

Penilaian Risiko dan Keselamatan Kerja Menggunakan Metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

Michael Yesaya Saisab, Haposan Vincentius Manalu

Politeknik Negeri Batam

Program Studi Teknik Mesin

Jl. Ahmad Yani, Batam Centre, Batam 29461, Indonesia

michaelyesaya1922@gmail.com

Abstrak

Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) menjadi hal penting dalam industri konstruksi, termasuk pada penerapan teknologi *3D printing Konstruksi*. PT Nuvah Global Indonesia, sebagai perusahaan yang baru mengembangkan teknologi ini di Batam, masih perlu membenahi penerapan standar K3 pada lingkungan kerjanya. Penelitian ini menerapkan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk mengidentifikasi potensi kegagalan proses (*failure mode*) pada setiap tahapan kerja, kemudian menilainya melalui tiga parameter *Severity* (tingkat keparahan), *Occurrence* (frekuensi kejadian), dan *Detection* (kemampuan deteksi) untuk memperoleh *Risk Priority Number* (RPN) sebagai dasar prioritas pengendalian. Skala penilaian ketiga parameter disusun dengan mengadaptasi kerangka penilaian yang digunakan pada penelitian FMEA di industri pengecoran logam. Objek yang diamati meliputi proses *Assembly*, *Welding*, *Spray Painting*, hingga pengoperasian mesin pencetak *3D printing*. Data dikumpulkan melalui observasi langsung di lapangan. Dari 15 potensi kegagalan yang teridentifikasi, RPN tertinggi (256) ditemukan pada risiko tertabrak *truss* pencetak yang sedang bergerak saat operasi *3D printing* berlangsung, disusul radiasi UV akibat topeng las yang belum lengkap pada proses *Welding* dengan nilai RPN(245). Risiko-risiko ini menjadi prioritas pengendalian utama bagi perusahaan.

Kata kunci: K3, FMEA, Risk Priority Number, Risiko Kerja, *3D printing Konstruksi*, *Failure Mode*, APD

Abstract

Occupational Health and Safety (OHS) is crucial in the construction industry, including the implementation of construction 3D printing technology. PT Nuvah Global Indonesia, a company currently developing this technology in Batam, needs to improve its application of OHS standards within its work environment. This study employs the Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) method to identify potential process failures (failure modes) at each work stage. These are then assessed using three parameters—Severity, Occurrence, and Detection—to calculate a Risk Priority Number (RPN) that serves as the basis for prioritizing control measures. The rating scales for these parameters were established by adapting the assessment framework used in FMEA studies within the metal casting industry. The scope of observation covered processes ranging from assembly, welding, and spray painting to the operation of the 3D printing machine. Data were collected through direct field observations. Among the 15 identified potential failures, the highest RPN (256) was associated with the risk of being struck by the moving printer truss during 3D printing operations, followed by the risk of UV radiation due to inadequate welding masks during the welding process (RPN of 245). These risks constitute the primary control priorities for the company.

Keywords: OSH, FMEA, Risk Priority Number, Occupational Risk, *3D printing Construction*, *Failure Mode*, PPE

1. Pendahuluan

K3 (Keselamatan dan Kesehatan Kerja) merupakan kebijakan yang ditetapkan pemerintah dan pelaku usaha untuk mencegah kecelakaan kerja dan menekan risikonya, sebagaimana diatur dalam Keputusan Menaker Nomor Kep.463/MEN/1993 tentang budaya K3 [1]. Penerapan teknologi baru di lapangan pada umumnya meningkatkan potensi kegagalan proses karena operator belum sepenuhnya terbiasa dengan sistem kerja yang baru, seperti yang terjadi pada penerapan teknologi *3D printing Konstruksi*.

Teknologi *3D printing Konstruksi* menggunakan mesin pencetak berbasis sistem *Robotic Gantry* yang mencetak material bangunan lapis demi lapis secara otomatis, langsung di lokasi proyek (*site*). Di samping keunggulannya berupa efisiensi biaya dan pengurangan tenaga kerja *manual*, pengoperasian mesin ini menyimpan sejumlah potensi kegagalan proses yang perlu dikendalikan, antara lain risiko tersandung kabel, tertabrak bagian mesin (*truss*) yang bergerak, serta bahaya jatuh akibat kondisi permukaan *site* yang belum rata.

Metode yang digunakan yaitu metode FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) untuk mengidentifikasi Prioritas kecelakaan kerja. *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dipilih sebagai metode identifikasi risiko pada penelitian ini karena tidak hanya menilai kemungkinan dan keparahan bahaya seperti pendekatan konvensional, tetapi juga menilai sejauh mana sistem pengendalian yang berjalan mampu mendeteksi potensi kegagalan sebelum menimbulkan insiden, melalui tiga parameter *Severity*, *Occurrence*, dan *Detection* yang menghasilkan *Risk Priority Number* (RPN) sebagai dasar prioritas pengendalian [2].

