

**TUGAS AKHIR**

**UPAYA MEMINIMASI *DEFECT* PRODUK BATA RINGAN DI  
PT. BUMI SARANA BETON DENGAN PENERAPAN *SIX*  
*SIGMA***

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat ujian  
guna memperoleh gelar Sarjana Teknik  
pada Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



OLEH

**ANDI MUHAMMAD FADHLURRAHMAN**

**D221 15 313**

**DEPARTEMEN TEKNIK INDUSTRI**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2022**

## LEMBAR PENGESAHAN

### LEMBAR PENGESAHAN

Judul Tugas Akhir :

**UPAYA MEMINIMASI DEFECT PRODUK BATA RINGAN DI PT. BUMI  
SARANA BETON DENGAN PENERAPAN SIX SIGMA**

Disusun oleh :

**ANDI MUHAMMAD FADHLURRAHMAN**

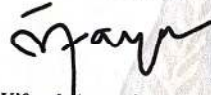
**D221 15 313**

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan studi guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



**Ir. Kifayah Amar, ST., M.Sc., Ph.D. IPU**  
NIP. 19740621 200604 2 001



**Ir. Nadzirah Ikasari S., ST., MT., IPM**  
NIP. 19891029 201809 2 001

Mengetahui,  
Ketua Departemen Teknik Industri Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin



**Ir. Saiful, ST., MT., IPM., ASEAN Eng.**  
19810606 200604 1 004

## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

### LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Andi Muhammad Fadhlurrahman

NIM : D221 15 313

Judul Skripsi : UPAYA MEMINIMASI DEFECT PRODUK BATA RINGAN  
DI PT. BUMI SARANA BETON DENGAN PENERAPAN  
SIX SIGMA

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa penulisan Skripsi ini berdasarkan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli dari saya sendiri, baik untuk naskah laporan maupun kegiatan yang tercantum sebagai bagian dari Skripsi ini. Jika terdapat karya orang lain, saya akan mencantumkan sumber yang jelas.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini dan sanksi lain sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Hasanuddin.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar tanpa paksaan dari pihak manapun.

Makassar, 23 Juni 2022  
Yang membuat pernyataan



Andi Muhammad Fadhlurrahman  
D221 15 313

## ABSTRAK

Perkembangan teknologi di sektor industri material konstruksi saat ini semakin maju sehingga selalu dituntut untuk berinovasi menciptakan produk material yang sesuai dengan tren konstruksi saat ini. PT. Bumi Sarana Beton (BSB) merupakan anak perusahaan dari Kalla Group yang bergerak di bidang material konstruksi yang memproduksi bata ringan dengan sistem *Autoclave Aerated Concrete (ACC)*. Dalam melakukan proses produksi bata ringan, tercatat masih banyak ditemukan masalah kecacatan produk bata ringan yang tidak sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh perusahaan. Tujuan dari penelitian ini adalah mengidentifikasi jenis-jenis kecacatan pada hasil produksi bata ringan, menghitung nilai sigma saat ini pada produksi bata ringan, mengidentifikasi faktor – faktor yang menyebabkan terjadinya produk cacat, memberikan usulan perbaikan yang tepat untuk meminimasi tingkat kecacatan dan mengurangi kerugian yang diakibatkan oleh kecacatan yang tinggi agar KPI tercapai. Berdasarkan diagram pareto, *defect* yang menjadi prioritas perbaikan yaitu Gompal (55,78%), Retak (30,65%), Patah (13,57%). *Level sigma* yang diperoleh dari produksi bata ringan PT. Bumi Sarana Beton berada di *level sigma* 3,32 dengan kemungkinan *defect* terbesar yaitu 57.708 pcs bata ringan per satu juta produksi. Dari analisis diagram *Fishbone* dapat diketahui faktor penyebab produk cacat berasal dari faktor manusia, mesin, material, metode, dan pengukuran. Usulan perbaikan dilakukan dengan menggunakan analisis *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*, sehingga perusahaan dapat mengambil tindakan pencegahan serta perbaikan untuk mengurangi produk cacat dan meningkatkan kualitas produk.

**Kata kunci:** *Quality Control, Six Sigma, Bata Ringan, FMEA*

## ABSTRACT

Technological developments in the construction material industry sector are currently increasingly advanced so that they are always required to innovate to create material products that are in accordance with current construction trends. PT. Bumi Sarana Beton (BSB) is a subsidiary of the Kalla Group which is engaged in construction materials that produces lightweight bricks with the Autocalve Aerated Concrete (ACC) system. In carrying out the production process of lightweight bricks, it was noted that there were still many defects in lightweight brick products that were not in accordance with the standards set by the company. The purpose of this study is to identify the types of defects in the production of lightweight bricks, calculate the current sigma value in the production of lightweight bricks, identify the factors that cause defective products, provide appropriate improvement suggestions to minimize the level of defects and reduce losses caused by high disability in order to achieve KPIs. Based on the Pareto diagram, the defects that are the priority for repair are chipped (55.78%), cracked (30.65%), broken (13.57%). The sigma level obtained from the production of lightweight bricks by PT. Bumi Sarana Beton is at the sigma level of 3.32 with the largest possible defect, which is 57,708 lightweight bricks per one million production. From the analysis of the Fishbone diagram, it can be seen that the factors that cause defective products come from human factors, machines, materials, methods, and measurements. Proposed improvements are made using Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) analysis, so that companies can take preventive and corrective actions to reduce product defects and improve product quality.

**Keywords: Quality Control, Six Sigma, Bata Ringan, FMEA**

## DAFTAR ISI

<b>SAMPUL</b> .....	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>vi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
1.5 Sistematika Penulisan.....	6
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>8</b>
2.1 Konsep Kualitas .....	8
2.1.1 Definisi Kualitas.....	8
2.1.2 Dimensi Kualitas.....	9
2.2 Pengendalian Kualitas .....	10
2.2.1 Definisi Pengendalian Kualitas.....	10

2.2.2	Tujuan Pengendalian Kualitas.....	11
2.2.3	Faktor-faktor Pengendalian Kualitas .....	12
2.3	<i>Six Sigma</i> .....	13
2.3.1	Konsep <i>Six Sigma</i> .....	13
2.3.2	<i>Six Sigma</i> dari segi statistik.....	14
2.3.3	Metodologi <i>Six Sigma</i> .....	16
2.4	<i>Tools</i> yang Digunakan dalam <i>Six Sigma</i> .....	19
2.4.1.	<i>The 7 (Seven) QC Tools</i> .....	19
2.4.2.	Proses Diagram Alir ( <i>FlowChart</i> ).....	26
2.5	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i> .....	27
2.6	Penelitian Terdahulu.....	31
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>41</b>
3.1	Objek dan Tempat Penelitian .....	41
3.2	Jenis Data .....	41
3.3	Metode Pengumpulan Data .....	42
3.4	Metode Analisis Data .....	42
3.5	<i>FlowChart</i> Penelitian .....	44
3.6	Kerangka Konseptual Penelitian .....	45
<b>BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA.....</b>		<b>46</b>
4.1	Pengumpulan Data .....	46

4.1.1.	Gambaran Umum Perusahaan.....	46
4.1.2.	Proses Produksi.....	47
4.1.3.	Sampel Penelitian.....	51
4.2	Pengolahan Data.....	51
4.2.1	<i>Define</i> .....	51
4.2.2	<i>Measure</i> .....	53
4.2.3	<i>Analyze</i> .....	65
4.2.4	<i>Improve</i> .....	68
<b>BAB V</b>	<b>PEMBAHASAN .....</b>	<b>75</b>
5.1	Tahap <i>Define</i> .....	75
5.2	Tahap <i>Measure</i> .....	75
5.3	Tahap <i>Analyze</i> .....	76
5.4	Tahap <i>Improvement</i> .....	77
5.4.1	Analisis <i>Failure Mode and Effect Analysis</i> (FMEA).....	78
5.4.2	Usulan Solusi Perbaikan .....	80
<b>BAB VI</b>	<b>PENUTUP .....</b>	<b>82</b>
6.1.	Kesimpulan.....	82
6.2.	Saran.....	83
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>.....</b>	<b>84</b>
<b>LAMPIRAN</b>	<b>.....</b>	<b>88</b>



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Persentase Tingkat Pencapaian Sigma.....	16
Tabel 2.2 <i>Ranking Severity</i> .....	28
Tabel 2.3 <i>Ranking Occurance</i> .....	30
Tabel 2.4 <i>Ranking Detection</i> .....	30
Tabel 2.5 Kajian Pustaka Penelitian.....	37
Tabel 4.1 Data Produksi dan Data Jenis <i>Defect</i> .....	51
Tabel 4.2 Penetapan urutan <i>Critical to Quality</i> (CTQ) periode Januari – Desember 2020.....	54
Tabel 4.3 Data Statistika Proses.....	57
Tabel 4.4 Perhitungan data proporsi, CL, UCL, LCL.....	60
Tabel 4.5 Pengukuran Kapabilitas Sigma .....	65
Tabel 4.6 <i>Failure Mode and Effect Analysis</i> (FMEA) <i>Defect</i> Bata Ringan.....	70
Tabel 4.7 Nilai <i>Risk of Priority Number</i> Bata Ringan .....	72
Tabel 4.8 Usulan perbaikan <i>Defect</i> Bata Ringan .....	73

