

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Six Sigma

Six sigma merupakan inovasi metode pengendalian dan peningkatan kualitas dramatik dalam bidang manajemen kualitas (Gaspesrz, 2002). Six sigma pada awalnya dilaksanakan pertama kali oleh perusahaan Motorola sejak tahun 1986 dan telah terbukti selama kurang lebih 10 tahun setelah pengimplementasian six sigma dan mampu mencapai tingkat kualitas sebesar 3,4 DPMO (*defect per milion opportunities*).

Menurut Snee dalam Putra dan Aribowo (2020) Six Sigma juga dikatakan sebagai metode yang berfokus pada proses dan pencegahan cacat (defect). Six Sigma adalah metode dalam menjaga kualitas dan sudah digunakan berbagai jenis perusahaan dengan acuan berdasarkan fakta, analisis dan prosedur yang jelas Tampubolon dan Purba (2020). Berikut beberapa alasan mengapa Six Sigma cocok untuk analisis perbaikan produksi pakan ternak.

1. Pertama yaitu terkait dengan peningkatan kualitas, produksi pakan ternak harus memenuhi standar kualitas yang ketat untuk memastikan bahwa pakan tersebut memberikan nutrisi yang tepat dan aman bagi ternak. Six Sigma membantu mengidentifikasi faktor-faktor yang menyebabkan ketidaksesuaian dengan standar kualitas dan mengembangkan solusi untuk memperbaikinya. Menurut Noori dan Latifi (2018) Six Sigma adalah strategi yang baik untuk menemukan akar permasalahan. Oleh karena itu, penggunaan six sigma dalam menjaga kualitas produk sangat diperlukan dan tidak memerlukan biaya yang sangat besar.
2. Kedua yaitu reduksi variabilitas, variabilitas dalam proses produksi dapat berdampak negatif pada kualitas pakan dan efisiensi produksi. Six Sigma berfokus pada mengurangi variabilitas dalam semua tahapan produksi, mulai dari pengolahan bahan baku hingga pengemasan akhir. Menurut Ishak dkk (2019) penerapan DMAIC Six Sigma mampu mengurangi varian cacat produk yang dihasilkan dari suatu proses produksi.
3. Ketiga yaitu peningkatan efisiensi, dengan menerapkan konsep Six Sigma, perusahaan dapat mengidentifikasi proses yang tidak efisien atau mengalami pemborosan. Ini dapat mengarah pada peningkatan produktivitas dan pengurangan biaya produksi.
4. Keempat pengumpulan dan analisis data, Six Sigma mengandalkan pengumpulan data yang cermat dan analisis statistik untuk mengidentifikasi akar penyebab masalah. Dalam produksi pakan ternak, data mengenai komposisi bahan baku, waktu pengolahan, suhu,

kelembaban, dan faktor-faktor lainnya dapat diolah untuk mendapatkan wawasan yang berharga. Menurut Ishak dkk (2019) penerapan DMAIC Six Sigma mampu mengurangi energi atau biaya produksi yang tidak efisien.

5. Kelima dukungan keputusan berdasarkan fakta, Six Sigma membantu menghindari pengambilan keputusan berdasarkan intuisi semata. Keputusan perbaikan didasarkan pada data yang dikumpulkan dan dianalisis, sehingga menghasilkan solusi yang lebih tepat dan terukur. Keenam yaitu pemantauan dan pemeliharaan berkelanjutan. setelah perbaikan diimplementasikan, metode ini mendorong pemantauan terus-menerus untuk memastikan bahwa hasil yang diperoleh tetap konsisten dan sesuai dengan target.

Menurut Pande (2002) Keunggulan metode Six Sigma dibanding dengan metode lain yaitu Six Sigma jauh lebih rinci daripada metode analisis berdasarkan statistik. Six Sigma dapat diterapkan di bidang usaha apa saja mulai dari perencanaan strategi sampai operasional hingga pelayanan pelanggan dan maksimalisasi motivasi atas usaha. Six Sigma sangat berpotensi diterapkan pada bidang jasa atau non manufaktur disamping lingkungan teknikal, misalnya seperti bidang manajemen, keuangan, pelayanan pelanggan, pemasaran, logistik, teknologi informasi dan sebagainya. Dengan Six Sigma dapat dipahami sistem dan variabel mana yang dapat dimonitor dan direspon balik dengan cepat. Six Sigma sifatnya tidak statis. Bila kebutuhan pelanggan berubah, kinerja sigma akan berubah. Apabila konsep Six Sigma akan ditetapkan dalam bidang manufakturing, ada enam aspek yang perlu diperhatikan, yaitu:

1. Identifikasi karakteristik produk untuk memuaskan pelanggan (sesuai dengan kebutuhan dan ekspektasi pelanggan tersebut).
2. Mengklasifikasikan semua karakteristik kualitas tersebut sebagai CTQ (Critical to Quality) individual.
3. Menentukan CTQ tersebut apakah dapat dikendalikan melalui pengendalian material, mesin proses kerja dan lain sebagainya.
4. Menentukan batas maksimum dari toleransi pada setiap CTQ sesuai dengan yang diinginkan oleh pelanggan (menentukan nilai UCL dari setiap CTQ).
5. Menentukan maksimum variasi proses untuk setiap CTQ (memberikan penentuan nilai maksimum standar deviasi untuk setiap CTQ).
6. Melakukan perubahan desain produk atau proses supaya mampu mencapai nilai target Six Sigma.