PT Nuvah Global Indonesia adalah perusahaan yang baru mengembangkan teknologi *3D printing Konstruksi* di Batam, sehingga sistem K3 pada perusahaan masih perlu dibenahi. Observasi awal menemukan sejumlah kondisi yang berpotensi menimbulkan kegagalan proses, seperti kabel yang menjuntai dan melintang di area *site*, permukaan tanah yang belum rata, pergerakan *truss* yang belum dilengkapi *barrier*, proses *loading-Unloading* yang masih dikerjakan *manual*, serta APD (topeng las, masker *spray*) yang belum tersedia lengkap pada proses *Welding* dan *Spray Painting* di area *Workshop*. Kondisi-kondisi tersebut sekaligus mengindikasikan bahwa kemampuan deteksi (*Detection*) terhadap sejumlah potensi kegagalan tersebut masih rendah.

Beberapa penelitian terdahulu menjadi acuan penyusunan kerangka analisis risiko pada penelitian ini. Pada proyek gedung gereja RPN tertinggi sebesar 120 ditemukan pada pekerjaan pengangkutan material *manual* [3], penilaian berbasis *Severity*, *Occurrence*, dan *Detection* dinilai memberikan gambaran prioritas pengendalian yang lebih spesifik dibandingkan pendekatan dua parameter. RPN tertinggi 108 pada gangguan penglihatan akibat residu material [2]. Penelitian pada industri pengecoran logam menyusun kriteria penilaian *Severity*, *Occurrence*, dan *Detection* secara rinci untuk tiap tingkat rating (1-10) serta mengelompokkan RPN ke dalam lima kategori, yaitu sangat rendah, rendah, medium, tinggi, dan sangat tinggi [4]; kerangka penilaian tersebut menjadi acuan utama dalam menyusun skala S, O, dan D pada penelitian ini.

Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi *mode* kegagalan, menilai risikonya melalui parameter *Severity*, *Occurrence*, dan *Detection*, serta menentukan tindakan pengendalian berdasarkan RPN pada proses kerja di PT Nuvah Global Indonesia. Lingkup penelitian mencakup enam aktivitas utama, yaitu *Assembly* dan *Fitting* komponen, *Welding*, *Spray Painting*, pengelolaan area *warehouse*, *Loading* dan *Unloading* material, serta *3D printing Operation*, yang diamati selama periode magang berlangsung. Hasil penelitian diharapkan menjadi dasar penyusunan sistem manajemen K3 yang lebih terstruktur bagi perusahaan, sekaligus referensi empiris penerapan FMEA pada industri konstruksi berbasis teknologi baru.

2. Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di PT Nuvah Global Indonesia dengan mengikuti alur kerja yang berlangsung, kemudian mengidentifikasi potensi kegagalan pada setiap tahapannya menggunakan metode FMEA.

2.1 Metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) merupakan sebuah metodologi yang digunakan untuk mengevaluasi kegagalan dalam sebuah system, desain, proses dan pelayanan (*service*). Identifikasi kegagalan potensial dilakukan dengan pemberian nilai atau skor masing masing kegagalan berdasarkan tingkat kejadian (*occurrence*), tingkat keparahan (*severity*) dan tingkat deteksi (*detection*) [5].

Severity menunjukkan tingkat keparahan dampak yang ditimbulkan apabila *mode* kegagalan terjadi, *Occurrence* menunjukkan frekuensi atau kemungkinan terjadinya *mode* kegagalan tersebut, sedangkan *Detection* menunjukkan sejauh mana pengendalian yang berjalan saat ini (SOP, APD, inspeksi, maupun sistem peringatan) mampu mendeteksi potensi kegagalan sebelum menimbulkan kecelakaan kerja. Ketiga parameter dinilai pada skala 1 sampai 10, dengan kriteria penilaian yang diadaptasi dari penelitian FMEA pada industri pengecoran logam [4] dan disesuaikan dengan konteks *3D printing Konstruksi*, kemudian dikalikan untuk memperoleh *Risk Priority Number* (RPN) dengan rentang nilai 1 hingga 1000, sebagaimana dirumuskan pada Persamaan [6].

$$\text{RPN} = \text{severity rating} \times \text{occurrence rating} \times \text{detection rating} = S \times O \times D$$

2.2 Teknik Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan data primer yang dikumpulkan melalui observasi langsung di lapangan selama periode magang di PT Nuvah Global Indonesia, meliputi pengamatan terhadap kondisi lingkungan kerja, penggunaan Alat Pelindung Diri (APD), serta perilaku dan cara kerja operator pada setiap tahapan proses. Observasi dilengkapi dengan dokumentasi lapangan berupa foto kondisi kerja sebagai bukti pendukung. Karena PT Nuvah Global Indonesia baru mengembangkan lini proses ini dan belum memiliki data historis kecelakaan kerja yang panjang, penilaian *Severity* dan *Occurrence* dilakukan berdasarkan hasil observasi langsung terhadap tingkat keparahan potensi cedera dan frekuensi munculnya kondisi berisiko di area kerja, sedangkan *Detection* dinilai berdasarkan ketersediaan dan konsistensi kontrol (APD, SOP, inspeksi) yang telah berjalan pada tiap proses kerja.

