

Quality Improvement of Tin Ingot Product Using Six Sigma Method at PT Timah Tbk

Peningkatan Kualitas Produk Timah *Ingot* dengan Menggunakan Metode *Six Sigma* pada PT Timah Tbk

Nabila Rahmasuci¹, Johnson Saragih¹, Idriwal Mayusda¹

¹Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti, Jl. Kyai Tapa No. 1, Grogol, Kota Jakarta Barat, DKI Jakarta, 11440.

email: idriwal.mayusda@trisakti.ac.id

doi: <https://doi.org/10.31315/opsi.v16i1.7434>

Received: 25th July 2022; Revised: 2nd September 2022; Accepted: 9th March 2023;

Available online: 19th June 2023; Published regularly: June 2023

ABSTRACT

Bangka brand (BA) tin metal bar (ingot) has the highest defect percentage value of 2.01% from June to September 2021. This percentage exceeds the minimum non-conformity product standard of 0.25 %. This study aims to identify the types and factors that cause defects and propose improvements for the quality of products. The research uses the six-sigma method with DMAIC stages. Types of ingot defects include winging, rough surface, curved edges, bumps on the surface, presence of flakes, asymmetrical brand logos, spatters of tin metal, cracks/breaks, and exceeding weight specification. The results of the sigma level are 2.36 (variable data) and 3.15 (attribute data). The highest RPN value (240) occurs in the type of failure of the tin ingot test with the cause of failure, namely, the machine is experiencing troubleshooting. The second highest RPN value (210) occurs in the casting process with the cause of failure, namely the operator's lack of job mastery. Proposed improvements that can be implemented are the application of tin casting process work instructions. The implementation results show an increase in the sigma level to 2.44 (variable data) and 3.19 (attribute data).

Keywords: Quality Control, Six Sigma, Define-Measure-Analyze-Improve-Control, Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), Tin Metal

ABSTRAK

Timah batangan (ingot) brand bangka (BA) memiliki nilai persentase cacat tertinggi sebesar 2,01% pada bulan Juni sampai September 2021. Persentase cacat ini melebihi standar minimal kecacatan PT Timah Tbk sebesar 0,25%. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi jenis dan faktor penyebab cacat, menghitung peta kendali, nilai DPMO dan level sigma serta usulan perbaikan sehingga dapat meningkatkan kualitas produk timah. Penelitian menggunakan metode six sigma dengan tahapan DMAIC. Jenis cacat ingot antara lain: bersayap, permukaan kasar, ujung melengkung, benjolan di permukaan, adanya serpihan, logo brand tidak simetris, ceceran logam timah, retak/patah, berat yang melebihi spesifikasi. Hasil level sigma yakni 2,36 (data variabel) dan 3,15 (data atribut). Nilai RPN tertinggi pertama (240) terjadi pada jenis kegagalan uji berat timah ingot dengan penyebab kegagalan yaitu mesin beroperasi tidak stabil (mengalami trouble shooting). Nilai RPN tertinggi kedua (210) terjadi pada proses casting dengan penyebab kegagalan yaitu operator kurang menguasai jobdesc. Usulan perbaikan yang dapat diimplementasikan adalah penerapan instruksi kerja proses casting timah. Hasil implementasi menunjukkan terjadinya peningkatan level sigma menjadi 2,44 (data variabel) dan 3,19 (data atribut).

Kata Kunci: Pengendalian Kualitas, Six Sigma, Define-Measure-Analyze-Improve-Control, Failure Mode and Effect Analysis (FMEA).

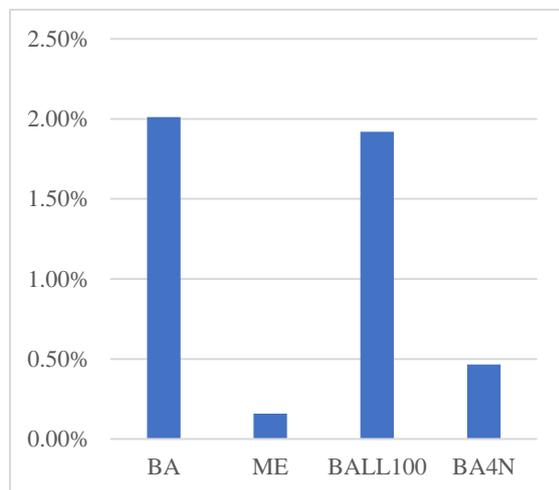
1. PENDAHULUAN

Timah termasuk salah satu logam dasar terkecil dan menjadi sumber daya mineral

berharga di Indonesia. Penambangan timah di Indonesia terakumulasi 40,000 ton per tahun selama 10 tahun terakhir dengan rata-rata sekitar 60,500 ton per tahun (Ober & Survey, 2018).

Di Indonesia, perusahaan timah terbesar dikelola oleh PT. Timah Tbk, berlokasi di provinsi Kepulauan Bangka Belitung. Kegiatan pertambangan yang dijalankan PT Timah Tbk meliputi eksplorasi darat dan laut untuk menemukan sumber daya dan cadangan baru, kegiatan penambangan mineral timah yang dilanjutkan ke proses pencucian untuk meningkatkan konsentrasi timah dengan kadar 70% Sn dan tahap terakhir untuk menghasilkan logam timah yaitu proses peleburan dan pemurnian dengan kadar 99,9% Sn.

