

Integrasi Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) dan Monitoring Realtime Berbasis Internet of Things (IoT) untuk Pengendalian Rework dan Peningkatan Efisiensi Produksi pada Industri Alas Kaki (Studi Kasus: PT YCS)

Setiyo Puji Muswantoro

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Pamulang
Jalan Raya Surya kencana No.1 Pamulang, Indonesia
Email: dosen03267@unpam.ac.id

ABSTRAK

PT YCS merupakan perusahaan manufaktur alas kaki yang menghadapi permasalahan tingginya tingkat rework pada proses produksi, yang berdampak terhadap rendahnya efisiensi produksi, meningkatnya waktu proses, dan pemborosan biaya operasional. Berdasarkan data aktual perusahaan, tingkat rework mencapai 39% dari total output produksi, sehingga diperlukan pendekatan pengendalian kualitas yang mampu mengidentifikasi sumber kegagalan proses sekaligus meningkatkan respons terhadap defect produksi secara realtime. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis integrasi Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) dan monitoring berbasis Internet of Things (IoT) dalam pengendalian rework serta peningkatan efisiensi produksi pada PT YCS. Metode FMEA digunakan untuk mengidentifikasi failure mode, menganalisis tingkat risiko berdasarkan parameter Severity, Occurrence, dan Detection, serta menentukan prioritas perbaikan menggunakan Risk Priority Number (RPN). Hasil analisis menunjukkan bahwa failure mode dominan berada pada kategori peel off dan bond gap outsole dengan nilai RPN tertinggi masing-masing sebesar 504 dan 392 sehingga ditetapkan sebagai prioritas pengendalian proses. Selanjutnya, monitoring realtime berbasis IoT diterapkan dalam bentuk dashboard defect monitoring pada workstation kritis untuk meningkatkan visibilitas proses dan mempercepat tindakan korektif terhadap penyimpangan kualitas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi FMEA dan monitoring realtime berbasis IoT mampu menurunkan tingkat rework dari 39% menjadi 15% atau sebesar 61,54%. Temuan ini menunjukkan bahwa pendekatan terintegrasi berbasis analisis risiko dan monitoring digital efektif dalam meningkatkan pengendalian kualitas dan efisiensi produksi pada industri alas kaki.

Kata kunci: Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), Internet of Things (IoT), pengendalian rework, efisiensi produksi, monitoring realtime.

ABSTRACT

PT YCS is a footwear manufacturing company facing a high level of rework in its production process, resulting in low production efficiency, increased processing time, and higher operational costs. Based on the company's actual production data, the rework rate reached 39% of total production output, indicating the need for a quality control approach capable of identifying sources of process failure while improving real-time responses to production defects. This study aims to analyze the integration of Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) and Internet of Things (IoT)-based monitoring in rework control and production efficiency improvement at PT YCS. The FMEA method was employed to identify failure modes, assess risk levels based on the parameters of Severity, Occurrence, and Detection, and determine improvement priorities using the Risk Priority Number (RPN). The analysis results indicated that the dominant failure modes were categorized as peel-off and bond gap outsole, with the highest RPN values of 504 and 392, respectively, thus establishing them as priority areas for process control. Furthermore, IoT-based real-time monitoring was implemented through a defect monitoring dashboard at critical workstations to improve process visibility and accelerate corrective actions toward quality deviations. The findings revealed that the integration of FMEA and IoT-based real-time monitoring reduced the rework rate from 39% to 15%, representing a reduction of 61.54%. These findings indicate that an integrated approach based on risk analysis and digital monitoring is effective in improving quality control and production efficiency in the footwear manufacturing industry.

Keywords: Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), Internet of Things (IoT), production efficiency, real-time monitoring, rework control.

Pendahuluan

Industri alas kaki merupakan salah satu sektor manufaktur yang memiliki tingkat kompleksitas proses produksi tinggi karena melibatkan berbagai tahapan seperti *cutting*, *stitching*, *assembly*, dan *finishing* yang saling terintegrasi. Kompleksitas tersebut menyebabkan industri alas kaki rentan terhadap terjadinya defect produk yang berdampak pada meningkatnya aktivitas *rework*. Tingginya tingkat *rework* tidak hanya menyebabkan pemborosan material dan waktu proses, tetapi juga berdampak pada peningkatan biaya operasional, penurunan produktivitas, dan rendahnya efisiensi produksi [1], [2], [3], [4]. Kondisi ini menjadi tantangan utama bagi perusahaan manufaktur dalam menjaga konsistensi kualitas produk sekaligus memenuhi target produksi secara optimal.

PT YCS sebagai perusahaan manufaktur alas kaki menghadapi permasalahan tingginya tingkat *rework* pada proses produksi. Berdasarkan data aktual perusahaan, tingkat *rework* mencapai 39% dari total output produksi, yang menunjukkan masih rendahnya efektivitas pengendalian kualitas pada lini produksi. Kondisi tersebut menyebabkan meningkatnya waktu proses akibat adanya pekerjaan ulang (*rework*), rendahnya ketercapaian target produksi, serta meningkatnya biaya kualitas (*cost of quality*). Tingginya tingkat *rework* menunjukkan bahwa sistem pengendalian kualitas yang diterapkan belum mampu mengidentifikasi potensi kegagalan proses secara cepat dan tepat pada area kritis produksi.

Dalam lingkungan manufaktur modern, pengendalian kualitas tidak lagi hanya berfokus pada inspeksi akhir (end inspection), tetapi berkembang menuju pendekatan preventif berbasis identifikasi risiko proses dan monitoring realtime. Salah satu metode yang banyak digunakan untuk mengidentifikasi potensi kegagalan proses adalah *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Metode FMEA memungkinkan perusahaan untuk mengidentifikasi failure mode, mengevaluasi tingkat risiko kegagalan berdasarkan parameter *Severity*, *Occurrence*, dan *Detection*, serta menentukan prioritas tindakan perbaikan melalui *Risk Priority Number* (RPN) [5], [6]. Pendekatan ini dinilai efektif dalam mendukung pengambilan keputusan berbasis risiko untuk meningkatkan kualitas proses manufaktur. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa FMEA dapat digunakan untuk mengurangi tingkat defect dan meningkatkan efektivitas pengendalian kualitas melalui penentuan prioritas perbaikan berbasis risiko.

