

NASKAH ORISINAL

Analisis Risiko Kegagalan Mesin Cetak Tiga Dimensi Berbasis *Fused Deposition Modelling* pada UMKM Jasa *3D-Printing* di Surabaya

Hafidz Ridho^{1,*} | Andita Nirmala²

¹Departemen Teknik Sistem dan Industri,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember,
Surabaya, Indonesia

²*KDX Studio 3D Printing Service*, Surabaya,
Indonesia

Korespondensi

*Hafidz Ridho, Departemen Teknik Sistem dan Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia. Alamat e-mail: hafidz.ridho@its.ac.id

Alamat

Departemen Teknik Sistem dan Industri,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember,
Surabaya, Indonesia

Abstrak

Implementasi teknologi *3D-Printer* saat ini sudah banyak diterapkan di Usaha Mikro Kecil Menengah (UMKM) di Indonesia, salah satunya adalah UMKM penyedia jasa cetak 3 Dimensi (3D) yang terletak di Keputih, Sukolilo, Surabaya. Karena usia yang tergolong muda, UMKM amatan belum mempunyai standar terkait proses, kualitas, maupun pengendalian risiko. Pengabdian ini memprioritaskan pada analisis risiko terutama pada operasi mesin *3D-Printer*, dimana proses tersebut adalah hal yang krusial karena UMKM tersebut mengandalkan aktivitas bisnis hanya pada satu mesin saja, yang apabila rusak maka produksi tidak akan bisa berjalan. Analisis risiko menggunakan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dipilih karena UMKM tersebut belum mendokumentasikan kegagalan yang pernah terjadi, sehingga metode yang bersifat induktif dan *bottom-up* lebih tepat untuk digunakan. Tujuan dari pengabdian masyarakat ini adalah membantu UMKM mengelola risiko kegagalan proses cetak 3 Dimensi menggunakan FMEA. Berdasarkan FMEA, dapat diketahui bahwa terdapat 3 mode kegagalan yang memiliki nilai *severity* diatas 5 dan terdapat 4 mode kegagalan yang memiliki nilai *severity* 3-4 dan *occurrence* >4. Rekomendasi perbaikan untuk menurunkan nilai *Risk Priority Number* (RPN) telah diberikan dalam pembahasan.

Kata Kunci:

3D-Printer, Fused Deposition Modelling, FMEA, Risiko, Sustainable Production

1 | PENDAHULUAN

1.1 | Latar Belakang

Tren industri 4.0 di Indonesia tidak hanya berpengaruh pada industri berskala besar, tetapi juga berpengaruh pada Usaha Mikro Kecil dan Menengah (UMKM). Sebagai sektor yang memiliki peran paling besar dalam perekonomian nasional^[1], UMKM dituntut untuk kreatif dan tanggap dalam mengoptimalkan semua sumber daya yang dimiliki untuk menjawab tantangan disrupsi digital. Implementasi teknologi industri 4.0 wajib dilakukan oleh UMKM agar dapat bertahan di era disrupsi digital.

Terdapat lima sektor usaha yang menjadi fokus pemerintah Indonesia dalam percepatan implementasi teknologi industri 4.0, yaitu: (1) makanan dan minuman, (2) tekstil dan pakaian, (3) otomotif, (4) kimia, dan (5) elektronik^[2]. Pada rencana strategis Kementerian Perindustrian (Kemenperin) tahun 2020-2024, penguatan tidak hanya dilakukan pada lima sektor tersebut, melainkan lebih fokus pada pertumbuhan UMKM *startup* berbasis teknologi^[3]. Teknologi yang dimaksud pada rencana strategis Kemenperin yaitu: (1) kecerdasan buatan, (2) *internet of things*, (3) *wearables*, (4) robotika canggih, dan (5) *3D-Printing*^[2]. Dari kelima teknologi tersebut, *3D-Printing* merupakan teknologi yang paling mudah diimplementasikan di level UMKM karena aplikasinya sangat luas dan dapat diimplementasikan di berbagai sektor, seperti kerajinan, otomotif, medis, fashion, dan lain sebagainya. Teknologi *3D-Printing* sudah cukup lama masuk ke Indonesia, namun aplikasinya masih terbatas untuk riset di perguruan tinggi. Saat ini, sudah banyak UMKM yang menyediakan jasa cetak 3D untuk keperluan komersial. Salah satunya adalah KDX Studio, yang merupakan UMKM penyedia jasa cetak 3D yang berlokasi di Keputih, Sukolilo, Surabaya. UMKM yang berdiri sejak tahun 2021 tersebut melayani jasa cetak 3D dan juga menjual produk jadi berbasis *3D-Printing* yang ditawarkan di marketplace online. Saat ini UMKM tersebut memiliki satu unit mesin *3D-Printer* berbasis *Fused Deposition Modelling* (FDM) seperti yang ditunjukkan oleh Gambar (1). Omset per bulan UMKM tersebut masih tergolong sangat kecil, yaitu sekitar 3 juta Rupiah per bulan. Hal ini dikarenakan pemilik UMKM memiliki pekerjaan lain dan usaha *3D-Printer* ini masih sekedar dijadikan pekerjaan sampingan. Karena masih tergolong muda dan mesin yang dimiliki hanya satu unit, UMKM tersebut belum memiliki standar terkait proses, kualitas, maupun pengendalian risiko.



