

Perbaikan Kualitas dengan Metode Fault Tree Analysis (FTA) dan Failure Mode And Effect Analysis (FMEA) pada Industri Garam Di Jawa Timur

The Implementation of Fault Tree Analysis (FTA) dan Failure Mode And Effect Analysis (FMEA) to Improve the Quality of Salt Industry in East Java

Muhammad Mansur Yafi^{1*}, Muhammad Denny Nur Cahyono²

^{1,2} Prodi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Nahdlatul Ulama, Sidoarjo 61218, Indonesia

Article info: Research

DOI : 10.55732/unu.gnk.2024.06.1.10

Kata kunci:

Kualitas, Manajemen Kualitas, FTA, FMEA

Keywords:

Quality, Quality Management, FTA, FMEA

Article history:

Received: 19-06-2024

Accepted: 19-08-2024

*Koresponden email:
mansuryafi.tin@unusida.ac.id

(c) 2024 Muhammad Mansur Yafi & Muhammad Denny Nur Cahyono



Creative Commons Licence

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

Abstrak

Permasalahan pada industri garam adalah kecacatan produk yang mencapai 15% sehingga perlu dianalisis penyebabnya. Kecacatan produk rata-rata saat ini melampaui target yang telah ditentukan perusahaan sebesar 5%. Metode Fault Tree Analysis (FTA) dan Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) digunakan untuk menganalisis proses produksi pada PT. XYZ. FTA digunakan untuk mengidentifikasi penyebab dari setiap kategori kecacatan produk, sedangkan FMEA digunakan untuk mengklasifikasikan dan menentukan prioritas dari setiap penyebab kecacatan.

Abstract

The problem in the salt processing industry is that product defect reach 15% of the total production so it is important to analyze the cause of the defects. The average product defect currently exceeds the company's target of 5%. The Fault Tree Analysis (FTA) and Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) methods are used to analyze the production process at PT. XYZ. FTA is used to analyze the causes of each category of product defects, while FMEA is used to classify and analyze each cause of defects.

Kutipan: Yafi, M. M., & Cahyono, M. D. N. (2024). The implementation of Fault Tree Analysis (FTA) and Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) to improve the quality of salt industry in East Java. *GREENOMIKA*, 06(1), 94–102. <https://doi.org/10.55732/unu.gnk.2024.06.1.10>

1. Pendahuluan

Rata-rata kecacatan produk pada industri pengolahan garam saat ini mencapai 15%, melampaui target yang telah ditentukan perusahaan yaitu sebesar 5%. Terdapat tiga jenis kecacatan produk dalam industri pengolahan garam yaitu bahan terkontaminasi benda asing atau kotoran, warna tidak sesuai master, kadar iodium tidak sesuai SOP. Oleh karena itu dibutuhkan perbaikan proses dengan tujuan untuk mengoptimalkan kualitas proses produksi garam.

Terdapat dua pendekatan dalam manajemen perbaikan proses, yaitu perubahan radikal yang dikenal dengan *business process reengineering* (BPR) dan perubahan *incremental* atau perbaikan terus-menerus yang dikenal dengan istilah *total quality management* (TQM) (Pearlson & Saunders, 2010). Penggunaan metode *business process reengineering* (BPR) dalam perbaikan proses pada pelayanan tiga poliklinik unit rawat jalan rumah sakit umum di Jakarta menunjukkan hasil yang optimal. Hasil penelitian menunjukkan efisiensi waktu proses pelayanan hingga mencapai lebih dari

20% (Dachyar et al., 2018). Penerapan BPR dalam menganalisis proses pelayanan rumah sakit di Jawa timur juga menunjukkan hasil yang efektif. Melalui metodologi BPR, dirumuskan desain proses bisnis baru yang dapat mengurangi kompleksitas proses, dengan memperhitungkan nilai matriks NOA, NOAC dan CFC (Yafi, 2019). Penelitian yang dilakukan pada industri ritel sepatu di Sidoarjo menunjukkan optimalisasi sistem informasi untuk mengelola persediaan barang. *Use case diagram* digunakan untuk memodelkan proses bisnis manajemen persediaan barang. Melalui penelitian ini, dirumuskan sistem informasi yang dapat diimplementasikan pada industri ritel sepatu (Zaki et al., 2023). Hasil penelitian implementasi *total quality management (TQM)* pada industri garmen di Bangladesh menunjukkan penurunan persentase tingkat kecacatan sebesar 1,51%. Implementasi TQM juga menunjukkan perubahan yang signifikan pada indikator lainnya seperti efisiensi, kualitas, dan biaya (Joy et al., 2024).