Di sisi lain, perkembangan teknologi Industry 4.0 mendorong penerapan *Internet of Things* (IoT) sebagai bagian dari transformasi sistem manufaktur berbasis data. Implementasi IoT memungkinkan proses monitoring dilakukan secara realtime sehingga penyimpangan kualitas dapat terdeteksi lebih cepat dan tindakan korektif dapat dilakukan secara langsung pada area produksi. Monitoring berbasis IoT juga memberikan peningkatan visibilitas proses, pengurangan keterlambatan informasi, serta peningkatan efektivitas pengambilan keputusan produksi [1], [7].

Meskipun penelitian mengenai FMEA [8] maupun monitoring berbasis IoT telah banyak dilakukan pada sektor manufaktur, integrasi keduanya dalam pengendalian *rework* pada industri alas kaki masih relatif terbatas, khususnya pada pendekatan pengendalian berbasis workstation realtime monitoring. Sebagian besar penelitian sebelumnya lebih berfokus pada pengurangan defect atau monitoring mesin, sedangkan integrasi identifikasi risiko proses menggunakan FMEA dengan sistem monitoring realtime berbasis IoT untuk pengendalian *rework* pada proses manufaktur alas kaki masih belum banyak dikaji. Oleh karena itu, penelitian ini memiliki kontribusi dalam membangun pendekatan pengendalian kualitas berbasis integrasi analisis risiko dan monitoring digital pada industri alas kaki.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis integrasi *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dan monitoring realtime berbasis *Internet of Things* (IoT) dalam pengendalian *rework* dan peningkatan efisiensi produksi pada PT YCS. Melalui identifikasi failure mode prioritas dan implementasi *dashboard defect monitoring* pada workstation kritis, penelitian ini diharapkan mampu meningkatkan efektivitas pengendalian kualitas sekaligus menurunkan tingkat *rework* pada proses produksi alas kaki [1], [9].

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) merupakan metode sistematis yang digunakan untuk mengidentifikasi potensi kegagalan pada suatu proses, produk, atau sistem sebelum kegagalan tersebut menimbulkan dampak yang lebih besar. FMEA [10], [11] berfungsi sebagai alat analisis risiko yang membantu organisasi dalam mengenali mode kegagalan (*failure mode*), penyebab kegagalan, efek yang ditimbulkan, serta tindakan pencegahan atau perbaikan yang diperlukan. Metode ini banyak digunakan dalam bidang manufaktur, rekayasa kualitas, keselamatan kerja, dan manajemen risiko karena mampu memberikan prioritas terhadap risiko berdasarkan tingkat kepentingannya.

Dalam FMEA, tingkat risiko dari setiap mode kegagalan dinilai menggunakan tiga parameter utama, yaitu *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D). *Severity* menunjukkan tingkat keparahan dampak yang ditimbulkan oleh suatu kegagalan. *Occurrence* menunjukkan tingkat kemungkinan atau frekuensi terjadinya kegagalan. Sementara itu, *Detection* menunjukkan kemampuan sistem atau proses dalam mendeteksi kegagalan sebelum berdampak lebih lanjut. Ketiga parameter tersebut kemudian digunakan untuk menghitung nilai *Risk Priority Number* (RPN) [6].

Nilai RPN digunakan sebagai dasar dalam menentukan prioritas tindakan perbaikan. Semakin tinggi nilai RPN, semakin tinggi pula tingkat risiko yang perlu mendapatkan perhatian. Dengan demikian, FMEA tidak hanya membantu dalam mengidentifikasi kegagalan, tetapi juga membantu proses pengambilan keputusan yang lebih terarah berdasarkan urutan prioritas risiko. Keunggulan FMEA terletak pada kemampuannya dalam mendorong pendekatan preventif, karena potensi kegagalan dapat dianalisis sebelum menimbulkan kerugian yang lebih besar.

Penelitian sebelumnya telah banyak membahas penerapan Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) untuk menentukan prioritas risiko kegagalan proses, serta penerapan Internet of Things (IoT) untuk monitoring proses produksi secara realtime. Namun, sebagian besar studi masih membahas kedua pendekatan tersebut secara terpisah. Studi yang secara spesifik mengintegrasikan FMEA sebagai alat identifikasi risiko dengan sistem monitoring realtime berbasis IoT untuk pengendalian rework pada lini produksi alas kaki masih relatif terbatas. Gap penelitian ini menjadi penting karena pengendalian rework tidak cukup hanya dilakukan melalui identifikasi risiko, tetapi juga membutuhkan sistem monitoring digital yang mampu mendeteksi defect secara cepat pada workstation kritis.

Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi melalui integrasi FMEA dan monitoring realtime berbasis IoT untuk pengendalian rework pada industri alas kaki. FMEA digunakan untuk menentukan failure mode prioritas berdasarkan nilai Risk Priority Number (RPN), sedangkan sistem IoT digunakan untuk memantau jenis defect, jumlah defect, lokasi workstation, tren defect, dan status tindakan korektif secara realtime. Integrasi ini diharapkan mampu meningkatkan visibilitas proses, mempercepat pengambilan keputusan, menurunkan tingkat rework, serta meningkatkan efisiensi produksi pada PT YCS.

Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) merupakan konsep teknologi yang memungkinkan berbagai perangkat fisik saling terhubung melalui jaringan internet untuk melakukan proses pengumpulan, pengiriman, penyimpanan, dan pertukaran data. Dalam sistem IoT, perangkat seperti sensor, aktuator, mesin, perangkat input, dan sistem komputer dapat berkomunikasi satu sama lain untuk menghasilkan informasi yang dapat digunakan dalam pengambilan keputusan. IoT menjadi salah satu elemen penting dalam perkembangan Industry 4.0 karena mendukung otomatisasi, konektivitas, dan integrasi data secara *realtime* [12], [2].