2.3 Identifikasi Proses Kerja

Berdasarkan hasil observasi di lapangan, terdapat beberapa proses kerja utama yang diidentifikasi memiliki potensi *mode* kegagalan terkait K3, yaitu:

- Proses *Assembly* dan *Fitting* Komponen: melibatkan penggerindaan ujung jantan dan pemukulan menggunakan *mallet*
- Proses *Welding*: pengelasan komponen logam dengan risiko percikan api, radiasi UV, asap las, dan sengatan listrik
- Proses *Spray Painting*: pengecatan komponen *Assembly* dengan risiko paparan uap bahan kimia
- Pengelolaan Area *Warehouse*: kondisi kabel yang berpotensi menyebabkan tersandung
- Proses *Loading* dan *Unloading*: proses masih menggunakan tenaga pekerja
- Proses *3D printing Operation*: pengoperasian mesin pencetak dengan risiko kabel *control box* yang melintang, permukaan tanah tidak rata, dan tertabrak / terjepit *truss* yang bergerak

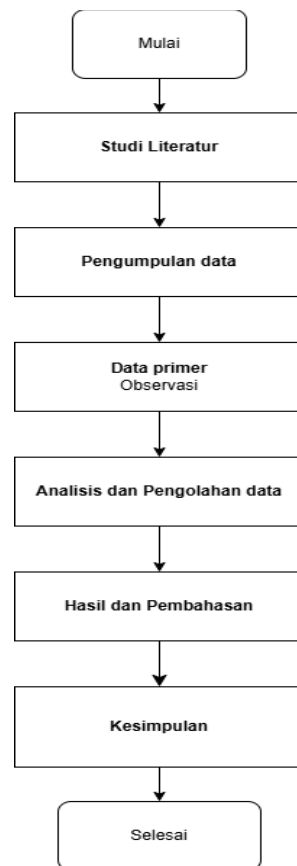
2.4 Tahapan Penerapan FMEA

Penerapan FMEA pada penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan: mengidentifikasi *mode* kegagalan beserta efek yang ditimbulkan pada setiap aktivitas kerja di PT Nuvah Global Indonesia; menilai *Severity* dan *Occurrence* untuk setiap *mode* kegagalan menggunakan skala 1 sampai 10 berdasarkan hasil observasi lapangan, menilai *Detection* berdasarkan sejauh mana kontrol yang ada mampu mendeteksi *mode* kegagalan tersebut, menghitung *Risk Priority Number* ($\text{RPN} = S \times O \times D$) dan menentukan kategori risikonya menggunakan lima kelompok kategori (sangat rendah, rendah, medium, tinggi, sangat tinggi), menentukan tindakan pengendalian berdasarkan prioritas RPN tertinggi, dan menyusun seluruh hasil analisis ke dalam tabel FMEA yang terstruktur.

2.5 Alur Penelitian

Penelitian dimulai dengan studi literatur untuk memahami konsep K3 dan metode FMEA, dilanjutkan dengan observasi awal di lapangan untuk mengenali proses kerja dan kondisi keselamatan pada setiap area kerja. Data kemudian dikumpulkan melalui observasi mendalam dan diolah menggunakan metode FMEA melalui tahap identifikasi *mode* kegagalan, penilaian *Severity*, *Occurrence*, dan *Detection*,

perhitungan RPN, hingga penentuan tindakan pengendalian. Hasil analisis selanjutnya disusun menjadi kesimpulan dan rekomendasi bagi perusahaan. Alur penelitian secara ringkas disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur Penelitian FMEA

3. Hasil dan Pembahasan

Mode kegagalan, penilaian risiko, dan tindakan pengendalian pada enam proses kerja utama di *site* dianalisis menggunakan metode FMEA. Hasilnya disajikan pada sub-bab berikut.

3.1 Skala Penilaian *Severity*, *Occurrence*, dan *Detection*

Ketiga parameter FMEA, yaitu *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D), dinilai pada skala 1 sampai 10 berdasarkan data observasi lapangan, dengan kriteria per tingkat rating yang diadaptasi dari penelitian FMEA pada industri pengecoran logam dan disesuaikan dengan konteks *site 3D printing Konstruksi*. Kriteria *Severity* disajikan pada Tabel 1, *Occurrence* pada Tabel 2, dan *Detection* pada Tabel 3, sedangkan interpretasi kategori *Risk Priority Number* ($RPN = S \times O \times D$) disajikan pada Tabel 4 [4].