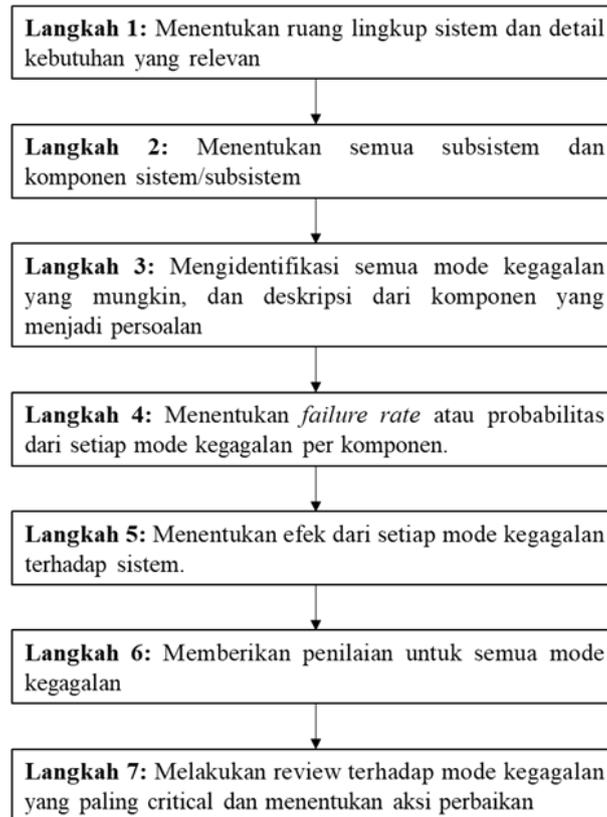
Gambar 1 Mesin *3D-Printer* milik KDX Studio.

Pengabdian ini memprioritaskan untuk menganalisis pengendalian risiko terutama pada operasi mesin *3D-Printer*. Hal ini menjadi krusial karena UMKM tersebut mengandalkan aktivitas bisnis hanya pada satu mesin saja, yang apabila rusak maka produksi tidak akan bisa berjalan. Berdasarkan keterangan dari pemilik usaha, sudah terjadi beberapa kali kerusakan pada mesin *3D-Printer* yang menyebabkan terganggunya proses produksi. Kerusakan yang terjadi belum terdokumentasi dengan baik, serta langkah perbaikannya masih bersifat korektif. Hal inilah yang mendasari perlunya penyusunan sistem pengendalian risiko di UMKM tersebut.

Terdapat beberapa metode analisis risiko, diantaranya: *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), *Fault Tree Analysis* (FTA), *Markov Method*, dan *Decomposition Method*^[4]. Dari keempat metode tersebut, FMEA dan FTA adalah metode yang paling umum digunakan. Perbedaan antara dua metode tersebut terletak pada perspektif analisis. FTA dilakukan secara *top-down*, sedangkan FMEA dilakukan secara *bottom-up*^[5]. Karena UMKM tersebut tidak mendokumentasikan permasalahan yang pernah terjadi, maka FMEA lebih tepat digunakan untuk menganalisis potensi kegagalan secara induktif dan *bottom-up*.

2 | METODE PELAKSANAAN

FMEA adalah metode analisis induktif dan *bottom-up* untuk mengidentifikasi mode, efek dan penyebab kegagalan pada sebuah sistem teknis^[6]. Terdapat tujuh tahapan dalam FMEA, seperti yang diilustrasikan oleh Gambar (2).