Secara umum, arsitektur IoT terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu perangkat pengumpul data, jaringan komunikasi, sistem penyimpanan data, platform pengolahan data, dan antarmuka pengguna. Perangkat pengumpul data berfungsi menangkap informasi dari objek atau proses tertentu. Jaringan komunikasi digunakan untuk mengirimkan data ke sistem pusat. Data yang terkumpul kemudian disimpan dan diolah agar dapat menghasilkan informasi yang bermanfaat. Informasi tersebut ditampilkan melalui antarmuka seperti dashboard, aplikasi web, atau perangkat mobile sehingga dapat dipantau oleh pengguna.

Penerapan IoT memberikan manfaat dalam meningkatkan visibilitas proses, mempercepat aliran informasi, mengurangi keterlambatan deteksi masalah, serta mendukung pengambilan keputusan berbasis data. Dengan adanya sistem yang terhubung secara realtime, kondisi suatu proses dapat dipantau secara langsung dan perubahan yang terjadi dapat segera diketahui. Hal ini menjadikan IoT sebagai teknologi yang relevan untuk berbagai bidang, termasuk manufaktur, logistik, kesehatan, pertanian, energi, dan pengelolaan fasilitas.

FMEA dan IoT memiliki karakteristik yang berbeda namun dapat digunakan dalam konteks pengelolaan proses dan risiko. FMEA lebih berfokus pada analisis potensi kegagalan dan prioritas risiko, sedangkan IoT berfokus pada konektivitas data, monitoring, dan penyediaan informasi secara *realtime*. Dalam kajian manajemen industri modern, kedua pendekatan tersebut sering dipertimbangkan sebagai bagian dari upaya peningkatan efektivitas proses melalui analisis risiko dan dukungan teknologi digital [13], [7].

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan integrasi metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) dan monitoring realtime berbasis *Internet of Things* (IoT). Metode FMEA digunakan untuk mengidentifikasi potensi kegagalan proses, menentukan tingkat risiko setiap jenis rework, serta menetapkan prioritas perbaikan berdasarkan nilai *Risk Priority Number* (RPN). Sementara itu, sistem monitoring berbasis IoT digunakan untuk mendukung pengendalian *rework* secara *realtime* pada *workstation* kritis.

Objek penelitian dilakukan pada proses produksi alas kaki di PT YCS. Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi data output produksi, data jenis *rework*, dan jumlah *rework* berdasarkan kategori *defect*. Data *actual rework* berdasarkan jenis *defect* ditampilkan pada Tabel 1.

Table 1 Data actual rework berdasarkan jenis defect

No	Jenis Rework	Jumlah Rework	Persentase Rework
1	<i>Peel Off</i>	2.100	7,00%
2	<i>Bond Gap O/S</i>	1.650	5,50%
3	<i>Broken Stitching</i>	1.200	4,00%
4	<i>Wrinkle</i>	1.050	3,50%
5	<i>Over Cement</i>	900	3,00%
6	<i>Stain Upper</i>	750	2,50%
7	<i>Stain Outsole</i>	720	2,40%
8	<i>Poor Trimming</i>	690	2,30%

9	<i>Collar Shape</i>	570	1,90%
10	<i>Diff Toe Heel</i>	510	1,70%
11	<i>Line Up</i>	420	1,40%
12	<i>Rocking</i>	390	1,30%
13	<i>Stain Shoelace</i>	330	1,10%
14	<i>Open Throat</i>	270	0,90%
15	<i>Over Buffing</i>	210	0,70%
16	<i>Damage Screen</i>	180	0,60%
17	<i>Pouching Tersumbat</i>	150	0,50%
Total		11.700	39,00%

Sumber : Data Perusahaan.

Tahapan penelitian dimulai dari identifikasi permasalahan *rework*, pengumpulan data produksi dan data *defect*, pengelompokan jenis *rework*, perhitungan persentase actual *rework*, analisis risiko menggunakan FMEA, penentuan prioritas perbaikan berdasarkan nilai RPN, perancangan sistem monitoring realtime berbasis IoT, serta evaluasi penurunan *rework* setelah perbaikan.

Metode FMEA dilakukan dengan memberikan nilai terhadap tiga parameter utama, yaitu *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D). *Severity* menunjukkan tingkat dampak kegagalan terhadap kualitas produk, *Occurrence* menunjukkan frekuensi terjadinya kegagalan, sedangkan *Detection* menunjukkan kemampuan sistem dalam mendeteksi kegagalan sebelum produk masuk ke tahap berikutnya. Nilai RPN dihitung dengan persamaan:

$$RPN = Severity \times Occurrence \times Detection \tag{1}$$

Keterangan:

RPN = Risk Priority Number

Skala penilaian FMEA menggunakan rentang 1 sampai 10. Semakin tinggi nilai RPN, maka semakin tinggi prioritas perbaikan yang harus dilakukan. Jenis *rework* dengan nilai RPN tertinggi ditetapkan sebagai failure mode kritis dan menjadi prioritas utama dalam pengendalian proses.

Table 2. Skala penilaian FMEA

Nilai	Severity	Occurrence	Detection
1-3	Dampak rendah terhadap kualitas produk	Jarang terjadi	Sangat mudah dideteksi
4-6	Dampak sedang terhadap kualitas produk	Kadang terjadi	Cukup mudah dideteksi
7-8	Dampak tinggi terhadap kualitas produk	Sering terjadi	Sulit dideteksi
9-10	Dampak sangat tinggi dan berpotensi menyebabkan produk gagal fungsi	Sangat sering terjadi	Sangat sulit dideteksi

Setelah prioritas risiko ditentukan melalui FMEA [14], sistem monitoring *realtime* berbasis IoT diterapkan pada *workstation* kritis. Sistem ini dirancang dalam bentuk *dashboard defect monitoring* yang menampilkan data jumlah *defect*, jenis *rework*, lokasi *workstation*, tren kejadian *defect*, dan status tindakan korektif. Alur sistem dimulai dari input data *defect* oleh operator atau inspector pada setiap *workstation*, kemudian data dikirim ke database dan ditampilkan pada dashboard secara *realtime*. Dashboard tersebut digunakan oleh supervisor produksi dan tim quality control untuk mempercepat identifikasi masalah serta pengambilan tindakan korektif [15], [16], [17].