DMAIC adalah metodologi yang merupakan inti dari pendekatan Six Sigma. Akronim ini menggambarkan lima tahapan berurutan yang harus diikuti untuk memperbaiki proses bisnis

dan mencapai tingkat kualitas yang lebih tinggi. DMAIC adalah singkatan dari Define, Measure, Analyze, Improve, dan Control.

1. *Define* (Definisi):

Define melibatkan mengidentifikasi masalah yang ingin dipecahkan, mendefinisikan lingkup proyek, dan menetapkan tujuan yang ingin dicapai. Pada tahap ini, tujuan perbaikan dan kriteria keberhasilan ditetapkan dengan jelas. Tim proyek terbentuk, dan peran serta tanggung jawab masing-masing anggota ditetapkan. Ini membantu memfokuskan upaya pada area yang membutuhkan perbaikan.

2. *Measure* (Pengukuran):

Measure melibatkan pengumpulan data yang relevan terkait dengan proses yang sedang dianalisis. Data ini digunakan untuk memahami sejauh mana masalah tersebut memengaruhi proses dan untuk mengukur performa saat ini. Pengukuran ini dilakukan dengan menggunakan alat statistik untuk mengidentifikasi varian dan ketidakpastian dalam proses.

3. *Analyze* (Analisis):

Pada langkah *Analyze*, data yang telah dikumpulkan dianalisis secara mendalam untuk mengidentifikasi penyebab akar masalah. Metode statistik dan alat analisis lainnya digunakan untuk mengidentifikasi hubungan antara variabel dan masalah yang ada. Tujuannya adalah untuk memahami mengapa masalah terjadi dan bagaimana hal itu memengaruhi kinerja proses.

4. *Improve* (Perbaikan):

Langkah *Improve* berfokus pada pengembangan dan implementasi solusi untuk mengatasi masalah yang diidentifikasi pada tahap sebelumnya. Pada tahap ini, tim mencari solusi yang paling efektif dan efisien untuk mengurangi varian dan meningkatkan kinerja proses. Solusi ini diuji dalam skala kecil sebelum diterapkan secara lebih luas.

5. *Control* (Kendali):

Tahap terakhir *control*, melibatkan pembuatan langkah-langkah untuk memastikan perbaikan yang dicapai dapat dipertahankan dalam jangka panjang. Sistem kendali dan monitoring diimplementasikan untuk mengawasi kinerja proses setelah perubahan diimplementasikan. Jika ada penyimpangan dari hasil yang diharapkan, tindakan perbaikan lebih lanjut dapat diambil.

2.2 FMEA

Menurut McDermott (dalam Setiawan & Puspitasari, 2018), FMEA ialah metode sistematis dalam melakukan identifikasi dan mencegah adanya masalah yang saat terjadi pada proses. FMEA dapat membantu dalam melakukan identifikasi dan menentukan prioritas pada kegagalan potensial yang terjadi. Penentuan prioritas dilakukan dengan cara memberikan penilaian pada masing-masing kegagalan tersebut berdasarkan pada tingkat kefatalan (*Severity*), tingkat frekuensi (*Occurance*), dan tingkat deteksi (*Detection*). Kemudian, akan ditentukan nilai RPN yang merupakan hasil dari perhitungan severity, occurrence, dan detection. Nilai RPN untuk menentukan permasalahan yang akan menjadi fokus utamanya.

1. *Severity* (tingkat keparahan)

Tingkat keparahan adalah perkiraan subjektif numerik dari seberapa parah pelanggan (pengguna berikutnya) atau pengguna akhir yang akan merasakan EFEK kegagalan.

Tabel 2. 1

Penilaian Tingkat Severity

Rangking	Kriteria	Keterangan
1	Tidak ada efek	Kegagalan tidak berdampak pada kualitas produk
2	Sangat Minor	Kegagalan memberikan efek 25%-50% pada kualitas pakan yang dihasilkan dan hanya beberapa pelanggan yang menyadari kecacatan tersebut tetapi bisa diterima.
3	Minor	Kegagalan memberikan efek 50% pada kualitas pakan yang dihasilkan dan hanya beberapa pelanggan yang menyadari kecacatan tersebut tetapi bisa diterima.
4	Sangat Rendah	Kegagalan memberikan efek (>75%), pelanggan merasakan penurunan kualitas masih dalam batas kewajaran, dan pelanggan secara umum menyadari kecacatan tersebut namun bisa diterima

Tabel 2.1

Penilaian Tingkat *Severity* (lanjutan)

Rangking	Kriteria	Keterangan
5	Rendah	Kegagalan memberikan efek terhadap penurunan sebagian dari kandungan pakan dan pelanggan merasakan penurunan kualitas akan tetapi masih dapat di toleransi
6	Sedang	Kegagalan memberikan efek terhadap hilangnya fungsi sebagian dari kandungan pakan dan pelanggan merasakan penurunan kualitas akan tetapi masih dapat di toleransi
7	Tinggi	Kegagalan memberikan efek terhadap hilangnya fungsi sebagian item dan pelanggan merasakan penurunan kualitas diluar batas toleransi
8	Sangat Tinggi	Kegagalan memberikan efek terhadap hilangnya fungsi utama pakan, pelanggan merasakan penurunan kualitas tersebut diluar batas toleransi, produk akan menjadi waste di tahapan berikutnya
9	Berbahaya dengan peringatan	Kegagalan dapat membahayakan sistem dengan adanya peringatan terlebih dahulu
10	Berbahaya tanpa peringatan	Kegagalan dapat membahayakan sistem dengan atau tanpa adanya peringatan terlebih dahulu

Sumber : Gasperz, V. (2002). *Metode analisis untuk peningkatan kualitas*. Gramedia Pustaka Utama.