Perubahan *incremental* merupakan pendekatan dalam manajemen perbaikan proses yang dijalankan melalui metodologi manajemen kualitas. Kualitas merupakan keseluruhan fitur dan karakteristik suatu produk atau jasa yang mempengaruhi kapabilitasnya dalam memenuhi kebutuhan pelanggan baik secara langsung atau tidak langsung (Heizer et al., 2017). Manajemen kualitas mencakup keseluruhan aktivitas dalam sebuah industri untuk berkontribusi dalam mencapai kualitas produk atau jasa yang diinginkan (Schroeder & Goldstein, 2018). Selain *total quality management (TQM)*, terdapat metodologi lain dalam manajemen kualitas yaitu metodologi *six sigma*.

Terdapat lima tahapan dalam metodologi *six sigma*, yaitu *define, measure, analyze, improve*, dan *control* atau DMAIC (Tokgöz, 2024). Tahap pertama yaitu *define*. Tahap ini bertujuan untuk memastikan bahwa permasalahan/proses yang menjadi fokus perbaikan proses selaras dengan prioritas organisasi dan mendapatkan dukungan manajemen (Niemann et al., 2024). Tahap ini dimulai dengan mengidentifikasi permasalahan yang membutuhkan solusi serta diakhiri dengan pemahaman yang jelas terkait ruang lingkup permasalahan dan bukti dukungan dari manajemen. Tahap kedua, *measure* merupakan tahap dalam pengukuran kinerja awal atau pengumpulan data proses. Mengidentifikasi data apa saja yang dibutuhkan dan bagian apa saja yang terkait. Pada tahap ini dibutuhkan *tools* yang terkait dengan visualisasi data. Pada akhir tahap *measure*, didapatkan data dan informasi terkait permasalahan atau proses yang menjadi fokus perbaikan (Pakdil, 2020). Tahap *Analyze* menggambarkan keterkaitan antara faktor penyebab permasalahan dan dampaknya pada proses yang menjadi fokus perbaikan. Terdapat beberapa *tools* yang dapat digunakan untuk membantu menganalisis keterkaitan antara faktor penyebab permasalahan dan dampaknya, diantaranya adalah diagram pareto, diagram ishikawa, FTA dan FMEA (Tarantino, 2022). Pada tahap *improve*, dirumuskan rekomendasi perbaikan untuk menyelesaikan permasalahan dan mencegah agar permasalahan tidak terulang kembali sehingga target kinerja perusahaan dapat tercapai. Pada tahap *control*, rekomendasi usulan perbaikan proses diterapkan secara langsung. Prosedur operasional akan didokumentasikan melalui sistem manajemen kualitas seperti ISO 9000 dan standar kinerja akan ditetapkan menggunakan metode seperti *statistical process control (SPC)* (Le & Duffy, 2024).

Penelitian terdahulu menunjukkan efektivitas implementasi metode FTA dan FMEA dalam perbaikan kualitas. Metode FTA dan FMEA dapat digunakan dalam perbaikan kualitas proses produksi beton ringan atau *Autoclaved Aerated Concrete (AAC)* dan Instan / semen instan. Dari hasil analisis menggunakan metode *Fault Tree Analysis (FTA)* dapat diidentifikasi faktor penyebab kecacatan, serta melalui metode *Failure Mode And Effect Analysis (FMEA)* dapat ditentukan faktor penyebab kecacatan yang menjadi prioritas perbaikan yaitu *papersack* lembab pada proses *packing* (Krisnaningsih et al., 2021). Berdasarkan hasil penelitian penerapan metode FTA dan FMEA pada industri kertas, dapat diidentifikasi akar penyebab dari kecacatan produk yang terbagi menjadi kategori manusia, bahan baku dan mesin. Metode FMEA digunakan untuk menentukan prioritas rekomendasi perbaikan dari setiap jenis kecacatan produk kertas *jumbo roll* (Hidayat et al., 2018). Metode FTA dan FMEA digunakan dalam mengidentifikasi jenis cacat dan menentukan prioritas penyebab kecacatan produk pada industri tas dan koper. Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan nilai RPN tertinggi yaitu mesin jahit seringkali rusak dengan nilai 504. Penelitian ini juga merumuskan usulan perbaikan pada proses produksi industri tas dan koper (Ardiansyah & Wahyuni, 2018)

2. Metode

FTA (*fault tree analysis*) didefinisikan sebagai proses dalam mengidentifikasi serta menganalisis kondisi dan faktor yang dapat menyebabkan, atau berpotensi menjadi penyebab, atau dapat berkontribusi pada kondisi yang didefinisikan sebagai *top event* (seperti kegagalan sistem). *Fault tree* merupakan sebuah representasi grafis yang terorganisir dari kondisi atau faktor lain yang menyebabkan atau berkontribusi pada terjadinya keadaan yang disebut sebagai *top event* (Ben-daya et al., 2016).