Evaluasi hasil perbaikan dilakukan dengan membandingkan tingkat *rework* sebelum dan sesudah penerapan sistem. Persentase penurunan *rework* dihitung menggunakan persamaan:

$$RP = \frac{PR_{Awal} - PR_{Akhir}}{PR_{Awal}} \times 100\% \tag{2}$$

Keterangan:

RP = persentase penurunan *rework*

PRawal = persentase *rework* sebelum perbaikan

PRakhir = persentase *rework* setelah perbaikan

Monitoring berbasis IoT pada penelitian ini difokuskan pada pengumpulan dan visualisasi data defect berdasarkan *workstation* produksi. Sistem monitoring bekerja melalui mekanisme pencatatan data defect oleh operator atau inspector pada setiap *workstation*, kemudian data dikirim dan tersimpan ke dalam basis data (*database*) untuk ditampilkan secara realtime pada dashboard monitoring defect. Dashboard tersebut digunakan oleh supervisor produksi dan tim quality control untuk memantau kondisi proses produksi secara langsung [12], [18], [19], [20]

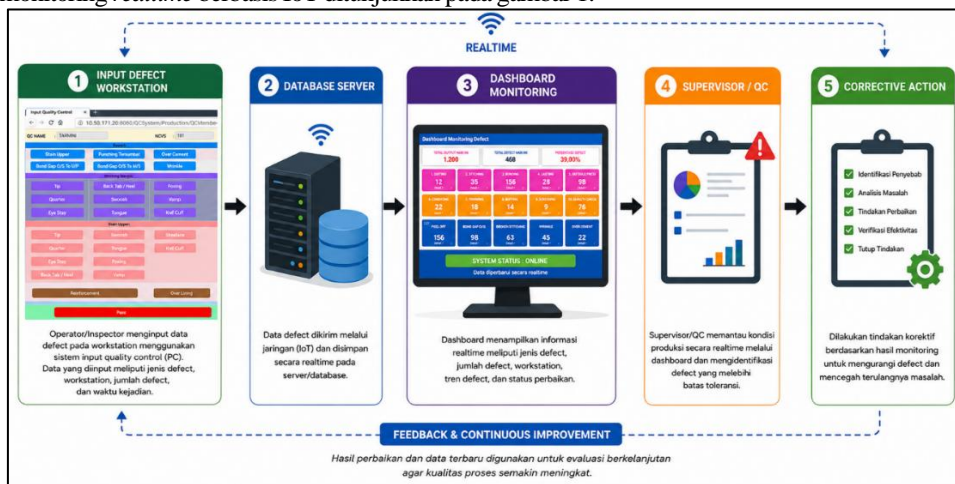
Arsitektur sistem *monitoring realtime* berbasis IoT pada penelitian ini terdiri atas beberapa tahapan utama, yaitu: (1) proses input data *defect* pada *workstation*, (2) pengiriman data ke server atau basis data, (3) proses penyimpanan dan pengolahan data, serta (4) visualisasi data melalui dashboard monitoring. Alur sistem tersebut memungkinkan informasi terkait jenis defect, lokasi *workstation*, jumlah kejadian, dan waktu kejadian dapat diketahui secara langsung sehingga mempercepat pengambilan keputusan pada proses produksi. Variabel yang dimonitor dalam sistem IoT ditampilkan pada Tabel 3.

Table 3. Variabel monitoring realtime berbasis IoT

No	Variabel Monitoring	Deskripsi
1	Jenis defect	Kategori <i>rework</i> yang terjadi
2	Workstation	Lokasi terjadinya defect
3	Waktu kejadian	Waktu aktual terjadinya defect
4	Jumlah defect	Kuantitas defect per kejadian
5	Status tindakan	Status tindak lanjut perbaikan
6	Tren <i>rework</i>	Peningkatan atau penurunan jumlah defect

Dalam penelitian ini, dashboard monitoring difokuskan pada workstation yang memiliki tingkat risiko tertinggi berdasarkan hasil analisis FMEA. Jenis failure mode dengan nilai Risk Priority Number (RPN) tertinggi dijadikan prioritas pengendalian sehingga proses monitoring lebih terarah pada area produksi yang memiliki potensi risiko terbesar.

Sistem monitoring realtime berbasis IoT [13] dirancang untuk meningkatkan visibilitas proses produksi dengan menyediakan informasi kondisi defect secara langsung kepada supervisor dan tim quality control. Melalui sistem ini, tindakan korektif dapat dilakukan lebih cepat ketika jumlah defect pada workstation tertentu melebihi batas toleransi yang telah ditentukan. Dengan demikian, monitoring realtime berbasis IoT diharapkan mampu mengurangi keterlambatan identifikasi masalah dan mendukung penurunan tingkat *rework* pada proses produksi. Untuk memperjelas mekanisme sistem, alur monitoring realtime berbasis IoT ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1 Alur monitoring realtime berbasis IoT

Dashboard defect monitoring dirancang tidak hanya sebagai media visualisasi data, tetapi juga sebagai sistem interaktif untuk mendukung pengambilan keputusan cepat. Dashboard menampilkan informasi jenis defect, jumlah defect, lokasi workstation, waktu kejadian, tren defect harian atau mingguan, serta status tindakan korektif. Pengguna dapat melakukan filter berdasarkan jenis defect, workstation, periode waktu, dan operator atau mesin tertentu. Fitur ini membantu supervisor produksi dan tim quality control untuk menelusuri sumber defect secara lebih cepat dan spesifik.

Selain visualisasi data, dashboard juga dilengkapi dengan sistem notifikasi alert berbasis batas toleransi defect. Apabila jumlah defect pada workstation tertentu melebihi batas yang telah ditentukan, sistem memberikan peringatan otomatis dalam bentuk indikator warna. Status hijau menunjukkan defect masih berada dalam batas terkendali, status kuning menunjukkan peningkatan defect yang perlu dipantau, sedangkan status merah menunjukkan kondisi kritis yang membutuhkan tindakan korektif segera. Dengan adanya notifikasi ini, tindakan preventif dapat dilakukan sebelum defect berkembang menjadi *rework* dalam jumlah besar.