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Langkah-langkah untuk mengurangi cacat .....	11
Gambar 2.2 <i>Sigma Quality Levels of Six Sigma</i> .....	15
Gambar 2.3 Cause-and-effect diagram .....	20
Gambar 2.4 Check Sheet.....	21
Gambar 2.5 <i>Control Chart</i> .....	22
Gambar 2.6 Histogram .....	23
Gambar 2.7 Diagram Pareto.....	24
Gambar 2.8 <i>Scatter Diagram</i> .....	25
Gambar 2.9 Proses <i>FlowChart</i> .....	27
Gambar 3.1 <i>FlowChart</i> Penelitian .....	44
Gambar 3.2 Kerangka Konseptual Penelitian .....	45
Gambar 4.1 <i>Flow Process</i> Bata Ringan .....	51
Gambar 4.2 <i>Defect Gompal</i> .....	52
Gambar 4.3 <i>Defect Retak</i> .....	52
Gambar 4.4 <i>Defect Patah</i> .....	53
Gambar 4.5 Diagram Pareto Jenis <i>Defect</i> pada Produksi Bata Ringan.....	54
Gambar 4. 6 <i>P Chart</i> pada Produksi Bata Ringan.....	61
Gambar 4.7 <i>P Chart Diagnostic</i> Pada Produksi Bata Ringan.....	62
Gambar 4.8 <i>Laney P' Chart</i> Produksi Bata Ringan.....	63
Gambar 4.9 <i>Fishbone Diagrams Defect Gompal</i> .....	66
Gambar 4.10 <i>Fishbone Diagrams Defect Retak</i> .....	66
Gambar 4. 11 <i>Fishbone Diagrams Defect Patah</i> .....	67

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Tabel Konversi DPMO ke Nilai Sigma.....	88
Lampiran 2 Proses Produksi Bata Ringan PT. Bumi Sarana Beton.....	91

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pelaku industri menghadapi suatu kontestasi persaingan industri yang semakin ketat dan kompleks, baik itu dari sektor industri jasa terlebih pada industri manufaktur yang sudah mulai menjamur ke seluruh dunia semenjak zaman industrialisasi. Hal ini menuntut perusahaan untuk memiliki suatu keunggulan dan peningkatan secara terus menerus (*continuous improvement*) dalam berbisnis sehingga dapat tetap eksis dalam persaingan industri global.

Kualitas atau mutu adalah tingkat baik atau buruknya suatu produk yang dihasilkan apakah sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan ataupun kesesuaiannya terhadap kebutuhan. Standar kualitas berbeda-beda sesuai dengan kebutuhan dari pihak yang bersangkutan atau yang membutuhkannya. Menurut W. Edwards Deming terdapat 14 poin atau dikenal dengan *Deming's Fourteen Points* yang harus di implementasikan oleh perusahaan untuk mencapai rencana peningkatan kualitas dan secara aktif bertransformasi menjadi perusahaan kelas dunia (Nasution, 2015).

Perkembangan teknologi di sektor industri material konstruksi saat ini semakin maju sehingga selalu dituntut untuk berinovasi menciptakan produk material yang sesuai dengan tren konstruksi saat ini. Bata ini sering dipakai sebagai pondasi dasar pembuatan dinding untuk berbagai pembangunan yang digunakan sebagai alternatif penggunaan bata merah. Tuntutan akan kebutuhan dalam mutu yang baik, biaya yang murah, dan waktu yang cepat

menjadi pertimbangan dalam pemilihan jenis material konstruksi pembentuk dinding. Hal ini yang menjadi penyebab dinding bata ringan berkembang dengan cepat, dinding bata ringan dapat dikejakan lebih mudah dan cepat.

PT. Bumi Sarana Beton (BSB) merupakan anak perusahaan dari Kalla Group yang bergerak di bidang material konstruksi yang memproduksi bata ringan dengan sistem *Autoclave Aerated Concrete (ACC)* dengan pusat produksi berada di Kawasan Industri Makassar (KIMA) dengan kapasitas 300 M<sup>3</sup> per hari dengan size 60x20x7,5, 60x20x10, 60x20x12,5, 60x20x15, 60x20x20 (dimensi) atau sesuai dengan permintaan pelanggan.

Dalam memenuhi permintaan yang datang, PT. BSB melakukan proses produksi untuk menghasilkan bata ringan. Proses produksi tersebut melibatkan 6 jenis komponen mesin untuk memproduksi bata ringan. Pada proses pencampuran material pasir dan *gypsum* menggunakan mesin *Ball mill*, hasil dari pencampuran mesin tersebut menghasilkan material yang dinamakan *slurry*, kemudian *slurry* dicampurkan dengan material lainnya menggunakan mesin *mixing*, setelah itu masuk tahapan *pouring* dimana pencampuran material mentah di masukkan ke cetakan atau *Moulding* ketika tahap *pouring* selesai *cake* bata ringan masuk ke pengembangan sementara dengan menggunakan ruangan khusus pada proses *Precuring Stage*, selanjutnya pada proses *curing stage* adonan/*cake* bata ringan akan di lepaskan dari cetakan dengan menggunakan mesin *Crane* yang kemudian dipotong sesuai ukuran yang telah ditentukan menggunakan mesin *cutting* pada proses *cutting* dan tahapan berikutnya dari proses produksi bata ringan

yang menjadi proses inti dari pembuatan bata ringan adalah proses pemadatan dan pengembangan menggunakan mesin *Autoclave*, setelah dari *Autoclave* bata ringan dipisahkan dan di *packing* untuk disimpan di *Warehouse*. Dari hasil pengamatan secara langsung produk *Defect* paling banyak terjadi pada proses *cutting* dan *packing*.

Proses produksi bata ringan tersebut masih menghasilkan produk cacat (*Defect*). Persentase jumlah produk *Defect* yang dihasilkan dari proses produksi tersebut masih tinggi. Padahal perusahaan telah menetapkan *Key Performance Indicator* (KPI) mengenai tingkat kecacatan (*Defect rate*) yaitu sebesar 10% dari jumlah produksi. Sehingga, diharapkan proses produksi tersebut menghasilkan produk cacat (*Defect*) yang tidak melebihi batas KPI tersebut. Berikut ini merupakan tabel jumlah produk *Defect* bata ringan pada periode Januari 2020 sampai Desember 2020.

**Tabel 1.1 Jumlah Produk *Defect* Bata Ringan Januari-Desember 2020**

No	Bulan	Total Produksi (pcs)	Total <i>Defect</i> (pcs)	<i>Defect rate</i>
1	Januari-20	381.010	65.075	17,08%
2	Februari-20	623.249	107.898	17,31%
3	Maret-20	408.769	37.136	9,08%
4	April-20	306.610	32.962	10,75%
5	Mei-20	354.509	34.600	9,76%
6	Juni-20	647.237	47.448	7,33%
7	Juli -20	576.712	47.211	8,19%
8	Agustus-20	811.040	71.369	8,80%
9	September-20	863.782	71.439	8,27%
10	Oktober-20	808.671	57.970	7,17%
11	November-20	892.999	94.717	10,61%
12	Desember-20	694.443	98.030	14,12%
<b>Total</b>		<b>7.369.031</b>	<b>765.857</b>	

Sumber: Data Historis PT. Bumi Sarana Beton

Terkait dengan permasalahan yang ada, maka penulis mengadakan penelitian untuk tugas akhir dengan judul: **Upaya Meminimasi *Defect***

## **Produk Bata Ringan Di PT. Bumi Sarana Beton Dengan Penerapan *Six Sigma*.**

Dalam penelitian ini menggunakan beberapa metode serta pendekatan perbaikan proses kualitas. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk pengendalian kualitas yaitu *Six Sigma*, yang merupakan metode peningkatan kualitas yang sangat fenomenal dan banyak digunakan oleh perusahaan dan organisasi, dengan mengedepankan konsep dari satu juta produk yang diproduksi hanya akan ada cacat 3,4 dpmo (*Defects per million opportunities*) (Tannady, 2015). *Six Sigma* menurut Yang & El Haik (dikutip dalam Afiah, 2017) adalah metodologi yang dapat digunakan oleh perusahaan untuk meningkatkan kapabilitas proses bisnisnya. Tujuan utama dari penerapan metode *Six Sigma* yaitu mengurangi variasi yang besar pada proses produksi. Metode *Six Sigma* mampu memberikan dampak positif dalam mereduksi jumlah *Defect. Tools* yang digunakan dalam upaya mereduksi *Defect* adalah *Define, Measure, Analyze, Improvement, Control* (DMAIC *Six Sigma*), *Pareto Chart*, dan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA).

### **1.2 Rumusan Masalah**

Dari latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah pada penelitian tugas akhir ini adalah: Bagaimana meminimasi kecacatan produk bata ringan dengan menggunakan metode *Six Sigma*?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengidentifikasi jenis-jenis kecacatan pada hasil produksi bata ringan.
2. Untuk menghitung nilai sigma saat ini pada produksi bata ringan.
3. Untuk mengidentifikasi faktor – faktor yang menyebabkan terjadinya produk cacat.
4. Memberikan usulan perbaikan yang tepat untuk meminimasi tingkat kecacatan dan mengurangi kerugian yang diakibatkan oleh kecacatan yang tinggi agar KPI tercapai.

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

1. Bagi Mahasiswa

Penelitian ini memberikan pengetahuan kepada mahasiswa tentang penerapan ilmu pengendalian kualitas dibidang produksi manufaktur khusus nya bidang material konstruksi.

2. Bagi Akademik

- a. Menjalin kerjasama yang baik dalam bidang pengembangan teknologi antara pihak perusahaan dengan pihak perguruan tinggi dalam hal ini Universitas Hasanuddin.
- b. Penelitian ini bermanfaat untuk memberikan rujukan atau referensi bagi akademik untuk penelitian sejenis.

3. Bagi Perusahaan

Manfaat penelitian ini merupakan bahan pertimbangan bagi perusahaan sebagai langkah strategis untuk melakukan pengendalian dan perbaikan kualitas produk untuk meminimalisir kerugian pada



proses produksi serta meningkatkan performansi produksi dan mencapai target KPI.