Failure mode and effect analysis atau FMEA, merupakan analisis untuk mengekspos keseluruhan potensi kegagalan, dampaknya pada sistem, persentase kemungkinan terjadinya kegagalan tersebut, dan probabilitas kegagalan terjadi tanpa diketahui (tidak terdeteksi). FMEA dapat dijadikan sebagai dasar untuk mengklasifikasikan karakteristik dalam manajemen kualitas, diantaranya mengidentifikasi CTQ (*Critical to Quality*) dan variabel manajemen kualitas lainnya (Pyzdek & Keller, 2010).

Penelitian ini mengintegrasikan analisis FTA dan FMEA dalam menurunkan tingkat kecacatan produk dan perbaikan kualitas proses. Tahapan penelitian yang telah dirumuskan adalah sebagai berikut (Wessiani & Yoshio, 2018):

Tabel 1. Tahapan Implementasi Perbaikan Kualitas dengan FTA dan FMEA

Tahap	Deskripsi
1	Pengumpulan data
2	Observasi penyebab kecacatan produk
3	Menyusun diagram FTA (<i>Fault Tree Analysis</i>)
4	Pengumpulan data kuantitatif FMEA (<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>)
5	Rekomendasi perbaikan proses

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengumpulan data

Data yang dikumpulkan dan digunakan dalam pengolahan data adalah data jumlah produksi, jumlah kecacatan produk serta kategori jenis kecacatan produk garam. Data tersebut diperoleh dari bagian pengendalian kualitas selama bulan Januari tahun 2024.

Berikut ini pada tabel 2 ditampilkan hasil pengumpulan data jumlah produksi, jumlah kecacatan produk serta kategori jenis kecacatan produk selama bulan Januari tahun 2024.

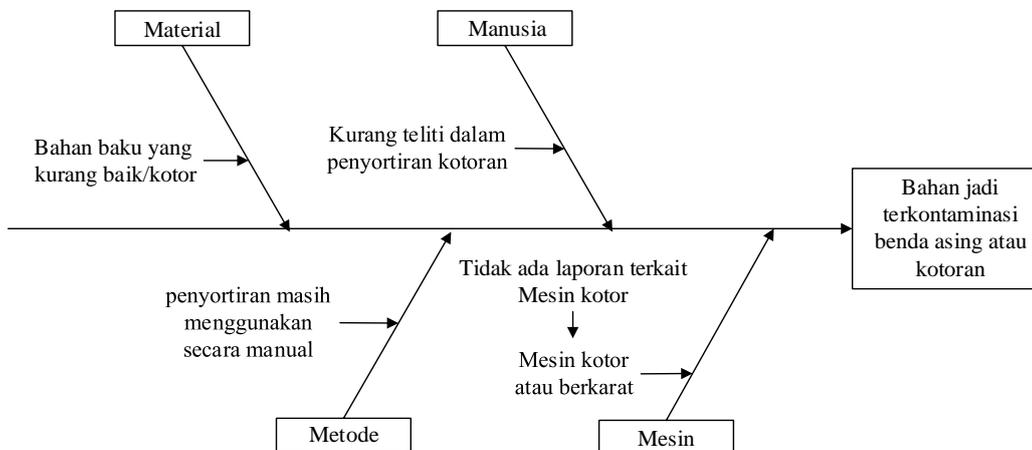
Tabel 2. Data Jumlah produksi dan jenis kecacatan produk

Minggu	Jumlah Produksi	Jenis Kecacatan Produk			Jumlah Produk Cacat
		Bahan jadi terkontaminasi benda asing atau kotoran	Warna Tidak Sesuai Master	Kadar Iodium tidak sesuai SOP	
1	428	59	31	7	90
2	506	58	13	3	74
3	510	61	21	5	87
4	742	59	29	9	97
Total	2.186	237	94	24	348

