

Analysis Packaging Quality of Halal Food Products Using the Six Sigma Method and Root Cause Analysis (RCA)

[Analisis Kualitas Kemasan Produk Pangan Halal Menggunakan Metode Six Sigma dan Root Cause Analysis (RCA)]

Nurria Peppi Yuwana¹⁾, Hana Catur Wahyuni^{*,2)}

¹⁾Program Studi Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾Program Studi Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: hanacatur@umsida.ac.id

Abstract. PT. XYZ is a company that operates in the snack industry sector, specifically in wafers production. The problem faced by the company is the high level of defects in the packaging process. The percentage of packaging defects for the last 12 months was 1.24%, exceeding the company's tolerance limit of 1% of total production, with a defect value of 7962 pcs. The purpose of this study is to reduce the level of defects to within the tolerance limit set by the company. The methods used are six sigma (DMAIC) and Root Cause Analysis (RCA). The results of study showed that the highest percentage of defects was found in the wound/tear corner endseal of 44% of the total defects, the average DPMO value was 1131.46 and the average sigma level was 4.56. The occurrence of defects is caused by method, machine, man, environment, and material factors.

Keywords - Quality; Six Sigma; Root Cause Analysis

Abstrak. PT. XYZ adalah perusahaan yang beroperasi di sektor industri makanan ringan yaitu wafer. Permasalahan yang dihadapi oleh perusahaan adalah tingkat kecacatan yang tinggi pada proses pengemasan. Persentase kecacatan kemasan selama 12 bulan terakhir sejumlah 1,24%, melewati batas toleransi perusahaan yaitu 1% dari total produksi, dengan nilai kecacatan sebanyak 7962 pcs. Tujuan dari penelitian ini adalah menekan tingkat cacat hingga berada dalam batas toleransi yang ditetapkan oleh perusahaan. Metode yang digunakan yaitu six sigma (DMAIC) dan Root Cause Analysis (RCA). Hasil penelitian menunjukkan persentase kecacatan tertinggi terdapat pada endseal sudut luka/sobek sebesar 44% dari total kecacatan, nilai rata-rata DPMO sebesar 1131,46 dan rata-rata level sigma 4,56. Terjadinya kecacatan disebabkan karena faktor method, machine, man, environment, dan material.

Kata Kunci - Kualitas; Six Sigma; Root Cause Analysis

I. PENDAHULUAN

Industri manufaktur saat ini dituntut untuk dapat meningkatkan kualitas produk dengan tetap mempertahankan efisiensi dan produktivitas proses produksi. Produktivitas merupakan perbandingan antara nilai yang didapatkan (*output*) dengan nilai masukan (*input*) yang dilakukan dalam suatu proses produksi. Produktivitas digunakan sebagai alat untuk menganalisis dan mengukur seberapa optimal perusahaan dalam memanfaatkan sumber daya yang dimilikinya untuk menghasilkan *output* yang diharapkan [1].

Kualitas merupakan taraf derajat atau tingkat baik buruknya suatu produk. Kualitas merupakan aspek yang sangat penting dalam sebuah produk, karena berkaitan langsung dengan bisnis dan berfungsi sebagai indikator dalam mengukur tingkat keuntungan suatu perusahaan [2]. Pengendalian kualitas adalah upaya yang dilakukan untuk meningkatkan dan memastikan kelancaran proses produksi melalui pemeriksaan yang dilakukan secara berkesinambungan. Pengendalian kualitas ini bertujuan untuk memastikan bahwa proses dilaksanakan sesuai dengan standar yang telah ditentukan, sehingga dapat menghasilkan produk atau jasa dengan kualitas yang diharapkan [3]. Pengendalian kualitas merupakan upaya yang dilakukan oleh perusahaan untuk menjamin mutu produk sebelum dipasarkan kepada konsumen [4].

Produk yang memenuhi standar halal menjadi elemen penting dalam praktik perdagangan dan ekonomi global. Hal ini diperlukan untuk memenuhi tuntutan terhadap standar dan kualitas internasional, demi membangun kepercayaan konsumen di berbagai negara [5]. Menurut Undang-Undang Nomor 33 Tahun 2014 Pasal 1 ayat (2) tentang Jaminan Produk Halal (JPH), "Produk Halal adalah produk yang telah dinyatakan halal sesuai dengan syariat Islam" [6]. Menyediakan pangan halal dan aman adalah peluang bisnis yang menjanjikan. Produk bersertifikasi halal lebih menarik minat konsumen baik Muslim maupun non-Muslim. Sebaliknya, pemasaran produk tanpa label halal di negara mayoritas Muslim seperti Indonesia cenderung kurang diminati dan dapat merugikan pelaku usaha [5].

PT. XYZ adalah perusahaan yang beroperasi di sektor industri makanan, dengan produk utama wafer. Setiap perusahaan dituntut untuk memproduksi produk dengan kualitas tinggi dan bersertifikasi halal. Hal ini disebabkan oleh kebutuhan pelanggan yang semakin meningkat dan kesadaran akan kualitas yang semakin tinggi. PT. XYZ memiliki visi untuk menjadikan kepuasan pelanggan sebagai prioritas utama dengan menyediakan produk yang aman

dan berkualitas. Salah satu permasalahan yang sering terjadi pada produksi di PT. XYZ adalah tingkat kerusakan yang tinggi pada saat proses pengemasan. Berdasarkan laporan harian, pencapaian produksi dalam 12 bulan terakhir adalah 642.584 pcs, dengan tingkat kecacatan kemasan sebanyak 7962 pcs. Sehingga persentase kemasan cacat sejumlah 1,24%, melewati batas toleransi perusahaan sebesar 1% dari total produksi. Kecacatan tersebut terjadi pada proses pengemasan, yaitu kasus kemasan *ngejam*, *endseal* sudut melipat, *endseal* sudut luka/sobek, *endseal* sudut kurang kuat, *centerseal* keluar, *centerseal* kedalaman, *centerseal* jebol, *centerseal* kurang kuat, *centerseal* kepanasan, gambar lari, tidak ada *coding*, dan *coding* tergores/terpotong. Hal tersebut menjadi permasalahan bagi perusahaan, oleh karena itu perlu adanya metode perbaikan yang dapat digunakan sebagai strategi untuk meningkatkan kualitas pada proses produksi dan meningkatkan produktivitas perusahaan.

Perusahaan diharapkan mampu meminimalkan kerugian yang disebabkan oleh faktor efisiensi produksi, baik dari segi kuantitas, kualitas, maupun waktu. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk melakukan perbaikan dan peningkatan kualitas adalah dengan menerapkan metode *six sigma*. *Six sigma* adalah metode yang bertujuan untuk mencapai kinerja operasional dengan tingkat cacat yang sangat rendah, yaitu hanya 3,4 cacat per satu juta peluang atau aktivitas [7]. Dalam implementasinya, untuk mengetahui tingkat signifikan dari kecacatan produk, dilakukan melalui penerapan tahapan DMAIC: *Define*, *Measure*, *Analyze*, *Improve*, dan *Control* dalam metode *six sigma* [8].

Root Cause Analysis (RCA) adalah sebuah metode yang digunakan untuk mengidentifikasi penyebab utama dari suatu masalah atau kejadian yang tidak diinginkan. Pendekatan ini membantu dalam menjawab pertanyaan mengenai apa yang terjadi di lini produksi pengemasan, bagaimana hal tersebut bisa terjadi, serta mengapa hal tersebut dapat terjadi, sehingga solusi yang efektif dapat dirancang dan diterapkan di perusahaan [9].

