

# Analisis Kecacatan Tiang Teras Menggunakan Metode *Fault Tree Analysis* Dan *Failure Mode And Effect Analysis*

(*Studi Kasus: UD Pulo Beton Jombang*)

**Marisa Tri Indra Nayu Aini Kurnila<sup>1</sup>, Rr. Rochmoeljati<sup>2</sup>**

<sup>1,2)</sup> Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jatim  
Jl. Raya Rungkut Madya No. 1 Surabaya  
Email: [2003201001@student.upnjatim.ac.id](mailto:2003201001@student.upnjatim.ac.id)

## ABSTRAK

Kualitas produk merupakan faktor penting dalam menjaga daya saing perusahaan, terutama pada industri manufaktur beton seperti UD Pulo Beton Jombang yang memproduksi berbagai komponen bangunan. Permasalahan utama yang dihadapi perusahaan ini adalah tingginya tingkat kecacatan produk pada tiang teras, dengan jenis cacat meliputi pecah, retak, tidak siku, dan keropos. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis akar penyebab cacat dan memberikan rekomendasi perbaikan menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) dan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Data yang digunakan merupakan data historis produksi periode Maret 2024–Februari 2025. Hasil analisis menunjukkan bahwa cacat dominan adalah *tidak siku* dengan jumlah 674 unit atau 40,87% dari total kecacatan 1649 unit. Nilai *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi sebesar 306 juga terdapat pada cacat tidak siku, yang dipengaruhi oleh kurangnya ketelitian karyawan, kerusakan cetakan, dan kualitas material yang rendah. Rekomendasi perbaikan mencakup pelatihan prosedur pencampuran dan pemasangan penguat, penerapan SOP pencampuran, inspeksi rutin bahan baku, serta perawatan cetakan dan mesin secara berkala. Implementasi rekomendasi ini diharapkan mampu menekan tingkat kecacatan dan meningkatkan kualitas produk tiang teras UD Pulo Beton.

**Kata kunci:** Pengendalian kualitas, *Fault Tree Analysis* (FTA), *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), *Risk Priority Number* (RPN).

## ABSTRACT

Product quality is a crucial factor in maintaining a company's competitiveness, particularly in the concrete manufacturing industry, such as UD Pulo Beton Jombang, which produces various building components. The main problem faced by this company is the high level of product defects in terrace pillars, with types of defects including breaks, cracks, misalignments, and cavities. This study aims to analyze the root causes of defects and provide improvement recommendations using the *Fault Tree Analysis* (FTA) and *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) methods. The data used are historical production data for the period March 2024–February 2025. The analysis results show that the dominant defect is misalignments with a total of 674 units or 40.87% of the total defects of 1,649 units. The highest *Risk Priority Number* (RPN) value of 306 is also found in misalignments, which are influenced by a lack of employee accuracy, mold damage, and low material quality. Improvement recommendations include training on mixing and reinforcement installation procedures, implementation of mixing SOPs, routine inspection of raw materials, and regular maintenance of molds and machines. The implementation of these recommendations is expected to reduce the level of defects and improve the quality of UD Pulo Beton's terrace pillar products.

**Keywords:** Quality control, *Fault Tree Analysis* (FTA), *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), *Risk Priority Number* (RPN).

## Pendahuluan

Perkembangan industri beton pracetak di Indonesia semakin meningkat seiring tingginya kebutuhan material bangunan. Salah satu komponen yang banyak digunakan adalah tiang teras, yang berfungsi sebagai elemen struktural sekaligus estetika. Dalam industri manufaktur, kualitas produk menjadi indikator penting untuk menjaga daya saing perusahaan serta kepuasan pelanggan[1], [2], [3], [4]

UD Pulo Beton Jombang merupakan produsen beton pracetak yang memproduksi tiang teras, risplang, dan ornamen dindi ng. Namun, data produksi periode Maret 2024–Februari 2025 menunjukkan bahwa tingkat kecacatan tiang teras mencapai **3,64%**, melebihi standar perusahaan yaitu **1%**. Jenis cacat yang paling dominan

adalah *tidak siku* dengan persentase 40,87%. Kondisi ini mengindikasikan adanya permasalahan kualitas yang perlu dianalisis secara sistematis.

Untuk meningkatkan mutu produksi, perusahaan perlu menerapkan pendekatan pengendalian kualitas yang mampu mengidentifikasi akar penyebab kegagalan secara sistematis. *Metode Fault Tree Analysis* (FTA) merupakan salah satu pendekatan analitis yang efektif dalam menelusuri penyebab utama kecacatan dengan pendekatan logika sebab-akibat (*top down*). Sementara itu, metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) digunakan untuk mengevaluasi risiko setiap mode kegagalan dengan menghitung nilai *Risk Priority Number* (RPN) berdasarkan tiga faktor utama, yaitu *severity*, *occurrence*, dan *detection* [5], [6], [7].