3.2. Observasi penyebab kecacatan produk

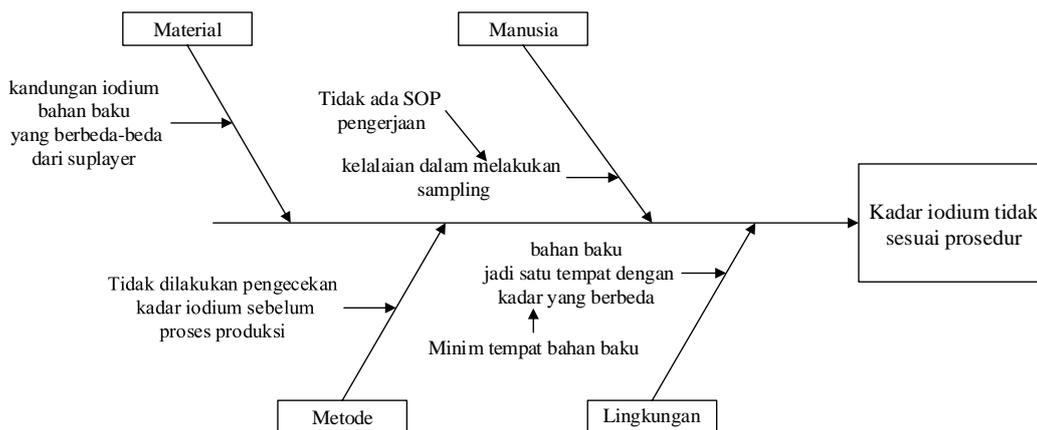
Diagram tulang ikan dibuat untuk mengidentifikasi penyebab kecacatan produk. Hasil pengamatan ditunjukkan pada Gambar 1 sampai dengan Gambar 3. Diagram tulang ikan ini dirumuskan melalui wawancara dengan bagian produksi, bagian maintenance dan bagian pengendalian kualitas.

1. *Fishbone* Diagram Jenis Kecacatan Bahan Jadi Terkontaminasi Benda Asing atau Kotoran



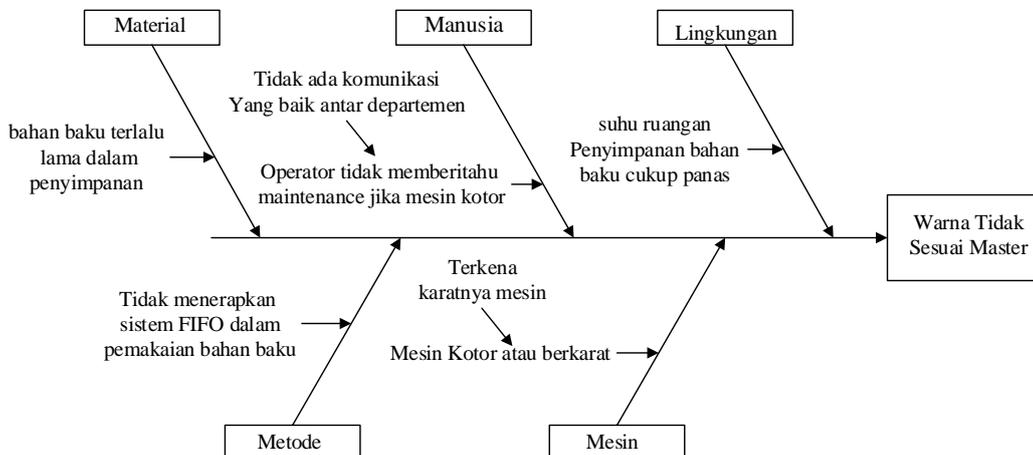
Gambar 1. *Fishbone* Diagram Jenis Kecacatan Bahan Jadi Terkontaminasi Benda Asing atau Kotoran

2. *Fishbone* Diagram Jenis Kecacatan Kadar Iodium Tidak Sesuai SOP



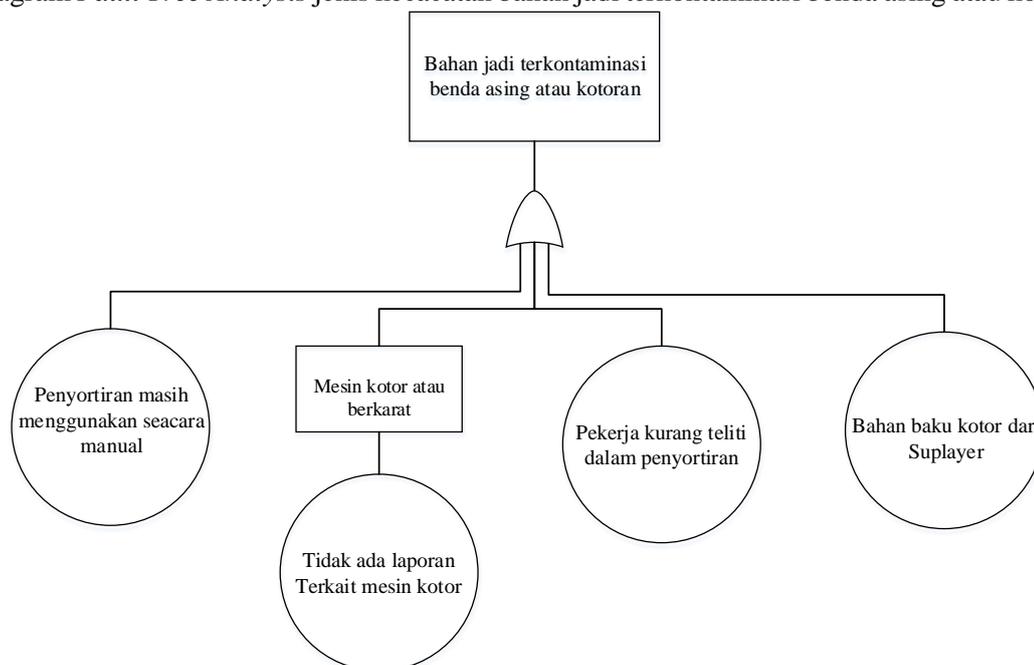
Gambar 2. *Fishbone* Diagram Jenis Kecacatan Kadar Iodium Tidak Sesuai SOP