Berikut merupakan penelitian yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya terkait penerapan metode *six sigma*. Penelitian dari Sahelangi [10] yang membahas analisa pada kemasan produk menggunakan metode *six sigma* (DMAIC), menyatakan jenis cacat terbanyak adalah geset melipat, faktor penyebab terjadi pada faktor manusia, material, mesin, dan metode. Penelitian Izzah [11] yang membahas tentang tingkat kerusakan produk rebana sebesar 144.835 DPMO, dengan cacat utama berupa meletus (40%), retak (38%), dan suara kendur (22%). Perbaikan disarankan pada faktor manusia, mesin, dan material untuk mengurangi kecacatan tersebut. Penelitian Kusuma [4] yang membahas cacat kemasan menggunakan metode *six sigma*, menyatakan bahwa jenis cacat yang terjadi pada kemasan sekunder yaitu sobek, print dan kotor, DPMO pada penelitian ini sebesar 7090,88 (*sigma* 4,0). Faktor penyebabnya yaitu faktor manusia, mesin dan metode. Penelitian Sabillah [12] yang membahas tingkat kerusakan kemasan mie instan menggunakan metode *six sigma*, menyatakan bahwa jenis cacat terbanyak terjadi pada proses suhu sambungan dan bumbu *oil* bocor, nilai *sigma* yang dihasilkan pada penelitian ini sebesar 4,96 dengan faktor penyebabnya adalah faktor manusia. Beda penelitian ini dengan penelitian terdahulu adalah menggabungkan metode *six sigma* (DMAIC), *Root Cause Analysis* (RCA) dan pendekatan 5W+1H untuk mengidentifikasi akar penyebab cacat. Penelitian ini menyajikan periode pengamatan yang lebih panjang selama 12 bulan yang dapat memberikan cakupan data analisis yang lebih luas terhadap variasi produksi.

Pada penelitian ini menggunakan dua metode utama, yaitu *Six Sigma* dan *Root Cause Analysis* (RCA), yang digunakan untuk meningkatkan kualitas dan mengurangi cacat produk. Metode *Six Sigma* diterapkan untuk pengendalian kualitas dan pengurangan tingkat cacat produk secara sistematis melalui pendekatan DMAIC. Sementara *Root Cause Analysis* (RCA) digunakan untuk mencari penyebab utama dari cacat yang terjadi dengan *fishbone* diagram dan 5W+1H. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor yang berpengaruh terhadap kecacatan pada proses pengemasan yaitu *endseal* sudut luka/sobek, menemukan akar penyebab masalah dan merancang rekomendasi perbaikan yang efektif dan berkelanjutan. Tujuan akhir dari penelitian adalah untuk menekan tingkat cacat hingga berada dalam batas toleransi yang ditetapkan oleh perusahaan.

Manfaat dari penelitian ini adalah: 1) Meningkatkan efisiensi dan kualitas produksi dengan mengidentifikasi penyebab ketidakstabilan proses. 2) Mengurangi cacat dan memperbaiki pemeliharaan mesin serta evaluasi kinerja operator. 3) Hasil penelitian dapat digunakan untuk pembuatan Standar Operasional Prosedur (SOP) dan pengendalian yang lebih ketat. 4) Meningkatkan daya saing dan kepuasan pelanggan.

II. METODE

Penelitian ini dilakukan selama enam bulan di PT. XYZ, dari bulan September 2024 sampai dengan bulan Februari 2025. Pengambilan data melalui observasi proses produksi secara langsung dan mengidentifikasi titik-titik yang berpotensi menimbulkan masalah kualitas, yaitu proses pengemasan dan pemeriksaan kualitas di line produksi. Wawancara dilakukan secara langsung di lapangan dengan operator produksi, *shift leader* produksi, dan *shift leader quality control*. Data *defect* dan pencapaian target produksi diperoleh dari wawancara dengan supervisor *quality control* dan supervisor produksi. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas kemasan pada proses produksi menggunakan metode *six sigma* DMAIC dan *Root Cause Analysis* (RCA) dengan pendekatan *fishbone* diagram dan 5W+1H.

A. Six Sigma

Six Sigma merupakan metodologi peningkatan kualitas berbasis data yang digunakan untuk mengidentifikasi dan menghilangkan sumber variasi dan penyebab cacat [13]. Pendekatan DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*) adalah metode yang diterapkan untuk mengevaluasi dan mengukur keberhasilan penerapan *Six Sigma* [14].

B. Tahap DMAIC

1. Define

Define bertujuan untuk mengidentifikasi masalah dalam proses produksi dengan menentukan aspek-aspek *Critical to Quality* (CTQ). Pada langkah ini, dilakukan analisis terhadap berbagai jenis cacat yang terjadi beserta jumlahnya [4].

2. Measure

Measure atau pengukuran adalah tahap untuk mengukur masalah yang ada di perusahaan [4]. Pada tahap ini, dilakukan pembuatan diagram peta kendali untuk mengidentifikasi variasi yang terjadi selama produksi [11]. Berikut merupakan langkah-langkah pembuatan peta kendali:

a. Menghitung Proporsi Kecacatan (p)

$$p = \frac{\text{Jumlah Defect}}{\text{Jumlah Produksi}} \quad (1)$$

Sumber: [11], [15], [16]

b. Menghitung Garis Tengah (*Center Line* / CL)

$$CL = \bar{p} = \frac{\sum np}{\sum n} \quad (2)$$

Sumber: [11], [16], [17]

Dimana:

$\sum np$: jumlah total defect

$\sum n$: jumlah total sampel

$\bar{p}$: rata-rata defect

c. Menghitung Batas Kendali Atas (*Upper Control Limit* / UCL)

$$UCL = \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad (3)$$

Sumber: [11], [12], [17]

d. Menghitung Batas Kendali Bawah (*Lower Control Limit* / LCL)

$$LCL = \bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad (4)$$

Sumber: [11], [12], [17]

Dimana:

$\bar{p}$: rata-rata defect

n : jumlah produksi

Berikut merupakan rumus perhitungan dalam menentukan DPO, DPMO, dan nilai *sigma*:

a. Menghitung Defect Per Opportunity (DPO)

$$DPO = \frac{\text{Jumlah Cacat}}{\text{Jumlah Unit Diperiksa} \times \text{CTQ}} \quad (5)$$

Sumber: [4], [18], [19]

b. Menghitung Defect Per Million Opportunity (DPMO)

$$DPMO = DPO \times 1.000.000 \quad (6)$$

Sumber: [4], [18], [19]

c. Menghitung Nilai Sigma Menggunakan Microsoft Excel

$$\text{Nilai Sigma} = \text{NORMSINV} \left(\frac{1.000.000 - \text{DPMO}}{1.000.000} \right) + 1,5 \quad (7)$$

Sumber: [4], [18], [19]

d. Klasifikasi Level Sigma

Tabel 1. Tingkat Sigma

Tingkat Pencapaian Sigma	DPMO	Keterangan
1-sigma	691.462	Sangat tidak kompetitif
2-sigma	308.538	Rata-rata industri Indonesia
3-sigma	66.807	-

4-sigma	6.210	Rata-rata industri USA
5-sigma	233	-
6-sigma	3,4	Industri kelas dunia

Sumber: [20].