Berdasarkan studi terdahulu [8] metode FTA dan FMEA telah banyak digunakan untuk menganalisis kecacatan produk di industri manufaktur. Namun, **belum terdapat penelitian yang secara spesifik mengkaji kecacatan tiang teras pada industri beton pracetak skala UMKM seperti UD Pulo Beton**, terutama yang mengombinasikan analisis akar masalah FTA dan penentuan prioritas risiko FMEA secara simultan. Selain itu, penelitian sebelumnya lebih banyak menyoroti cacat struktural pada produk beton umum, belum pada cacat geometri seperti ketidaksikuan cetakan.

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. **Mengidentifikasi akar penyebab kecacatan tiang teras** menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA).
2. **Mengukur tingkat risiko setiap jenis cacat** menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA).
3. **Memberikan rekomendasi perbaikan yang terprioritaskan** berdasarkan nilai *Risk Priority Number* (RPN).

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi rujukan dalam peningkatan sistem pengendalian kualitas di UD Pulo Beton maupun industri beton pracetak lainnya.

## Metode Penelitian

### 1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di UD Pulo Beton Jombang, yang berlokasi di Jl. Kapten Pierre Tendean, RT/RW 02/03, Kecamatan Jombang, Kabupaten Jombang, Jawa Timur. Objek penelitian difokuskan pada proses produksi tiang teras beton. Pengumpulan data dilakukan selama bulan Mei 2025, dengan memanfaatkan data historis produksi periode Maret 2024 hingga Februari 2025 sebagai sumber utama analisis.

### 2. Jenis dan Sumber Data

Penelitian ini menggunakan dua jenis data, yaitu data primer dan data sekunder.

1. Data primer diperoleh melalui observasi langsung terhadap proses produksi dan wawancara dengan pihak manajemen serta karyawan bagian produksi.
2. Data sekunder diperoleh dari dokumen perusahaan berupa laporan produksi tahunan, data kecacatan produk, serta catatan inspeksi mutu.

Kombinasi kedua sumber data ini digunakan untuk memastikan hasil analisis bersifat valid dan komprehensif [9], [10], [10].

### 3. Variabel Penelitian

Penelitian ini menggunakan dua variabel utama, yaitu:

1. Variabel terikat (Dependent variable): tingkat kecacatan tiang teras.
2. Variabel bebas (Independent variable): faktor-faktor penyebab kecacatan meliputi bahan baku (*material*), mesin (*machine*), metode kerja (*method*), tenaga kerja (*man*), pengukuran (*measurement*), dan lingkungan kerja (*environment*) [10], [11], [11].

### 4. Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data dilakukan melalui tiga tahapan:

1. Observasi langsung di area produksi untuk mengidentifikasi jenis cacat dan penyebabnya.
2. Wawancara terstruktur dengan karyawan bagian produksi dan pengendalian mutu.
3. Dokumentasi data sekunder berupa rekап jumlah produksi dan cacat per bulan.

Pendekatan kombinasi ini diterapkan untuk memperoleh gambaran faktual proses produksi dan jenis kecacatan yang terjadi [11], [12], [13].

### 5. Metode Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan dua metode utama, yaitu *Fault Tree Analysis* (FTA) dan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA).

#### a. Fault Tree Analysis (FTA)

FTA digunakan untuk mengidentifikasi akar penyebab utama dari suatu kecacatan melalui pendekatan top-down berbasis logika sebab-akibat. Tahapan penerapan FTA meliputi:

1. Identifikasi *top event* (jenis cacat utama yang diamati).

2. Penentuan *basic event* atau penyebab dasar kecacatan.
3. Penyusunan diagram *fault tree* menggunakan gerbang logika AND dan OR.
4. Perhitungan probabilitas kegagalan (PF) dengan rumus:

$$PF = \frac{F}{S}$$

dengan  $F$  adalah jumlah produk cacat dan  $S$  adalah total produksi Clemens, 2002 dalam [2]. FTA digunakan untuk memetakan hubungan antarpenyebab dan menentukan titik kritis dalam sistem produksi.

b. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

FMEA digunakan untuk menentukan prioritas perbaikan berdasarkan nilai Risk Priority Number (RPN). Nilai RPN diperoleh dari hasil perkalian antara tiga komponen utama, yaitu severity (S), occurrence (O), dan detection (D) [9], [14], [15].

$$RPN = S \times O \times D$$

Kriteria penilaian RPN mengacu pada skala Gasperz (2002), di mana nilai tertinggi menunjukkan prioritas utama untuk dilakukan perbaikan. Proses FMEA dalam penelitian ini meliputi langkah-langkah[16]:

1. Identifikasi mode kegagalan pada setiap tahapan proses produksi.
2. Penentuan skor S, O, dan D berdasarkan hasil observasi dan wawancara.
3. Perhitungan nilai RPN setiap jenis cacat.
4. Penentuan urutan prioritas perbaikan berdasarkan nilai RPN tertinggi.