## **1.5 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan skripsi dibuat untuk memperoleh gambaran yang jelas mengenai penulisan skripsi ini. Adapun penjelasannya sebagai berikut:

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini menguraikan tentang pendahuluan yang berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan. Pada bab ini dibahas tentang masalah yang dihadapi dan tujuan dilaksanakannya penelitian ini.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisi landasan teori yang berisi tentang, konsep kualitas, pengendalian kualitas, *Six Sigma, Tools* yang digunakan dalam *Six Sigma* dan *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA), serta penelitian terdahulu yang telah dilakukan tentang pengendalian kualitas.

### **BAB III METODE PENELITIAN**

Bab ini berisikan informasi tentang waktu dan tempat penelitian, jenis dan sumber data yang diperlukan untuk melaksanakan penelitian, teknik yang dilakukan untuk mengumpulkan data, *flowchart* penelitian dan kerangka konseptual penelitian.

### **BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA**

Bab keempat berisi data-data yang berkaitan dengan objek penelitian yang diperoleh selama penelitian seperti profil perusahaan, gambaran produk dan cara pengolahan dan analisis data.

#### **BAB V PEMBAHASAN**

Bab ini berisikan uraian pembahasan mengenai pengolahan data yang telah dilakukan pada bab sebelumnya.

#### **BAB VI PENUTUP**

Bab ini berisikan kesimpulan berdasarkan hasil pengolahan data yang telah dilakukan. Dan juga berisikan saran dari penulis yang diharapkan kedepannya bisa bermanfaat bagi perusahaan.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Konsep Kualitas

##### 2.1.1 Definisi Kualitas

Kualitas pada dasarnya adalah penghubung antara produk yang dihasilkan suatu industri dengan keinginan atau kebutuhan dari konsumen yang tentunya memiliki standar khusus yang telah ditetapkan sebelumnya baik itu berupa waktu, material, dan biaya pada proses produksi.

Kualitas menurut *International Labour Organization* Jakarta (2013) atau organisasi internasional untuk standarisasi mendefinisikan Kualitas adalah keseluruhan karakteristik dan karakteristik suatu produk atau jasa berdasarkan kemampuannya untuk secara konsisten memenuhi kebutuhan suatu perusahaan, pasar, dan pelanggan. Dalam praktiknya, istilah kualitas bisa memiliki banyak arti, tergantung pada produk atau jasa dan tahap proses produksi serta tingkat nilai yang dirasakan pelanggan yang dikaitkan dengan fitur dan karakteristiknya.

Sejalan dengan pengertian diatas menurut Joseph Juran (dikutip dalam Tannady, 2015) mendefinisikan kualitas sebagai “*fitness for purpose*” yang berarti bahwa kualitas itu sendiri tergantung pada kebutuhan dari konsumen. Kualitas dapat diartikan sebagai upaya dari produsen untuk memenuhi kepuasan pelanggan dengan memberikan apa yang menjadi kebutuhan, ekspektasi, dan bahkan harapan dari

pelanggan, dimana upaya tersebut terlihat dan terukur dari hasil produk yang dihasilkan.

### 2.1.2 Dimensi Kualitas

Dimensi kualitas sangat mempengaruhi baik atau buruknya sebuah produk. Adapun dimensi kualitas yaitu (Tannady, 2015):

#### 1. *Performance*

Performa merupakan hal dasar yang dinilai oleh konsumen dalam menggunakan sebuah produk, performa terkait dengan bagaimana produk tersebut mampu berfungsi sesuai dengan desain awalnya.

#### 2. *Reliability*

Realibilitas berkaitan dengan seberapa seringkah produk tersebut mengalami kegagalan dalam menjalankan performa.

#### 3. *Conformance*

Konformasi merupakan seakurat apa atau sekecil apa gap antar kesesuaian antara spesifikasi yang ditentukan dengan hasil akhir produk yang dihasilkan. Produk akhir dikatakan semakin baik dimensi konformansi nya apabila semakin sama dengan spesifikasi yang ditentukan awal.

#### 4. *Features*

*Features* merupakan ukuran kapasitas kemampuan yang dapat dilakukan oleh sebuah produk, misalnya pada sebuah produk memiliki dua fungsi

#### 5. *Serviceability*

Dalam hal ini, pelayanan yang diberikan produsen kepada konsumen sangat mempengaruhi kualitas sebuah produk.

#### 6. *Durability*

Merupakan ketahanan sebuah produk yang dihasilkan. Bagaimana performa produk tersebut saat mencapai usia yang sudah lama.

#### 7. *Aesthetics*

Estetika merupakan dimensi yang berorientasi visual, yaitu tampilan dari produk. Diantaranya seperti kemasan, warna, bentuk, *style*.

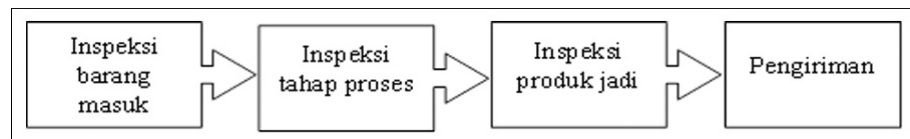
## **2.2 Pengendalian Kualitas**

### 2.2.1 Definisi Pengendalian Kualitas

Pengendalian Kualitas menurut Schroeder (dikutip dalam Adikristanto, 2018) Pengendalian kualitas didefinisikan sebagai stabilisasi dan pemeliharaan proses dalam upaya menghasilkan output yang konsisten. Pengendalian dan pengawasan adalah Kegiatan yang dilakukan untuk menjamin agar kegiatan produksi dan operasi yang dilaksanakan sesuai dengan apa yang direncanakan dan apabila terjadi penyimpangan, maka penyimpangan tersebut dapat dikoreksi sehingga apa yang diharapkan dapat tercapai.

Pengendalian kualitas dilakukan melalui pemantauan dan pemeriksaan secara terus menerus untuk memastikan bahwa sistem berfungsi secara efektif. Oleh karena itu, tidak disarankan untuk

menambah interval antara pengujian sebelumnya dan pengujian berikutnya dan melakukan kontrol kualitas hanya dalam jangka waktu tertentu. Hal ini dilakukan agar kualitas produk dapat dipantau baik dari segi kualitas yang diproduksi maupun keakuratannya. Selain itu, dokumentasi hasil pemeriksaan dan pengujian yang tepat untuk menganalisis dan melaporkan penyebab kesalahan adalah penting sehingga tindakan dapat diambil untuk mengurangi kesalahan.



**Gambar 2.1 Langkah-langkah untuk mengurangi cacat**  
Sumber: *International Labour Organization Jakarta, 2013*

### 2.2.2 Tujuan Pengendalian Kualitas

Menurut Assauri (dikutip dalam Siregar, 2019) Tujuan dari pengendalian kualitas adalah:

1. Agar barang hasil produksi dapat mencapai standar kualitas yang telah ditetapkan.
2. Mengusahakan agar biaya inspeksi dapat menjadi sekecil mungkin.
3. Mengusahakan agar biaya desain dari produk dan proses dengan menggunakan kualitas produksi tertentu dapat menjadi sekecil mungkin.
4. Mengusahakan agar biaya produksi dapat menjadi serendah mungkin.

Tujuan utama pengendalian kualitas adalah untuk mendapatkan jaminan bahwa kualitas produk atau jasa yang dihasilkan sesuai dengan standar kualitas yang telah ditetapkan dengan mengeluarkan biaya yang ekonomis atau serendah mungkin.

### 2.2.3 Faktor-faktor Pengendalian Kualitas

Menurut Montgomery (dikutip dalam Siregar, 2019) Faktor-faktor yang mempengaruhi pengendalian kualitas yang dilakukan perusahaan adalah:

1. Kemampuan Proses, batas-batas yang ingin dicapai haruslah disesuaikan dengan kemampuan proses yang ada. Tidak ada gunanya mengendalikan suatu proses dalam batas-batas yang melebihi kemampuan atau kesanggupan proses yang ada.
2. Spesifikasi yang berlaku, Spesifikasi hasil produksi yang ingin dicapai harus dapat berlaku, bila ditinjau dari segi kemampuan proses dan keinginan atau kebutuhan konsumen yang ingin dicapai dari hasil produksi tersebut. Dalam hal ini haruslah dapat dipastikan dahulu apakah spesifikasi tersebut dapat berlaku dari kedua segi yang telah disebutkan di atas sebelum pengendalian kualitas pada proses dapat dimulai.
3. Tingkat ketidaksesuaian yang dapat diterima, Tujuan dilakukannya pengendalian suatu proses adalah dapat mengurangi produk yang berada di bawah standar seminimal mungkin. Tingkat pengendalian yang diberlakukan tergantung

pada banyaknya produk yang berada dibawah standar yang dapat diterima.

4. Biaya kualitas, biaya kualitas sangat mempengaruhi tingkat pengendalian kualitas dalam menghasilkan produk dimana biaya kualitas mempunyai hubungan yang positif dengan terciptanya produk yang berkualitas.

## 2.3 *Six Sigma*

### 2.3.1 Konsep *Six Sigma*

Menurut (Gaspersz, 2005) *Six Sigma* adalah suatu visi peningkatan kualitas menuju target 3,4 kegagalan per-sejuta kesempatan untuk setiap transaksi produk dan jasa. Dalam *Six Sigma*, sebuah proses adalah unit dasar untuk perbaikan secara terus-menerus (*continuous improvement*). Perbaikan proses produksi bertujuan untuk meningkatkan kinerja perusahaan dan mengurangi fluktuasi kinerja. Oleh karena itu, menerapkan *Six Sigma* dapat mengurangi jumlah cacat (*Defect*) dan meningkatkan keuntungan perusahaan. Selain itu, manfaat penerapan *Six Sigma* adalah peningkatan kualitas produk dan moral karyawan (Afiah, 2017).