Tabel 1. Skala Penilaian *Severity* (S)

Rating	Dampak	Kriteria
1	Tidak berdampak (individu tidak secara jelas merasakan dampaknya)	Tersentuh serpihan/debu ringan atau permukaan kasar, tanpa luka
2	Dampak kecil (individu tetap dapat menjalankan aktivitas)	Lecet ringan, tergores, tersengat matahari
3		Memar, iritasi kulit ringan, teriris ringan
4	Dampak sedang (individu tidak dapat mengikuti aktivitas 1-2 hari)	Luka sayat/tergores, iritasi mata, sengatan ringan
5		Luka bakar ringan, keseleo, luka sobek

Rating	Dampak	Kriteria
6	Dampak besar (individu tidak dapat mengikuti aktivitas, perawatan lebih dari 12 jam)	Patah tulang ringan, luka bakar sedang, gangguan pernapasan/pendengaran
7		Cedera mata serius (<i>arc eye</i>), luka bakar luas, sengatan listrik nonfatal
8	Perubahan kehidupan individu hingga kehilangan nyawa	Cacat permanen akibat cedera berat
9		Kematian satu individu
10		Kematian lebih dari satu individu dan/atau kerugian material sangat besar

Skala *Severity* di atas diadaptasi dari [4], dengan penyesuaian jenis cedera pada kriteria agar merepresentasikan bahaya yang teramati pada area kerja.

Karena PT Nuvah Global Indonesia belum memiliki data historis kecelakaan kerja bertahun-tahun seperti pada studi rujukan [4], kerangka penilaian *Occurrence* tetap diadaptasi dari [4] namun rentang waktunya disesuaikan dengan lama proses magang ini beroperasi, sehingga probabilitas kejadian dinilai berdasarkan frekuensi munculnya kondisi berisiko yang teramati selama periode observasi.

Tabel 2. Skala Penilaian *Occurrence* (O)

Rating	Probabilitas Kejadian	Kriteria
1	Tidak mungkin terjadinya kecelakaan	Hampir tidak pernah teramati selama <i>site</i> ini beroperasi
2		Kondisi berisiko baru teramati sekali sejak <i>site</i> mulai beroperasi
3	Kecelakaan sangat jarang terjadi	Kondisi berisiko mungkin teramati satu kali dalam periode observasi (magang)
4		Kondisi berisiko mungkin teramati satu kali dalam sebulan terakhir
5	Kecelakaan hanya terjadi sesekali	Kondisi berisiko mungkin teramati satu kali dalam dua minggu terakhir
6		Kondisi berisiko mungkin teramati satu kali dalam seminggu terakhir
7	Kecelakaan berpotensi terjadi berulang di area yang sama	Kondisi berisiko teramati beberapa kali dalam seminggu terakhir
8		Kondisi berisiko teramati hampir setiap hari kerja
9	Kecelakaan selalu berulang	Kondisi berisiko teramati pada hampir setiap kali aktivitas dilakukan
10		Kondisi berisiko selalu melekat pada aktivitas tersebut setiap kali dilakukan

Tabel 3. Skala Penilaian *Detection* (D)

Rating	Kategori	Tingkat Deteksi
1	Tinggi	Kontrol (SOP/APD/inspeksi) tersedia lengkap dan berjalan efektif
2		Tinggi kemungkinan mendeteksi penyebab yang menimbulkan kecelakaan
3	Sedang	Kontrol tersedia namun penerapannya belum sepenuhnya konsisten
4		Sedang kemungkinan mendeteksi penyebab yang menimbulkan kecelakaan

Rating	Kategori	Tingkat Deteksi
5	Rendah	Kontrol yang ada masih terbatas atau bergantung pada kewaspadaan pekerja
6		Rendah kemungkinan mendeteksi penyebab yang menimbulkan kecelakaan
7	Jarang	Kontrol/APD yang dibutuhkan minim atau belum tersedia
8		Kecil kemungkinan mendeteksi penyebab yang menimbulkan kecelakaan
9	Hampir Tidak Mungkin	Tidak ada kontrol memadai yang berjalan
10		Mustahil mendeteksi penyebab yang menimbulkan kecelakaan

Skala *Occurrence* dan *Detection* di atas mengikuti struktur penilaian pada [4], yaitu pengelompokan tiap dua tingkat rating dengan kriteria yang diperjelas.

Tabel 4. Interpretasi Risk Priority Number (RPN) dan Tindakan

RPN	Kategori	Tindakan
1 - 50	Sangat Rendah	Risiko dapat diterima; cukup dengan pengawasan rutin tanpa tindakan tambahan
51 - 125	Rendah	Risiko dapat diterima dengan pemantauan berkala; tindakan pengendalian bersifat opsional
126 - 225	Medium	Memerlukan perencanaan tindakan pengendalian dalam jangka waktu tertentu
226 - 350	Tinggi	Memerlukan tindakan pengendalian segera dan diprioritaskan untuk ditangani
351 - 1000	Sangat Tinggi	Memerlukan tindakan pengendalian sesegera mungkin; menjadi prioritas utama

Kelima kategori RPN pada Tabel 4 mengikuti pengelompokan yang digunakan pada [4] (sangat rendah, rendah, medium, tinggi, sangat tinggi), dengan batas nilai disusun proporsional terhadap rentang RPN (1-1000) dan disesuaikan dengan sebaran data pada penelitian ini.