Hasil Dan Pembahasan

Analisis FMEA dilakukan dengan memberikan nilai terhadap tiga parameter utama, yaitu Severity (S), Occurrence (O), dan Detection (D). Nilai S menunjukkan tingkat dampak kegagalan terhadap kualitas produk, nilai O menunjukkan tingkat frekuensi terjadinya kegagalan, sedangkan nilai D menunjukkan kemampuan sistem dalam mendeteksi kegagalan. Nilai Risk Priority Number (RPN) diperoleh dengan mengalikan ketiga parameter tersebut. Hasil perhitungan FMEA terhadap jenis *rework* pada proses produksi alas kaki PT YCS ditampilkan pada Tabel 4.

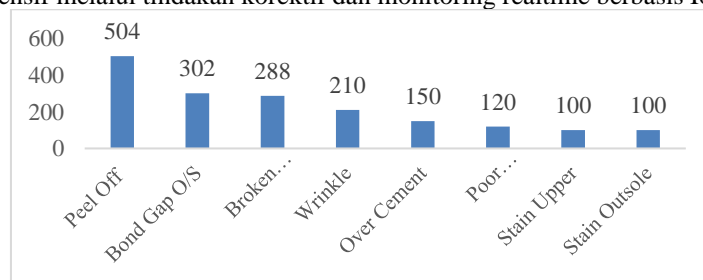
Table 4. Hasil perhitungan FMEA terhadap jenis *rework* pada proses produksi alas kaki PT YCS

No	Jenis Rework	Potensi Penyebab	Dampak Kegagalan	S	O	D	RPN	Prioritas
1	Peel Off	Lem kurang merata, tekanan press tidak stabil, waktu curing tidak sesuai	Produk gagal fungsi, outsole mudah terlepas	9	8	7	504	1

2	Bond Gap O/S	Proses bonding tidak sempurna, tekanan press kurang, permukaan outsole kurang bersih	Celah pada outsole dan penurunan kekuatan bonding	8	7	7	392	2
3	Broken Stitching	Tegangan benang tidak stabil, jarum aus, setting mesin tidak sesuai	Jahitan putus dan produk tidak memenuhi standar visual/fungsi	8	6	6	288	3
4	Wrinkle	Material tidak rata, proses lasting kurang stabil, handling kurang tepat	Tampilan upper tidak sesuai standar	7	6	5	210	4
5	Over Cement	Aplikasi lem berlebih, metode kerja tidak konsisten	Tampilan produk kotor dan perlu pembersihan ulang	6	5	5	150	5
6	Poor Trimming	Pisau trimming kurang tajam, operator kurang teliti	Sisa material tidak rapi	6	5	4	120	6
7	Stain Upper	Kontaminasi lem/kotoran saat proses handling	Noda pada upper dan penurunan kualitas visual	5	5	4	100	7
8	Stain Outsole	Area kerja kurang bersih, transfer kotoran pada outsole	Noda pada outsole	5	5	4	100	8
9	Collar Shape	Proses pembentukan collar tidak stabil	Bentuk collar tidak sesuai standar	6	4	4	96	9
10	Diff Toe Heel	Posisi upper dan outsole tidak sejajar	Ketidaksesuaian bentuk produk	6	4	4	96	10
11	Line Up	Kesalahan positioning saat assembly	Garis sambungan tidak sejajar	5	4	4	80	11
12	Rocking	Permukaan outsole tidak rata, pressing tidak stabil	Produk tidak stabil saat diletakkan	6	3	4	72	12
13	Stain Shoelace	Kontaminasi saat proses handling	Tali sepatu kotor	4	4	4	64	13
14	Open Throat	Setting upper tidak sesuai, proses assembly kurang presisi	Bukaan throat tidak sesuai spesifikasi	5	3	4	60	14
15	Over Buffing	Proses buffing berlebihan	Permukaan material terkikis	5	3	3	45	15
16	Damage Screen	Kesalahan proses printing/screening	Tampilan logo atau screen rusak	5	3	3	45	16
17	Pouching Tersumbat	Proses pounching/pembentukan kurang stabil	Bentuk tidak sesuai standar	4	3	3	36	17

Berdasarkan Tabel 4, hasil analisis FMEA menunjukkan bahwa tiga jenis rework dengan nilai Risk Priority Number (RPN) tertinggi adalah peel off sebesar 504, bond gap outsole sebesar 392, dan broken stitching sebesar 288. Ketiga jenis rework tersebut menjadi prioritas utama karena memiliki kombinasi nilai Severity, Occurrence, dan Detection yang tinggi. Peel off menjadi failure mode dengan tingkat risiko paling dominan karena berdampak langsung terhadap fungsi produk, khususnya kekuatan rekat antara upper dan outsole. Oleh karena itu, tindakan pengendalian perlu difokuskan terlebih dahulu pada proses bonding dan pressing.

Untuk memperjelas prioritas risiko, hasil FMEA divisualisasikan dalam bentuk diagram batang prioritas RPN sebagaimana ditampilkan pada Gambar 2. Diagram tersebut menunjukkan bahwa peel off memiliki nilai RPN tertinggi dibandingkan jenis defect lainnya, diikuti oleh bond gap outsole dan broken stitching. Hal ini menunjukkan bahwa area bonding, pressing, dan stitching merupakan workstation kritis yang memerlukan pengendalian lebih intensif melalui tindakan korektif dan monitoring realtime berbasis IoT.



Gambar 2. Diagram Prioritas RPN Jenis Rework pada Proses Produksi Alas Kaki PT YCS

Berdasarkan visualisasi prioritas RPN pada informasi diatas, terlihat bahwa nilai risiko tertinggi terkonsentrasi pada tiga jenis rework utama, yaitu peel off, bond gap outsole, dan broken stitching. Ketiga failure mode tersebut memiliki tingkat risiko yang lebih dominan dibandingkan jenis rework lainnya, sehingga perlu menjadi fokus utama dalam perencanaan tindakan perbaikan. Penentuan prioritas ini penting agar upaya pengendalian kualitas tidak dilakukan secara umum, tetapi diarahkan pada sumber kegagalan yang memberikan dampak paling besar terhadap kualitas produk dan efisiensi produksi.