2. Occurrence (tingkat kemungkinan kejadian)

Tingkatan waktu atau kemungkinan terjadinya kadang-kadang disebut, adalah estimasi subjektif numerik dari kemungkinan yang menyebabkan, jika terjadi, akan menghasilkan failure mode dan efek khususnya.

Tabel 2. 2

Penilaian Tingkat *Occurrence*

Degree	Tingkat kecacatan	Keterangan
Remote	0,01 per 1000 item	Tidak mungkin bahwa penyebab ini dapat menimbulkan kegagalan
Low	0,1 per 1000 item	Kegagalan sangat jarang terjadi
	0,5 per 1000 item	Kegagalan cukup jarang terjadi
Moderate	1 per 1000 item	Kegagalan jarang terjadi
	2 per 1000 item	Kegagalan sedikit jarang terjadi
	5 per 1000 item	Kegagalan sedikit sering terjadi
High	10 per 1000 item	Kegagalan cukup sering terjadi
	20 per 1000 item	Kegagalan berulang
VeryHigh	50 per 1000 item	Jumlah kegagalan sangat tinggi
	100 per 1000 item	Kegagalan hampir selalu terjadi

Sumber : Gasperz, V. (2002). *Metode analisis untuk peningkatan kualitas*. Gramedia Pustaka Utama.

3. Detection (Deteksi)

Deteksi kadang-kadang disebut efektifitas. Ini adalah perkiraan subjektif numerik efektivitas kontrol untuk mencegah atau mendeteksi penyebab atau failure mode sebelum kegagalan mencapai pelanggan. Asumsinya adalah yang menyebabkan telah terjadi.

Tabel 2.3

Penilaian Tingkat Kemudahan *Detection*

Rating	Kriteria	Berdasarkan pada frekuensi kejadian
1	Metode pencegahan sangat efektif. Tidak ada kesempatan bahwa penyebab muncul	0,01 per 1000 item

Tabel 2.3

Penilaian Tingkat Kemudahan *Detection* (lanjutan)

Rating	Kriteria	Berdasarkan pada frekuensi kejadian
2	Kemungkinan penyebab terjadi sangat rendah	0,1 per 1000 item
3		0,5 per 1000 item
4	Kemungkinan penyebab terjadi bersifat moderat.	1 per 1000 item
5	Metode pencegahan kadang memungkinkan penyebab itu terjadi	2 per 1000 item
6		5 per 1000 item
7	Kemungkinan penyebab terjadi masih tinggi. Metode pencegahan kurang efektif, penyebab masih berulang kembali	10 per 1000 item
8		20 per 1000 item
9	Kemungkinan penyebab terjadi sangat tinggi. Metode pencegahan tidak efektif, penyebab selalu berulang kembali.	50 per 1000 item
10		100 per 1000 item

Sumber : Gasperz, V. (2002). *Metode analisis untuk peningkatan kualitas*. Gramedia Pustaka Utama.

4. Perhitungan *Risk Priority Number* (RPN)

Untuk menentukan prioritas dari suatu bentuk kegagalan maka harus terlebih dahulu mendefinisikan tentang Severity, Occurrence, Detection yang hasil akhirnya berupa RPN (Risk Priority Number). Perhitungan RPN (Risk Priority Number) dari hasil FMEA:

$$\text{RPN} = \text{S} \times \text{O} \times \text{D} \quad (2.1)$$

Menyediakan pendekatan evaluasi alternatif untuk Analisis Kekritisan. Jumlah prioritas risiko memberikan perkiraan numerik kualitatif risiko desain. RPN didefinisikan sebagai produk dari tiga faktor independen dinilai:

- S = Severity (tingkat keparahan)
- O = Occurrence (tingkat kejadian)
- D = Detection (kemudahan tingkat Deteksi).

Dari penerapan FMEA pada perusahaan, maka akan dapat diperoleh keuntungan -

keuntungan yang sangat bermanfaat untuk perusahaan, antara lain:

1. Meningkatkan kualitas, keandalan, dan keamanan produk.
2. Membantu meningkatkan kepuasan pelanggan.
3. Meningkatkan citra baik dan daya saing perusahaan.
4. Mengurangi waktu dan biaya pengembangan produk.
5. Memperkirakan tindakan dan dokumen yang dapat mengurangi resiko.
6. Membantu menganalisis proses manufaktur baru.
7. Meningkatkan pemahaman bahwa kegagalan potensial pada proses manufaktur harus dipertimbangkan.
8. Mengidentifikasi defisiensi proses, sehingga para *engineer* dapat berfokus pada pengendalian untuk mengurangi munculnya produksi yang menghasilkan produk yang tidak sesuai dengan yang diinginkan atau pada metode untuk meningkatkan deteksi pada produk yang tidak sesuai tersebut.
9. Menetapkan prioritas untuk tindakan perbaikan pada proses.
10. Menyediakan dokumen yang lengkap tentang perubahan proses untuk memandu pengembangan proses manufaktur atau perakitan di masa datang