6. Tahapan Penelitian

Langkah-langkah pelaksanaan penelitian secara sistematis adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur terkait pengendalian kualitas produk beton dan metode FTA–FMEA.
2. Pengumpulan data primer dan sekunder dari perusahaan.
3. Identifikasi jenis dan penyebab kecacatan produk.
4. Analisis menggunakan metode FTA untuk menemukan akar penyebab.
5. Perhitungan nilai RPN menggunakan metode FMEA.
6. Penyusunan rekomendasi perbaikan berdasarkan hasil analisis kedua metode.

Dengan metode ini, penelitian diharapkan mampu memberikan hasil analisis yang akurat untuk mendukung peningkatan mutu dan efisiensi proses produksi [17].

## Hasil Dan Pembahasan

### 1. Data Produksi dan Kecacatan Tiang Teras

Penelitian dilakukan pada proses produksi tiang teras di UD Pulo Beton Jombang dengan menggunakan data historis periode Maret 2024–Februari 2025. Berdasarkan hasil rekapitulasi, total produksi selama satu tahun mencapai 45.270 unit dengan total produk cacat sebanyak 1.649 unit. Tingkat cacat keseluruhan sebesar 3,64%, melebihi target perusahaan yaitu 1%. Jenis kecacatan yang ditemukan meliputi cacat pecah, retak, tidak siku, dan keropos, dengan rincian ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Jenis Kecacatan Tiang Teras di UD Pulo Beton Jombang.

Jenis Cacat	Jumlah (unit)	Persentase (%)
Pecah	410	24,86
Retak	311	18,86
Tidak Siku	674	40,87
Keropos	254	15,41
<b>Total</b>	<b>1.649</b>	<b>100</b>

Dari tabel tersebut terlihat bahwa cacat tidak siku merupakan jenis kecacatan tertinggi dengan kontribusi 40,87% dari total cacat. Hal ini menunjukkan adanya ketidaksempurnaan pada proses pencetakan dan pemasangan penguat yang menjadi faktor dominan penyebab cacat [12], [18], [19], [20].

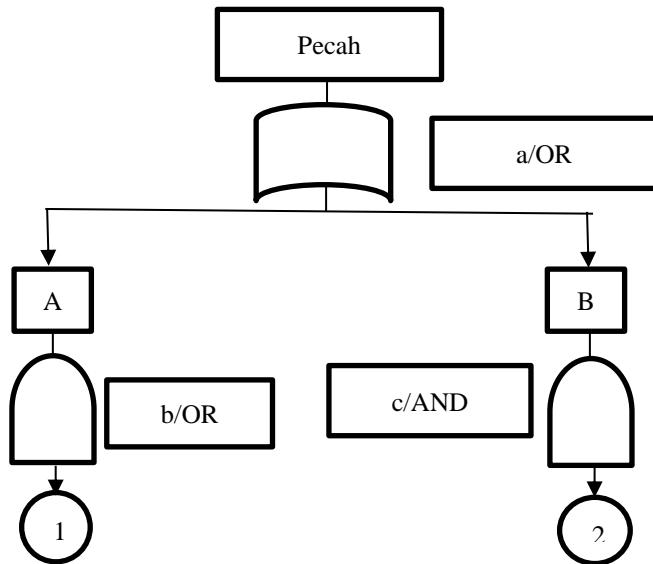
### 2. Analisis Fault Tree Analysis (FTA)

Metode Fault Tree Analysis (FTA) digunakan untuk mengidentifikasi akar penyebab cacat utama yaitu *cacat tidak siku*. Berdasarkan hasil observasi dan wawancara, diperoleh tiga penyebab utama yang menjadi basic event, yaitu:

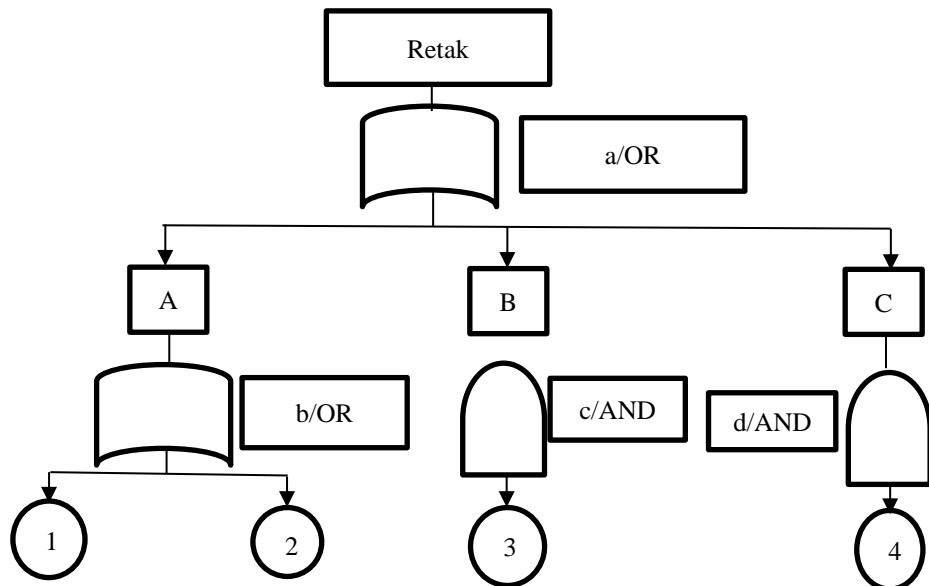
1. Kesalahan manusia (human error) akibat kurangnya ketelitian operator dalam pemasangan cetakan dan penguat.
2. Kerusakan cetakan (machine failure) yang mengakibatkan bentuk tiang tidak sesuai dimensi standar.
3. Kualitas bahan baku rendah (material defect) seperti penggunaan semen dengan mutu tidak seragam.