3. *Fishbone* Diagram Jenis Kecacatan Kadar Iodium Tidak Sesuai SOP

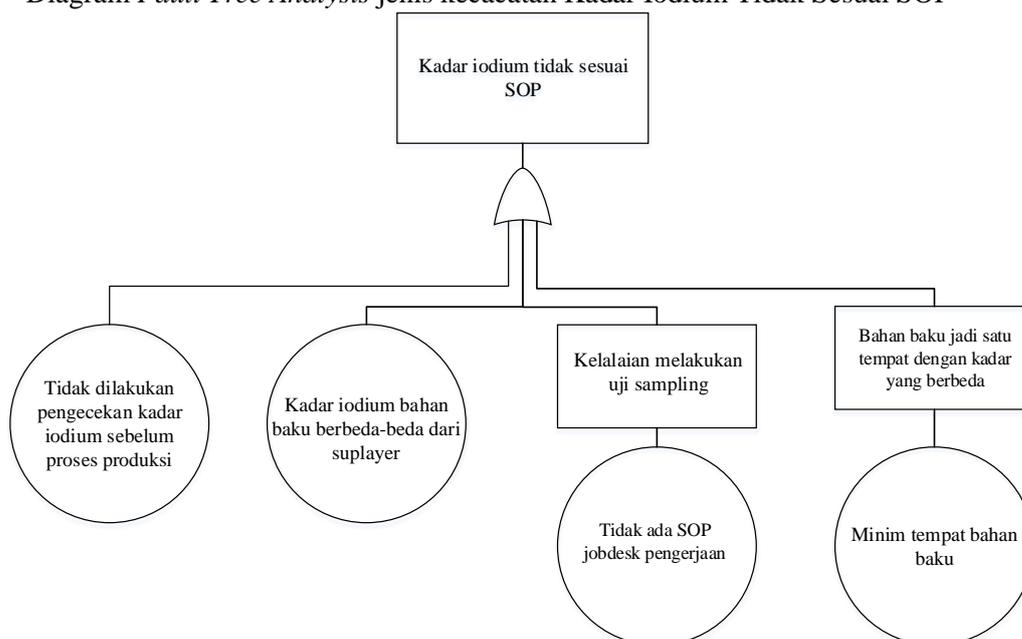


Gambar 3. *Fishbone Diagram* Jenis Kecacatan Kadar Iodium Tidak Sesuai SOP3.3. Menyusun diagram FTA (*Fault Tree Analysis*)

Diagram FTA dibuat untuk mengidentifikasi akar penyebab permasalahan dari setiap kondisi yang tidak diinginkan, kondisi ini dapat berupa kegagalan sistem atau kecacatan produk. Akar penyebab permasalahan yang telah diidentifikasi akan dikategorikan sebagai risiko yang dapat terjadi dalam proses produksi. Gambar 4 sampai 6 menunjukkan diagram FTA pada proses produksi garam.