Gambar 2 Tujuh tahapan FMEA (Dhillon, 2005).

Penentuan level kritis dari setiap mode kegagalan dihitung menggunakan *risk priority number* (RPN)^[5]. RPN ditentukan berdasarkan 3 indikator, yaitu keparahan atau *severity* (S), frekuensi kejadian atau *occurrence* (O), dan *detection* (D), dan dihitung menggunakan Persamaan (1).

$$RPN = S \times O \times D \quad (1)$$

Masing-masing indikator dinilai dengan skala 1-10^[7]. Semakin tinggi nilai RPN dari sebuah mode kegagalan menunjukkan semakin kritis mode tersebut dan harus diprioritaskan untuk dilakukan upaya perbaikan dalam rangka menurunkan nilai RPN. Penilaian setiap indikator dilakukan melalui wawancara dan ditentukan berdasarkan tabel panduan yang terdapat pada Stamatis (2019)^[8]. Penilaian *severity* didasarkan pada Tabel 1, penilaian *occurrence* didasarkan pada Tabel 2, dan penilaian *detection* didasarkan pada Tabel 3. Dalam memprioritaskan tindakan perbaikan, Stamatis (2019) menjelaskan bahwa terdapat 3 kriteria yang bisa digunakan, yaitu berdasarkan urutan: (1) nilai *severity* >5, (2) nilai *severity* 3-4 dan nilai *occurrence* >4, dan (3) nilai RPN^[8].

Tabel 1 Acuan Penilaian *Severity*^[8]

<i>Severity</i>	Nilai	Kriteria
Tidak ada efek	1	Tidak ada efek
Sangat ringan	2	Pelanggan tidak tertanggu. Memiliki efek yang sangat ringan terhadap produk atau performa sistem.
Ringan	3	Pelanggan sedikit terganggu. Memiliki efek yang ringan terhadap produk atau performa sistem.
Minor	4	Pelanggan merasakan sedikit gangguan. Memiliki efek yang minor terhadap produk atau performa sistem.
Sedang	5	Pelanggan merasa tidak puas. Memiliki efek yang sedang terhadap produk atau performa sistem.
Signifikan	6	Pelanggan merasa tidak nyaman. Performa produk menurun tetapi masih bisa dioperasikan dan aman. Terdapat kegagalan parsial, tetapi masih dapat dioperasikan.
Mayor	7	Pelanggan merasa tidak puas. Performa produk sangat turun, tetapi masih bisa dioperasikan dan aman. Mengganggu kinerja sistem.
Ekstrim	8	Pelanggan merasa sangat tidak puas. Produk tidak bisa dioperasikan, tetapi masih aman. Sistem tidak dapat beroperasi.
Serius	9	Terdapat potensi bahaya. Mampu menghentikan produk tanpa kecelakaan—kegagalan yang bergantung pada waktu. Berpotensi melanggar peraturan pemerintah.
Berbahaya	10	Efek berbahaya. Kegagalan dapat terjadi secara mendadak dan berdampak pada isu safety. Melanggar peraturan pemerintah.

Tabel 2 Acuan Penilaian *Occurence*^[8]

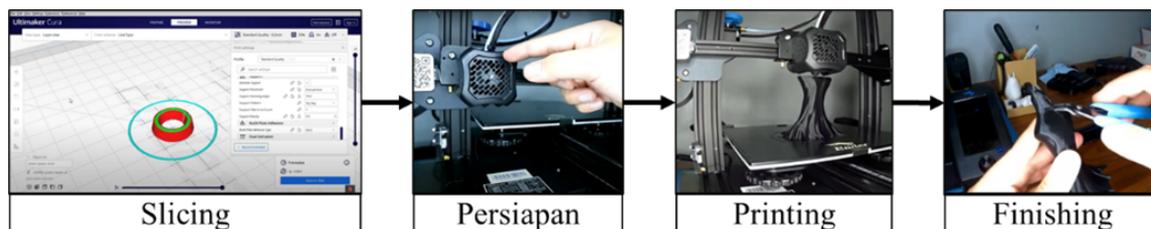
<i>Occurence</i>	Nilai	Kriteria	Jumlah kegagalan per 1,000
Hampir tidak pernah	1	Kegagalan hampir tidak mungkin. Tidak pernah ada catatan kegagalan.	<0.00058
Sangat kecil kemungkinan	2	Kegagalan hampir tidak pernah terjadi	0.0068
Sangat jarang	3	Kegagalan sangat jarang terjadi.	0.0063
Jarang	4	Kegagalan jarang terjadi.	0.46
Rendah	5	Kegagalan terjadi dengan frekuensi yang rendah.	2.7
Sedang	6	Kegagalan terjadi dengan frekuensi sedang.	12.4
Sedang-Tinggi	7	Kegagalan terjadi dengan frekuensi sedang-tinggi.	46
Tinggi	8	Kegagalan sering terjadi.	134
Sangat tinggi	9	Kegagalan sangat sering terjadi.	316
Hampir pasti	10	Kegagalan hampir pasti terjadi.	>316