Menurut Pande (dikutip dalam Kusuma, 2017) terdapat 6 tema yang dapat diuraikan tentang bagaimana membuat *Six Sigma* bekerja di perusahaan yaitu:

- a. Benar-benar peduli dengan pelanggan.
- b. Manajemen berbasis data dan manajemen berbasis perbaikan.



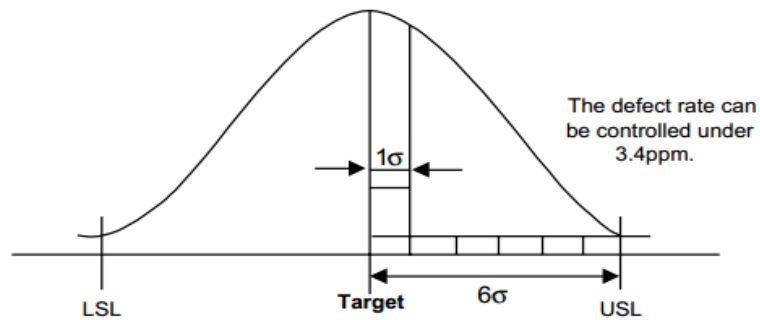
- c. Fokus pada proses, manajemen dan peningkatan.
- d. Manajemen aktif.
- e. Kerjasama tanpa batas.
- f. Mengejar kesempurnaan dan mentolerir kegagalan.

Menurut Gaspersz (2003) dalam buku *Total Quality Management* terdapat 2 metode yang dapat digunakan untuk melakukan berbagai upaya untuk mencapai tujuan *Six Sigma*, yaitu *Six Sigma-DMAIC* (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*) untuk perbaikan proses bisnis yang ada, *Six Sigma-DMADV* (*Define, Measure, Analyze, Design, Verify*) digunakan untuk membuat desain proses baru dan/atau desain produk baru untuk menghasilkan kinerja bebas kesalahan (*zero Defect*).

### 2.3.2 *Six Sigma* dari segi statistik

Menurut Brue (dikutip dalam Afiah, 2017)

*Six Sigma* adalah konsep statistik yang mengukur cacat (*Defect*) dalam sebuah proses. *Sigma* berarti standar deviasi yang menyatakan suatu nilai simpangan terhadap nilai tengah dari suatu populasi. Jika suatu proses terjadi didalam rentang tertentu itu dapat dikatakan baik. Rentang tersebut memiliki batas atas atau *Upper Specification Limit* (USL) dan batas bawah atau *Lower Specification Limit* (LSL). Jika hasil keluaran (*output*) dari suatu proses berada di luar rentang tersebut maka dapat dikatakan sebagai ketidaksesuaian (*Defect*). Secara statistik, *Six Sigma* dapat digambarkan seperti pada Gambar 2.2 berikut ini



Gambar 2.2 *Sigma Quality Levels of Six Sigma*  
 Sumber: (Park, 2003)

*Six Sigma* digunakan untuk proses perbaikan dan juga peningkatan suatu proses, serta pengendalian secara berkelanjutan. *Six Sigma* bertujuan untuk mencapai standar deviasi yang sangat kecil, didalam *Six Sigma*, apabila terdapat suatu proses yang menghasilkan jumlah cacat sebesar 3.4 DPMO (*Defects per Million Opportunities*) maka proses tersebut akan dinyatakan telah mencapai level *Six Sigma*. *Defects per Million Opportunities* (DPMO) adalah sejumlah peluang terjadinya cacat dari sejuta kesempatan yang ada. Selain itu DPMO merupakan ukuran yang baik bagi kualitas produk maupun proses, sebab berkorelasi langsung dengan cacat (*Defect*), biaya dan waktu yang terbuang (Afiah, 2017).

Pada dasarnya pelanggan merasa puas ketika mendapatkan ekspektasi mereka. Jika kualitas produk (barang dan/atau jasa) memenuhi standar 6 sigma, perusahaan dapat mengharapkan 3,4 kegagalan per juta peluang (DPMO), atau mengharapkan 99,9996% dari ekspektasi pelanggan pada produk. Oleh karena itu, *Six Sigma* dapat digunakan sebagai standar untuk mengukur indikator kinerja

sistem industri untuk mengukur derajat baik proses transaksi produk antara pemasok (industri) dan pelanggan (pasar) (Gaspersz, 2003).

Dalam *Six Sigma* dikenal kata DPMO yaitu peluang cacat per satu juta produk. Sebuah peluang cacat itu sendiri mempunyai tiga variabel penting yaitu (Sumarsan, 2017):

- a. Suatu bagian dari suku cadang yang diproduksi terdapat perbedaan dengan spesifikasi (produk cacat).
- b. Jumlah tempat pada suku cadang yang mungkin dapat menimbulkan cacat
- c. Dan setiap langkah produksi yang dapat menyebabkan satu atau lebih cacat pada suku cadang yang diproduksi

Adapun Pencapaian tingkat sigma sebagai berikut:

**Tabel 2.1 Persentase Tingkat Pencapaian Sigma**

<i>Cost of Poor Quality (COPQ)</i>			
<i>Level sigma</i>	DPMO	Keterangan	COPQ
1-sigma	691.462	sangat tidak kompetitif	Tidak dapat dihitung
2-sigma	308.538	Rata-rata industri Indonesia	Tidak dapat dihitung
3-sigma	66.807		25-40% penjualan
4-sigma	6.210	Rata-rata industri USA	15-25% penjualan
5-sigma	233		5-15% penjualan
6-sigma	3.4	Industri kelas dunia	< 1% penjualan

Setiap peningkatan atau penggeseran 1-Sigma akan memberikan peningkatan keuntungan sekitar 10% dari penjualan.

Sumber: (Gaspersz, 2003: 306)

### 2.3.3 Metodologi *Six Sigma*

Menurut Brue (dikutip dalam Afiah, 2017) metodologi *Six Sigma* menggunakan *statistical tools* untuk mengetahui beberapa faktor penting yang paling berpengaruh terhadap peningkatan mutu proses produksi. *Six Sigma* merupakan suatu bentuk kegiatan yang dilakukan

oleh seluruh pemangku kepentingan perusahaan untuk mencapai tujuannya. Tujuan yang dimaksud adalah untuk meningkatkan kepuasan pelanggan dan meningkatkan efisiensi proses bisnis. Di dalam pengaplikasian pengendalian kualitas menggunakan metode *Six Sigma*, ada 5 (lima) tahap yang harus dilalui yaitu tahap *Define* (Identifikasi), *Measure* (Pengukuran), *Analyze* (Analisa), *Improve* (Perbaikan), *Control* (Pengendalian) (Gaspersz, 2002). Berikut ini penjelasan terkait tahapan-tahapan *Six Sigma* DMAIC:

a. Tahap *Define*

Tahap *Define* merupakan tahapan pertama dalam metodologi *Six Sigma* DMAIC. Pada tahap ini adalah dengan memahami dan mengetahui permasalahan yang sedang dihadapi sampai dengan mengidentifikasi secara detail masalah utama dalam proses yang sedang berlangsung. Ditahap identifikasi ini, ditentukan *Critical to Quality* (CTQ), dan pengamatan alur produksi dengan menggunakan tools SIPOC (*Supplier, Input, Process, Output, Customer*) (Ibrahim et al., 2020).

b. Tahap *Measure*

Tahap *Measure*, Tahap kedua dari metodologi *Six Sigma* ini merupakan Langkah operasional dalam program peningkatan kualitas *Six Sigma*. Terdapat tiga hal pokok yang harus dilakukan dalam tahap ini, yaitu: (1) memilih dan menentukan karakteristik kualitas (CTQ) kunci yang berhubungan langsung dengan

kebutuhan spesifik pelanggan; (2) mengembangkan suatu rencana pengumpulan data melalui pengukuran yang dapat dilakukan pada tingkat proses, *input*, dan *output*; (3) mengukur kinerja pada tingkat proses, *input* dan *output* (Gaspersz, 2002).

c. Tahap *Analyze*

Tahap analisis dalam metodologi *Six Sigma* memberikan pendapat yang diprioritaskan untuk menghilangkan penyebab masalah, menunjukkan dampak proses yang cacat dan produk akhir pada pelanggan sebagai *end-user*, menjelaskan penyebab kegagalan serta *Root Cause* (akar penyebab) masalah, dan memberikan masukan untuk perbaikan untuk improvisasi. Pada tahap ini tools yang umumnya digunakan yaitu *Cause Effect Diagram* yang merupakan gambaran grafis yang menampilkan data mengenai faktor penyebab dari kegagalan atau ketidaksesuaian (Ibrahim et al., 2020).

d. Tahap *Improve*

Pada tahap ini akan dilakukan *brainstorming* untuk mengusulkan beberapa ide perbaikan. Perlu adanya pembuatan skenario perbaikan agar dapat diketahui seberapa besar dampak perbaikan terhadap proses eksisting yang dilakukan. Selain itu, dapat dilakukan perbandingan kemampuan perusahaan dalam mengimplemantasikan perbaikan tersebut (Afiah, 2017).

e. Tahap *Control*

Setelah dilakukan improvisasi terhadap proses kritis, maka improvisasi pun diimplementasikan kedalam sistem. Selama pelaksanaannya, dibutuhkan sebuah mekanisme kontrol guna mencegah terjadinya error di dalam proses. Berbagai *tools* bisa digunakan, antara lain *poka yoke (error proofing)*, *Kanban System*, *SPC (Statistical Process Control)*, dan lain sebagainya.