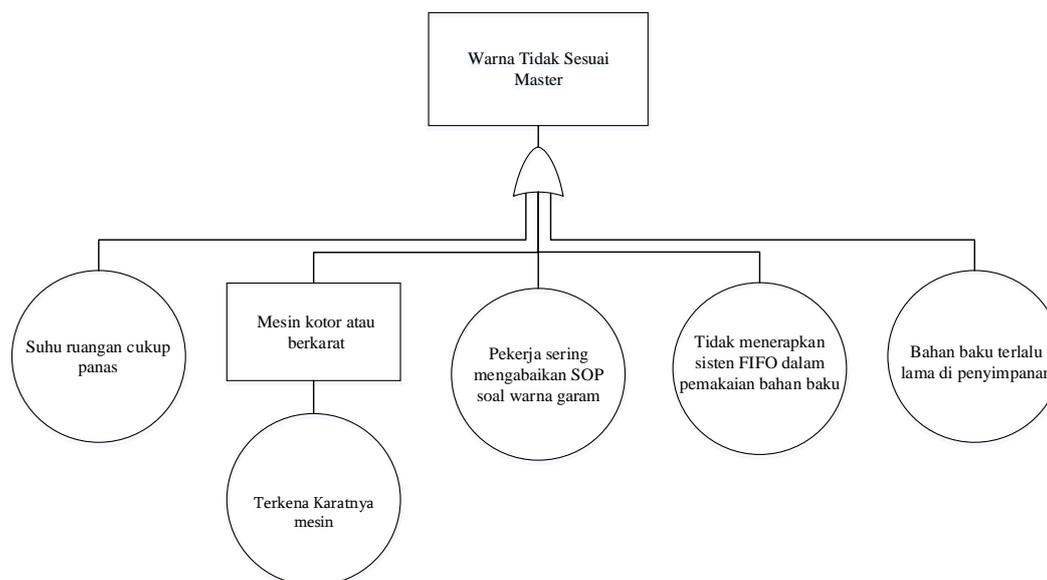
1. Diagram *Fault Tree Analysis* jenis kecacatan bahan jadi terkontaminasi benda asing atau kotoran

Gambar 4. Diagram FTA Jenis Kecacatan Bahan Jadi Terkontaminasi Benda Asing atau Kotoran

2. Diagram *Fault Tree Analysis* jenis kecacatan Kadar Iodium Tidak Sesuai SOP

Gambar 5. Diagram FTA Jenis Kecacatan Kadar Iodium Tidak Sesuai SOP

3. Diagram *Fault Tree Analysis* jenis kecacatan Warna Tidak Sesuai Master



Gambar 6. Diagram FTA Jenis Kecacatan Warna Tidak Sesuai Master

3.4. Pengumpulan data kuantitatif FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*)

Pada tahap ini dikumpulkan data kuantitatif dari setiap faktor penyebab kecacatan produk. Jenis data yang dikumpulkan diantaranya adalah frekuensi kejadian, besar kecilnya dampak dari setiap faktor serta upaya pencegahan terjadinya kecacatan produk. Data-data ini dibutuhkan dalam metodologi FMEA untuk menentukan nilai *severity*, *occurrence*, dan *detection* pada setiap faktor penyebab kecacatan produk. nilai *severity*, *occurrence*, dan *detection* selanjutnya digunakan untuk menentukan *risk priority number* (RPN) pada setiap faktor penyebab kecacatan produk. Semakin tinggi nilai RPN, maka semakin besar risiko yang akan ditimbulkan dari faktor tersebut.

1. Menentukan *risk priority number* (RPN) jenis kecacatan bahan jadi terkontaminasi benda asing atau kotoran

Berdasarkan analisis FMEA pada jenis kecacatan bahan jadi terkontaminasi benda asing atau kotoran sebagaimana ditampilkan pada tabel 3, didapatkan potensi penyebab kegagalan tidak ada laporan terkait mesin kotor memperoleh nilai RPN (*Risk Priority Number*) tertinggi yaitu sebesar 100,5.

Tabel 3. Nilai *severity*, *occurrence*, *detection* dan RPN jenis kecacatan bahan jadi terkontaminasi benda asing atau kotoran

Faktor Penyebab Kecacatan Produk	Severity	Occurrence	Detection	RPN
Penyortiran masih menggunakan secara manual	7,6	7,9	1,2	72,04
Tidak ada laporan terkait mesin kotor	5,9	5,5	3,1	100,5
Pekerja kurang teliti dalam penyortiran	4,9	7,5	2,6	95,55
Bahan baku kotor dari suplayer	2,5	3,9	6	58,5

2. Menentukan *risk priority number* (RPN) jenis kecacatan kadar iodium tidak sesuai prosedur

Berdasarkan analisis FMEA pada jenis kecacatan kadar iodium tidak sesuai prosedur sebagaimana ditampilkan pada tabel 4, didapatkan potensi penyebab kegagalan Tidak ada SOP uji sampling memperoleh nilai RPN (*Risk Priority Number*) tertinggi yaitu sebesar 49,32.