Struktur *fault tree* menunjukkan bahwa kombinasi antara faktor manusia, mesin, dan material berkontribusi terhadap terjadinya *top event* berupa tiang tidak siku. Analisis ini memperkuat hasil penelitian sebelumnya bahwa

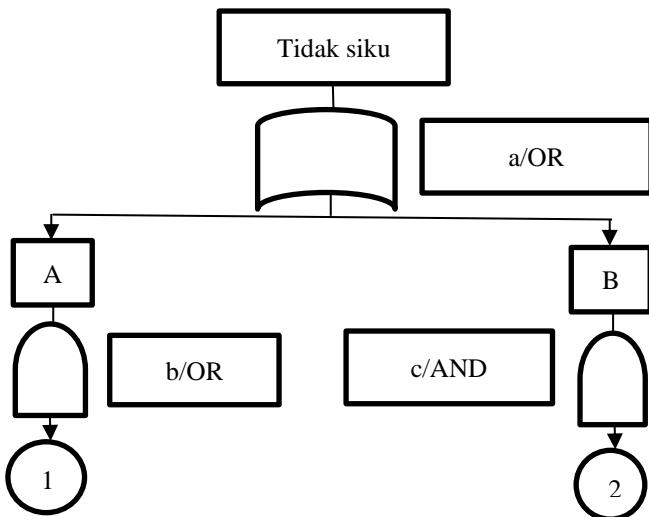
ketidaksesuaian proses dan kondisi mesin merupakan penyebab utama cacat pada industri beton pracetak [21], [22], [23], [24].



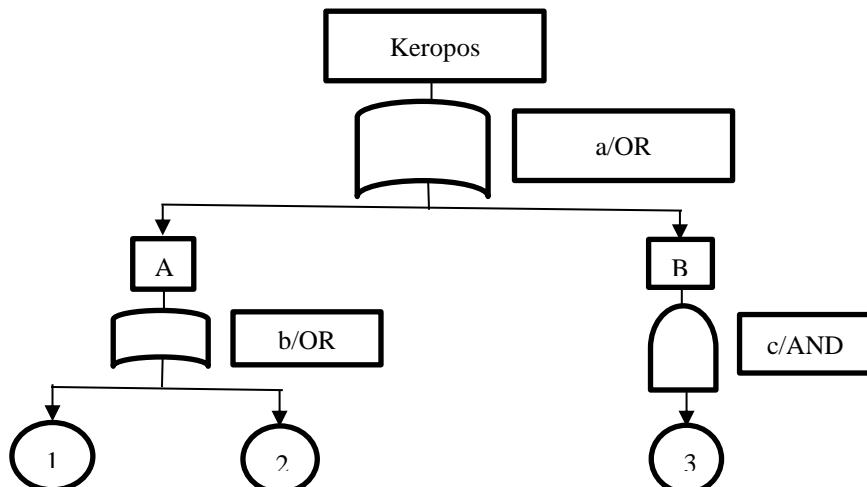
Gambar 1. Cut Set Cacat Pecah



Gambar 2. Cut Set Cacat Retak



**Gambar 3.** Cut Set Cacat Tidak Siku



**Gambar 4.** Cut Set Cacat Keropos

Perhitungan probabilitas kegagalan ( $PF$ ) berdasarkan data produksi dilakukan menggunakan rumus:

$$PF = \frac{F}{S} = \frac{1649}{45270} = 0,0364$$

Artinya, peluang terjadinya cacat tiang teras adalah **3,64%**. Nilai ini menunjukkan bahwa tingkat kecacatan masih berada di atas batas toleransi perusahaan.

### 3. Analisis Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Setelah dilakukan identifikasi akar penyebab melalui FTA, tahap selanjutnya adalah menghitung tingkat risiko menggunakan metode FMEA. Setiap jenis cacat dievaluasi berdasarkan tiga parameter, yaitu severity (S), occurrence (O), dan detection (D), untuk menghasilkan nilai Risk Priority Number (RPN).