Produk utama yang dihasilkan PT Timah Tbk adalah logam timah murni batangan (*ingot*) yang diproduksi oleh Unit Metalurgi Timah Muntok yang berada di Kepulauan Bangka Belitung. Produk timah *ingot* memiliki 6 jenis brand Banka yaitu Banka 99.99, Banka LL 50 ppm, Banka LL 100 ppm, Banka LL 200 ppm, Banka (BA) dan Mentok tin (ME) (Suprpto, 2010). Permasalahan yang dihadapi PT. Timah Tbk adalah terdapat produk yang mengalami kegagalan atau cacat produksi dari segi fisik berupa bentuk dan ukuran. Gambar 1 menunjukkan data pengamatan total produksi dan jumlah cacat seluruh brand timah *ingot* dari Juni s.d. September 2021.



Gambar 1. Persentase Kecacatan Produk Timah *ingot* bulan Juni - September 2021

Berdasarkan persentase kecacatan produk timah *ingot* diatas, penelitian difokuskan pada produk logam *ingot* brand BA karena memiliki persentase cacat produk tertinggi sebesar 2,01% dibandingkan dengan produk timah *ingot* brand lain.

Selanjutnya dilakukan analisis berdasarkan data historis jumlah cacat timah *ingot* brand BA dari Juni s.d. September 2021. Sebagaimana terlihat pada Tabel 1, persentase cacat tertinggi timah *ingot* brand BA terjadi pada bulan Juli 2021. Rata-rata persentase cacat sebesar 2,03% masih jauh dari target standar perusahaan sebesar 0,25%. Berdasarkan permasalahan ini, maka penelitian dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan kualitas produk timah *ingot* brand BA dengan menggunakan salah satu pendekatan pengendalian kualitas yang dapat menurunkan jumlah cacat produk.

Tabel 1. Data Historis Jumlah Cacat Timah *ingot* di PT.TimahTbk

Jenis Produk	Bulan	Total Produksi	Cacat	%
Timah Ingot Brand BA	Juni	2200	41	1.86
	Juli	2200	61	2.77
	Agust	2250	29	1.29
	Sept	2100	46	2.19
Rata-rata				2.03

Kualitas merupakan suatu ciri atau karakter yang mampu meningkatkan daya jual sebuah produk (Idris et al., 2016). Kualitas memiliki peran penting bagi perusahaan untuk meningkatkan kepercayaan pelanggan melalui pemenuhan spesifikasi dan standar produk dalam pasar global. *Six sigma* merupakan konsep statistik untuk mengukur kecacatan atau kegagalan dalam suatu proses (Gasperz, 2002; Montgomery, 2020). Pencapaian *six sigma* artinya jika proses tersebut mengalami 3,4 cacat per sejuta peluang (Pandey & Jain, 2016).

Six Sigma juga merupakan sebuah strategi bagi perusahaan dalam meningkatkan proses industri yang berfokus pada kemampuan proses dengan tujuan untuk mengurangi biaya produksi akibat pemborosan jumlah produk dengan kualitas yang tidak memenuhi standar dan tercapainya kepuasan pelanggan (Saragih & Aliyani, 2020). Pendekatan *Six Sigma* memiliki 5 tahapan DMAIC yaitu *define, measure, analyze, improve* dan *control*. Tahapan DMAIC adalah tahapan yang berfokus untuk menghapus tahapan yang tidak produktif, menerapkan pengukuran dan teknologi baru dalam

meningkatkan kualitas terkait target *six sigma* (Sirine et al., 2017).

2. METODE

Berikut ini merupakan skema metodologi penelitian dan tahapan DMAIC (Catt, 2015).

2.1 Tahap Define

Tahap *define* memfokuskan produk yang akan diteliti yaitu produk timah batangan (*ingot*). Selanjutnya mendefinisikan masalah yakni untuk mengetahui jenis cacat, faktor penyebab kecacatan serta jumlah produksi dan kecacatan produk. Langkah yang diperlukan untuk tahapan pendefinisian ini berupa input, proses, output serta siapa yang terlibat selama proses produksi yang disajikan dalam bentuk diagram SIPOC dan *Critical to Quality* (CTQ) untuk mengidentifikasi karakteristik kualitas yang berhubungan jenis-jenis kecacatan dari hasil produksi.

2.2 Tahap Measure

Pada tahap *measure* dilakukan pengukuran peta kendali X dan R, kapabilitas proses, Peta kendali C untuk mengetahui apakah proses masih dalam batas kendali atau tidak serta menghitung DPMO serta level sigma untuk memahami kinerja produksi saat ini.