3. Analyze

Pada tahap *analyze* dilakukan proses menganalisis penyebab cacat pada produk [4]. Pada tahap ini mengidentifikasi *Root Cause Analysis* (RCA) dilakukan dengan pembuatan diagram pareto yang bertujuan untuk mengetahui banyaknya produk cacat dan *fishbone* yang bertujuan untuk mengetahui penyebab cacat [11].

4. Improve

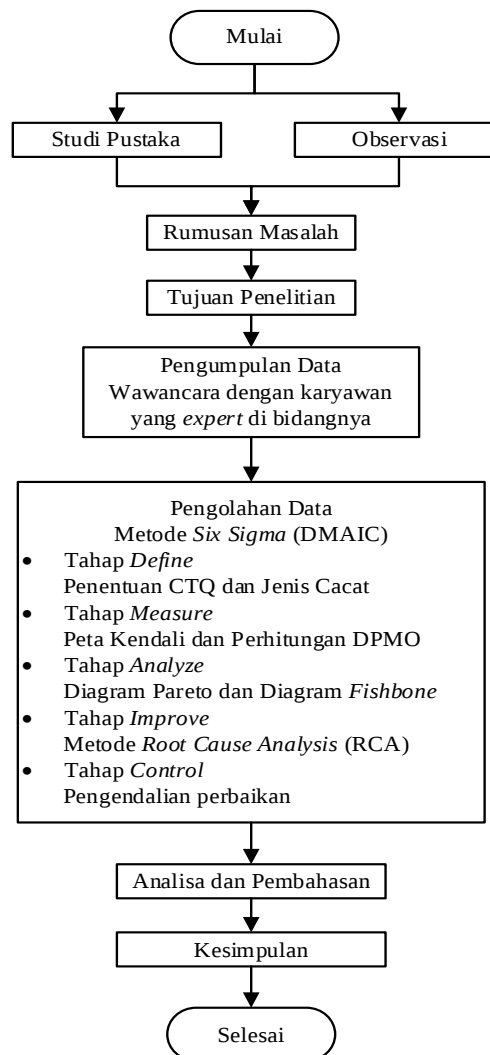
Pada tahap ini menggunakan metode *Root Cause Analysis* (RCA), metode ini dilakukan sebagai upaya perbaikan untuk mengatasi permasalahan sebagai solusi dalam mengurangi tingkat kecacatan produk. Pada tahap *improve*, tujuan utamanya adalah untuk mengidentifikasi akar penyebab masalah dan melakukan perubahan yang diperlukan agar kecacatan produk tidak terulang kembali. Pendekatan 5W+1H dilakukan untuk mengidentifikasi kegiatan-kegiatan yang menjadi penyebab kecacatan produk [21].

5. Control

Tahap *control* merupakan tahap terakhir dalam proses penerapan *six sigma* yang berfokus pada pengendalian dan pemantauan perbaikan serta penyelesaian masalah berdasarkan tindakan yang telah ditetapkan [15]. Pada tahap *control* juga bertujuan untuk meninjau apakah perbaikan yang diusulkan berhasil menurunkan jumlah cacat atau tidak [4].

C. Alur Penelitian

Berikut ini merupakan alur penelitian yang berisi tentang tahapan-tahapan dalam proses penelitian yang terdapat pada gambar 1.



Gambar 1. Alur Penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengumpulan Data

Tabel 2 merupakan data laporan hasil produksi dan data cacat kemasan dari PT. XYZ pada bulan Januari 2024 sampai bulan Desember 2024:

Tabel 2. Data Produksi dan Cacat Kemasan

Periode	Jumlah Produksi	Jumlah Cacat	Persentase Cacat (%)
Januari	109786	1239	1,13
Februari	70545	738	1,05
Maret	32518	414	1,27
April	58662	611	1,04
Mei	37704	469	1,24
Juni	36085	606	1,68
Juli	14600	286	1,96
Agustus	41455	504	1,22
September	28130	662	2,35
Oktober	87388	1019	1,17
November	100925	1156	1,15
Desember	24786	258	1,04
TOTAL	642584	7962	1,24

B. Tahap Define

Pada tahap ini dilakukan analisis jenis cacat beserta jumlahnya pada proses pengemasan produk wafer di PT. XYZ.

1. Penentuan Nilai *Critical to Quality* (CTQ)

Pada data tabel 3, dapat dilakukan identifikasi *Critical to Quality* (CTQ) sebagai berikut:

Tabel 3. *Critical to Quality* (CTQ)

No	Jenis Cacat Kemasan	Penyebab Kecacatan
1	Kemasan <i>ngejam</i>	Kecepatan mesin tidak stabil, <i>pusher</i> tidak sinkron (posisi wafer berantakan)
2	<i>Endseal</i> sudut melipat	Gasket tidak presisi, baut gasket kendur
3	<i>Endseal</i> sudut luka/ sobek	<i>Jaw</i> kotor, suhu terlalu tinggi, <i>speed</i> tidak stabil, <i>setting</i> panjang kemasan terlalu rapat
4	<i>Endseal</i> sudut kurang kuat	Baut <i>endseal</i> kendur, perlu dilakukan <i>setting</i> kerapatan
5	<i>Center seal</i> keluar	Kemasan tidak presisi pada jalur <i>center seal</i>
6	<i>Center seal</i> kedalaman	<i>Setting</i> lebar kemasan terlalu rapat
7	<i>Center seal</i> jebol	Perak <i>allufoil</i> tidak menempel, suhu <i>sealing</i> tidak stabil
8	<i>Center seal</i> kurang kuat	Baut mesin <i>seal</i> tidak rapat, suhu <i>sealing</i> tidak stabil
9	<i>Center seal</i> kepanasan	Suhu <i>sealing</i> terlalu tinggi sehingga hasil <i>sealing</i> keriting
10	Gambar lari	<i>Cut position</i> tidak sesuai
11	Tidak ada <i>coding</i>	Tinta habis, sensor <i>coding error</i>
12	<i>Coding</i> tergores/ terpotong	<i>Head print</i> kotor, sensor <i>coding error</i>

Berdasarkan data pada tabel 3, terdapat 12 jenis cacat *Critical to Quality* (CTQ) terhadap kualitas kemasan produk wafer. Hasil tersebut diperoleh melalui wawancara dengan masing-masing personil dari 3 grup, terdiri dari dua operator produksi, satu *shift leader produksi* dan satu *shift leader quality control*.

Observasi dilakukan dengan pengamatan secara langsung pada proses pengemasan, mulai dari pengaturan awal mesin, pemasangan bahan kemas, proses pengemasan, hingga pengecekan kualitas kemasan. Sehingga diperoleh data mengenai jenis kecacatan pada kemasan.