Tabel 4. Nilai *severity*, *occurrence*, *detection* dan RPN jenis kecacatan kadar iodium tidak sesuai prosedur

Faktor Penyebab Kecacatan Produk	Severity	Occurrence	Detection	RPN
Tidak dilakukan pengecekan kadar iodium sebelum proses produksi	5,5	4,1	2	45,1
kadar iodium bahan baku berbeda-beda dari suplayer	4,3	2,2	2,2	20,81
Tidak ada SOP uji sampling	5,9	2,2	3,8	49,32
Minim tempat bahan baku	1,4	1,2	1,5	2,52

3. Menentukan risk priority number (RPN) jenis kecacatan warna tidak sesuai master

Berdasarkan analisis FMEA pada jenis kecacatan bahan jadi terkontaminasi benda asing atau kotoran sebagaimana ditampilkan pada tabel 5, didapatkan potensi penyebab kegagalan pekerja sering mengabaikan SOP pengendalian kualitas warna garam memperoleh nilai RPN (*Risk Priority Number*) tertinggi yaitu sebesar 97,30.

Tabel 5. Nilai *severity*, *occurrence*, *detection* dan RPN jenis kecacatan warna tidak sesuai master

Faktor Penyebab Kecacatan Produk	Severity	Occurrence	Detection	RPN
pekerja sering mengabaikan SOP pengendalian kualitas warna garam	7,3	4,3	3,1	97,30
Tidak menerapkan sistem FIFO dalam pemakaian bahan baku	4,4	3,5	2,5	38,5
Bahan baku terlalu lama dalam penyimpanan	1,2	1,2	3,9	5,61
Suhu ruangan yang cukup panas	2	1,2	5,5	13,2
Terkena karatnya mesin	7,9	3,4	2,2	59

3.5. Rekomendasi perbaikan proses

Berdasarkan analisis FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*), didapatkan nilai RPN (*Risk Priority Number*) terbesar dari setiap jenis kecacatan produk. Tahapan berikutnya adalah menyusun rekomendasi perbaikan proses dengan tujuan untuk dapat mengurangi atau bahkan dapat menghilangkan faktor penyebab kecacatan produk. Rekomendasi perbaikan yang dapat dilakukan ditampilkan pada tabel 6.

Tabel 6. Rekomendasi perbaikan proses

Jenis Kecacatan Produk	Faktor Penyebab Kecacatan Produk	Nilai RPN	Rekomendasi Perbaikan
Bahan jadi terkontaminasi benda asing atau kotoran	Tidak ada laporan terkait mesin kotor	100,5	Membuat penjadwalan perawatan mesin → Melakukan perawatan mesin secara rutin
Warna tidak sesuai master	Pekerja sering mengabaikan SOP pengendalian kualitas warna garam	97,3	Memperketat aturan bagi karyawan yang mengabaikan SOP pengendalian kualitas warna garam
Kadar iodium tidak sesuai prosedur	Tidak ada SOP uji sampling	49,32	Menyusun SOP uji sampling

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis FTA, dapat diidentifikasi faktor penyebab dari setiap jenis kecacatan produk. faktor penyebab dari kecacatan produk bahan jadi terkontaminasi benda asing atau kotoran, yaitu kelalaian pekerja dalam penyortiran, penyortiran masih menggunakan secara manual, bahan baku yang kurang baik atau kotor, tidak ada laporan terkait mesin kotor. Faktor penyebab dari kecacatan produk kadar iodium tidak sesuai prosedur ada empat, yaitu tidak ada SOP jobdesk pengerjaan, tidak dilakukan pengecekan kadar iodium sebelum proses produksi, kandungan iodisum bahan baku yang berbeda-beda dari suplayer, minim tempat penyimpanan bahan baku. Faktor penyebab dari kecacatan produk warna tidak sesuai master ada lima, yaitu perkerja sering mengabaikan SOP soal warna garam, tidak menerapkan sistem FIFO dalam pemakaian bahan baku, bahan baku terlalu lama dalam penyimpanan, suhu ruangan yang cukup panas, terkena karatnya mesin.

Berdasarkan analisis FMEA, dapat dirumuskan rekomendasi usulan perbaikan dari setiap jenis kecacatan produk. Rekomendasi usulan perbaikan untuk mengurangi jenis kecacatan bahan jadi terkontaminasi benda asing atau kotoran adalah dengan menyusun penjadwalan perawatan mesin. Rekomendasi usulan perbaikan untuk mengurangi jenis kecacatan kadar iodium tidak sesuai prosedur adalah dengan Menyusun SOP uji sampling. Rekomendasi usulan perbaikan untuk mengurangi jenis kecacatan warna tidak sesuai master adalah dengan memperketat aturan bagi karyawan yang mengabaikan SOP pengendalian kualitas warna garam.