Six Sigma dan *FMEA (Failure Modes and Effects Analysis)* adalah dua metodologi yang sering digunakan secara bersamaan dalam upaya perbaikan kualitas dan keandalan proses produksi. Meskipun keduanya memiliki fokus yang sedikit berbeda, mereka dapat saling melengkapi untuk meningkatkan kualitas produk atau layanan. FMEA adalah metode yang digunakan untuk mengidentifikasi potensi kegagalan dalam proses, produk, atau sistem. Tujuannya adalah untuk mengidentifikasi langkah-langkah pencegahan sebelum masalah terjadi. Dengan menggunakan analisis FMEA, tim dapat mengidentifikasi potensi risiko dan menerapkan tindakan mitigasi untuk mencegah atau mengurangi kemungkinan terjadinya kegagalan (Haekal, 2022). Six Sigma menekankan pada analisis data dan pengukuran kuantitatif untuk mengukur kinerja proses dan mengidentifikasi penyebab utama variabilitas. FMEA juga menerapkan analisis kuantitatif dalam menghitung Risiko Prioritas (*Risk Priority Number*) untuk setiap mode kegagalan yang diidentifikasi. Angka RPN membantu dalam menentukan prioritas untuk tindakan perbaikan. Penerapan FMEA sudah diuji oleh Aditama dan Imaroh (2020) dalam mengidentifikasi masalah utama penyebab cacat ayam berdasarkan skala prioritas yang tepat.

Menurut Alijoyo (2016) keunggulan FMEA dibanding dengan metode yang lain yaitu mampu menampilkan daftar modus kegagalan dan dampak kegagalan pada proses yang dianalisis. mampu menampilkan daftar kekritisitas setiap modus kegagalan yang ditunjukkan oleh

nilai RPN. FMEA mampu menampilkan daftar tindakan penanganan yang direkomendasikan untuk mengurangi keparahan dan kemungkinan terjadi kegagalan, serta meningkatkan kemampuan deteksi kegagalan. *Failure Modes and Effects Analysis* (FMEA) dan *Risk Priority Number* (RPN) memiliki peran penting dalam fase analisis Six Sigma. FMEA membantu mengidentifikasi potensi kegagalan dalam proses atau produk serta menilai dampaknya. RPN, yang dihitung dari FMEA yaitu RPN dengan mengalikan tiga faktor: keparahan (*severity*) potensi kegagalan, kemungkinan terjadinya (*occurrence*), dan kemampuan deteksi (*detection*) potensi kegagalan. RPN memberikan prioritas untuk perbaikan yang harus diambil, memberi prioritas pada kegagalan berdasarkan tingkat keparahan, frekuensi, dan detektabilitasnya. Prioritisasi ini mengarahkan upaya perbaikan pada area-area kritis, meningkatkan pengambilan keputusan dan alokasi sumber daya. FMEA dan RPN memastikan pendekatan sistematis dalam mengatasi risiko, menghasilkan peningkatan kualitas, mengurangi cacat, serta meningkatkan efisiensi proses secara keseluruhan dalam metodologi Six Sigma.

Analisis Six Sigma yang tidak menerapkan metode *Failure Modes and Effects Analysis* (FMEA) memiliki kekurangan yang signifikan dalam efektivitas proses analisis. FMEA memiliki peran krusial dalam mengidentifikasi risiko potensial dan dampak dari kegagalan dalam proses atau produk. Tanpanya, tim analisis Six Sigma akan kesulitan memahami risiko yang mungkin timbul dan dampak yang terkait. Hal ini dapat mengakibatkan prioritas perbaikan yang tidak tepat, serta kurangnya pemahaman tentang akar penyebab masalah.

FMEA juga memberikan arahan untuk pemilihan perbaikan yang lebih terarah dan pengelolaan risiko berkelanjutan setelah implementasi perbaikan. Apabila menaggalkan FMEA, penerapan metode Six Sigma akan kesulitan dalam merencanakan tindakan mitigasi yang efektif, dan risiko untuk munculnya masalah baru dalam jangka panjang akan meningkat. Dalam keseluruhan analisis, FMEA memberikan panduan yang diperlukan untuk mengambil keputusan yang lebih informasional, memaksimalkan manfaat dari data yang dikumpulkan, dan memastikan kualitas serta integritas proses atau produk yang dianalisis dalam kerangka Six Sigma.

Dalam metodologi Six Sigma, alat-alat statistik digunakan untuk mengidentifikasi proyek-proyek yang memiliki dampak paling signifikan terhadap kualitas dan proses. Setelah identifikasi ini dilakukan, FMEA dapat digunakan untuk merinci analisis potensi kegagalan dan risiko yang terkait dengan proyek-proyek tersebut. Selanjutnya, langkah-langkah perbaikan yang spesifik dan tindakan pencegahan dapat dirumuskan.