Sebagai tindak lanjut dari hasil analisis FMEA, usulan perbaikan disusun berdasarkan urutan prioritas nilai RPN tertinggi. Usulan perbaikan difokuskan pada workstation kritis yang berhubungan langsung dengan penyebab utama rework, seperti bonding, pressing, outsole bonding, dan stitching. Selain itu, setiap tindakan perbaikan diarahkan untuk mendukung penerapan monitoring realtime berbasis IoT agar proses deteksi defect, pencatatan masalah, dan tindak lanjut korektif dapat dilakukan secara lebih cepat, terukur, dan berbasis data. Rincian usulan perbaikan berdasarkan prioritas FMEA ditampilkan pada Tabel 5.

Table 5. Usulan perbaikan berdasarkan prioritas FMEA

No	Jenis Rework Prioritas	RPN	Workstation Kritis	Usulan Perbaikan	Indikator Keberhasilan Kuantitatif
1	Peel Off	504	Bonding dan Pressing	<i>Monitoring</i> jumlah peel off secara <i>realtime</i> , pengecekan tekanan press, pengendalian waktu curing, dan standarisasi aplikasi lem	Peel off persentase turun dari 7,00% menjadi maksimal 3,00% per bulan; RPN turun minimal 40%; tindakan korektif dilakukan maksimal 1 jam setelah alert muncul
2	Bond Gap O/S	392	Outsole Bonding	<i>Monitoring defect bond gap</i> per workstation, pembersihan permukaan outsole, kontrol tekanan press, dan inspeksi bonding awal	Bond gap O/S turun dari 5,50% menjadi maksimal 2,50% per bulan; RPN turun minimal 35%; defect berulang pada workstation yang sama turun minimal 30%
3	Broken Stitching	288	Stitching	<i>Monitoring broken stitching</i> per operator/mesin, pengecekan tegangan benang, penggantian jarum berkala, dan standarisasi setting mesin	Broken stitching turun dari 4,00% menjadi maksimal 2,00% per bulan; RPN turun minimal 30%; ketidaksesuaian setting mesin turun minimal 25%
4	Wrinkle	210	Lasting	<i>Monitoring defect wrinkle</i> , pengendalian handling material, dan evaluasi proses lasting	Persentase wrinkle turun minimal 25% per bulan; tindakan korektif dicatat pada dashboard maksimal 1 shift kerja
5	Over Cement	150	Cementing	Monitoring penggunaan lem, pembatasan volume aplikasi, dan pengawasan metode kerja operator	Persentase over cement turun minimal 20% per bulan; penggunaan lem berlebih menurun berdasarkan hasil inspeksi harian

Sistem monitoring IoT memungkinkan data defect dari setiap workstation dicatat secara langsung dan ditampilkan pada dashboard. Informasi yang ditampilkan meliputi jenis defect, jumlah defect, lokasi workstation, tren defect, serta status tindakan korektif. Dengan adanya informasi realtime, supervisor produksi dan tim quality control dapat segera mengetahui jika terjadi peningkatan defect pada workstation tertentu.

Penerapan monitoring realtime berbasis IoT mendukung peningkatan visibilitas proses produksi dan mempercepat respons terhadap penyimpangan kualitas. Hal ini penting karena pada sistem monitoring manual, informasi defect sering kali terlambat diterima oleh supervisor sehingga tindakan korektif baru dilakukan setelah jumlah rework meningkat. Dengan dashboard monitoring, tindakan perbaikan dapat dilakukan lebih cepat pada sumber masalah. Penerapan IoT dalam sistem manufaktur mampu meningkatkan visibilitas proses, mempercepat pengambilan keputusan, dan mendukung peningkatan efisiensi produksi.

Setelah dilakukan pengendalian proses berdasarkan prioritas FMEA dan penerapan monitoring realtime berbasis IoT pada workstation kritis, tingkat rework ditargetkan menurun dari 39% menjadi 15%. Perbandingan kondisi sebelum dan sesudah perbaikan ditampilkan pada Tabel 6.

Table 6. Perbandingan rework sebelum dan sesudah perbaikan

Indikator	Sebelum Perbaikan	Sesudah Perbaikan
Total Output	30.000 pasang	30.000 pasang
Persentase Rework	39,00%	15,00%
Jumlah Rework	11.700 pasang	4.500 pasang
Output Baik	18.300 pasang	25.500 pasang
Efisiensi Produksi	61,00%	85,00%

Persentase penurunan rework dihitung sebagai berikut:

$$RP = \frac{PR_{Awal} - PR_{Akhir}}{PR_{Awal}} \times 100\%$$

$$RP = \frac{39 - 15}{39} \times 100\% = 61,54\%$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, tingkat rework mengalami penurunan sebesar 61,54%. Jumlah rework menurun dari 11.700 pasang menjadi 4.500 pasang, sehingga terdapat pengurangan rework sebesar 7.200 pasang. Selain itu, output baik meningkat dari 18.300 pasang menjadi 25.500 pasang. Dengan demikian, efisiensi produksi meningkat dari 61,00% menjadi 85,00%.

Untuk memperkuat validasi hasil perbaikan, penelitian ini menambahkan analisis control chart, khususnya p-chart, karena data yang dianalisis berbentuk proporsi rework terhadap total output produksi. P-chart digunakan untuk melihat apakah penurunan tingkat rework dari 39% menjadi 15% menunjukkan kondisi proses yang lebih terkendali setelah penerapan Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) dan monitoring realtime berbasis Internet of Things (IoT).

Perhitungan batas kendali pada p-chart dilakukan berdasarkan proporsi rework sebelum dan sesudah perbaikan. Data yang digunakan adalah jumlah rework sebelum perbaikan sebesar 11.700 pasang dari total output 30.000 pasang, serta jumlah rework sesudah perbaikan sebesar 4.500 pasang dari total output 30.000 pasang. Dengan demikian, total jumlah rework adalah 16.200 pasang dari total output gabungan sebesar 60.000 pasang.