2. Data Cacat Kemasan

Tabel 4 merupakan jenis cacat kemasan pada proses produksi wafer di PT. XYZ pada bulan Januari 2024 sampai bulan Desember 2024:

Tabel 4. Data Cacat Kemasan

Periode	Jenis Cacat												Jumlah Cacat
	Kemasan ngejam	Endseal sudut melipat	Endseal sudut luka/sobek	Endseal sudut kurang kuat	Center seal keluar	Center seal ke-dalam-an	Center seal jebol	Center seal kurang kuat	Center seal ke-panas-an	Gambar lari	Tidak ada coding	Coding tergores/terpotong	
Januari	150	162	480	151	85	57	19	29	33	11	22	40	1239
Februari	103	89	273	89	48	48	13	14	21	6	11	23	738
Maret	42	33	129	74	27	31	13	16	6	4	13	26	414
April	62	43	272	70	29	51	10	15	18	19	9	13	611
Mei	44	41	178	84	41	21	7	10	9	10	7	17	469
Juni	83	53	187	112	50	32	13	11	16	18	5	26	606
Juli	30	33	116	43	10	8	10	6	4	13	5	8	286
Agustus	66	30	262	6	25	21	16	6	3	38	9	22	504
September	72	22	275	141	48	11	18	21	8	9	12	25	662
Oktober	80	26	539	182	64	19	17	25	16	9	14	28	1019
November	98	30	673	154	57	36	32	26	18	6	9	17	1156
Desember	29	14	98	34	23	18	10	9	7	1	4	11	258
TOTAL	859	576	3482	1140	507	353	178	188	159	144	120	256	7962

C. Tahap Measure

1. Peta Kendali

Pada tahap ini akan dilakukan perhitungan data secara kuantitatif dan pembuatan diagram peta kendali untuk mengukur kualitas proses produksi pada PT. XYZ selama bulan Januari 2024 - Desember 2024. Berikut merupakan perhitungan peta kendali pada cacat kemasan produk wafer yang diperoleh dari persamaan rumus:

a. Perhitungan proporsi kecacatan (p) bulan Januari

$$p = \frac{\text{Jumlah Defect}}{\text{Jumlah Produksi}} \quad (1)$$

$$p = \frac{1239}{109786}$$

$$p = 0,01129$$

b. Menghitung Garis Tengah (*Center Line* / CL)

$$CL = \bar{p} = \frac{\sum np}{\sum n} \quad (2)$$

$$CL = \bar{p} = \frac{7962}{642584}$$

$$CL = \bar{p} = 0,01239$$

c. Menghitung Batas Kendali Atas (*Upper Control Limit* / UCL)

$$UCL = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad (3)$$

$$UCL = 0,01293 + 3\sqrt{\frac{0,01239(1-0,01239)}{109786}}$$

$$UCL = 0,01293 + 3 (0,00033)$$

$$UCL = 0,01293 + 0,00100$$

$$UCL = 0,01339$$

d. Menghitung Batas Kendali Bawah (*Lower Control Limit* / LCL)

$$LCL = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad (4)$$

$$LCL = 0,01293 - 3\sqrt{\frac{0,01239(1-0,01239)}{109786}}$$

$$LCL = 0,01293 - 3 (0,00033)$$

$$LCL = 0,01293 - 0,00100$$

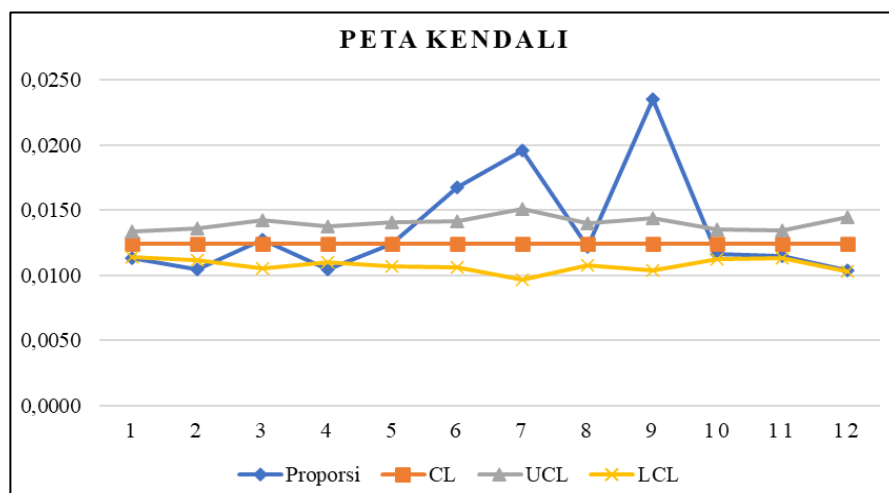
$$LCL = 0,01139$$

Tabel 5 merupakan data perhitungan peta kendali pada bulan Januari 2024 sampai bulan Desember 2024.

Tabel 5. Perhitungan Peta Kendali

Periode	Jumlah Produksi	Jumlah Cacat	Proporsi	CL	UCL	LCL
Januari	109786	1239	0,0113	0,0124	0,0134	0,0114
Februari	70545	738	0,0105	0,0124	0,0136	0,0111
Maret	32518	414	0,0127	0,0124	0,0142	0,0106
April	58662	611	0,0104	0,0124	0,0138	0,0110
Mei	37704	469	0,0124	0,0124	0,0141	0,0107
Juni	36085	606	0,0168	0,0124	0,0141	0,0106
Juli	14600	286	0,0196	0,0124	0,0151	0,0096
Agustus	41455	504	0,0122	0,0124	0,0140	0,0108
September	28130	662	0,0235	0,0124	0,0144	0,0104
Oktober	87388	1019	0,0117	0,0124	0,0135	0,0113
November	100925	1156	0,0115	0,0124	0,0134	0,0113
Desember	24786	258	0,0104	0,0124	0,0145	0,0103
TOTAL	642584	7962				

Pada tabel 5, diperoleh perhitungan rata-rata nilai proporsi kecacatan sebesar 0,01358, rata-rata perhitungan garis tengah (CL) sebesar 0,01239, rata-rata nilai batas kendali atas (UCL) sebesar 0,01402 dan rata-rata nilai batas kendali bawah (LCL) sebesar 0,01076. Dari hasil perhitungan diatas, dapat dilihat grafik peta kendali pada gambar 2 berikut:



Gambar 2. Peta Kendali

Berdasarkan grafik pada gambar 2, diketahui bahwa masih terdapat data proporsi yang melebihi batasan UCL dan LCL. Hal ini menandakan bahwa proses pengemasan pada produksi di PT. XYZ belum konsisten.

Hasil analisis pada peta kendali menunjukkan adanya data ekstrem pada bulan Juni, Juli, dan September, di mana proporsi kecacatan pada bulan-bulan tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan bulan lainnya. Kondisi ini dapat disebabkan oleh faktor jumlah produksi yang tidak konsisten, penurunan jumlah produksi berdampak pada peningkatan proporsi kecacatan secara signifikan. Dalam kondisi jumlah produksi yang rendah, dengan jumlah cacat yang tetap tinggi akan berpengaruh pada kenaikan proporsi kecacatan yang ekstrem.

2. Perhitungan DPMO dan Level Sigma

Pada tahap ini akan dilakukan perhitungan data *Defect Per Opportunity* (DPO), *Defect Per Million Opportunity* (DPMO), dan level *sigma* pada PT. XYZ selama bulan Januari 2024 - Desember 2024 menggunakan persamaan berikut:

a. Menghitung *Defect Per Opportunity* (DPO) bulan Januari

$$\begin{aligned}
 DPO &= \frac{\text{Jumlah Cacat}}{\text{Jumlah Unit Diperiksa} \times CTQ} & (5) \\
 DPO &= \frac{1239}{109786 \times 12} \\
 DPO &= \frac{1239}{1317432} \\
 DPO &= 0,00094
 \end{aligned}$$