3.2 Identifikasi *Failure Mode*, Penilaian S, O, D, dan RPN

Sebanyak 15 potensi *mode* kegagalan teridentifikasi pada enam proses kerja di Perusahaan ini. Setiap *mode* kegagalan dinilai melalui teknik observasi langsung: *Severity* ditentukan dari tingkat keparahan cedera yang mungkin timbul berdasarkan kondisi kerja yang diamati, *Occurrence* ditentukan dari frekuensi munculnya kondisi berisiko tersebut selama periode observasi, dan *Detection* ditentukan dari ketersediaan serta konsistensi kontrol yang berjalan pada saat observasi dilakukan. Hasil penilaian S, O, D, RPN, kategori, dan sumber bahaya disajikan pada Tabel 5, sedangkan tindakan pengendalian (*determining control*) untuk setiap *failure mode* disajikan pada Tabel 6.

Tabel 5. Hasil Penilaian FMEA pada Proses Kerja di PT Nuvah Global Indonesia

No	Proses Kerja	Failure Mode	Efek Kegagalan	S	O	D	RPN	Kategori	Sumber Bahaya
1	Assembly & Fitting	Serpihan logam terlempar saat proses penggerindaan komponen	Cedera mata/kulit terkena serpihan	4	6	5	120	Rendah	Mekanis
2	Assembly & Fitting	Mallet (palu karet) meleset	Cedera tangan pekerja yang menahan part	5	4	6	120	Rendah	Mekanis

No	Proses Kerja	Failure Mode	Efek Kegagalan	S	O	D	RPN	Kategori	Sumber Bahaya
		saat memukul komponen							
3	Assembly & Fitting	Kebisingan berlebih dari proses penggerindaan	Gangguan pendengaran jangka panjang	4	8	5	160	Medium	Fisik
4	Welding	Percikan api dan logam panas saat pengelasan	Luka bakar pada kulit	5	5	6	150	Medium	Fisik
5	Welding	Radiasi UV dari busur las tanpa topeng las lengkap	Cedera mata (<i>arc eye</i>) dan luka bakar kulit	5	7	7	245	Tinggi	Fisik
6	Welding	Paparan asap (<i>fume</i>) hasil pengelasan	Gangguan sistem pernapasan	3	6	7	126	Medium	Kimia
7	Welding	Sengatan listrik dari kabel/mesin las	Cedera cukup serius	8	2	8	128	Medium	Listrik
8	Spray Painting	Paparan uap bahan kimia cat tanpa masker khusus	Gangguan pernapasan dan iritasi kulit/mata	5	5	7	175	Medium	Kimia
9	Spray Painting	Bahan kimia cat mudah terbakar disimpan di area kerja	Risiko kebakaran	10	2	5	100	Rendah	Kimia
10	Warehouse	Kabel yang menjuntai di sekitar area kerja	Pekerja tersandung dan terjatuh	4	7	4	112	Rendah	Mekanis
11	Loading & Unloading	Pengangkatan <i>manual</i> material berat tanpa alat bantu	Cedera otot dan tulang belakang (MSDs) <i>muskuloskeletal Disorders</i>	4	6	7	168	Medium	Fisik
12	Loading & Unloading	Material terjatuh saat proses <i>Unloading</i>	Pekerja tertimpa material	8	5	5	200	Medium	Mekanis
13	3D printing Operation	Kabel <i>control box</i> mesin <i>printing</i> melintang di area kerja	Pekerja tersandung dan terjatuh saat mengoperasikan mesin	3	7	5	105	Rendah	Mekanis
14	3D printing Operation	Permukaan tanah pada area <i>Printing</i> tidak rata	Pekerja terpeleset/tersandung, cedera <i>muskuloskeletal</i>	5	8	5	200	Medium	Mekanis
15	3D printing Operation	Pekerja tertabrak <i>truss</i> (rangka pencetak) / terjepit <i>carriage</i>	Cedera berat hingga fatal	8	4	8	256	Tinggi	Mekanis

No	Proses Kerja	Failure Mode	Efek Kegagalan	S	O	D	RPN	Kategori	Sumber Bahaya
		yang sedang bergerak							

Tabel 6. Tindakan Pengendalian (*Determining control*) untuk Setiap *Failure Mode*