Tabel 3 Acuan Penilaian *Detection*^[8]

<i>Detection</i>	Nilai	Kriteria
Hampir pasti	1	Terdapat metode deteksi yang teruji dalam tahap konsep.
Sangat tinggi	2	Terdapat analisis komputer yang teruji pada tahap desain awal.
Tinggi	3	Dilakukan simulasi dan atau pemodelan pada tahap awal.
Sedang-tinggi	4	Dilakukan pengujian pada <i>prototype</i> awal dari elemen sistem.
Sedang	5	Dilakukan pengujian pada komponen sistem pada tahap pra-produksi.
Rendah	6	Dilakukan pengujian pada komponen sistem yang sejenis.
Ringan	7	Dilakukan pengujian pada <i>prototype</i> produk dalam kondisi komponen sistem sudah terpasang.
Sangat Ringan	8	Dilakukan pengujian durabilitas pada produk dalam kondisi komponen sistem sudah terpasang.
Sangat sulit	9	Hanya ada teknik pengujian yang tidak teruji dan tidak <i>reliable</i> .
Sangat tidak mungkin	10	Belum ada teknik pengujian yang sesuai.

3 | HASIL DAN PEMBAHASAN

Secara umum, proses produksi menggunakan mesin *3D-Printer* dibagi menjadi 4 tahap, yaitu: *slicing*, persiapan, *printing*, dan *finishing* seperti yang ditunjukkan oleh Gambar (3). Tabel 4 menunjukkan analisis FMEA pada keempat tahap produksi menggunakan *3D-Printer*. Pada tahap *slicing*, file desain 3D diproses menggunakan *software slicer* untuk mendapatkan file dengan format G-Code yang dapat dibaca oleh mesin *3D-Printer*. Kualitas dari produk yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh pengaturan parameter pada tahap ini. Secara garis besar, pengaturan yang dapat diatur yaitu: resolusi, temperatur, kecepatan, *infill*, *support*, dan *adhesion*. Pada tahap persiapan, dilakukan proses pemanasan dan pengecekan mesin. Proses *printing* akan berjalan secara otomatis setelah file G-code dimuat pada mesin. Mesin *3D-Printing* yang dimiliki UMKM ini adalah mesin dengan tipe FDM, dimana material plastik yang berupa filamen didorong oleh *extruder* menuju *nozzle* yang bersuhu tinggi dan dialirkan pada *heat bed* dengan gerakan membentuk pola produk secara bertahap lapisan demi lapisan. Setelah proses *printing* selesai, proses akan berhenti secara otomatis dan selanjutnya perlu dilakukan proses *finishing* untuk melepas produk dari *heat bed* dan melakukan *trimming* pada *support* yang menempel pada produk utama. Analisis FMEA dilakukan pada setiap tahap tersebut untuk mengidentifikasi mode, efek, dan penyebab kegagalan, serta nilai RPN untuk masing-masing mode kegagalan.



Gambar 3 Bagan proses produksi KDX Studio.

Berdasarkan Tabel 4, dapat diidentifikasi bahwa terdapat 3 mode kegagalan yang memiliki nilai *severity* diatas 5, yaitu pada mode 1.2, 2.1, dan 4.1. Mode 1.2 dan 2.1 memiliki kesamaan dimana masalah terjadi ketika *nozzle* bergerak ke tempat yang tidak semestinya. Hal ini dapat diatasi dengan memastikan *limit switch* pada setiap *axis* terpasang dengan benar dan kencang. Selain itu, perlu dilakukan pengecekan setiap membuka *software slicer* untuk memastikan profil *printer* sudah sesuai. Mode kegagalan 4.1 memiliki dampak yang sama dengan mode 2.1, yaitu pecahnya *bed*, namun disebabkan oleh pemakaian *adhesive* yang berlebihan. *Adhesive* diperlukan untuk membantu material menempel pada *bed*, namun aplikasi yang berlebihan dapat menyebabkan *bed* pecah saat produk dilepas karena menempel terlalu kuat. Hal ini dapat diatasi dengan membuat prosedur pembersihan *bed* setiap awal produksi dan mengatur aplikasi *adhesive*.