- b. Menghitung *Defect Per Million Opportunity* (DPMO) bulan Januari

$$\text{DPMO} = \text{DPO} \times 1.000.000 \quad (6)$$

$$\text{DPMO} = 0,00094 \times 1.000.000$$

$$\text{DPMO} = 940,46600$$
- c. Menghitung Nilai *Sigma* menggunakan *Microsoft Excel* bulan Januari

$$\text{Nilai Sigma} = \text{NORMSINV} \left(\frac{1.000.000 - \text{DPMO}}{1.000.000} \right) + 1,5 \quad (7)$$

$$\text{Nilai Sigma} = \text{NORMSINV} \left(\frac{1.000.000 - 940,46600}{1.000.000} \right) + 1,5$$

$$\text{Nilai Sigma} = 4,61$$

Tabel 6 merupakan tabel hasil perhitungan data *Defect Per Opportunity* (DPO), *Defect Per Million Opportunity* (DPMO), dan level *sigma* pada PT. XYZ selama bulan Januari 2024 - Desember 2024

Tabel 6. Perhitungan DPMO Produk Wafer

Periode	Jumlah Produksi	Jumlah Cacat	CTQ	DPO	DPMO	Level Sigma
Januari	109786	1239	12	0,00094	940,4660	4,61
Februari	70545	738	12	0,00087	871,7840	4,63
Maret	32518	414	12	0,00106	1060,9509	4,57
April	58662	611	12	0,00087	867,9668	4,63
Mei	37704	469	12	0,00104	1036,5832	4,58
Juni	36085	606	12	0,00140	1399,4735	4,49
Juli	14600	286	12	0,00163	1632,4201	4,44
Agustus	41455	504	12	0,00101	1013,1468	4,59
September	28130	662	12	0,00196	1961,1328	4,38
Oktober	87388	1019	12	0,00097	971,7200	4,60
November	100925	1156	12	0,00095	954,5042	4,60
Desember	24786	258	12	0,00087	867,4252	4,63
TOTAL	642584	7962				
Rata-rata					1131,4644	4,56

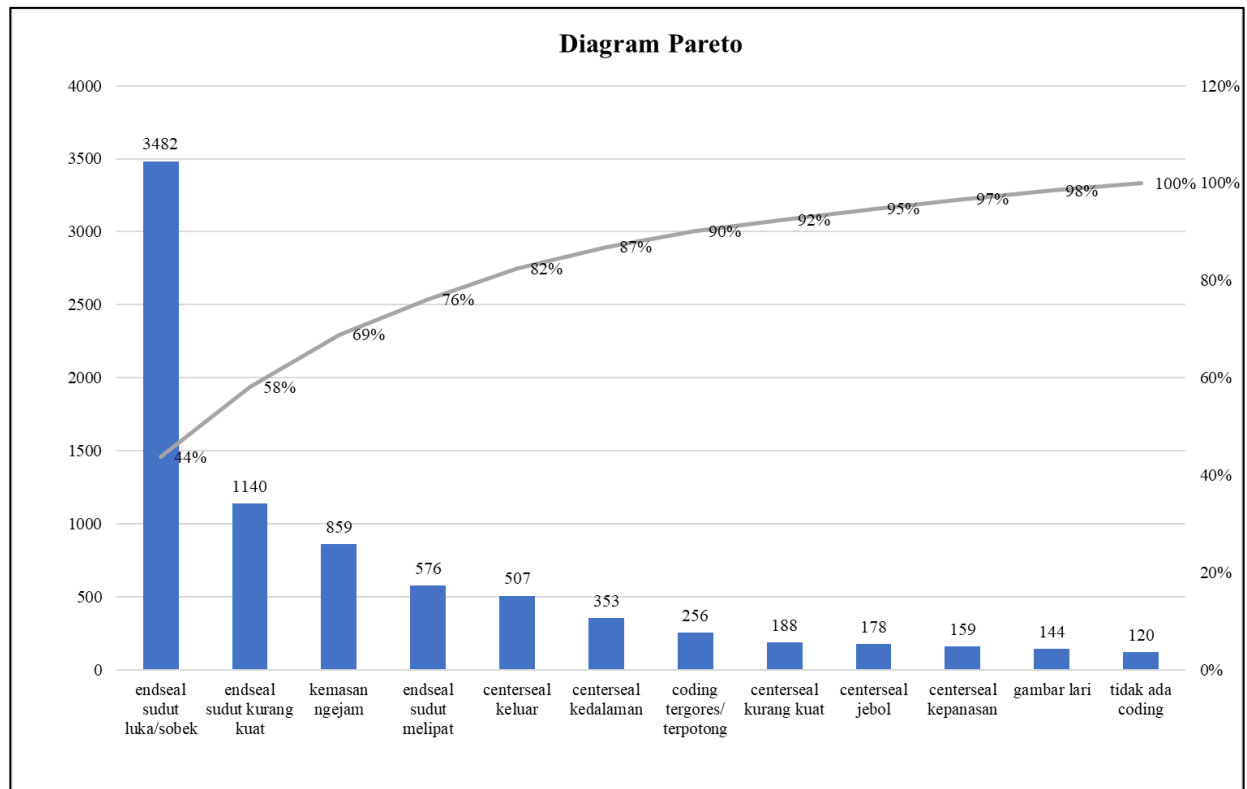
Pada tabel 6 dapat diketahui nilai total jumlah produksi wafer sebesar 642584 pcs, total nilai jumlah kecacatan sebesar 7962 pcs. Dari data tersebut diperoleh nilai DPMO terbesar yaitu 1961,1328 pada bulan September, sedangkan nilai DPMO terkecil yaitu 867,4252 pada bulan Desember.

Berdasarkan perhitungan pada tabel 6, rata-rata DPMO tercatat sebesar 1131,4644 yang berarti bahwa dari setiap satu juta produksi, sekitar 1131,4644 pcs produk mengalami cacat dalam proses pengemasan. Tingkat level *sigma* diperoleh rata-rata sebesar 4,56 yang artinya masuk kedalam klasifikasi 4-*sigma*, dimana nilai DPMO tertinggi adalah sebesar 6210 cacat setiap satu juta produksi. Namun hasil tersebut masih jauh dari standar 6-*sigma* yang memiliki kriteria nilai DPMO sebesar 3,4 cacat setiap satu juta produksi. Oleh karena itu, diperlukan langkah-langkah perbaikan yang efektif untuk mengurangi jumlah cacat dan meningkatkan kualitas produk.

D. Tahap Analyze

1. Diagram Pareto

Tahap pertama dalam mengidentifikasi faktor penyebab cacat pada kemasan adalah membuat diagram pareto. Diagram pareto digunakan untuk menganalisis tingkat cacat yang disusun berdasarkan jumlah cacat dari yang terbesar hingga terkecil [16]. Diagram pareto juga dapat digunakan untuk mengidentifikasi masalah utama dalam memperbaiki kecacatan produk [4]. Berikut merupakan hasil perhitungan dan grafik diagram pareto:

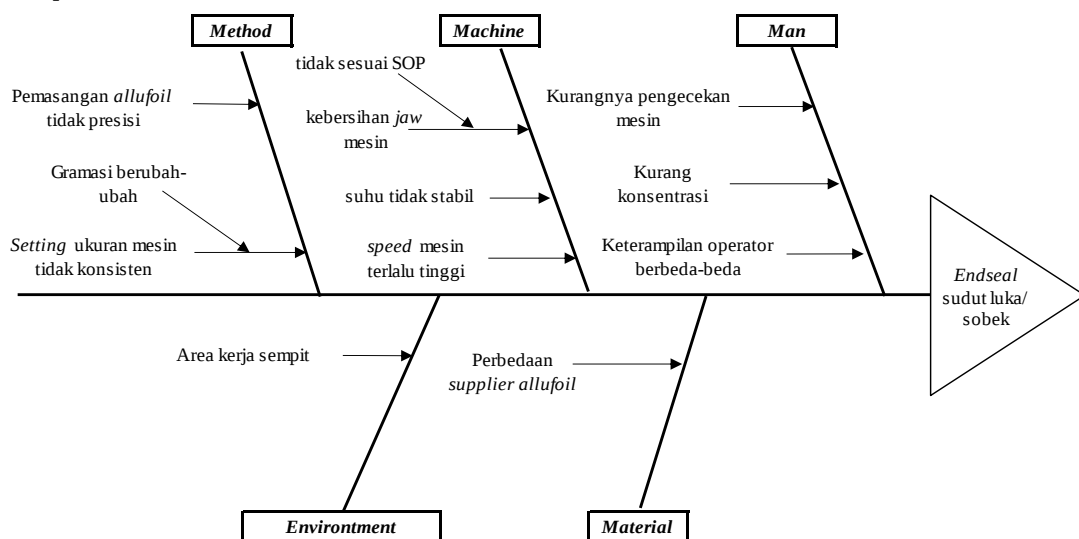


Gambar 3. Diagram Pareto

Pada gambar 3 dapat diidentifikasi bahwa jenis cacat pada kemasan yang paling dominan dari keseluruhan cacat kemasan yang ada yaitu cacat *endseal* sudut luka atau sobek dengan jumlah cacat sebesar 3482 pcs dan persentase cacat sebesar 44%. Karena cacat kemasan *endseal* sudut luka atau sobek memiliki persentase kerusakan tertinggi, maka penelitian ini akan difokuskan pada masalah tersebut.

2. Diagram Fishbone

Diagram *fishbone* merupakan salah satu alat yang digunakan dalam upaya peningkatan kualitas. Diagram ini menggambarkan suatu permasalahan beserta berbagai faktor penyebab timbulnya masalah tersebut [16]. Diagram *fishbone* merupakan alat yang digunakan untuk mengidentifikasi penyebab suatu permasalahan. Penyebab-penyebab tersebut dapat dikelompokkan berdasarkan faktor-faktor tertentu, seperti analisis tindakan yang mencakup aspek manusia (*man*), mesin (*machine*), material (*material*), metode (*method*), dan lingkungan (*environment*) [4]. Gambar 4 merupakan diagram *fishbone* pada cacat kemasan *endseal* sudut luka atau sobek yang terjadi selama proses pengemasan produk wafer:



Gambar 4. Diagram Fishbone Endseal Sudut Luka atau Sobek

Pada gambar 4 diagram *fishbone*, dapat diketahui bahwa kecacatan pada proses pengemasan produk wafer yaitu *endseal* sudut luka atau sobek, dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti *methode*, *machine*, *man*, *environment*, dan *material*. Faktor *method* disebabkan karena pemasangan *allufoil* yang tidak presisi dapat mempengaruhi kualitas kemasan karena menyebabkan proses penyegelan dan pemotongan yang tidak sempurna, akibatnya kemasan mudah sobek dan bocor. *Setting* ukuran mesin tidak konsisten disebabkan sering terjadi pergantian gramasi produk, karena ukuran lebar *allufoil* berbeda-beda maka kemasan terlalu rapat dengan produk sehingga menyebabkan luka atau sobek. Faktor *machine* disebabkan karena mesin *jaw* yang kotor dan gompal berpengaruh terhadap hasil *sealing*, suhu mesin yang terlalu tinggi akan menyebabkan *endseal* luka dan sobek karena terlalu panas. Sedangkan *speed* mesin yang terlalu tinggi menyebabkan kemasan mudah sobek karena meningkatnya tegangan tarik pada *material*, waktu penyegelan yang lebih singkat, serta gesekan yang lebih besar pada *roller* dan *cutter*.

Faktor *man* atau manusia dapat dipengaruhi karena kurangnya pengecekan kebersihan mesin *jaw*, hal ini disebabkan karena satu operator mengawasi beberapa mesin *packing*, sehingga kebersihan mesin *jaw* tidak dilakukan sesuai SOP dan menjadi penyebab operator kurang konsentrasi karena kelelahan. Keterampilan operator yang berbeda-beda menyebabkan kesalahan dalam pengaturan mesin, pemasangan bahan kemas, dan kurangnya pengawasan yang berakibat pada kualitas proses pengemasan. Faktor *environment* disebabkan karena pencahayaan ruangan kurang yang berakibat pada penurunan ketelitian dan konsentrasi, area kerja yang sempit menyebabkan mobilitas terbatas dan harus berhati-hati dalam menjangkau setiap mesin. Faktor *material* dipengaruhi oleh perbedaan *supplier allufoil*, di PT. XYZ memiliki *supplier* bahan kemas sebanyak 4 *supplier*.

E. Tahap Improve

Metode *Root Cause Analysis* (RCA) digunakan sebagai upaya perbaikan untuk mengatasi permasalahan sebagai solusi dalam mengurangi tingkat kecacatan produk. Dalam penelitian ini, pendekatan 5W+1H dilakukan untuk mengidentifikasi kegiatan-kegiatan yang menjadi penyebab kecacatan produk [21]. Tahap *improve* merupakan tahapan pada suatu rencana guna meningkatkan kualitas terhadap cacat yang terjadi saat proses produksi berlangsung [21]. Tabel 7 merupakan tabel analisis 5W+1H pada cacat kemasan *endseal* sudut luka atau sobek.

Tabel 7. Analisis 5W+1H

Faktor	What	Why	Where	Who	When	How
Method	Pemasangan <i>allufoil</i> tidak presisi	<i>Setting</i> mesin tidak konsisten, perubahan ukuran gramasi produk menyebabkan perbedaan lebar <i>allufoil</i>	Area mesin <i>packing</i>	Operator produksi, <i>shift leader</i> produksi	Proses <i>sealing</i>	Melakukan pengawasan secara rutin [21], [22].
	Melakukan <i>setting</i> mesin <i>packing</i> pada awal jalan		Area mesin <i>packing</i>	Operator produksi dan Teknik	Proses <i>sealing</i>	Melakukan <i>aging</i> pada mesin <i>packing</i> dan rutin melakukan kalibrasi [22], [23].
Machine	<i>Jaw</i> kotor	Sisa <i>material</i> atau remahan wafer menempel pada <i>jaw</i>	Area mesin <i>packing</i>	Operator produksi dan Teknik	1 jam sekali	Membersihkan <i>jaw</i> sesuai SOP dengan frekuensi waktu yang ditentukan, dengan cara disemprot angin atau dikikir. Memberikan ceklist inspeksi mesin <i>jaw</i> [22], [23].
	Suhu <i>sealer</i> tidak stabil	Sistem kontrol suhu tidak stabil, mesin terlalu panas	Area mesin <i>packing</i>	Operator produksi	Proses <i>sealing</i>	Memastikan monitor suhu mesin secara rutin [23].
	<i>Speed</i> mesin terlalu tinggi	<i>Speed</i> tinggi menyebabkan kemasan tertarik dan meningkatkan gesekan	Area mesin <i>packing</i>	Operator produksi	Proses <i>sealing</i>	Mengatur kontrol <i>speed</i> mesin sesuai standar dan spesifikasi kemasan [22].