No	Failure Mode	Tindakan Pengendalian (<i>Determining control</i>)
1	Serpihan logam terlempar saat penggerindaan ujung jantan komponen	Penggunaan kacamata <i>safety</i> dan sarung tangan, pemasangan guard pada mesin gerinda, penerapan SOP penggerindaan.
2	<i>Mallet</i> (palu karet) meleset saat memukul komponen	Penggunaan ragum pada plat, SOP komunikasi aba-aba, sarung tangan <i>safety</i> .
3	Kebisingan berlebih dari proses penggerindaan	Penggunaan <i>earplug/earmuff</i> wajib, rotasi kerja.
4	Percikan api dan logam panas saat pengelasan	Penggunaan apron tahan api, sarung tangan las, dan sepatu <i>safety</i> , area kerja bebas bahan mudah terbakar.
5	Radiasi UV dari busur las tanpa topeng las lengkap	Penyediaan topeng las secara lengkap (prioritas utama), pemasangan tirai pelindung las.
6	Paparan asap (<i>fume</i>) hasil pengelasan	Pemasangan ventilasi/ <i>local exhaust</i> ; penggunaan masker respirator; rotasi kerja.
7	Sengatan listrik dari kabel/mesin las	Inspeksi kabel dan mesin las berkala; <i>grounding</i> mesin las, penerapan SOP kelistrikan.
8	Paparan uap bahan kimia cat tanpa masker khusus	Pengadaan masker <i>spray/respirator</i> organik (prioritas utama), <i>spray booth</i> berventilasi, APD mata dan kulit.
9	Bahan kimia cat mudah terbakar disimpan di area kerja	Penyimpanan bahan kimia sesuai SOP, larangan sumber api, penyediaan APAR.
10	Kabel yang menjuntai di sekitar area kerja	Penataan kabel menggunakan <i>cable tray/cover</i> ; <i>housekeeping</i> rutin; penandaan area rawan.
11	Pengangkatan <i>manual</i> material berat tanpa alat bantu	Penyediaan alat bantu angkut (<i>hand pallet/trolley</i>), pelatihan <i>manual handling</i> , kerja tim.
12	Material terjatuh saat proses <i>Unloading</i>	Penggunaan APD (helm dan <i>safety shoes</i>), prosedur <i>Unloading</i> yang aman, area steril dari lalu lalang.
13	Kabel <i>control box</i> mesin pencetak melintang di area kerja	Penataan kabel <i>control box</i> menggunakan <i>cable cover/floor duct</i> , penandaan jalur kabel, <i>housekeeping</i> rutin di sekitar mesin.
14	Permukaan tanah pada area pencetakan tidak rata	Perataan dan pemadatan permukaan area kerja sebelum proses printing yang belum rata.
15	Pekerja tertabrak <i>truss</i> (rangka pencetak) / terjepit <i>carriage</i> yang sedang bergerak	Pemasangan <i>barrier/safety line</i> pada radius jangkauan <i>truss</i> dan <i>carriage</i> (prioritas utama), penanda peringatan area gerak mesin, SOP jarak aman operator selama <i>printing</i> berlangsung.

Pada proses *Assembly* dan *Fitting* komponen, teridentifikasi tiga *mode* kegagalan dengan RPN berkisar 120-160: serpihan logam saat penggerindaan (S4, O6, D5, RPN 120, kategori Rendah), *mallet* yang berpotensi meleset (S5, O4, D6, RPN 120, kategori Rendah), dan kebisingan penggerindaan (S4, O8, D5, RPN 160, kategori Medium) yang tetap perlu diwaspadai karena dampaknya bersifat kumulatif dan sulit dideteksi sejak dini. Pengendalian berfokus pada kedisiplinan penggunaan APD dan penerapan SOP kerja.

Proses *Welding* memiliki satu *mode* kegagalan berkategori Tinggi, yaitu radiasi UV akibat topeng las yang belum tersedia lengkap (S5, O7, D7, RPN 245) RPN tertinggi kedua pada penelitian ini, karena

selain berdampak berat dan sering terjadi, kegagalan tersebut juga sulit dideteksi tanpa kontrol memadai. Selain itu terdapat percikan api dan logam panas (S5, O5, D6, RPN 150, kategori Medium), paparan asap las (RPN 168, kategori Medium) dan sengatan listrik yang jarang namun berpotensi cukup fatal serta sulit dideteksi (RPN 128, kategori Medium). Penyediaan segera topeng las menjadi prioritas pengendalian utama.

Pada proses *3D printing Operation*, teridentifikasi tiga *mode* kegagalan dari temuan lapangan. Kabel *control box* mesin pencetak yang melintang di area kerja (S3, O7, D5, RPN 105, kategori Rendah) berpotensi membuat pekerja tersandung. Permukaan tanah pada area pencetakan yang belum rata (S5, O8, D5, RPN 200, kategori Medium) menambah risiko pekerja terpeleset saat berpindah di sekitar mesin. Risiko yang paling perlu diwaspadai adalah tertabrak *truss* (rangka pencetak) yang sedang bergerak selama proses printing berlangsung (S8, O4, D8, RPN 256, kategori Tinggi); meskipun jarang terjadi, dampaknya berpotensi fatal dan sulit dideteksi karena area kerja belum dilengkapi *barrier* atau penanda batas aman. Pemasangan *barrier/safety line* pada radius jangkauan *truss* menjadi rekomendasi prioritas.