Tabel 4 Analisis risiko proses 3D-Printing menggunakan FMEA

Process Function	Potential failure mode	Potential effect(s) of failure	S	Potential cause of failure	O	Detection Method	D	RPN
1. Slicing	1.1. SD card corrupt	file dalam sd card hilang	1	SD card dicabut saat masih proses transfer	6	pastikan selalu "safely remove hardware"	4	24
	1.2. Salah profil printer	extruder nabrak	6	Setting printer tidak dicek	1	cek profil printer sebelum slicing	4	24
	1.3. Salah profil material	nozzle mampet	5	Setting material tidak dicek	2	cek profil material sebelum slicing	4	40
	1.4. Salah setting parameter	Gagal printing	3	Hasil slicing tidak di-preview	4	pastikan selalu di-preview untuk mengecek layer-by-layer	6	72
2. Preparation	2.1. nozzle nabrak	bed pecah	6	2.1.1. bed tidak level 2.1.2. limit switch kendur	6 4	zeroing axis XYZ pengecekan visual	3 4	108 96
	2.2. heater nozzle mati	nozzle mampet	5	2.2.1. kabel tidak connect 2.2.2. heater putus	1 3	pengecekan visual indikator temperatur	4 1	20 15
	2.3. heater bed mati	material tidak nempel	4	2.3.1. kabel tidak connect 2.3.2. heater putus	1 3	pengecekan visual indikator temperatur	4 1	16 12
	2.4. axis tidak jalan	downtime	5	2.4.1. timing belt putus 2.4.2. motor tidak connect	3 1	pengecekan visual indikator koneksi axis	4 1	60 5
	2.5. overflow pada heatblock	downtime	5	heatblock assembly kendur	5	pengecekan visual dengan dibongkar	6	150
	3.1. material tidak keluar	Gagal printing		3.1.1. nozzle mampet	6	pengecekan visual	4	72
				3.1.2. PTFE tube lepas	6	pengecekan visual	4	72
				3.1.3. material habis	3	pengecekan visual	4	36
	3.2. material tidak menempel di bed	Gagal printing		3.2.1. axis Z tidak zero	6	zeroing axis XYZ	3	54
				3.2.2. heater bed mati	3	indikator temperatur	1	9
3. Printing	3.3. filamen putus	Gagal printing	Gagal printing	3.2.3. adhesive kurang	7	pengecekan visual	4	84
				3.2.1. axis Z tidak zero	3	pengecekan visual	4	36
	3.4. material degradasi	kualitas permukaan buruk	Gagal printing	filamen expired	3	pengecekan elastisitas filamen	4	40
				temperatur nozzle tidak sesuai	5	pengecekan visual	4	40
	3.5. bad layer adhesion	produk mudah patah	Gagal printing	temperatur nozzle tidak sesuai	5	pengecekan visual	4	60
				salah setting slicer (extruder speed)	5	pengecekan visual	4	40
	3.6. under extrusion	kualitas permukaan buruk	Gagal printing	salah setting slicer (extruder speed)	3	pengecekan visual	4	24
				salah setting slicer (retraction)	6	pengecekan visual	4	48
3.7. over extrusion	kualitas permukaan buruk	Gagal printing	salah setting slicer (speed & temperature)	6	pengecekan visual	4	48	
			adhesive terlalu banyak	5	pengecekan visual	4	120	
3.8. stringing	kualitas permukaan buruk	Gagal printing	salah setting slicer (support)	6	pengecekan visual	4	48	
4. Finishing	4.1. produk tidak bisa dilepas	bed pecah	6	adhesive terlalu banyak	5	pengecekan visual	4	120
				4.2. terlalu banyak finishing	2	pengecekan visual	4	48