## 2.4 *Tools yang Digunakan dalam Six Sigma*

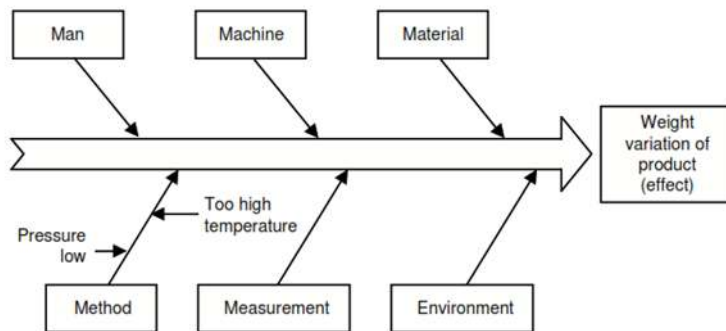
### 2.4.1. *The 7 (Seven) QC Tools*

Tujuh Alat Pengendalian Kualitas (*7 Tools*) adalah alat grafis dan statistik yang paling sering digunakan dalam pengendalian kualitas untuk perbaikan secara berkelanjutan berkelanjutan (*continuous improvement*). Karena digunakan secara luas oleh hampir setiap level perusahaan, mereka dijuluki *Magnificent Seven*. *7 Tools* berlaku untuk perbaikan di semua dimensi segitiga kinerja proses: variasi kualitas, waktu siklus dan hasil produktivitas. berikut ini penjelasan terkait *7 (seven) QC Tools* (Park, 2003):

#### (1) *Cause-and-effect diagram* (Diagram Sebab-Akibat)

*Tools* yang efektif sebagai bagian dari proses pemecahan masalah adalah diagram sebab-akibat, juga dikenal sebagai Ishikawa diagram karena yang pertama memperkenalkan *Cause-and-effect* Diagram ini adalah Prof. Kaoru Ishikawa dari Universitas Tokyo di tahun 1953 atau *Fishbone* Diagram (Diagram tulang ikan). Teknik ini berguna untuk memicu ide dan mempromosikan

pendekatan yang seimbang dalam sesi brainstorming kelompok dimana individu membuat daftar sumber yang dirasakan (penyebab) sehubungan dengan hasil (efek). Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3, efeknya ditulis dalam persegi panjang di sisi kanan, dan penyebabnya terdaftar di sisi kiri.



Mereka terhubung dengan panah untuk menunjukkan hubungan sebab-akibat.

**Gambar 2.3 Cause-and-effect diagram**  
Sumber: (Park, 2003)

Dalam menyusun diagram sebab-akibat, sering kali digunakan untuk mempertimbangkan enam penyebab utama yang dapat berkontribusi pada respons hasil (efek): yang disebut 5M1E (*man, machine, material, method, measurement, and environment*).

(2) *Check sheet*

*Check Sheet* digunakan untuk pengumpulan data spesifik dari setiap karakteristik yang diinginkan dari suatu proses atau produk yang akan ditingkatkan. Ini sering digunakan dalam tahap *Measure* dalam metodologi *Six Sigma*, DMAIC. Untuk tujuan praktis, *Check Sheet* biasanya diformat sebagai tabel, dibuat

seederhana dan desainnya diselaraskan dengan karakteristik yang diukur. Pertimbangan harus diberikan mengenai siapa yang harus mengumpulkan data dan interval pengukuran apa yang akan

Data gathered by S.H. Park

Defect item	Date					Sum
	Aug. 10	Aug. 11	Aug. 12	Aug. 13	Aug. 14	
Soldering defect	//	/	///		///	11
Joint defect	//	//		/	///	8
Lamp defect		/	//	//	/	6
Scratch defect	///	///	///	///	//	24
Miscellaneous	/	//	///	/	//	9
Sum	9	12	11	12	13	58

diterapkan.

**Gambar 2.4 Check Sheet**

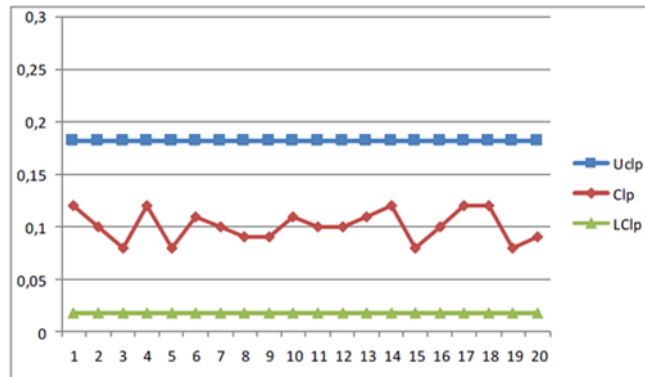
Sumber: (Park, 2003)

(3) *Control Chart* (Peta Kendali)

Peta kendali adalah alat yang sangat penting dalam tahap "*Analyze, Improve, dan Control*" dari metodologi peningkatan *Six Sigma*. Dalam tahap "*Analyze*", *Control Chart* diterapkan untuk menilai apakah prosesnya dapat diprediksi; dalam Tahap "*Improve*", untuk mengidentifikasi bukti penyebab khusus variasi sehingga dapat ditindak lanjuti; dalam tahap "*Control*", untuk memverifikasi bahwa kinerja proses terkendali.

Peta kendali digunakan untuk mengukur nilai rata-rata, variabel dan atribut, variabel yang terkait dengan nilai rata-rata dan deviasi, dan untuk menentukan sumbu perubahan proses (Nasution, 2015).





**Gambar 2.5 Control Chart**

Sumber: (Tannady, 2015)

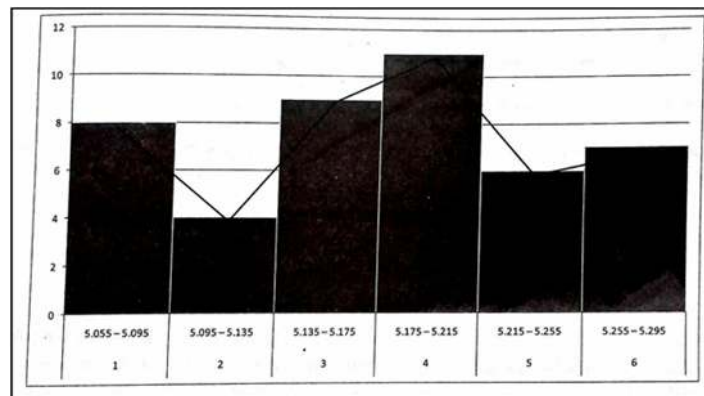
#### (4) Histogram

Penting untuk memberikan informasi dalam bentuk yang secara visual menggambarkan frekuensi kemunculan nilai. Dalam Tahap Analyze metodologi *Six Sigma* DMAIC, Histogram biasanya diterapkan untuk mempelajari tentang distribusi data dalam hasil Y dan penyebab X yang dikumpulkan dalam tahap *measure* dan juga digunakan untuk memperoleh pemahaman tentang potensi perbaikan.

Histogram adalah salah satu alat didalam metode Pendekatan perbaikan kualitas yang berfungsi untuk memetakan distribusi atas sejumlah data. Berikut ini Tahap-tahap dalam membuat histogram (Tannady, 2015):

- a) Pengumpulan Data
- b) Menentukan besar jarak (*Range*)
- c) Menentukan jumlah kelas interval
- d) Menentukan panjang interval kelas
- e) Menentukan batas kelas

- f) Menentukan nilai tengah
- g) Menghitung frekuensi data pada setiap interval kelas
- h) Membuat grafik

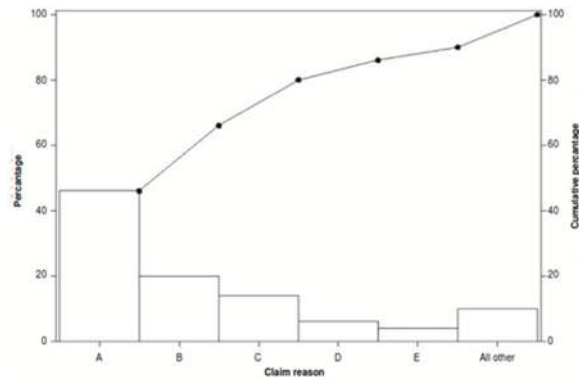


**Gambar 2.6 Histogram**  
 Sumber: (Tannady, 2015)

(5) Diagram Pareto

Diagram Pareto diperkenalkan pada tahun 1940-an oleh Joseph M. Juran, yang menamakannya setelah ekonom dan ahli statistik Italia Vilfredo Pareto, 1848–1923. Dalam metodologi peningkatan *Six Sigma*, bagan Pareto memiliki dua aplikasi utama. Salah satunya adalah untuk memilih proyek perbaikan yang sesuai dalam tahap *define*. Pada Tahap ini memberikan dasar yang sangat objektif untuk pemilihan, berdasarkan, misalnya, frekuensi kemunculan, penghematan biaya dan potensi peningkatan dalam kinerja proses. Diagram Pareto digunakan untuk mengetahui jenis cacat yang paling sering terjadi. Atau diagram pareto merupakan sebuah diagram untuk memetakan faktor-faktor penyebab dari sebuah masalah, kemudian

pemecahan masalah haruslah berfokus atau memprioritaskan penyebab mayoritas/dominan terlebih dahulu (Tannady, 2015).