Pada proses *Spray Painting*, paparan uap bahan kimia cat tanpa masker khusus (S5, O5, D7, RPN 175, kategori Medium) perlu ditangani segera karena sulit dideteksi tanpa alat ukur maupun APD pernapasan, sedangkan risiko kebakaran akibat bahan mudah terbakar (S10, O2, D5, RPN 100, kategori Rendah) relatif jarang terjadi dan lebih mudah diawasi secara visual. Pengadaan masker *spray/respirator* organik dan *spray booth* berventilasi menjadi rekomendasi utama.

Kabel yang menjuntai di area *warehouse* (S4, O7, D4, RPN 112, kategori Rendah) berpotensi menyebabkan pekerja tersandung; nilai *Detection* yang relatif rendah menunjukkan bahaya ini sebenarnya cukup mudah dikenali secara visual, sehingga penataan kabel menggunakan *cable tray/cover* serta *housekeeping* rutin cukup efektif menjadi rekomendasi.

Proses *Loading* dan *Unloading manual* menimbulkan risiko musculoskeletal disorder (S4, O6, D7, RPN 168, kategori Medium) yang sulit dideteksi karena keluhan baru dirasakan setelah paparan berulang, serta risiko tertimpa material saat *Unloading* (S8, O5, D5, RPN 200, kategori Medium). Pengadaan alat bantu angkut (*hand pallet/trolley*) dan pelatihan *manual handling* direkomendasikan.

3.3 Rekapitulasi Kategori Risiko

Rekapitulasi kategori RPN dari seluruh *mode* kegagalan yang teridentifikasi disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Rekapitulasi Kategori Risiko Hasil Analisis FMEA

Kategori RPN	Jumlah <i>Failure Mode</i>	Persentase
Sangat Tinggi	0	0,0%
Tinggi	2	13,3%
Medium	8	53,3%
Rendah	5	33,3%
Sangat Rendah	0	0,0%
Total	15	100%

Dari 15 *mode* kegagalan yang teridentifikasi, 2 (13,3%) Tinggi, 8 (53,3%) Medium, 5 (33,3%) Rendah, dan tidak ada yang tergolong Sangat Tinggi dan Sangat Rendah. RPN tertinggi terdapat pada proses *Welding*, *Spray Painting*, dan *3D printing Operation*, yang berkaitan langsung dengan minimnya ketersediaan APD/kontrol pengendalian spesifik sekaligus rendahnya kemampuan deteksi dini terhadap bahaya-bahaya tersebut.

3.4 Pembahasan

RPN tertinggi pada penelitian ini (256) tergolong tinggi jika dibandingkan dengan penelitian FMEA pada proyek pembangunan gedung gereja mencatat RPN tertinggi sebesar 120 pada pekerjaan

pengangkutan material *manual*, dengan risiko lain berkategori sedang hingga rendah [3]. RPN tertinggi pada penelitian ini (256) jauh lebih besar, terutama karena rendahnya nilai *Detection* pada risiko radiasi UV dan paparan uap bahan kimia. Kedua bahaya ini sering terjadi dan berdampak berat, sekaligus belum memiliki kontrol memadai, karena topeng las auto-darkening dan masker *spray* belum tersedia lengkap, sehingga sulit dideteksi sebelum menimbulkan cedera. Temuan ini sejalan dengan studi perbandingan FMEA dan HAZOP yang menekankan bahwa penguatan kepatuhan APD menjadi kunci penurunan risiko [7].

Penelitian pada industri pengecoran logam yang menjadi acuan skala penilaian pada penelitian ini menemukan bahwa mayoritas sumber bahaya berasal dari faktor mekanis akibat aktivitas permesinan dan pemindahan material, tanpa satu pun risiko berkategori sangat tinggi [4]. Pola yang serupa juga ditemukan pada penelitian ini, karena 7 dari 15 *mode* kegagalan (pada proses *Assembly*, *warehouse*, *loading-Unloading*, dan *3D printing Operation*) bersumber dari faktor mekanis.

Temuan ini menunjukkan keunggulan FMEA dibanding pendekatan dua parameter (*likelihood-Severity*), karena parameter *Detection* mengungkap bahwa prioritas pengendalian tidak hanya ditentukan oleh keparahan dan frekuensi, tetapi juga oleh kesiapan sistem pengendalian yang ada, hal yang relevan bagi PT Nuvah Global Indonesia pada tahap awal operasionalnya. Penyediaan APD kritis pada proses *Welding* dan *Spray Painting* menjadi prioritas pengendalian paling mendesak.

Sebagai catatan, penilaian *Occurrence* dan *Detection* pada penelitian ini bersifat kualitatif, didasarkan pada observasi lapangan mengenai frekuensi kondisi berisiko serta ketersediaan dan konsistensi kontrol yang berjalan, bukan pengukuran instrumental maupun data historis kecelakaan jangka panjang. Hal ini menjadi salah satu keterbatasan yang perlu diperhatikan pada penelitian selanjutnya.