Dari Tabel 4 juga dapat diketahui bahwa terdapat 4 mode kegagalan yang memiliki nilai *severity* 3-4 dan *occurrence* >4, yaitu mode 2.5, 3.1, 3.2, dan 3.5. Mode kegagalan 2.5 hanya bisa dideteksi melalui pembongkaran *heatblock assembly*, sehingga direkomendasikan untuk membuat jadwal perawatan berkala. Untuk mengatasi mode kegagalan 3.1, direkomendasikan untuk membuat prosedur awal produksi berupa pengecekan terhadap komponen *extruder* dan pengujian ekstrusi untuk memastikan aliran material lancar. Mode kegagalan 3.2 berhubungan dengan mode 4.1, yaitu terkait aplikasi *adhesive*, sehingga rekomendasi yang diberikan adalah sama, yaitu prosedur pembersihan *bed* setiap awal produksi dan mengatur aplikasi *adhesive*. Pada mode 3.5, temperatur *nozzle* yang tidak sesuai dapat menyebabkan produk mudah patah, sehingga diperlukan prosedur pengecekan untuk menyesuaikan *setting* temperatur terhadap material yang digunakan. Analisis risiko pada UMKM amatan telah dilakukan menggunakan FMEA untuk mengetahui prioritas perbaikan terhadap mode kegagalan yang dinilai kritis. Terdapat 3 mode kegagalan yang memiliki nilai *severity* diatas 5 dan terdapat 4 mode kegagalan yang memiliki nilai *severity* 3-4 dan *occurrence* >4. Rekomendasi perbaikan untuk menurunkan nilai RPN telah diberikan dalam pembahasan. Diharapkan pada pengabdian selanjutnya dapat dilakukan penyusunan rencana perbaikan yang lebih detail untuk menyelesaikan masalah yang ada.

4 | KESIMPULAN

Analisis risiko pada UMKM amatan telah dilakukan menggunakan FMEA untuk mengetahui prioritas perbaikan terhadap mode kegagalan yang dinilai kritis. Terdapat terdapat 3 mode kegagalan yang memiliki nilai *severity* diatas 5 dan terdapat 4 mode kegagalan yang memiliki nilai *severity* 3-4 dan *occurrence* >4. Mode kegagalan yang memiliki nilai *severity* diatas 5 adalah: (1) salah profil *printer*, (2) *nozzle* nabrak, dan (3) produk tidak bisa dilepas. Mode kegagalan yang memiliki nilai *severity* 3-4 dan *occurrence* >4 yaitu: (1) *overflow* pada *heatblock*, (2) material tidak keluar, (3) material tidak menempel di *bed*, dan (4) *bad layer adhesion*. Rekomendasi perbaikan untuk menurunkan nilai RPN telah diberikan dalam pembahasan. Diharapkan pada pengabdian selanjutnya dapat dilakukan penyusunan rencana perbaikan yang lebih detail untuk menyelesaikan masalah yang ada.

Referensi

1. Sasongko D, Direktorat Jenderal Kekayaan Negara, editor, UMKM Bangkit, Ekonomi Indonesia Terungkit; 2020. <https://www.djkn.kemenkeu.go.id/artikel/baca/13317/UMKM-Bangkit-Ekonomi-Indonesia-Terungkit.html>, diakses pada Agustus 2021.
2. Kemenperin, Making Indonesia 4.0; 2018. <https://kemenperin.go.id/download/21267>, diakses pada Agustus 2021.
3. Kemenperin, Rencana Strategis Kementerian Perindustrian Tahun 2020-2024; 2020. <https://kemenperin.go.id/download/24685>, diakses pada Agustus 2021.
4. Dhillon BS. Reliability, quality, and safety for engineers. CRC press; 2004.
5. Cristea G, Constantinescu DM. A comparative critical study between FMEA and FTA risk analysis methods. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 252 IOP Publishing; 2017. p. 012046.
6. Bertsche B. Reliability in automotive and mechanical engineering: determination of component and system reliability. Springer Science & Business Media; 2008.
7. Tinga T, Maintenance concepts//Principles of loads and failure mechanisms/Ed. H. Pham. London: Springer; 2013.
8. Stamatis DH. Risk management using failure mode and effect analysis (FMEA). Quality Press; 2019.

Cara mengutip artikel ini: Ridho, H., Nirmala, A., (2023), Analisis Risiko Kegagalan Mesin Cetak Tiga Dimensi Berbasis *Fused Deposition Modelling* pada UMKM Jasa *3D-Printing* di Surabaya, *Sewagati*, 7(6):848–854, <https://doi.org/10.12962/j26139960.v7i6.493>.