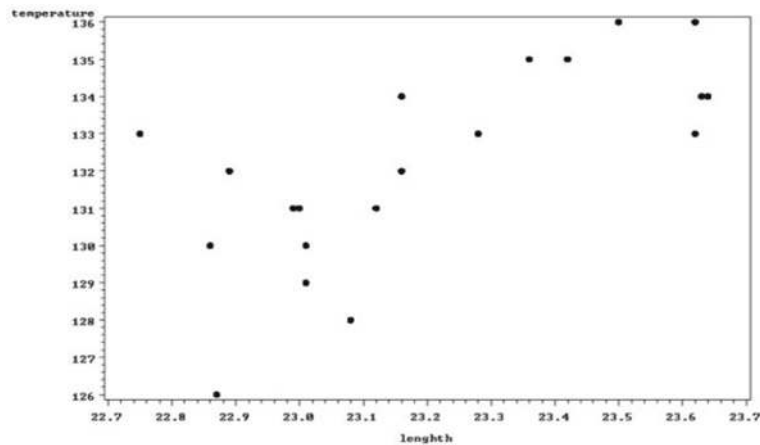
**Gambar 2.7 Diagram Pareto**

Sumber: (Park, 2003)

(6) *Scatter diagram* (Diagram Pencar)

*Scatter diagram* adalah cara yang berguna untuk menemukan hubungan antara dua faktor, X dan Y, yaitu korelasi. Sebuah kelebihan dari diagram pencar adalah visualisasi dari pola korelasi, melalui mana hubungan dapat ditentukan. Dalam tahap *improve* (perbaikan) metodologi *Six Sigma* DMAIC, seseorang sering mencari data yang dikumpulkan untuk X yang memiliki pengaruh khusus pada Y. Mengetahui keberadaan hubungan seperti itu, dimungkinkan untuk mengidentifikasi variabel input yang menyebabkan variasi khusus dari variabel hasil. Kemudian dapat ditentukan bagaimana mengatur variabel input, jika mereka adalah label-kontrol, sehingga prosesnya ditingkatkan. Ketika beberapa X dapat mempengaruhi nilai Y, satu plot pencar harus dibuat untuk setiap kombinasi X dan Y.

Dalam hal pengendalian kualitas, diagram ini digunakan untuk mengidentifikasi korelasi yang mungkin ada antara karakteristik kualitas dan faktor yang mungkin mempengaruhinya.



**Gambar 2.8 Scatter Diagram**

Sumber: (Park, 2003)

#### (7) *Stratification*

Stratifikasi adalah alat yang digunakan untuk membagi data yang dikumpulkan menjadi sub-kelompok untuk menentukan sesuatu di antara kelompok yang mengandung variasi penyebab khusus. Oleh karena itu, data dari sumber yang berbeda dalam suatu proses dapat dipisahkan dan dianalisis secara individual. Stratifikasi terutama digunakan dalam tahap *analyze* (analisis) untuk stratifikasi data dalam mencari variasi penyebab khusus dalam metodologi perbaikan *Six Sigma* (Park, 2003).

Keputusan paling penting dalam menggunakan stratifikasi adalah menentukan kriteria yang digunakan untuk stratifikasi. Contohnya dapat berupa mesin, material, pemasok, shift, siang dan malam, kelompok umur dan sebagainya. Hal ini umum untuk

stratifikasi menjadi dua kelompok. Jika jumlah pengamatan cukup besar, stratifikasi yang lebih rinci juga dimungkinkan.

Langkah-langkah stratifikasi sebagai berikut (Kurniawan, 2021):

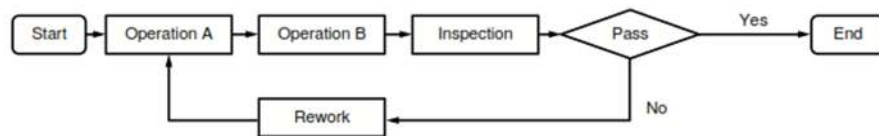
- a) Menentukan tujuan dari pelaksanaan stratifikasi, seberapa detailkah stratifikasi yang perlu dilakukan?
- b) Menentukan seluruh faktor dan kriteria yang akan digunakan dalam stratifikasi.
- c) Membuat kelompok-kelompok dan sub kelompok berdasarkan ketidaksamaan yang paling diantara faktor. Misalnya mula-mula dibagi berdasarkan penyebab kerusakan (kerusakan oleh operator atau oleh mesin).
- d) Memasukan tiap faktor kedalam kelompok dan sub kelompok yang sesuai.

#### 2.4.2. Proses Diagram Alir (*FlowChart*)

*FlowChart* adalah alat bantu yang memberikan gambaran visual urutan operasi yang diperlukan atau langkah-langkah suatu proses untuk menyelesaikan suatu tugas. Diagram alir juga memberikan gambaran tentang langkah-langkah yang diperlukan untuk memahami suatu proses. *FlowChart* banyak digunakan dalam industri dan telah menjadi alat utama dalam pengembangan sistem informasi, sistem manajemen mutu, dan buku pegangan karyawan. Nilai utama dari *flowChart* terletak pada identifikasi dan pemetaan kegiatan dalam

proses, sehingga arus utama produk dan informasi divisualisasikan dan diketahui semua orang (Yuri & Nurcahyo, 2013).

Dalam setiap proyek peningkatan *Six Sigma*, memahami suatu proses sangat penting. Oleh karena itu, diagram alir sering digunakan dalam tahap pengukuran (*measure*). Ini juga digunakan dalam tahap analisis untuk mengidentifikasi potensi peningkatan dibandingkan dengan proses serupa dan dalam tahap kontrol untuk melembagakan perubahan yang dibuat pada proses (Park, 2003).



**Gambar 2.9 Proses FlowChart**

Sumber: (Park, 2003)

## 2.5 Failure Mode and Effect Analysis

*Failure mode and effect analysis* (FMEA) adalah teknik rekayasa yang digunakan untuk mendefinisikan, mengidentifikasi, masalah, kesalahan, dan sebagainya dari sistem, desain, proses, dan/atau jasa sebelum suatu produk atau jasa diterima oleh konsumen (Mayangsari et al., 2015). FMEA digolongkan menjadi dua jenis yaitu:

- a. Desain FMEA yaitu alat yang digunakan untuk memastikan bahwa *potential failure modes*, sebab dan akibatnya telah diperhatikan terkait dengan karakteristik desain, digunakan oleh *Design Responsible Engineer/Team*.
- b. *Process* FMEA yaitu alat yang digunakan untuk memastikan bahwa *potential failure modes*, sebab dan akibatnya telah diperhatikan terkait

dengan karakteristik prosesnya, digunakan oleh *Manufacturing Engineer/Team*.

Berikut ini adalah langkah dalam membuat FMEA menurut (Gaspersz, 2002):

- a. Mengidentifikasi proses produk
- b. Mendaftarkan masalah-masalah potensial yang dapat muncul
- c. Menilai masalah untuk *Severity* (kerumitan), *Occurance* (probabilitas kejadian) dan *Detection* (detektabilitas) berdasarkan pengamatan atau dengan metode *Brainstorming* sehingga penilaian bersifat kualitatif.
- d. Menghitung *risk priority number* (RPN) dan tindakan-tindakan prioritas
- e. Melakukan tindakan-tindakan untuk mengurangi resiko

FMEA digunakan untuk mengidentifikasi mode kegagalan, mode kegagalan termasuk dalam kecacatan atau kegagalan (*Defect*) dalam desain, kondisi di luar batas spesifikasi, atau perubahan dalam produk yang mengganggu fungsi produk. Faktor-faktor didefinisikan sebagai berikut:

- a. Pengaruh buruk (*Severity*): estimasi atau perkiraan subyektif tentang bagaimana buruknya pengguna akhir akan merasakan akibat dari kegagalan. *Rating* keparahan diberi nilai pada skala 1 hingga 10, dengan 10 dinyatakan sebagai tingkat yang paling parah, dan 1 menyatakan efek yang paling minimal. *Rating severity* dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut:

**Tabel 2.2 Ranking Severity**

<b>Ranking</b>	<b>Kriteria</b>
1	Pengaruh buruk dapat diabaikan tidak perlu memikirkan bahwa akibat ini akan berdampak pada kinerja produk. Pengguna akhir mungkin tidak akan memperhatikan catatan atau kegagalan ini.
2 3	Pengaruh buruk yang ringan atau sedikit. Akibat yang ditimbulkan hanya bersifat ringan. Pengguna akhir tidak akan merasakan perubahan kinerja. Perbaikan dapat dikerjakan pada saat pemeliharaan reguler.
4 5 6	Pengaruh buruk yang moderat. Pengguna akhir merasakan penurunan kinerja atau penampilan, namun masih berada dalam batas toleransi. Perbaikan yang dilakukan tidak akan mahal, jika terjadi <i>downtime</i> hanya dalam waktu singkat.
7 8	Pengaruh buruk yang tinggi. Pengguna akhir akan merasakan akibat buruk yang tidak akan diterima, berada diluar batas toleransi. Akibat akan terjadi tanpa pemberitahuan atau peringatan terlebih dahulu, <i>Downtime</i> akan berakibat biaya yang sangat mahal. Penurunan kinerja dalam area yang berkaitan dengan peraturan pemerintah, namun tidak berkaitan dengan keamanan dan keselamatan.
9 10	Masalah keselamatan keamanan potensial. Akibat yang ditimbulkan sangat berbahaya yang dapat terjadi tanpa pemberitahuan atau peringatan terlebih dahulu. Bertentangan dengan hukum.