**Tabel 2.** Nilai RPN Kecacatan Tiang Teras

Jenis Cacat	S	Justifikasi S	O	Justifikasi O	D	Justifikasi D	RPN
Pecah	7	Kerusakan bersifat struktural dan dapat mengurangi kekuatan tiang.	6	Frekuensi kejadian cukup sering berdasarkan data historis.	4	Cacat dapat terdeteksi tetapi sering lolos karena pengecekan visual tidak detail.	168
Retak	6	Retak ringan tidak sepenuhnya merusak fungsi, tetapi memengaruhi estetika.	5	Kejadian moderat, masih dalam rentang menengah.	4	Retak halus kadang tidak terlihat pada kondisi basah.	120

Jenis Cacat	S	Justifikasi S	O	Justifikasi O	D	Justifikasi D	RPN
Tidak Siku	9	Mengganggu fungsi struktur dan sangat memengaruhi pemasangan.	7	Frekuensi paling tinggi dari semua jenis cacat.	5	Deteksi sulit jika tidak menggunakan alat ukur sudut.	315
Keropos	5	Keropos minor masih dapat diperbaiki, tidak mengganggu struktur utama.	4	Kejadian rendah dibanding cacat lain.	4	Dapat dideteksi visual namun sering luput saat proses pengeringan.	80

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa **cacat tidak siku** memiliki nilai RPN tertinggi yaitu **315**, yang berarti jenis cacat ini memiliki risiko paling besar terhadap kualitas produk. Nilai tinggi pada faktor *severity* dan *occurrence* menandakan dampak signifikan terhadap fungsi produk serta tingginya frekuensi kejadian di lapangan [14], [25], [26], [27].

#### Interpretasi Nilai RPN Secara Menyeluruh

Setelah mendapatkan nilai S, O, dan D, ketiganya dikalikan untuk menghasilkan RPN.

Contoh pada cacat **tidak siku**:

$$RPN = 9 \times 7 \times 5 = 315$$

Nilai **315** termasuk kategori **sangat tinggi** (critical risk), karena:

- dampak sangat serius (S tinggi),
- terjadi sangat sering (O tinggi),
- sulit terdeteksi (D menengah ke tinggi).

Dengan demikian:

RPN tidak hanya menunjukkan bahwa cacat itu penting, tetapi juga menunjukkan bahwa sistem produksi **dan** sistem inspeksi sama-sama memiliki kelemahan.

Hasil ini sejalan dengan temuan pada penelitian serupa oleh [28] yang menyatakan bahwa kombinasi antara faktor manusia dan mesin sering menjadi penyebab dominan kegagalan produksi, terutama pada industri dengan proses pencetakan presisi.

#### 4. Pembahasan Hasil Analisis

##### A. Analisis Dominasi Cacat Berdasarkan Data Produksi

Data historis menunjukkan bahwa dari total 1.649 cacat, jenis cacat **tidak siku** menyumbang **674 unit (40,87%)**, lebih tinggi dibanding cacat pecah (24,86%), retak (18,86%), maupun keropos (15,41%).

Dominasi cacat tidak siku mengindikasikan:

- ketidakstabilan dimensi geometris pada proses pencetakan,
- adanya masalah fundamental dalam **interaksi antara faktor manusia, mesin, dan metode kerja**.

Tingginya variasi geometri menunjukkan bahwa sumber kecacatan bukan bersifat acak, tetapi sistemik.

##### B. Analisis Akar Penyebab Menggunakan FTA

FTA memetakan *top event* "Tidak Siku" menjadi tiga *basic event* utama:

###### (1) Human Error

Operator diketahui tidak melakukan penyetelan ulang posisi cetakan sebelum pengecoran, sehingga menyebabkan deviasi geometri. Kesalahan ini tidak terjadi secara insidental, tetapi berulang, yang dibuktikan oleh nilai occurrence pada FMEA sebesar **7**, tertinggi di antara semua kecacatan.

Ini berarti pola kerja operator menjadi kontributor utama, bukan hanya kesalahan individu.

###### (2) Kerusakan Cetakan (Machine Failure)

Hasil observasi menunjukkan beberapa cetakan memiliki deformasi pada sudut dan engsel pengunci. Ketika cetakan tidak sepenuhnya simetris, hasil produk akan sistematis mengalami penyimpangan sudut, sesuai temuan FTA. Ini dibuktikan dengan:

- bentuk cacat tidak siku bersifat **konsisten**,
- muncul pada batch produksi **yang menggunakan cetakan tertentu**.

Ini menandakan bahwa mesin/cetakan berperan dalam menghasilkan cacat **berpolia**, bukan acak.

###### (3) Material Buruk (Material Defect)

Ketidakstabilan komposisi campuran (rasio air–semen–agregat) menyebabkan elemen struktur tidak mengeras secara merata, sehingga saat dilepas dari cetakan, tiang dapat melengkung atau tidak lurus.

Indikasi teknis:

- variasi workability (kelecahan) memengaruhi ketstabilitan bentuk segar,
- titik lendutan muncul pada bagian tengah tiang.

FTA mengonfirmasi bahwa **ketidakstabilan material memperparah efek kesalahan operator dan cacat cetakan**.

### C. Validasi FTA melalui FMEA: Mengapa “Tidak Siku” Mendapat RPN Tertinggi

Cacat tidak siku memperoleh nilai RPN = **315**, tertinggi dibanding cacat lain.