		yang menyebabkan cacat				
<i>Man</i>	Mesin tidak diperiksa secara rutin	Operator mengoperasikan lebih dari satu mesin, keterbatasan waktu karena target produksi	Area mesin <i>packing</i>	Operator produksi, <i>shift leader</i> produksi dan <i>Quality Control</i>	Proses <i>sealing</i>	Mengatur jadwal pengecekan, menerapkan ceklist inspeksi mesin <i>packing</i> [22].
	Kurang konsentrasi	Karena kelelahan dan area kerja	Area mesin <i>packing</i>	Operator produksi, <i>shift leader</i> produksi	Proses <i>sealing</i>	Memberikan waktu istirahat yang cukup [22], dengan pembagian waktu istirahat antar operator (15 menit awal shift, 30 menit pertengahan shift, 15 menit akhir shift)
	Tingkat keterampilan berbeda	Kurangnya pelatihan, pengalaman kerja	Area mesin <i>packing</i>	Operator produksi, <i>shift leader</i> produksi	Proses <i>sealing</i>	Mengadakan pelatihan secara rutin, membuat SOP yang jelas dan mudah diikuti [22], [23].
<i>Environment</i>	Ruang kerja terbatas, sehingga menghambat pekerjaan	Tata letak mesin <i>packing</i> yang kurang optimal	Area mesin <i>packing</i>	Seluruh pekerja	Ketika volume produksi meningkat	Melakukan <i>re-layout</i> area kerja dan memastikan jalur pergerakan operator aman dan efisien [22].
<i>Material</i>	Perubahan <i>supplier</i>	Berpengaruh terhadap spesifikasi bahan kemas dan perlu <i>setting</i> ulang	Area mesin <i>packing</i>	Operator produksi	Proses <i>setting</i> kemasan	Melakukan <i>aging, setting</i> mesin, dan <i>trial</i> sebelum menggunakan bahan kemas dari <i>supplier</i> yang berbeda [23].

F. Tahap Control

Tahap *control* dalam metode *six sigma* merupakan langkah terakhir yang bertujuan untuk memastikan bahwa perbaikan yang dilakukan pada tahap *improve* dapat berjalan secara konsisten dan berkelanjutan. Berikut beberapa usulan yang dapat digunakan oleh perusahaan untuk meningkatkan kualitas kemasan pada proses produksi wafer:

a. Perbaikan pada Faktor *Method*

- Menyusun dan menerapkan Standar Operasional Prosedur (SOP).
- Menetapkan standar *setting* pada mesin untuk setiap gramasi produk dan *supplier* bahan kemas agar lebih stabil saat proses pengemasan berjalan.
- Melakukan pengawasan mesin secara berkala, agar permasalahan dapat diidentifikasi sedini mungkin.
- Melakukan kalibrasi mesin *packing* secara rutin.

b. Perbaikan pada Faktor *Machine*

- Melakukan tindakan preventif pada mesin *jaw* untuk memastikan tidak ada kotoran atau mesin aus, yang dapat mempengaruhi kualitas *sealing*.
- Melakukan modifikasi ulang plat *dough-T* agar remahan wafer tidak menempel pada mesin *packing*.
- Melakukan pemantauan terhadap suhu mesin *packing* untuk menghindari suhu yang tidak stabil.
- Mengatur *speed* mesin sesuai dengan standar yang telah ditetapkan pada Instruksi Kerja.

c. Perbaikan pada Faktor *Man*

- Meningkatkan keterampilan operator dalam pengoperasian mesin *packing*.
- Memberi sanksi atau peringatan kepada operator yang tidak melaksanakan pekerjaan sesuai Instruksi Kerja.
- Memperketat pengawasan terhadap SOP.

- d. Perbaikan pada Faktor *Environment*
 - Melakukan *re-layout* agar lebih ergonomis dan aman.
 - Jika *re-layout* tidak dapat dilakukan, perusahaan dapat membuat akses untuk mempermudah pergerakan operator dari mesin satu ke mesin yang lain.
- e. Perbaikan pada Faktor *Material*
 - Melakukan uji kualitas bahan kemasan sebelum digunakan untuk proses produksi.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode *Six Sigma* (DMAIC) dan *Root Cause Analysis* (RCA) pada proses pengemasan wafer di PT. XYZ, ditemukan 12 jenis kecacatan, dengan tingkat kecacatan tertinggi adalah *endseal* sudut luka/sobek sebesar 44%, sementara kecacatan terendah adalah tidak ada *coding* yaitu 1,51%. Oleh karena itu, perusahaan memprioritaskan perbaikan pada cacat *endseal* sudut luka/sobek guna meningkatkan kualitas proses pengemasan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat lima faktor utama yang mempengaruhi kecacatan dalam proses pengemasan, yaitu *method*, *machine*, *man*, *environment*, dan *material*. Dimana faktor *method*, *machine*, dan *man* menjadi faktor yang dominan pada penyebab kecacatan kemasan. Faktor *method* berkaitan dengan ketidaktepatan dalam pemasangan *allufoil*, yang menyebabkan proses penyegelan dan pemotongan tidak sempurna sehingga kemasan mudah sobek atau bocor. Selain itu, pengaturan ukuran mesin yang tidak konsisten akibat perbedaan gramasi produk juga mengakibatkan kemasan terlalu ketat terhadap produk. Faktor *machine* meliputi kondisi mesin *jaw* yang kotor, suhu mesin yang terlalu tinggi, dan kecepatan mesin yang dapat menyebabkan kemasan luka atau sobek. Faktor *man* atau sumber daya manusia berkontribusi terhadap kecacatan karena kurangnya pengecekan kebersihan mesin *jaw*, yang disebabkan oleh keterbatasan jumlah operator. Setiap operator harus mengawasi beberapa mesin sekaligus, sehingga kebersihan mesin tidak terjaga sesuai dengan SOP, dan kelelahan operator mengakibatkan menurunnya konsentrasi kerja. Selain itu, perbedaan keterampilan antar operator menyebabkan ketidaksesuaian dalam pengaturan mesin dan pemasangan bahan kemasan, yang berpengaruh pada kualitas pengemasan. Alternatif perbaikan yang dapat digunakan untuk mengurangi cacat yaitu melakukan perbaikan preventif terhadap mesin *packing* dan mengadakan pelatihan atau *briefing* rutin terhadap setiap operator produksi dan karyawan yang terlibat selama proses produksi.

Dengan usulan perbaikan yang diberikan berdasarkan analisis akar permasalahan, diharapkan dapat menjadi acuan bagi perusahaan untuk melakukan proses perbaikan guna meningkatkan efisiensi dan produktivitas proses produksi. Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa peningkatan kualitas dalam proses pengemasan wafer di PT. XYZ perlu difokuskan pada perbaikan faktor *method*, *machine*, dan *man*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Universitas Muhammadiyah Sidoarjo dan perusahaan atas dukungan dan fasilitas dalam penyelesaian penelitian ini.