Sumber: (Gaspersz, 2002)

- b. *Occurance*: kesempatan atau peluang bahwa salah satu penyebab spesifik atau mekanisme menghasilkan mode kegagalan. Pengurangan atau penghapusan pada terjadinya peringkat tidak harus datang dari alasan apapun kecuali perubahan langsung dalam desain. *Rating occurence* diberi nilai pada skala 1 hingga 10, dengan 10 dinyatakan sebagai penyebab kegagalan yang paling sering terjadi, dan 1 menyatakan situasi yang jarang atau tidak pernah terjadi. *Rating occurence* dapat dilihat pada Tabel 2.3 berikut:



**Tabel 2.3 Ranking Occurance**

<b>Ranking</b>	<b>Kriteria</b>	<b>Tingkat Kegagalan</b>
1	Tidak mungkin bahwa penyebab ini yang mengakibatkan mode kegagalan	1 dalam 1.000.000
2	Kegagalan akan terjadi	1 dalam 20.000
3		1 dalam 4.000
4	Kegagalan agak mungkin terjadi	1 dalam 1.000
5		1 dalam 400
6		1 dalam 80
7	Kegagalan sangat mungkin terjadi	1 dalam 40
8		1 dalam 20
9	Hampir dapat dipastikan kegagalan akan terjadi	1 dalam 8
10		1 dalam 2

Sumber: (Gaspersz, 2002)

*Detection* : ukuran relatif dari penilaian kemampuan desain kontrol untuk mendeteksi potensi penyebab atau modus kegagalan selama sistem operasi. *Rating detection* diberi nilai pada skala 1 hingga 10, dengan 10 mengimplikasikan sebagai metode pencegahan tidak efektif, dan 1 menyatakan bahwa metode pencegahan sudah efektif. *Ranking Detection* dapat dilihat pada Tabel 2.4 berikut:

**Tabel 2.4 Ranking Detection**

<b>Ranking</b>	<b>Kriteria</b>	<b>Tingkat Kejadian Penyebab</b>
1	Metode pencegahan sangat efektif	1 dalam 1.000.000
2	Kemungkinan bahwa penyebab terjadi adalah rendah	1 dalam 20.000
3		1 dalam 4.000
4	Kemungkinan penyebab terjadi bersifat moderat. Metode pencegahan atau deteksi masih memungkinkan kadang-kadang penyebab itu terjadi	1 dalam 1.000
5		1 dalam 400
6		
7	Kemungkinan bahwa penyebab itu terjadi sangat tinggi. Metode pencegahan atau deteksi kurang efektif karena penyebab masih berulang kembali	1 dalam 40
8		1 dalam 20
9	Kemungkinan bahwa penyebab itu terjadi sangat tinggi. Metode pencegahan atau deteksi tidak efektif. Penyebab akan selalu terjadi kembali	1 dalam 8
10		1 dalam 2

Sumber: (Gaspersz, 2002)

- a. Angka Prioritas Resiko (RPN= *Risk Priority Number*): hasil perkiraan antara ranking pengaruh buruk (*severity*), rangkin kemungkinan dan ranking efektifitas. Namun, untuk mendapatkan *risk priority number* (RPN), *severity* (S), *occurence* (O), dan *detection* (D) harus dikalikan yang ditunjukkan dengan persamaan sebagai berikut:

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

Kemudian, nilai RPN untuk setiap mode kegagalan adalah peringkat untuk mengetahui kegagalan dengan risiko yang lebih tinggi Angka ini digunakan untuk mengidentifikasi risiko yang serius, sebagai petunjuk ke arah perbaikan.

## 2.6 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian tentang pengendalian kualitas telah dilakukan untuk mengurangi cacat suatu produk dengan menggunakan metode *Six Sigma* diantaranya Penerapan Metode *Six Sigma* Untuk Mengurangi *Defect* Pada Produk Kaca Lembaran telah dilakukan oleh Afiah (2017). Penelitian ini bertujuan Memberikan alternatif solusi yang dapat diterapkan oleh perusahaan dalam mereduksi *Defect* dan mengurangi kerugian yang diakibatkan oleh *Defect* yang tinggi agar KPI tercapai. Identifikasi CTQ Berdasarkan prinsip *pareto Chart* maka *Defect* yang akan dilakukan perbaikan adalah *Defect* yang mempengaruhi sekitar 80% dari keseluruhan *Defect* yang ada. Sehingga, jenis-jenis *Defect* yang perlu diperbaiki yaitu *cullet Defect* mempengaruhi sebesar 45.6 %, *chipping Defect* mempengaruhi 31.0 % dan *bubble Defect* mempengaruhi 17.1 % dari total *Defect* proses

produksi kaca LNFL. Dari perhitungan yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa nilai DPMO dari proses produksi kaca lembaran adalah sebesar 16,434. Dengan demikian dihasilkan nilai sigma sebesar 3.63 dengan CTQ sebanyak tiga jenis.

Analisis Pengendalian Kualitas Dalam Upaya Mengurangi Produk *Defect* Dengan Pendekatan *Six Sigma* Pada PT. Tirtamas Lestari Banyuwangi yang telah dilakukan oleh Hansen (2021). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sumber penyebab produk cacat yang terjadi serta memberikan rekomendasi perbaikan guna mencegah dan meminimasi jumlah produk cacat pada produk kemasan kemasan gelas 220ml. Melalui hasil pengolahan data didapatkan nilai *Defect per Million Opportunities* (DPMO) dari produk cacat kemasan gelas 220ml sebesar 1097,969, yang berarti dalam setiap satu juta kesempatan hasil produksi ditemukan kurang lebih 1097,969 cacat produk dan nilai *level sigma* 4,56, yang berarti nilai tersebut sudah cukup baik. Berdasarkan hasil analisis menggunakan pareto diagram diperoleh jumlah kumulatif 80% yang menjadi prioritas adalah jenis cacat cap miring, kemasan bocor, dan kemasan remuk. Hasil analisis menggunakan peta kendali diperoleh bahwa masih terdapat data yang melebihi batas kendali baik untuk peta kendali atribut maupun peta kendali variabel yang disebabkan oleh penyebab khusus yaitu perbedaan karyawan yang melakukan *maintenance* dan jumlah karyawan yang bekerja. Hasil analisis menggunakan *scatter diagram* diperoleh bahwa hubungan atau korelasi antara variabel jumlah

produk yang diproduksi dengan jumlah cacat yang dihasilkan adalah positif namun tidak signifikan dengan nilai *p-value* sebesar 0,353.

Upaya Peningkatan Kualitas Pada Kemasan Produk Dengan Metode *Six Sigma* Di PT. Sakatama Gresik yang telah diteliti oleh Firdausi (2018). Penelitian ini bertujuan memberikan usulan rancangan perbaikan yang diharapkan mampu secara tepat untuk meningkatkan kualitas pada produk kemasan sachet milo. Hasil dari penelitan ini ialah Jenis *Defect* pada produk kemasan sachet Milo yaitu: cacat bocor horizontal yang berjumlah 47,590 pcs dengan persentasi 22,3%, yang kedua cacat *double seal* yang berjumlah 44.200 pcs dengan persentasi 20,7%, yang ketiga cacat produk trap yang berjumlah 41,690 pcs dengan persentasi 19,5%, yang keempat cacat bocor vertikal berjumlah 40,695 pcs dengan persentasi 19,0%, yang terakhir cacat bocor gusset berjumlah 39,685 dengan persentasi 18,6%. Tingkat DPMO dan *Sigma level* yakni sebesar 4.395 *Defect* per sejuta produk yang dihasilkan dengan nilai sigma 4.12.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Shabrina (2018) dengan judul Analisis Pengendalian Kualitas Jagung Pipil Pakan Ternak Menggunakan Metode *Six Sigma* (Studi Kasus Pada PT. Seger Agro Nusantara). Dalam hasil penelitiannya faktor yang menyebabkan terjadinya kecacatan atau *Critical to Quality* (CTQ) pada proses pengeringan jagung pipil adalah Tidak melakukan pengeringan yang maksimal (menggunakan lantai jemur) terhadap jagung pipil yang masih basah dan sering terjadinya kerusakan pada *chain* serta mesin hisapan (*blower*) dan aspirator. Berdasarkan hasil perhitungan DPMO

diatas dapat diketahui bahwa proses pengeringan jagung pipil masih rendah yaitu dapat dilihat dari nilai DPMO yang cukup tinggi sebesar 105.000, yang berarti bahwa dari satu juta kesempatan yang ada akan terdapat 105.000 kemungkinan mengalami kecacatan. Sedangkan untuk *level sigma* proses pengeringan jagung pipil untuk jenis kecacatannya mempunyai kapabilitas *level sigma* yang masih rendah yaitu sebesar 2,76667.

Penerapan Metode *Six Sigma* Untuk Mengurangi Cacat Dan Mendukung Ketercapaian Key Performance Indicator (KPI) Di PT. X. yang diteliti oleh Budi (2015). Dalam hasil penelitiannya jenis *Defect* yang ditangani dan dilakukan *improvement* adalah mie rusak (pecah) yang berpengaruh sebesar 38,8%, kemasan bocor yang berpengaruh sebesar 33,8%, serta mie terjepret di *seal* yang berpengaruh sebesar 17,5% dari total *Defect* yang ada pada proses produksi mie MB 08. Nilai DPMO dari proses produksi mie MB 08 adalah 8457 dan memiliki nilai sigma sebesar 3,89 dengan CTQ sebanyak tiga jenis. Berdasarkan hasil analisa dengan menggunakan *Root Cause Analysis* dan *Failure Mode and Effect Analysis* didapatkan 3 alternatif solusi untuk penanganan ketiga jenis *Defect*, yaitu menghitung ulang waktu optimal untuk jangka waktu *maintenance*, melakukan perawatan preventif dan kalibrasi termostat, dan mengganti alat pengukur kalor jika sudah tidak berfungsi dengan baik, serta menetapkan SOP pengolahan mie agar mie tidak pecah dan masuk ke *seal*. Ketiga alternatif yang diusulkan digabungkan menjadi 8 alternatif, kemudian digunakan metode *Value Engineering* untuk menghitung dan memilih

kombinasi alternatif mana yang memiliki nilai paling besar dibandingkan dengan alternatif lain. Setelah dilakukan perhitungan didapatkan alternatif 1 dan alternatif 2 sebagai alternatif kombinasi dengan nilai tertinggi.