Baik Six Sigma maupun FMEA melibatkan kolaborasi tim lintas disiplin untuk

mengidentifikasi masalah dan mengembangkan solusi. FMEA melibatkan tim dalam mengidentifikasi mode kegagalan, akar penyebab, dan tindakan mitigasi. Six Sigma mendorong tim untuk menganalisis data, mengidentifikasi akar penyebab variabilitas, dan mengimplementasikan perbaikan. siklus peningkatan berkelanjutan, Six Sigma memiliki metodologi *DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control)*, yang merupakan pendekatan berkelanjutan untuk perbaikan. FMEA berperan dalam tahap analisis risiko (termasuk penilaian dampak dan probabilitas) serta tahap perbaikan. Keduanya dapat diintegrasikan ke dalam siklus perbaikan berkelanjutan yang lebih besar. Dalam rangka mencapai perbaikan kualitas yang holistik dan berkelanjutan, perusahaan dapat menggunakan Six Sigma untuk mengidentifikasi dan mengukur masalah dalam proses, dan menggabungkannya dengan FMEA untuk merinci analisis risiko dan langkah-langkah mitigasi. Kedua metodologi ini bekerja bersama untuk mengidentifikasi masalah, merumuskan solusi, dan mencegah kegagalan potensial dalam produksi atau proses.

2.3 Metode DEMATEL

Decision Making Trial And Evaluation Laboratory (DEMATEL) adalah metode yang berfungsi dalam menganalisa permasalahan yang bersifat kompleks. Metode ini pertama kali dicetuska oleh The Battelle Memorial Institute (BMA) pada tahun 1971 (Gabus dan Fontela, 1973 dalam Ranjbar et al., 2014). DEMATEL fungsi utamanya yaitu menfragmentasikan fenomena antagonis dalam bidang sosial dan integrasi pengambilan keputusan. Menurut Wu dan Lee (2007) dalam Ranjbar dan Shirazi (2014), DEMATEL merupakan metode yang tepat untuk mendesain dan menganalisis permasalahan yang kompleks dengan membuat model terstruktur dari hubungan sebab akibat antara faktor dalam sistem. Penyelesaian masalah yang kompleks dengan menggunakan DEMATEL disajikan secara grafis sehingga mampu mempermudah peneliti untuk melakukan penyelesaian masalah serta perencanaan sistem. Penggunaan metode DEMATEL memiliki beberapa keuntungan, yaitu:

- Mendapatkan sekelompok data yang mampu menggambarkan interaksi antara sub-sistem.
- Mendapatkan bentuk model terstruktur untuk mengevaluasi dalam proses pengambilan keputusan.
- Mendapatkan visualisasi hubungan sebab akibat dari subsistem dengan menawarkan diagram sebab akibat berdasarkan pemahaman karakter permasalahan dan pendapat ahli. Langkah-langkah penggunaan metode DEMATEL adalah sebagai berikut (Ranjbar et al.,

2014):

1. Menentukan intensitas hubungan relasi antar faktor (skala evaluasi).

Dalam tahap ini dilakukan penilaian terhadap intensitas hubungan relasi antar faktor untuk menentukan dampak dan efektivitas relasi. Ukuran skala penilaian berbeda-beda tergantung maksud dan tujuan peneliti. Semakin besar skala penilaian semakin besar probabilitas dalam expert menilai kuisioner DEMATEL. Skala penilaian yang dicontohkan dalam Ranjbar et al. (2014) adalah 0-4, nilai 0 memiliki arti tidak memiliki hubungan relasi dan akibat (no relation and effect), 1 memiliki arti low effect, 2 memiliki arti medium effect, 3 memiliki arti high effect, dan 4 memiliki arti very high effect.

2. Membuat *direct-relation matrix* (matriks hubungan langsung)

Dengan penilaian dari expert mengenai hubungan dan dampak kemudian dibuat daftar ke dalam matrik hubungan langsung. Pada tahap ini apabila expert yang melakukan penilaian lebih dari satu maka dicari rata-rata nilai antar expert. Dalam matrik, X_{ij} merupakan dampak dari akibat yang ditimbulkan i kepada j . Sedangkan garis diagonal utama matriks ditetapkan 0. Persamaan matematis yang digunakan dapat dilihat pada rumus 2.1

$$X = \begin{bmatrix} 0 & X_{12} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & 0 & \dots & X_{2n} \\ \vdots & \vdots & 0 & \vdots \\ X_{n1} & X_{n2} & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

3. Melakukan normalisasi *direct-relation matrix*

Matrik hubungan langsung X , kemudian dilakukan normalisasi menjadi matriks Z dengan persamaan (1) dan (2). Matriks diagonal utama tetap bernilai 0 dan jumlah dari masing-masing baris dan kolom maksimum adalah 1.

$$Z = k X$$

$$k = \min \left[\frac{1}{\max_i \sum_{j=1}^n |X_{ij}|}, \frac{1}{\max_j \sum_{i=1}^n |X_{ij}|} \right], j = 1, 2, \dots, n \quad (2.3)$$

Rumus 2. 1 *direct-relation matrix*

4. *Direct and indirect relation matrix*

Matriks Z yang telah dibuat kemudian dibangun dalam hubungan matrik langsung dan

tidak langsung (T) dengan persamaan 2. 3

$$T = Z (I - X)^{-1} \cdot I = \text{matriks identitas} \quad (2.4)$$

Rumus 2. 2 *Direct and indirect relation matrix*

5. Menghitung total baris dan kolom

Setelah membuat matriks T, kemudian menghitung total baris (Di) dan total kolom (Rj) dengan persamaan 2.5.

$$\begin{aligned} D_i &= [\sum_{j=1}^n T_{ij}] (i = 1, 2, \dots, n) \\ R_j &= [\sum_{i=1}^n T_{ij}] (j = 1, 2, \dots, n) \end{aligned} \quad (2.5)$$