Proporsi rata-rata rework atau center line (CL) dihitung sebagai berikut:

$$CL(\bar{p}) = \frac{Total\ Rework}{Total\ Output}$$

$$CL = \frac{16200}{60000}$$

$$CL = 0,270\ \text{atau}\ 27\%$$

Selanjutnya, standar deviasi proporsi dihitung menggunakan rumus:

$$\sigma_p = \frac{\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})}}{n}$$

$$\sigma_p = \frac{\sqrt{0,270(1-0,270)}}{30000}$$

$$\sigma_p = 0,00256$$

Batas kendali atas atau Upper Control Limit (UCL) dihitung sebagai berikut:

$$UCL = \bar{p} + 3\sigma_p$$

$$UCL = 0,270 + 3(0,00256)$$

$$UCL = 0,27768\ \text{atau}\ 27,77\%$$

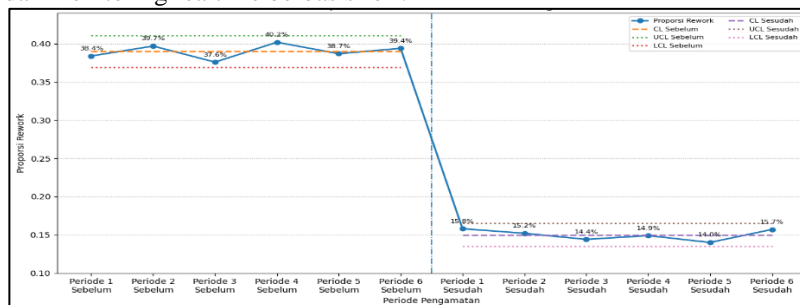
Batas kendali bawah atau Lower Control Limit (LCL) dihitung sebagai berikut:

$$LCL = \bar{p} - 3\sigma_p$$

$$LCL = 0,270 - 3(0,00256)$$

$$LCL = 0,26232\ \text{atau}\ 26,23\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, diperoleh nilai *center line* (CL) sebesar 27,00%, *Upper Control Limit* (UCL) sebesar 27,77%, dan *Lower Control Limit* (LCL) sebesar 26,23%. Proporsi rework sebelum perbaikan sebesar 39,00% berada di atas batas kendali atas, sehingga menunjukkan bahwa kondisi proses sebelum perbaikan belum terkendali. Sementara itu, proporsi rework sesudah perbaikan sebesar 15,00% berada jauh di bawah batas kendali bawah, yang menunjukkan adanya perubahan proses yang signifikan setelah penerapan FMEA dan monitoring realtime berbasis IoT.



Gambar 3. P-Chart Proporsi Rework Sebelum dan Sesudah Penerapan FMEA dan Monitoring Realtime Berbasis IoT

Hasil ini menunjukkan bahwa tindakan perbaikan yang diterapkan pada workstation kritis memberikan dampak nyata terhadap penurunan rework. Dengan demikian, p-chart memperkuat hasil evaluasi bahwa integrasi FMEA dan monitoring realtime berbasis IoT tidak hanya menurunkan rework secara deskriptif, tetapi juga menunjukkan adanya pergeseran kondisi proses ke arah yang lebih baik.

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian, integrasi Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) dan monitoring realtime berbasis Internet of Things (IoT) terbukti mampu mendukung pengendalian rework pada proses produksi alas kaki PT YCS. Hasil FMEA menunjukkan bahwa failure mode prioritas adalah peel off dengan RPN sebesar 504, bond gap outsole sebesar 392, dan broken stitching sebesar 288. Ketiga failure mode tersebut menjadi fokus perbaikan karena memiliki dampak tinggi terhadap kualitas produk, frekuensi kejadian yang relatif tinggi, serta kemampuan deteksi yang belum optimal.

Penerapan dashboard monitoring realtime berbasis IoT meningkatkan visibilitas proses melalui penyajian data jenis defect, jumlah defect, lokasi workstation, tren defect, dan status tindakan korektif secara langsung. Sistem ini juga mendukung notifikasi alert ketika defect melebihi batas toleransi sehingga supervisor dan tim quality control dapat melakukan tindakan korektif lebih cepat. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa tingkat rework menurun dari 39% menjadi 15% atau sebesar 61,54%, sedangkan efisiensi produksi meningkat dari 61% menjadi 85%. Dengan demikian, pendekatan terintegrasi FMEA dan IoT memberikan kontribusi praktis bagi PT YCS dalam menurunkan rework, meningkatkan efisiensi produksi, serta memperkuat pengambilan keputusan berbasis data pada workstation kritis.

Daftar Pustaka

- [1] J. Komaling, S. E. M. Wullur, I. D. Palandeng, and ..., *Lean Six Sigma Healthcare: Powerful Tool's In An Era Of Uncertainty*. books.google.com, 2025. [Online]. Available: <https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=4hyEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA29&dq=failure+mode+and+effect+analysis+fmea++internet+of+things+iot++pengendalian+rework+efisiensi+produksi+monitoring+realtime+quality&ots=g1BAzSgnG6&sig=7eli4xu0I6uIT3BEHew1iITxiTc>
- [2] I. V Abma and M. B. A. ST, *Professional Building Management*. books.google.com, 2025. [Online]. Available: https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=n26PEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT8&dq=failure+mode+and+effect+analysis+fmea++internet+of+things+iot++pengendalian+rework+efisiensi+produksi+monitoring+realtime+quality&ots=mIIO2_T9kQ&sig=KWjWtfbwAUgyuF6Ji0th10TwSKk
- [3] S. Dwikusuma, *Analisis Penyebab Ketidaksesuaian Data Proses Opname Stok Alat Pelindung Diri (APD) Pada Data Sistem dengan Data Aktual menggunakan Metode DMAIC (Studi* dspace.uii.ac.id, 2025. [Online]. Available: <https://dspace.uii.ac.id/handle/123456789/62199>
- [4] M. A. Agustian and S. S. Dahdah, "Pengembangan Model Persediaan Single Vendor Multi Buyer Dengan Kebijakan Rework," *SITEKIN J. Sains ...*, 2022, [Online]. Available: <https://ejournal.uin-suska.ac.id/index.php/sitekin/article/view/17271>
- [5] S. A. Danik, S. Sukmawati, and ..., "Analisis Pengendalian Kualitas Mesin Buffering Di Pt. Communication Cable Systems Indonesia Menggunakan Metode SPC DAN FMEA," *J. Ilm. Tek. ...*, 2025, [Online]. Available: <http://taguchi.lppmbinabangsa.id/index.php/home/article/view/299>
- [6] O. C. Zebulon and K. H. Widodo, "Analisis dan Mitigasi Risiko Rantai Pasokan Pabrik Kelapa Sawit PT Ivo Mas Tunggal," 2025, *etd.repository.ugm.ac.id*. [Online]. Available: https://etd.repository.ugm.ac.id/home/detail_pencarian_downloadfiles/1534542
- [7] D. H. Nugroho, M. Zaman, and M. Zamhari, *Manajemen Industri (ISO/TQC)*. books.google.com, 2024. [Online]. Available: https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=J75HEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=failure+mode+and+effect+analysis+fmea++internet+of+things+iot++pengendalian+rework+efisiensi+produksi+monitoring+realtime+quality&ots=y9xJXEIxmB&sig=3T_CVO0XW0goMi178N9RkMe7GdA
- [8] J. O. Omisola, J. O. Shiyabola, and G. O. Osho, "A predictive quality assurance model using Lean Six Sigma: integrating FMEA, SPC, and root cause analysis for zero-defect production systems," 2020. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Joseph-Shiyabola/publication/392027371_A_Predictive_Quality_Assurance_Model_Using_Lean_Six_Sigma_Integrating_FMEA_SPC_and_Root_Cause_Analysis_for_Zero-Defect_Production_Systems/links/6830e18fdf0e3f544f586673/A-Predictive-Quality-Assurance-Model-