Penelitian ini mengkombinasikan *fault tree analysis (FTA)* dan *failure mode and effect analysis (FMEA)* untuk meminimalisir jumlah kecacatan produk (resiko) yang ada pada industri garam. Melalui kombinasi dua metode ini dapat dihasilkan analisis yang lebih optimal. Hal ini disebabkan karena melalui FTA dapat diidentifikasi akar penyebab permasalahan (resiko) dan selanjutnya resiko tersebut ditentukan prioritasnya melalui metode FMEA. Penentuan prioritas ini sangat penting karena industri akan mengalokasikan biaya yang dibutuhkan dalam manajemen pengendalian kualitas.

Penelitian ini dapat dikembangkan melalui studi komprehensif terhadap setiap faktor penyebab kecacatan produk, yang dimungkinkan seiring dengan kemajuan teknologi yang bersifat dinamis. Selanjutnya dapat pula dikembangkan dengan mensimulasikan analisis biaya dari setiap rekomendasi perbaikan proses.

Daftar Pustaka

- Ardiansyah, N., & Wahyuni, H. C. (2018). Analisis Kualitas Produk Dengan Menggunakan Metode FMEA dan Fault Tree Analisis (FTA) Di Exotic UKM Intako. *PROZIMA (Productivity, Optimization and Manufacturing System Engineering)*, 2(2), 58–63. <https://doi.org/10.21070/prozima.v2i2.2200>
- Ben-daya, M., Kumar, U., & Murthy, D. N. P. (2016). *Introduction to Maintenance Engineering*. John Wiley & Sons, Ltd.
- Dachyar, M., Farizal, & Yafi, M. M. (2018). Analysis of Outpatient Service Queue of Public Hospital in Jakarta. *MATEC Web of Conferences*, 248, 5–9.
- Heizer, J., Render, B., & Munson, C. (2017). *Principles of Operations Management Sustainability and Supply Chain Management*. Pearson Education Limited.
- Hidayat, A. A., Kholil, M., Hendri, & Suhaeri. (2018). The Implementation of FTA (Fault Tree Analysis) and FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) Methods to Improve the Quality of Jumbo Roll Products. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 453(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/453/1/012019>
- Joy, R. A., Hawlader, M. S., Rahman, M. S., Hossain, M. R., Shamim, S. I., & Mahmud, H. (2024). Improving Quality, Productivity, and Cost Aspects of a Sewing Line of Apparel Industry Using TQM Approach. *Mathematical Problems in Engineering*, 2024. <https://doi.org/10.1155/2024/6697213>
- Krisnaningsih, E., Gautama, P., Fatih, M., & Syams, K. (2021). Usulan Perbaikan Kualitas dengan Menggunakan Metode FTA dan FMEA. In *Jurnal InTent* (Vol. 4, Issue 1).

- Yafi, Cahyono: *Perbaikan Kualitas dengan Metode Fault Tree Analysis (FTA)*.....
- Le, H., & Duffy, G. (2024). *Human-Centered Lean Six Sigma Creating a Culture of Integrated Operational Excellence*. Routledge Taylor & Francis Group.
- Niemann, J., Reich, B., & Stöhr, C. (2024). *Lean six sigma: methods for production optimization*.
- Pakdil, F. (2020). Six Sigma for Students A Problem-Solving Methodology. In *Six Sigma for Students*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-40709-4>
- Pearlson, K. E., & Saunders, C. S. (2010). *Managing and Using Information Systems A Strategic Approach*. JOHN WILEY & SONS, INC. <https://doi.org/10.1088/1751-8113/44/8/085201>
- Pyzdek, T., & Keller, P. A. (2010). *The Six Sigma Handbook*.
- Schroeder, R., & Goldstein, S. M. (2018). *Operations Management in the Supply Chain Decisions and Cases*. McGraw-Hill Education. <https://doi.org/10.4324/9780203848982-8>
- Tarantino, A. (2022). Smart Manufacturing The Lean Six Sigma Way. In *Wiley Online Library*. John Wiley & Sons, Inc.
- Tokgöz, E. (2024). *Quality and Lean Six Sigma for Engineering Technicians*. Springer.
- Wessiani, N. A., & Yoshio, F. (2018). Failure mode effect analysis and fault tree analysis as a combined methodology in risk management. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 337(1), 1–12. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/337/1/012033>
- Yafi, M. M. (2019). Analisis Proses Pada Pelayanan Rumah Sakit Di Jawa Timur. *Greenomika*, 1(2), 117–120.
- Zaki, A., Rachma Kamila, E., Eka Violita, C., Informasi, S., Barang, P., & Kamila, R. (2023). Analisis Perancangan Sistem Informasi Persediaan Barang (Studi Kasus di CV. Mysneaker Retail Indo). *Greenomika*, 05(1), 94–102.