6. Membangun model kausal DEMATEL

Model kausal DEMATEL berbentuk diagram (digraph). Diagram kausal menggunakan (D+R) sebagai garis horizontal dan (D-R) sebagai garis vertikal. (D+R) menunjukkan keseluruhan tingkatan dari variabel yang saling mempengaruhi satu sama lain dan (D-R) sebagai hubungan yang artinya perbedaan tingkatan dari variabel menjadi dipengaruhi dan berpengaruh pada yang lain. Beberapa variabel dengan nilai (D-R) positif mempunyai pengaruh yang lebih besar daripada variabel lainnya dan diasumsikan sebagai prioritas utama, biasa disebut *dispatcher*. Sedangkan variabel dengan nilai (D-R) negatif menerima pengaruh lebih besar dan diasumsikan sebagai prioritas terakhir, biasa disebut *receiver*. Untuk nilai (D+R) mengindikasikan hubungan antar variabel sehingga apabila variabel dengan nilai (D+R) lebih besar berarti memiliki hubungan yang lebih besar. Grafik dapat diperoleh dengan menentukan nilai threshold.

2.4 Penelitian Terdahulu

Penelitian dari Soundararajan (2019) yang bertujuan untuk pengurangan biaya dan peningkatan kualitas pada Usaha Kecil Menengah (UKM) dengan menerapkan tahap-tahap define, measure, analyze, improve, dan control (DMAIC) dari Six Sigma. Penelitian ini memadukan FMEA untuk mengetahui faktor dominan yang mempengaruhi kegagalan produk dan pemborosan biaya. Hasil yang diperoleh yaitu biaya dapat dikurangi dan nilai sigma meningkat dari 2,9 menjadi 4,4 sigma.

Penelitian dari Nasution dan Sodikin (2018) yang berjudul Perbaikan Kualitas Proses Produksi Karton Box Dengan Menggunakan Metode DMAIC dan Fuzzy FMEA. peningkatan

proses pembuatan filter dengan menggunakan six sigma. Penelitian tersebut menggabungkan Metode DMAIC dan Fuzzy FMEA. Metode FMEA dalam penelitian ini digunakan pada tahap improve yang bertujuan untuk menyusun usulan perbaikan yang efektif.

Anggraeni dan Sugiyarto (2020) melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengurangi produk cacat dalam proses produksi kaos di UMKM konveksi Gareng T-Shirt. Metode yang digunakan adalah Six Sigma dengan tahap *Detect, Measure, Analyze, Improve, dan Control* (DMAIC). Dari penelitian yang dilakukan diketahui bahwa cacat yang ada dalam proses produksi kaos terdapat pada kemasan, jahitan, potongan kain, dan sablon dengan nilai *Defect per Million Opportunities* (DPMO) sebesar 1.975 unit atau setara dengan sigma 3.1. Lalu untuk faktor cacat dilakukan analisis dengan metode *fishbone diagram* dan metode FMEA. Hasil nilai *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi yaitu pada proses sablon dengan nilai 596 diikuti oleh packaging dengan nilai RPN 512.

Pratikto et al. (2016) melakukan penelitian untuk meningkatkan kualitas proses produksi sandal di salah satu pabrik manufaktur sandal di Kota Pasuruan. Peneliti mengintegrasikan metode Six Sigma, FMEA, dan *Analytic Hierarchy Process* (AHP) untuk mengidentifikasi produk cacat dan penyebabnya. Berdasarkan analisis didapatkan empat jenis cacat yang menjadi CTQ yaitu cacat pengeleman, jahitan, keriput, dan pecahpecah. Setelah dilakukan perhitungan didapatkan nilai DPMO sebesar 9.439 atau sama 9 dengan 3,848 sigma. Hasil penelitian memberikan rekomendasi perbaikan untuk meminimalkan cacat pengeleman berdasarkan urutan Bobot Prioritas FMEA-AHP skor tertinggi dengan urutan nilai terbesar adalah kurangnya keterampilan pekerja, pencahayaan kurang, material yang kurang bagus, adanya kotoran di permukaan mal, permukaan alas pengeleman yang tidak rata, suhu temperatur dingin, aplikasi SOP belum optimal.

Kifta dan Sipahutar (2018) melakukan penelitian untuk meningkatkan produktivitas menggunakan metode Six Sigma di PT. Mega Technology Batam. PT. Mega Technology Batam merupakan perusahaan produsen *Cover Coffee Maker* (CCM). Salah satu masalah yang kerap timbul adalah cukup tingginya produk cacat yang ada dalam proses produksi, dalam satu bulan terdapat produk cacat sebesar 5,99% dari total produksi, setelah dilakukan perhitungan didapatkan nilai DPMO sebesar 59.929,39 atau senilai 3,1 sigma. Setelah diteliti lebih lanjut dengan analisis FMEA diketahui salah satu penyebab tingginya cacat adalah karena pekerja yang kurang terlatih. Setelah rekomendasi perbaikan diimplementasikan didapatkan peningkatan nilai sigma menjadi 3,7.

Kholil (2023) yang mengkaji Penerapan Lean Manufacturing untuk Mengurangi *Reject* dengan pendekatan DMAIC dan FMEA. Hasil penelitian yang diperoleh yaitu jenis barang cacat yang dominan adalah barang rusak dan tergores dan diidentifikasi faktor manusia sebagai penyebab utama. Beberapa rekomendasi perbaikan diusulkan pada tahap *Improve* dengan mengintegrasikan FMEA.