- Using-Lean-Six-Sigma-Integrating-FMEA-SPC-and-Root-Cause-Analysis-for-Zero-Defect-Production-Systems.pdf
- [9] M. E. Fairuz, E. N. Firdaus, and D. L. Haryadi, "Analisis Strategi Pengembangan Real Time Oee Iot Pada Perusahaan Manufaktur Otomotif Menggunakan Pendekatan SWOT" [Online]. Available: <https://journal.stiemb.ac.id/index.php/mea/article/download/6615/2700>
- [10] A. Saputra, S. Rahayu, and H. Windyatri, "Analisis Peningkatan Overall Equipment Effectiveness (OEE) Mesin Surface Mount Technology (SMT) Melalui Failure Mode And Effect Analysis (FMEA)," *J. Teknol. Dan ...*, 2025, [Online]. Available: <https://jurnal-tmit.com/index.php/home/article/view/788>
- [11] P. T. F. Makmur, "Pengendalian Kualitas Produk Tepung Tapioka Untuk Mengurangi Cacat Produk Dengan Metode Six Sigma Pada PT. Florindo Makmur," 2025, *senadimu.potensi-utama.org*. [Online]. Available: <https://senadimu.potensi-utama.org/index.php/home/article/view/527>
- [12] Z. Matdoan and A. W. Matdoan, "Integrasi teknologi Internet of Things (IoT) dalam sistem pengendalian kualitas proses produksi: Studi kasus pada industri tekstil," *Reliab. J. Ind. ...*, 2025, [Online]. Available: <https://journals.arcstics.id/reliability/article/view/2>
- [13] D. D. Rochman, A. M. Suyono, A. Anwar, and R. Ferdian, *Lean Dan Six Sigma: Apakah Mereka Sudah Usang Di Dunia Industri 4.0?* books.google.com, 2024. [Online]. Available: <https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=7t7rEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=failure+mode+and+effect+analysis+fmea++internet+of+things+iot++pengendalian+rework+efisiensi+produksi+monitoring+realtime+quality&ots=tORJjjYjNo&sig=TwIZ5ManAfjaF5YdYx3TH9NZ0hg>
- [14] E. A. Budianti and R. Rizal, "Analisis_Risiko_Keselamatan_Dan_Kesehatan_Kerja_Ma," *Anal. Risiko Keselam. dan Kesehat. Kerja*, vol. 11, no. 1, pp. 93–96, 2015.
- [15] S. Kavuri, "Data-Driven QA: Leveraging Metrics, Dashboards, and Analytics for Smarter Decision-Making in Software Testing," 2024, *researchgate.net*. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Srikanth-Kavuri-2/publication/398712040_Data-Driven_QA_Leveraging_Metrics_Dashboards_and_Analytics_for_Smarter_Decision-Making_in_Software_Testing/links/69409c40a1fd017989081af2/Data-Driven-QA-Leveraging-Metrics-Dashboards-and-Analytics-for-Smarter-Decision-Making-in-Software-Testing.pdf
- [16] F. Alves, H. Badikyan, H. J. A. Moreira, and ..., "Deployment of a smart and predictive maintenance system in an industrial case study," 2020 *IEEE 29th ...*, 2020, [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9152441/>
- [17] P. Rediske, "Performance Monitoring Dashboard," ... *XXX IJCIEOM, Salvador. Brazil, June 26–28 ...*, 2025, [Online]. Available: https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=qehPEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA489&dq=dashboard+defect+monitoring&ots=gMzbeQaR7z&sig=cyH0v_Ud1fuY9eQM-QTGwKIJvnM
- [18] S. Ergasheva, V. Ivanov, I. Khomyakov, A. Kruglov, and ..., "InnoMetrics dashboard: The design, and implementation of the adaptable dashboard for energy-efficient applications using open source tools," ... *Conf. Open ...*, 2020, doi: 10.1007/978-3-030-47240-5_16.
- [19] O. Akinboboye, E. Afrihyia, D. Frempong, and ..., "A risk management framework for early defect detection and resolution in technology development projects," 2021, *researchgate.net*. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Olasehinde-Omolayo/publication/393855450_A_Risk_Management_Framework_for_Early_Defect_Detection_and_Resolution_in_Technology_Development_Projects/links/68b6e53eca495d769831f7ef/A-Risk-Management-Framework-for-Early-Defect-Detection-and-Resolution-in-Technology-Development-Projects.pdf
- [20] J. Giner, D. Katic, K. Kovacs, R. Glawar, and W. Sihn, "A computer vision based approach to reduce system downtimes in an automated high-rack logistics warehouse," *Procedia CIRP*, 2023, [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827123004122>