera</i> .....                                                                              | 48 |
| Tabel 4. 6 Spesifikasi <i>Intelligent Flight Battery</i> .....                                                              | 48 |
| Tabel 4. 7 Data Kecelakaan <i>Drone</i> Tahun 2018-2024 .....                                                               | 50 |
| Tabel 4. 8 Rangkungan Rating S, O, dan D oleh responden.....                                                                | 53 |
| Tabel 4. 9 Mode Kegagalan Masing-Masing Tahun .....                                                                         | 58 |
| Tabel 4. 10 Contoh perhitungan nilai S, O, dan D .....                                                                      | 58 |
| Tabel 4. 11 Perhitungan Nilai RPN .....                                                                                     | 59 |
| Tabel 4. 12 Mode Kegagalan Pengoperasian <i>Drone</i> .....                                                                 | 62 |
| Tabel 4. 13 Perhitungan Nilai RPN untuk Operasional <i>Drone</i> .....                                                      | 69 |
| Tabel 4. 14 Perhitungan Ulang RPN .....                                                                                     | 88 |

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                                                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 1. 1 Insiden kegagalan operasional <i>drone</i> tahun 2018-2024 .....                                                                                                       | 3  |
| Gambar 2. 1 <i>Drone</i> Multi-Rotor .....                                                                                                                                         | 9  |
| Gambar 2. 2 <i>Drone</i> Single-Rotor .....                                                                                                                                        | 9  |
| Gambar 2. 3 <i>Drone</i> Fixed-Wing.....                                                                                                                                           | 10 |
| Gambar 2. 4 <i>Fixed-Wing-Multi-Rotor Hybrid UAV</i> .....                                                                                                                         | 11 |
| Gambar 2. 5 Prinsip penerbangan pada pesawat terbang.....                                                                                                                          | 13 |
| Gambar 2. 6 Hasil Tangkapan Gambar untuk (a) Fasilitas <i>Flare Stack</i> ; (b) Fasilitas <i>Communication Tower</i> ; (c) Fasilitas Jembaran; (d) Fasilitas Jaringan Listrik..... | 15 |
| Gambar 2. 7 Matriks risiko .....                                                                                                                                                   | 17 |
| Gambar 2. 8 Hirarki Pengendalian Risiko .....                                                                                                                                      | 18 |
| Gambar 2. 9 Posisi ancaman ( <i>threat</i> ) dalam diagram bowtie .....                                                                                                            | 23 |
| Gambar 2. 10 Posisi konsekuensi pada diagram bowtie .....                                                                                                                          | 24 |
| Gambar 2. 11 Posisi kontrol risiko dalam diagram bowtie .....                                                                                                                      | 25 |
| Gambar 2. 12 Posisi <i>recovery controls</i> pada diagram bowtie.....                                                                                                              | 26 |
| Gambar 2. 13 Posisi <i>threat to the controls</i> pada diagram bowtie.....                                                                                                         | 26 |
| Gambar 2. 14 Posisi <i>controls for the threats to the controls</i> .....                                                                                                          | 27 |
| Gambar 2. 15 Kerangka Pemikiran.....                                                                                                                                               | 33 |
| Gambar 3. 1 Prinsip Utama dalam <i>FMEA</i> .....                                                                                                                                  | 39 |
| Gambar 3. 2 Tahapan dalam <i>Bowtie Analysis</i> .....                                                                                                                             | 42 |
| Gambar 3. 3 Diagram alir penelitian.....                                                                                                                                           | 44 |
| Gambar 4. 1 Tren Kecelakaan Operasional <i>Drone</i> Tahun 2018-2024 .....                                                                                                         | 57 |
| Gambar 4. 2 Diagram <i>Fishbone</i> Penyebab Kegagalan .....                                                                                                                       | 65 |
| Gambar 4. 3 Diagram Bowtie untuk Mode Kegagalan Sinyal GPS .....                                                                                                                   | 77 |
| Gambar 4. 4 Diagram Bowtie untuk Mode Kegagalan Baterai .....                                                                                                                      | 78 |
| Gambar 4. 5 Diagram Bowtie untuk Mode Kegagalan Manusia.....                                                                                                                       | 78 |

## DAFTAR LAMPIRAN

|                                                                     |     |
|---------------------------------------------------------------------|-----|
| Lampiran 1. Daftar Pertanyaan Wawancara Terstruktur .....           | 104 |
| Lampiran 2. Jawaban Wawancara Terstruktur terkait <i>FMEA</i> ..... | 105 |
| Lampiran 3. Jawaban dari Form <i>FMEA</i> .....                     | 107 |