REFERENSI

- [1] Suseno and M. F. Sitorus, "Analisis Produktivitas Pada Bagian Produksi Menggunakan Metode Objective Matrix Dan Root Cause Analysis (Studi Kasus UMKM Barokah Jaya Bakery)," *J. TRINISTIK J. Tek. Ind. Bisnis Digit. dan Tek. Logistik*, vol. 1, no. 2, pp. 80–88, 2022, doi: 10.20895/trinistik.v1i2.638.
- [2] Heriyanto and M. A. Pahmi, "Perbaikan Kualitas Produk Dengan Metode SIX SIGMA DMAIC Di Perusahaan Keramik," *JENIUS J. Terap. Tek. Ind.*, vol. 1, no. 1, pp. 47–57, 2020, doi: 10.37373/jenius.v1i1.20.
- [3] F. A. Lestari and N. Purwatmini, "Pengendalian Kualitas Produk Tekstil Menggunakan Metoda DMAIC," *J. Ecodemica J. Ekon. Manajemen, dan Bisnis*, vol. 5, no. 1, pp. 79–85, 2021.
- [4] T. Y. T. Kusuma and A. F. Azizah, "Milion Analisis Cacat Kemasan Menggunakan Metode Six Sigma pada Perusahaan Cokelat di Daerah Istimewa Yogyakarta," *J. Ind. Xplore*, vol. 9, no. 1, pp. 331–340, 2024, [Online]. Available: <https://journal.ubpkarawang.ac.id/index.php/teknikindustri/article/download/6145/4469/>
- [5] W. Warto and S. Samsuri, "Sertifikasi Halal dan Implikasinya Bagi Bisnis Produk Halal di Indonesia," *Al Maal J. Islam. Econ. Bank.*, vol. 2, no. 1, pp. 98–112, 2020, doi: 10.31000/almaal.v2i1.2803.
- [6] M. Astuti, "Pengembangan Produk Halal Dalam Memenuhi Gaya Hidup Halal (Halal Lifestyle)," *Iuris Stud. J. Kaji. Huk.*, vol. 1, no. 1, pp. 14–20, 2020, doi: 10.55357/is.v1i1.16.
- [7] H. Sirine and E. P. Kurniawati, "PENGENDALIAN KUALITAS MENGGUNAKAN METODE SIX SIGMA (Studi Kasus pada PT Diras Concept Sukoharjo)," *AJIE-Asian J. Innov. Entrep.*, vol. 02, no. 03, pp. 2477–3824, 2017, [Online]. Available: <http://www.dirasfurniture.com>
- [8] Suhadak and T. Sukmono, "Improving Product Quality With Production Quality Control," *PROZIMA (Productivity, Optim. Manuf. Syst. Eng.)*, vol. 4, no. 2, pp. 41–50, 2020, doi: 10.21070/prozima.v4i2.1306.

- [9] K. Wibowo, Sugiyarto, and Setiono, "Akar Penyebab dan Biaya Sisa Material Konstruksi Proyek Pembangunan Kantor Kelurahan di Kota Solo, Sekolah, dan Pasar Menggunakan Root Cause Analysis (RCA) dan Fault Tree Analysis (FTA)," *Matriks Tek. Sipil*, vol. 15, no. 1, pp. 72–86, 2018, doi: 10.25130/sc.24.1.6.
- [10] M. M. Sahelangi and L. M. C. Wulandari, "Analisa Pengendalian Kualitas Menggunakan Metode Six Sigma Pada Kemasan Produk X Di PT GF," *JISO J. Ind. Syst. Optim.*, vol. 6, no. 1, p. 1, 2023, doi: 10.51804/jiso.v6i1.1-8.
- [11] N. Izzah and M. F. Rozi, "Analisis Pengendalian Kualitas Dengan Metode Six Sigma-Dmaic Dalam Upaya Mengurangi Kecacatan Produk Rebana Pada Ukm Alfiya Rebana Gresik," *J. Ilm. Soulmath J. Edukasi Pendidik. Mat.*, vol. 7, no. 1, pp. 13–25, 2019, doi: 10.25139/smj.v7i1.1234.
- [12] A. S. S. Sabillah, Y. P. Negoro, and Hidayat, "Analisis Tingkat Kerusakan Kemasan Mie Instan Goreng Menggunakan Metode Six Sigma dan FMEA Pada PT. Karunia Alam Segar," *G-Tech J. Teknol. Terap.*, vol. 8, no. 2, pp. 1261–1271, 2024, doi: 10.33379/gtech.v8i2.4227.
- [13] M. H. Al-Rifai, *Lean Six Sigma*. 2024.
- [14] F. R. Wilujeng and T. Wijaya, "Penerapan Metode DMAIC untuk Pengendalian Kualitas pada UKM Tempe Semanan," *Pros. Semin. Intelekt. Muda*, vol. 1, no. 1, pp. 266–271, 2019, doi: 10.25105/psia.v1i1.5959.
- [15] A. Pramono, I. Pratiwi, and W. Andalia, "Analisis Kecacatan Kemasan Bihun dengan Metode Six Sigma," *Jambura Ind. Rev.*, vol. 1, no. 2, pp. 58–65, 2021, doi: 10.37905/jirev.1.2.58-65.
- [16] P. B. Sugiharto, E. Furqon, and O. Kustiadi, "Analisis Perbaikan Defect Pada Produk Bata Ringan Dengan Menggunakan Metode RCA (Root Cause Analysis) Pada Salah Satu Perusahaan Bata Ringan di Serang Timur," *J. Ilm. Tek. dan Manaj. Ind.*, vol. 3, no. 1, pp. 157–170, 2023, [Online]. Available: <https://taguchi.lppmbinabangsa.id/index.php/home/article/view/66%0Ahttps://taguchi.lppmbinabangsa.id/index.php/home/article/download/66/62>
- [17] A. R. Andriansyah and W. Sulistyowati, "Clarisa Product Quality Control Using Methods Lean Six Sigma and Fmeca Method (Failure Mode And Effect Cricitality Analysis) (Case Study: Pt. Maspion Iii)," *PROZIMA (Productivity, Optim. Manuf. Syst. Eng.)*, vol. 4, no. 1, pp. 47–56, 2021, doi: 10.21070/prozima.v4i1.1272.
- [18] D. Retnowati, R. A. Priyanto, I. W. Ardhyani, and M. Anshori, "Enhancing Product Quality and Process Capability in the Indonesian Furniture Industry through Six Sigma DMAI Implementation: A Case Study on Laminating Defects," *IQTISHADEquity J. Manag.*, vol. 6, no. 1, pp. 101–109, 2024.
- [19] A. Juwito and A. Z. Al-Faritsy, "Analisis Pengendalian Kualitas Untuk Mengurangi Cacat Produk Dengan Metode Six Sigma Di Umkm Makmur Santosa," *J. Cakrawala Ilm.*, vol. 1, no. 12, pp. 3295–3314, 2022, doi: 10.53625/jcjournalcakrawalailmiah.v1i12.3193.
- [20] V. Gaspersz, *Pedoman Implementasi Program Six Sigma Terintegrasi Dengan ISO 9001:2000, MBNQA, dan HACCP*. 2002.
- [21] T. Wahyudiyanto and H. C. Wahyuni, "Pengendalian Kualitas Untuk Mengurangi Kecacatan Pada Produksi Keramik Menggunakan Metode Six Sigma dan Root Cause Analysis," *Indones. J. Innov. Stud.*, vol. 22, no. 4, pp. 6–14, 2023, doi: 10.21070/ijins.v22i.1041.
- [22] H. A. Khoiri, Y. A. Kusuma, and D. Aryaningtyas, "Implementasi Six-Sigma pada Produksi Kain Rayon Lebar PT XYZ," vol. 23, no. 2, pp. 126–135, 2024.
- [23] A. Waruwu, V. R. Tampubolon, M. A. Pratama, and D. Putri, "Pengendalian Kualitas Metode Six Sigma Untuk Mengurangi Tingkat Kerusakan Produk Kalender Di PT. KLM," *IMTechno J. Ind. Manag. Technol.*, vol. 3, no. 2, pp. 82–90, 2022, doi: 10.31294/imtechno.v3i2.1186.

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.