Nilai ini berasal dari:

**Tabel 3.** Penjelasan Teknis SOD

Faktor	Nilai	Penjelasan Teknis
Severity	9	Ketidaksesuaian sudut mengganggu fungsi pemasangan struktur; produk tidak dapat dipakai pada sambungan presisi.
Occurrence	7	Frekuensi tertinggi, menunjukkan bahwa penyebab bersifat sistemik, bukan acak.
Detection	5	Kesalahan sudut sering tidak terdeteksi saat beton masih basah karena pengukuran menggunakan metode visual, bukan alat ukur sudut.

#### Interpretasi analitis:

Perpaduan nilai severity–occurrence yang tinggi menunjukkan bahwa penyimpangan sudut terjadi *berulang* dan memiliki *dampak struktural paling kritis*.

Nilai detection yang menengah ke tinggi menunjukkan kelemahan pada sistem inspeksi. Dengan demikian, **FMEA memvalidasi FTA** bahwa akar penyebab yang melibatkan operator, cetakan, dan material saling memperkuat, menghasilkan risiko besar dan berulang.

### D. Analisis Teknis Penyebab Dominasi Cacat Tidak Siku

Hasil integrasi FTA–FMEA menunjukkan pola hubungan berikut:

#### a. Human Error + Cetakan Rusak → Cacat Sudut Konsisten

Jika operator tidak menyesuaikan cetakan, dan cetakan sudah mengalami deformasi, maka seluruh tiang yang dicetak akan memiliki penyimpangan sudut dengan besaran hampir sama.

Ini terbukti dari:

- bentuk cacat yang cenderung identik,
- tidak adanya variasi besar antar-unit.

#### b. Material Tidak Konsisten → Menyebabkan Lendutan Geometris

Campuran yang terlalu cair menyebabkan:

- slump tinggi,
- beton “bergerak” dalam cetakan,
- terjadinya lendutan atau lengkungan sebelum mengeras.

Kondisi ini memperparah kecacatan sudut jika dikombinasikan dengan posisi cetakan tidak stabil.

#### c. Metode Kerja Tidak Gestandardisasi → Variasi Dimensi

Tidak adanya SOP detail terkait:

- penguncian cetakan,
- penggunaan alat ukur sudut,
- pengecekan slump,

menyebabkan variasi dimensi antar batch.

### E. Hubungan Antar Faktor (Bukan Sekadar List 6M)

Berbeda dari pembahasan deskriptif, analisis ini menekankan hubungan kausal:

#### Man → Method

Kesalahan operator terjadi karena SOP tidak detail, bukan karena kemampuan operator semata.

#### Machine → Man

Cetakan rusak meningkatkan kemungkinan operator melakukan kesalahan meskipun sudah berhati-hati.

#### Material → Machine

Campuran terlalu cair meningkatkan tekanan lateral, mempercepat keausan sudut cetakan.

#### Environment → Material

Suhu dan kelembaban memengaruhi workability dan waktu setting beton.

Dengan pola ini, kecacatan tidak siku bukan disebabkan satu faktor dominan, tetapi **ketidakselarasan sistem kerja**.

### F. Implikasi Teknis dari Temuan

Dari pola hubungan tersebut, terdapat tiga titik kritis sistem:

#### (1) Proses pemasangan dan penyetelan cetakan → Titik paling krusial

Perbaikan pada tahap ini akan memberikan pengurangan cacat terbesar.

#### (2) Standarisasi komposisi material → Mengurangi deformasi geometris

Mengontrol rasio air–semen akan mengurangi cacat lendutan.

#### (3) Metode inspeksi → Meningkatkan kemampuan mendeteksi cacat sebelum mengeras

Mengganti inspeksi visual dengan alat ukur sudut akan menurunkan nilai D secara signifikan.

### 5. Rekomendasi Perbaikan

Penelitian ini menyimpulkan bahwa cacat tidak siku merupakan jenis kecacatan paling dominan pada produksi tiang teras UD Pulo Beton Jombang. Akar penyebab utama berasal dari kombinasi faktor manusia, mesin, dan material. FMEA menunjukkan nilai RPN tertinggi sebesar 315 pada cacat tidak siku, menjadikannya prioritas utama perbaikan. Upaya peningkatan kualitas perlu difokuskan pada pelatihan operator, inspeksi dan perawatan cetakan, serta standarisasi komposisi material.

### Implikasi Penelitian

1. Perusahaan dapat menerapkan FTA–FMEA sebagai alat evaluasi rutin dalam pengendalian kualitas.
2. Implementasi SOP berbasis temuan penelitian dapat mengurangi tingkat cacat hingga di bawah batas toleransi 2%.
3. Pengujian sistem inspeksi dan dokumentasi kualitas dapat meningkatkan ketabilan produksi dan efisiensi biaya.

### Saran Penelitian Lanjutan

1. Penelitian berikutnya dapat mengintegrasikan metode *Statistical Process Control (SPC)* untuk memantau variasi proses secara real-time.
2. Analisis biaya kualitas (*cost of quality*) dapat ditambahkan untuk menghitung kerugian akibat cacat dan manfaat ekonomis dari rekomendasi perbaikan.
3. Disarankan mengembangkan model prediksi kecacatan menggunakan machine learning untuk mendeteksi potensi cacat sebelum terjadi.