Febriana dan Hasbullah (2021) mengkaji analisis dan perbaikan cacat menggunakan FTA, FMEA, dan MLR Melalui Fase dmaic studi kasus pada proses pencampuran industri pembuatan ban. Hasil penelitian etode yang digunakan di penelitian ini dapat membantu dalam menemukan akar permasalahan, pengujian korelasi antara faktor penyebab dan utama masalah, dan membuat rekomendasi tindakan sebagai solusi dan langkah pencegahan terjadinya cacat pada pencampuran proses proses pembuatan ban. Perbaikannya yang telah dilakukan dapat efektif dalam meningkatkan kemampuan proses pada kompon pemecah baja sebagai yang utama permasalahan yang berdampak pada penurunan rasio kecacatan.

Penelitian dari Rhamdan dkk (2022) yang mengkaji pemilihan supplier bahan baku creambath menggunakan Metode DEMATEL (*Decison Making Trial And Evaluation Labotary*) Dan ANP (Analytic Network Process). Penelitian tersebut menggunakan metode DEMATEL untuk memberikan prioritas terbaik produk yang akan dipilih dengan menggabungkan faktor-faktor yang mendorong prioritas pemilihan supplier. Persamaan dalam penelitian ini yaitu menggunakan metode DEMATEL untuk memprioritaskan suatu permasalahan. Namun dalam penelitian ini mengkaji faktor-faktor yang menyebabkan cacat produksi, sehingga indikator yang diprioritaskan adalah indikator yang paling berpengaruh terhadap proses produksi pakan.

Penelitian dari Tsai dkk (2017), berjudul Combining FMEA with DEMATEL models to solve production process problems. Penelitian ini membahas tentang kombinasi antara metode FMEA dengan DEMATEL dalam permasalahan proses produksi *photovoltaic cell* industry. Metode FMEA digunakan untuk mengidentifikasi factor-faktor penyebab kegagalan serta memberikan prioritas berdasarkan perhitungan RPN. Analisis DEMATEL dilakukan karena factor penyebab kegagalan memiliki interaksi satu sama lain. Analisis DEMATEL di lakukan untuk menentukan *cause* dan *effect* factor.

Penelitian dari Gupta dkk (2019), berjudul An integrated DEMATEL Six Sigma hybrid framework for manufacturing process improvement. Penelitian ini menjelaskan bagaimana integrasi metode DEMATEL dengan Six Sigma untuk implementasi pada UMKM. Penggunaan metode DEMATEL dilakukan karena pada UMKM keterbatasan data yang tersedia terkait data produksi, data kualitas. Sehingga metode DEMATEL digunakan pada fase *measure* dalam siklus

DMAIC, untuk mengidentifikasi jenis-jenis cacat yang terjadi dan kategori antara *causal factor* dan *effect factor*. Jenis cacat pada kategori *causal factor* inilah yang menjadi focus dalam penelitian tersebut untuk dilakukan analisis lebih lanjut.

Penelitian dari Shen dkk (2014) berjudul *System failure analysis based on DEMATEL–ISM and FMECA*. Penelitian ini membahas tentang keandalan sistem dan perlunya penelitian terhadap mekanisme propagasi kegagalan dalam sistem yang kompleks. Metode DEMATEL dan ISM dikombinasikan untuk menganalisis hubungan antar subsistem dan mengidentifikasi subsistem kegagalan utama. Metode FMECA digunakan untuk melakukan analisis bahaya kualitatif dan menentukan titik fokus untuk meningkatkan keandalan sistem. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode yang diusulkan dapat diterapkan secara efisien pada masalah analisis kegagalan sistem. Rangkuman dari perbandingan penelitian terdahulu dapat dilihat pada tabel 2.4.

Tabel 2.4

Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Nama	Judul	Metode	Keterangan	Perbedaan
Kifta dan Sipahutar (2018)	Penerapan Six Sigma Upaya Peningkatan Produktivitas Pada Perusahaan Moulding Plastik (Studi Kasus PT. Mega Technology Batam)	Six Sigma & FMEA	Metode yang digunakan adalah Six Sigma dengan siklus DMAIC	Pada penelitian ini di tahap analisis mengintegrasikan FMEA untuk menganalisis faktor dominan yang menyebabkan cacat produksi pakan. Penelitian tersebut tidak mengidentifikasi jenis cacat secara detail, namun cacat diidentifikasi secara kumulatif sehingga faktor penyebabnya menjadi tunggal.
Soundararajan (2019)	Cost-reduction and quality improvement using DMAIC in the SMEs	Six Sigma & FMEA	FMEA untuk mengetahui faktor dominan yang mempengaruhi kegagalan produk dan pemborosan biaya	Penelitian ini menggunakan FMEA untuk memberikan rekomendasi perbaikan terhadap faktor dominan yang menyebabkan cacat produksi pakan
Nasution dan Sodikin (2018)	Perbaikan Kualitas Proses Produksi Karton Box Dengan Menggunakan Metode DMAIC Dan Fuzzy FMEA	Six Sigma & Fuzzy FMEA	Metode FMEA dalam penelitian ini digunakan pada tahap <i>improve</i> yang bertujuan untuk menyusun usulan perbaikan yang efektif.	Penelitian tersebut menggunakan FMEA pada tahap <i>improve</i> sedangkan penelitian ini menggunakan FMEA pada tahap <i>analyze</i>

Tabel 2.4

Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu (lanjutan)