3.5 Rekomendasi Pengendalian Risiko Prioritas

Rekomendasi tindakan pengendalian disusun berdasarkan prioritas *Risk Priority Number* tertinggi, sebagaimana disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Rekomendasi Pengendalian Risiko Prioritas

Prioritas	Proses Kerja / <i>Failure Mode</i>	Tindakan yang Direkomendasikan
1	<i>3D printing Operation</i> (tertabrak <i>truss</i> bergerak, RPN 256)	Pemasangan <i>barrier/safety line</i> pada radius jangkauan <i>truss</i> serta penerapan SOP jarak aman operator selama proses printing berlangsung.
2	<i>Welding</i> (radiasi UV, RPN 245)	Penyediaan apron tahan api, sarung tangan las, dan sepatu <i>safety</i> ; penataan area kerja bebas bahan mudah terbakar.
3	<i>Spray Painting</i> (uap kimia, RPN 210)	Pengadaan segera masker <i>spray/respirator</i> organik dan <i>spray booth</i> berventilasi sebelum proses <i>Spray Painting</i> dijalankan secara rutin.

Penerapan rekomendasi ini diharapkan menurunkan risiko kecelakaan kerja di perusahaan, terutama pada proses *3D printing Operation*, *Welding* dan *Spray Painting* yang memiliki nilai RPN tertinggi sekaligus kemampuan deteksi paling rendah pada kondisi kontrol saat ini.

4. Kesimpulan

Hasil penilaian risiko menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) terhadap 15 *mode* kegagalan yang teridentifikasi menunjukkan bahwa risiko tersebut terbagi ke dalam tiga kategori, yaitu 2 *mode* kegagalan (13,3%) tergolong kategori Tinggi, 8 *mode* kegagalan (53,3%) tergolong kategori *Medium*, dan 5 *mode* kegagalan (33,3%) tergolong kategori Rendah, sedangkan tidak ditemukan *mode* kegagalan yang tergolong kategori Sangat Tinggi maupun Sangat Rendah. Kedua *mode* kegagalan berkategori Tinggi tersebut adalah risiko tertabrak *truss* pencetak yang sedang bergerak pada proses *3D printing Operation* dengan RPN tertinggi sebesar 256, serta risiko radiasi UV akibat topeng las yang belum tersedia lengkap pada proses *Welding* dengan RPN sebesar 245. Kedua

risiko ini menjadi prioritas utama dalam tindakan pengendalian karena selain berdampak berat, juga memiliki kemampuan deteksi yang masih rendah pada kondisi kontrol saat ini

Berdasarkan temuan tersebut, perusahaan disarankan untuk segera memprioritaskan pengendalian pada kedua risiko berkategori Tinggi, yaitu dengan melengkapi topeng las pada proses *Welding* dan memasang *barrier/safety line* pada radius jangkauan *truss* selama proses *3D printing Operation* berlangsung, guna menekan risiko kecelakaan kerja yang paling kritis di perusahaan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. S. Muthalib, “Sosialisasi Budaya K3 (Kesehatan Keselamatan Kerja) untuk Usia Dini di Tingkat Sekolah Dasar IKIP 2 Kota Makassar,” *J. TEPAT Appl. Technol. J. Community Engagem. Serv.*, vol. 1, no. 1, pp. 17–22, 2018, doi: 10.25042/jurnal_tepat.v1i1.22.
- [2] I. J. Sabaraya and H. Prastawa, “Analisis dan Usulan Perbaikan Risiko Kecelakaan Kerja Dengan Metode FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) dan FTA (Fault Tree Analysis) (Studi Kasus di PT. X),” *Ind. Eng. Online J.*, vol. 13, no. 3, 2024, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/ieoj/article/view/45467>
- [3] A. Saintech and E. E-issn, “ATDS SAINTECH - Journal of Engineering E-ISSN 2722-0303,” vol. 6, no. 2, pp. 1–12, 2012.
- [4] B. R. Saputra and I. D. Widodo, “Analisis Pengendalian Risiko Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) dengan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) pada PT. ABC,” *JMPM (Jurnal Mater. dan Proses Manufaktur)*, vol. 7, no. 2, pp. 128–139, 2023, doi: 10.18196/jmpm.v7i2.19405.
- [5] Y. R. Hanif and M. Basuki, “Penilaian Risiko K3 pada Proses Pembangunan Kapal Bantu Rumah Sakit (BRS) menggunakan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) dan Matrik Risiko,” *J. Sumberd. Bumi Berkelanjutan*, vol. 1, no. 1, pp. 280–288, 2022, doi: 10.31284/j.semitan.2022.3219.
- [6] A. V. Fahera *et al.*, “Penilaian Risiko K3 Menggunakan Metode HIRA dan FMEA di PT Semen Gresik Pabrik Rembang,” *Semin. Nas. ADPI Mengabdikan untuk Negeri*, vol. 6, no. 1, pp. 2746–1246, 2025.
- [7] I. Pendahuluan, “Abstrak,” vol. 5, no. 2, pp. 21–31, 2023.