### Daftar Pustaka

- [1] A.Wicaksono, E. D.Priyana, andY. P.Nugroho, “Analisis Pengendalian Kualitas Menggunakan Metode Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) Pada Pompa Sentrifugal Di PT. X,” *Jurnal Teknik Industri: Jurnal Hasil Penelitian dan Karya Ilmiah dalam Bidang Teknik Industri*, vol. 9, no. 1, pp. 177–185, 2023.
- [2] H. A.Yasin andR. P.Sari, “Pengembangan Sistem Inspeksi Digital Berbasis Macro VBA Excel Dengan Metode Failure Mode And Effects Analysis (FMEA),” *Jurnal Teknik Industri: Jurnal Hasil Penelitian dan Karya Ilmiah dalam Bidang Teknik Industri*, vol. 7, no. 1, pp. 7–14.
- [3] I. A. B.Nirwana, A. W.Rizqi, andM.Jufryanto, “Implementasi Metode Failure Mode Effect and Analisys (FMEA) Pada Siklus Air PLTU,” *Jurnal Teknik Industri: Jurnal Hasil Penelitian dan Karya Ilmiah dalam Bidang Teknik Industri*, vol. 8, no. 2, pp. 110–118, 2022.
- [4] W.Ridwan, R.Widiastuti, andE.Nurhayati, “Analisis Pengendalian Kualitas Bibit Sawit dengan Menggunakan Metode Fault Tree Analysis (FTA) dan Metode Failure Mode Effect Analysis (FMEA) di PT Kapuas Sawit Sejahtera,” *Jurnal Teknik Industri: Jurnal Hasil Penelitian dan Karya Ilmiah dalam Bidang Teknik Industri*, vol. 9, no. 1, pp. 24–30, 2023.
- [5] M. F.Munawar, U. A. N.Aini, D. H.Novrido, R. M.Jannah, andM. V.Syahanifadhel, “Analisis Perencanaan Produksi Dan Quality Control Dompet Pria Menggunakan Metode MRP Dan FMEA,” *Jurnal Teknik Industri: Jurnal Hasil Penelitian dan Karya Ilmiah dalam Bidang Teknik Industri*, vol. 9, no. 2, pp. 362–370, 2023.
- [6] C. S.Bangun, “Application of SPC and FMEA Methods to Reduce the Level of Hollow Product Defects,” *Jurnal Teknik Industri: Jurnal Hasil Penelitian dan Karya Ilmiah dalam Bidang Teknik Industri*, vol. 8, no. 1, pp. 12–16, 2022.
- [7] W.Amalia, D.Ramadian, andS. N.Hidayat, “Analisis Kerusakan Mesin Sterilizer Pabrik Kelapa Sawit Menggunakan Failure Modes and Effect Analysis (FMEA),” *Jurnal Teknik Industri: Jurnal Hasil Penelitian dan Karya Ilmiah dalam Bidang Teknik Industri*, vol. 8, no. 2, pp. 369–377, 2022.
- [8] M. H.Aiman andM.Nuruddin, “Analisis Kecacatan Produk Pada Mesin Pemotongan Dengan Menggunakan Metode FMEA di UD. Abdi Rakyat,” *Jurnal Teknik Industri: Jurnal ...*, 2023, [Online]. Available: <http://ejournal.uin-suska.ac.id/index.php/jti/article/view/23835>
- [9] A.Anastasya andF.Yuamita, “Pengendalian Kualitas Pada Produksi Air Minum Dalam Kemasan Botol 330 ml Menggunakan Metode Failure Mode Effect Analysis (FMEA) di PDAM Tirta Sembada,” *Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri Terapan*, vol. 1, no. I, pp. 15–21, 2022, doi: <https://doi.org/10.55826/tmit.v1iI.4>.
- [10] A.Wicaksono andF.Yuamita, “Pengendalian Kualitas Produksi Sarden Menggunakan Metode Failure Mode And Effect Analysis (FMEA) Dan Fault Tree Analysis (FTA) Untuk Meminimalkan Cacat Kaleng Di PT XYZ,” *Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri Terapan*, vol. 1, no. III, pp. 145–154, 2022.
- [11] A. S. M.Absa andS.Suseno, “Analisis Pengendalian Kualitas Produk Eq Spacing Dengan Metode Statistic