Nama	Judul	Metode	Keterangan	Perbedaan
Anggraeni dan Sugiyarto (2020)	Quality control analysis of t-shirt production process to increase company productivity by using six sigma-dmaic method case study of gareng t-shirt convection yogyakarta	Six Sigma & FMEA	Menggunakan DMAIC dan FMEA pada tahap analisis menentukan proses yang menyebabkan cacat	Perbedaannya pada sampel penelitian yang digunakan. Jumlah sampel yang diambil pada penelitian ini memiliki jumlah yang lebih banyak
Kholil (2023)	Lean Manufacturing Implementation to Reduce Reject on Part Step Floor with DMAIC and FMEA approach	Lean, Six Sigma, FMEA	Metode yang digunakan adalah Six Sigma dengan siklus DMAIC dengan FMEA pada tahap <i>improve</i>	Perbedaan yang ditemukan adalah adanya perbedaan integrasi FMEA. Jenis produk yang dikaji cacatnya hanya satu
Rhamdan dkk (2022)	Pemilihan Supplier Bahan Baku Creambath Menggunakan Metode DEMATEL (Decison Making Trial And Evaluation Labotary) Dan ANP (Analytic Network Process)	DEMATEL & ANP	Metode DEMATEL (Decison Making Trial And Evaluation Labotary) Dan ANP (Analytic Network Process)	Penelitian tersebut menggunakan metode DEMATEL untuk memberikan prioritas terbaik produk yang akan dipilih. Namun dalam penelitian ini mengkaji faktor-faktor yang menyebabkan cacat produksi, sehingga indikator yang diprioritaskan adalah indikator yang paling berpengaruh terhadap proses produksi pakan

Tabel 2.4 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu (lanjutan)

Nama	Judul	Metode	Keterangan	Perbedaan
Tsai B.S., et al. (2017)	Combining FMEA with DEMATEL models to solve production process problems	FMEA & DEMATEL	Penggunaan metode FMEA dan DEMATEL pada industri <i>photovoltaic cell</i> / panel surya untuk mengidentifikasi penyebab kegagalan dan prioritas dalam perbaikan	Penelitian tersebut menggunakan metode FMEA dan DEMATEL untuk mendapatkan prioritas faktor penyebab kegagalan yang perlu diselesaikan. Perbedaan yang ditemukan adalah tidak menggunakan metode six sigma, sehingga hasil dari penelitian berupa faktor penyebab kegagalan dan prioritas yang perlu dilakukan. Serta jenis produk akhirnya hanya satu yakni <i>photovoltaic cell</i> .
Gupta A., et al. (2019)	An integrated DEMATEL Six Sigma hybrid framework for manufacturing process improvement	Six Sigma & DEMATEL	Penggunaan metode Six Sigma dan DEMATEL pada industri UMKM, dimana metode DEMATEL digunakan pada fase <i>measure</i> untuk identifikasi jenis kecacatan yang terjadi, serta membagi menjadi dua grup <i>causal factor</i> & <i>effect factor</i>	Penelitian tersebut menggunakan metode Six Sigma dan DEMATEL. Metode DEMATEL yang digunakan pada fase <i>measure</i> untuk menilai hubungan jenis cacat yang terjadi, sehingga fase analisis (DMAIC) yang dilakukan berfokus pada jenis cacat yang termasuk dalam jenis <i>causal factor</i> . Sedangkan pada penelitian yang dilakukan DEMATEL digunakan pada fase analisis untuk menguatkan hasil dari FMEA terjadi prioritas penyebab cacat yang perlu di perbaiki.

Tabel 2.4

Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu (lanjutan)

Nama	Judul	Metode	Keterangan	Perbedaan
Shen., et al. (2014)	System failure analysis based on DEMATEL–ISM and FMECA	DEMATEL, ISM dan FMECA	Metode DEMATEL dan ISM dikombinasikan untuk menganalisis hubungan antar subsistem dan mengidentifikasi subsistem kegagalan utama. Metode FMECA digunakan untuk melakukan analisis bahaya kualitatif dan menentukan titik fokus untuk meningkatkan keandalan sistem.	Penelitian tersebut menggunakan DEMATEL dalam mengidentifikasi kegagalan paling prioritas sedangkan dalam penelitian ini DEMATEL digunakan untuk mengkerucutkan beberapa penyebab kegagalan yang sudah diidentifikasi dalam proses DMAIC
Febriana dan Hasbullah (2021)	Analysis and Defect Improvement Using FTA, FMEA, and MLR Through DMAIC Phase: Case Study in Mixing Process Tire Manufacturing Industry	Six Sigma, FTA, FMEA, dan MLR	Metode yang digunakan DMAIC, FTA, FMEA dan MLR. FMEA dilakukan pada fase analisis	Perbedaan yang ditemukan adalah penelitian tersebut hanya mengkaji di satu sub proses produksi yaitu pada tahap pencampuran bahan.
Pratikto et al. (2016)	PENDEKATAN LEAN SIX SIGMA, FMEA-AHP UNTUK MENGIDENTIFIKASI PENYEBAB CACAT PADA PRODUK SANDAL	Lean, Six Sigma, FMEA & AHP	FMEA dan AHP untuk memberikan peringkat terkait dengan penyebab dominan yang harus diselesaikan	Penelitian tersebut berfokus pada pemeringkatan penyebab cacat yang perlu untuk diperbaiki dengan AHP