Analisis Pengendalian Kualitas Pada Proses Pengemasan *Portland Pozzolan Cement* (PPC) Di PT. Semen Gresik (Persero), Tbk. Pabrik Tuban yang diteliti oleh Ghifari et al., (2019) menggunakan metode *Six Sigma* pada produk semen di bagian pengemasan PCC. Tujuan penelitian ini adalah mengurangi *Defect* pada bagian pengemasan PCC guna meningkatkan kualitas produk semen. Cacat terjadi selama proses pengemasan PCC yang pecah pada saat proses pengemasan semen. Data yang diteliti yaitu 356 hari dari 1 Januari 2017 – 31 Desember 2017. Analisis yang digunakan yaitu *Laney P' Chart*, *level sigma*, dan diagram ishikawa (*Fishbone*). Data fase I yang digunakan adalah data *release* dan pecah bag PPC 40kg dan 50 kg di proyek Tuban 4 tanggal 1 Januari hingga 21 Juni 2017 dan data fase II pada tanggal 1 Juli hingga 31 Desember 2017, di mana hasilnya diagram *Laney P'* pada fase I yang telah terkontrol secara statistik sebesar 0,00161 dan pada fase II belum terkontrol secara statistik dengan rata-rata proporsi sebesar 0,00161. Hasil perhitungan *level sigma* yaitu sebesar 4,77. Penyebab terjadinya kantong PPC pecah saat proses pengemasan semen adalah kualitas bahan baku yang belum baik, operator kurang teliti, pengeleman kantong yang masih basah atau kurang sempurna, lingkungan yang lembap, dan keadaan mesin yang sudah aus.

Takao et al., (2017) telah melakukan penelitian dengan menggunakan metode *Six Sigma* pada perusahaan manufaktur yang memproduksi pipa di Amerika Serikat. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengurangi waktu siklus dan meningkatkan penjualan. Berdasarkan hasil pengukuran yang telah dilakukan peneliti, menunjukkan bahwa waktu yang dibutuhkan perusahaan ini untuk melakukan pengiriman produk 46% lebih lama dari perusahaan pesaing. Hal ini tentu, tidak baik bagi perusahaan. Terdapat beberapa hal yang mempengaruhi waktu pengiriman produk, yaitu akurasi rencana penjualan, *safety stock*, dan kinerja pengiriman vendor. Untuk menangani hal tersebut, peneliti memberikan usulan perbaikan konsep 5W2H dengan memprioritaskan pada faktor yang paling berpengaruh yaitu akurasi rencana penjualan dan *safety stock*.

Pugna et al., (2016) melakukan penelitian tentang peningkatan kualitas produk cacat. Penelitian ini menggunakan metode *Six Sigma*, AHP dan Poka-Yoke. Tujuan dari penelitian ini adalah memberikan solusi untuk perbaikan proses perakitan pada sebuah perusahaan otomotif. Setelah menerapkan metode ini, hasilnya menunjukkan bahwa cacat berkurang hingga 40%. Kemudian, penelitian ini disarankan untuk melanjutkan proses perbaikan dengan mengatasi ketidaksesuaian berikutnya dari grafik Pareto dan juga mencoba otomatisasi proses yang memukau, untuk menghilangkan kemungkinan kesalahan manusia.

**Tabel 2.5 Kajian Pustaka Penelitian**



No	Peneliti	Judul	Metode	Hasil
1	Afiah, (2017)	Penerapan Metode <i>Six Sigma</i> untuk Mengurangi <i>Defect</i> pada Produk Kaca Lembaran	<i>Six Sigma</i> , <i>Root Cause Analysis</i> (RCA), <i>Failure Mode and Effect Analysis</i> (FMEA)	<i>Light Green Flat Glass</i> (LNFL) merupakan produk yang dihasilkan dari line produksi A1 dengan tingkat kecacatan melebihi KPI. Setelah dilakukan perhitungan <i>sigma level</i> , didapatkan nilai hanya sebesar 3.63 sigma. Masing-masing jenis <i>Defect</i> kritis tersebut dicari akar permasalahannya menggunakan <i>Root Cause Analysis</i> (RCA) dan dicari akar permasalahan kritis menggunakan <i>Failure Mode and Effect Analysis</i> (FMEA).
2	Hansen, (2021)	Analisis Pengendalian Kualitas Dalam Upaya Mengurangi Produk <i>Defect</i> Dengan Pendekatan <i>Six Sigma</i> Pada Pt. Tirtamas Lestari Banyuwangi	<i>Six Sigma</i> , <i>Process Decision Program Chart</i> (PDPC), <i>Poka-Yoke</i>	Perhitungan nilai DPMO sebesar 1097,969 dan <i>level sigma</i> sebesar 4,56. Tahap <i>analyze</i> , diperoleh faktor-faktor penyebab cacat adalah faktor mesin, material, metode, dan manusia, sedangkan hasil pengujian perbedaan rata-rata didapatkan bahwa terjadi perbedaan signifikan antara regu karyawan dengan jumlah cacat yang dihasilkan.
3	Firdausi, (2018)	Upaya Peningkatan Kualitas Pada Kemasan Produk Dengan Metode <i>Six Sigma</i> Di PT. Sakatama Gresik (2018)	<i>Six Sigma</i> dan <i>Failure Mode and Effect Analysis</i> (FMEA)	Persentase <i>Defect</i> terbesar yakni bocor horizontal kemasan sachet 18gr (22,3 %) dan terkecil bocor <i>gusset</i> kemasan sachet 18gr (18,6 %). Dan nilai rata-rata <i>sigma level</i> nya adalah 4.12 sigma. Pada penelitian ini menggunakan siklus DMAIC untuk meningkatkan kualitas pada kemasan produk sachet Milo dan hasilnya berupa tahap usulan rancangan perbaikan tiap jenis <i>Defect</i> .

4	Shabrina, (2018)	<p>Analisis Pengendalian Kualitas Jagung Pipil Pakan Ternak Menggunakan Metode <i>Six Sigma</i> (Studi Kasus Pada PT. Seger Agro Nusantara)</p>	<i>Six Sigma</i>	<p>Hasil penelitian Perhitungan <i>final yield</i> untuk proses pengeringan jagung pipil pakan ternak di PT. SAN adalah 79%. Hal ini menunjukkan bahwa kapabilitas sigma dari proses pengeringan jagung pipil tersebut telah memenuhi standar <i>final yield</i> Indonesia. <i>Level sigma</i> proses pengeringan jagung pipil untuk jenis kecacatannya mempunyai kapabilitas <i>level sigma</i> yang masih rendah yaitu sebesar 2,76667. <i>Level sigma</i> tersebut mengindikasikan bahwa perlunya perbaikan secara berlanjut untuk mencapai <i>Six Sigma</i></p>
5	Budi, (2015)	<p>Penerapan Metode <i>Six Sigma</i> untuk Mengurangi Cacat dan Mendukung Ketercapaian <i>Key Performance Indicator</i> (KPI) di PT. X.</p>	<i>Six Sigma dan Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)</i>	<p>Nilai sigma dari PT. X hanya sebesar 3,89%. Dari hasil analisis dengan pareto <i>Chart</i>, didapatkan tiga jenis <i>Defect</i> utama yang menjadi <i>Defect</i> kritis yaitu mie rusak (pecah), kemasan bocor, dan pecahan mie terjepret di seal. Hasil analisa dengan menggunakan <i>Root Cause Analysis</i> dan <i>Failure Mode and Effect Analysis</i> didapatkan 3 alternatif solusi untuk penanganan ketiga jenis <i>Defect</i></p>
6	Ghifari et al., (2019)	<p>Analisis Pengendalian Kualitas pada Proses Pengemasan <i>Portland Pozzolan Cement</i> (PPC) di PT. Semen Gresik (Persero), Tbk. Pabrik Tuban</p>	<i>Six Sigma</i>	<p>Dalam penelitian ini Analisis yang digunakan yaitu diagram Laney P', <i>level sigma</i>, dan diagram ishikawa. Di mana hasilnya diagram Laney P' pada fase I yang telah terkontrol secara statistik sebesar 0,00161 dan pada fase II belum terkontrol secara statistik dengan rata-rata proporsi sebesar 0,00161. Hasil perhitungan <i>level sigma</i> yaitu sebesar 4,77. Penyebab terjadinya kantong PPC pecah saat proses pengemasan semen adalah kualitas bahan baku yang belum baik, operator kurang teliti, pengeleman kantong yang masih basah atau kurang sempurna, lingkungan yang lembap, dan keadaan mesin yang sudah aus.</p>

7	Takao et al., (2017)	<p><i>Six Sigma methodology advantages for small- and medium-sized enterprises: A case study in the plumbing industry in the United States</i></p>	Six Sigma	<p>Perusahaan membutuhkan waktu 46% lebih lama untuk mengirimkan produk dibandingkan dengan perusahaan pesaing. Banyak faktor yang mempengaruhi waktu pengiriman produk, yaitu ketepatan rencana penjualan, <i>safety stock</i> dan kinerja pengiriman <i>supplier</i>. Untuk mengatasi masalah tersebut, peneliti menyarankan untuk memperbaiki konsep 5W2H dengan mengutamakan faktor yang paling berpengaruh yaitu ketepatan rencana penjualan dan <i>safety stock</i></p>
8	Pugna et al., (2016)	<p><i>Using Six Sigma Methodology to Improve the Assembly Process in an Automotive Company</i></p>	Six Sigma, AHP, Poka-Yoke	<p>proses yang diinginkan dikendalikan, kemampuan proses meningkat secara substansial dalam jangka pendek dan panjang, Cpk meningkat dari 0,96 menjadi 1,72, <i>Level sigma</i> jangka pendek meningkat dari 2,9 menjadi 5,2, <i>Level sigma</i> jangka panjang meningkat dari 1,4 menjadi 3,7, DPMO berkurang dari 81.000 menjadi 108, meningkatkan proses memukau menghasilkan 40% pengurangan cacat, memilih pemasok yang paling cocok menghasilkan 30% pengurangan cacat.</p>