- Quality Control (SQC) Dan Failure Mode And Effects Analysis (FMEA) Pada PT. Sinar Semesta,” *Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri Terapan*, vol. 1, no. III, pp. 183–201, 2022.
- [12] A. L. N.Falah, K.Arief, andR. S.Riginianto, “Analisis Pengendalian Kualitas Pada Tempe Menggunakan Metode Seven Tools Dan FMEA,” ... *Manajemen Industri Terapan*, 2023, [Online]. Available: <http://jurnal-tmit.com/index.php/home/article/view/264>
- [13] W.Syaputra, S. R.Ardian, andA. J.Nugroho, “Integrasi Metode FMEA Dan FTA Dalam Analisis Risiko Keselamatan Dan Kesehatan Kerja Di Bengkel Bubut,” *Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri Terapan*, vol. 3, no. I, pp. 47–56, 2024.
- [14] A.Wicaksono andF.Yuamita, “Pengendalian Kualitas Produksi Sarden Menggunakan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Untuk Meminimumkan Cacat Kaleng Di PT. Maya Food Industries,” *Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri Terapan (JTMIT)*, vol. 1, pp. 1–6, 2022, doi: <https://doi.org/10.55826/tmit.v1iI.6>.
- [15] A.Dewangga andS.Suseno, “Analisa Pengendalian Kualitas Produksi Plywood Menggunakan Metode Seven Tools, Failure Mode And Effect Analysis (FMEA), Dan TRIZ,” *Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri Terapan*, vol. 1, no. 3, pp. 243–253, 2022.
- [16] C. A. G.Ulloa, “Design of a Preventive Maintenance Plan, ABC, Coding, Kanban System, FMEA and Forecasts to reduce costs in the metalworking company Ingenieros en Acción S.R.L.,” 2021. doi: 10.18687/LACCEI2021.1.1.154.
- [17] M.Rizki *et al.*, “Aplikasi End User Computing Satifaction pada Penggunaan E-Learning FST UIN SUSKA,” *SITEKIN: Jurnal Sains, Teknologi dan Industri*, vol. 19, no. 2, pp. 154–159, 2022, Accessed: Jun.05, 2022. [Online]. Available: <http://ejournal.uin-suska.ac.id/index.php/sitekin/article/view/14730>
- [18] H.Seiti, A.Hafezalkotob, S. E.Najafi, andM.Khalaj, “A risk-based fuzzy evidential framework for FMEA analysis under uncertainty: An interval-valued DS approach,” *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, vol. 35, no. 2, pp. 1419–1430, 2018.
- [19] I.Bagus Suryaningrat *et al.*, “Identifikasi Risiko Pada Okra Menggunakan Failure Mode And Effect Analysis (FMEA) Di PT. Mitratani Dua Tujuh Di Kabupaten Jember,” 2019.
- [20] A.Syarifudin andJ. T.Putra, “Analisa Risiko Kegagalan Komponen pada Excavator Komatsu 150LC dengan Metode FTA DAN FMEA DI PT. XY,” *Jurnal InTent*, vol. 4, no. 2, pp. 1–10, 2021.
- [21] N.Alfarizi, S.Noya, andY.Hadi, “Pengendalian Kualitas Menggunakan Metode Six Sigma dan FMEA untuk Mengurangi Reject Material Preform pada Industri AMDK,” *Jurnal Sains dan Aplikasi Keilmuan Teknik Industri (SAKTI)*, vol. 3, no. 1, pp. 01–12, 2023, doi: 10.33479/jtiumc.v3i1.41.
- [22] D.Irfian Situngkir, G.Gultom, andD. R.S Tambunan, “Pengaplikasian FMEA untuk Mendukung Pemilihan Strategi Pemeliharaan pada Paper Machine,” 2019.
- [23] M. R.Subhan *et al.*, “Analisis Risiko dan Penentuan Strategi Mitigasi Berdasarkan Metode FMEA dan AHP (Studi Kasus: CV. Kurir Kuriran Samarinda),” *JURNAL TEKNIK INDUSTRI*, vol. 11, no. 3, pp. 216–225, 2021.
- [24] E.Purnomo andSuparto, “Manajemen Risiko Operasional untuk Meningkatkan Kinerja Departemen Injection dengan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) dan Fault Tree Analysis (FTA) (Studi Kasus : PT. XYZ),” *Jurnal ITATS*, vol. 9, no. 1, pp. 55–61, 2021.
- [25] A.Waluny andE.Suhendar, “Analisis Risiko Kegagalan Proses Menggunakan FuzzyAHP, FMEA dan Kaizen Method Pada PT. Central Mega Kencana,” *Jurnal Teknologi dan Manajemen*, vol. 21, no. 1, pp. 9–24, 2023, doi: 10.52330/jtm.v21i1.72.
- [26] Arif Rahman andS.Perdana, “Analisis Produktivitas Mesin Percetakan Perfect Binding Dengan Metode OEE Dan FMEA,” *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, vol. 7, no. 1, pp. 34–42, 2019.
- [27] R. V. B.deSouza andL. C. R.Carpinetti, “A FMEA-based approach to prioritize waste reduction in lean implementation,” *International Journal of Quality and Reliability Management*, vol. 31, no. 4, pp. 346–366, 2014, doi: 10.1108/IJQRM-05-2012-0058.
- [28] N. B.Puspitasari andA.Martanto, “Penggunaan FMEA dalam mengidentifikasi resiko kegagalan proses produksi sarung ATM (Alat Tenun Mesin)(studi kasus PT. Asaputex Jaya Tegal),” *J@ Ti Undip: Jurnal Teknik Industri*, vol. 9, no. 2, pp. 93–98, 2014.