2.3 Tahap Analyze

Tahap *analyze* mengidentifikasi akar masalah kualitas produk dengan menganalisa data kecacatan dari tahap *measure* dengan menggunakan diagram pareto untuk mengetahui persentase kecacatan terbesar dari setiap jenis kecacatan yang ada. Kemudian membuat diagram tulang ikan (*Fishbone*) dari jenis kecacatan terbesar agar diketahui faktor yang menyebabkan kecacatan sehingga peluang kecacatan dimasa mendatang dapat menjadi lebih kecil. FMEA juga digunakan untuk mengidentifikasi jenis, penyebab dan efek dari kegagalan dalam penggunaan akhir suatu produk.

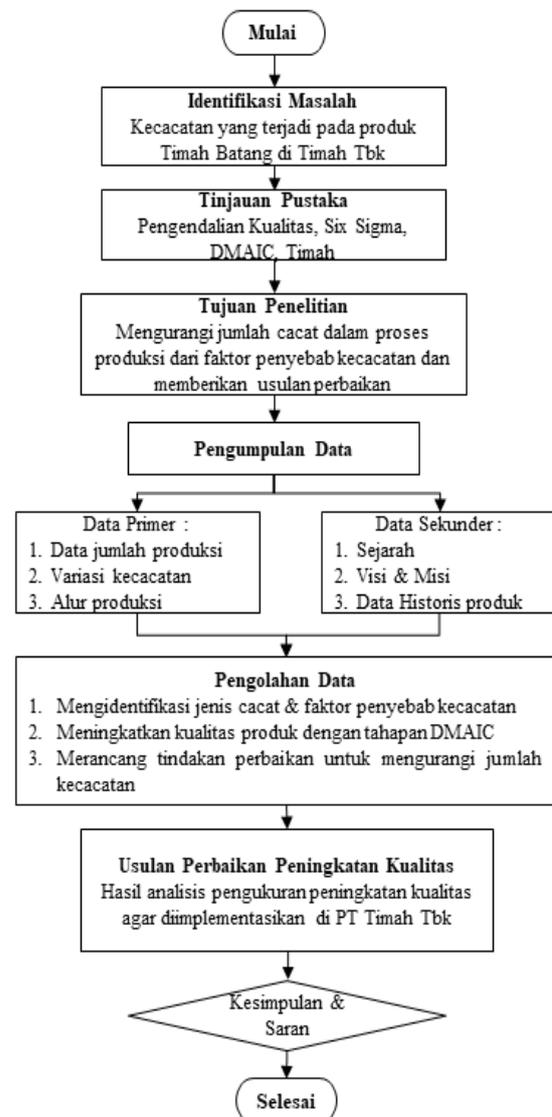
2.4 Tahap Improve

Pada tahap *improve* dilakukan evaluasi kecacatan untuk memperbaiki kualitas produk yang diproduksi. Apabila jenis dan penyebab kegagalan yang paling mendominasi sudah

diketahui maka diberikan usulan perbaikan yang mengacu pada tools pada tahapan *analyze* untuk meminimalkan kegagalan produk.

2.5 Tahap Control

Tahapan *control* memberikan usulan perbaikan yang bisa diterapkan PT Timah Tbk untuk dikontrol selama proses produksi khususnya kecacatan produk. Berikut ini merupakan *flowchart* metodologi penelitian sebagaimana yang ditunjukkan Gambar 2.



Gambar 2. Metodologi Penelitian
HASIL DAN PEMBAHASAN

3. Pengumpulan data yang dilakukan pada penelitian ini berupa data jumlah cacat dan jenis kecacatannya. Hasil pengamatan dilakukan di PT Timah Tbk dengan jangka waktu 20 hari

dimulai dari 1 November 2021 hingga 26 November 2021. Berikut merupakan data jumlah hasil produksi, jumlah produk cacat dan jenis kecacatan yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Sampel produksi, jumlah produk cacat dan jenis kecacatan timah *ingot* brand BA

Tgl	Jml Produksi	Jml Produk Cacat	Jenis Kecacatan				Jml
			a	b	c	d	
01/11	70	4	0	1	3	1	5
02/11	70	2	0	0	4	0	4
03/11	70	3	0	0	6	0	6
04/11	70	2	0	0	6	0	6
05/11	70	3	0	3	3	0	6
06/11	70	4	0	4	2	0	6
08/11	70	2	1	1	0	2	4
09/11	70	1	0	0	2	0	2
12/11	70	8	5	5	0	1	11
13/11	70	3	1	1	2	1	5
14/11	70	7	1	6	2	0	9
16/11	70	4	0	4	2	0	6
17/11	70	5	1	4	3	0	8
18/11	70	2	0	2	1	0	3
19/11	70	1	0	1	1	0	2
21/11	70	1	0	1	3	0	4
22/11	70	1	0	0	3	0	3
23/11	70	4	0	4	3	0	7
24/11	70	1	0	0	2	0	2
26/11	70	6	1	5	2	0	8
Jumlah	1400	64	10	42	50	5	107

Catatan : a : Permukaan Ingot Kasar
b : Ujung Ingot Melengkung
c : Berat Ingot outspec (< 23 kg atau > 27 kg)
d : Permukaan Ingot ada benjolan

Tabel 3 merupakan data hasil pengujian berat pada timah *ingot* brand BA. Pengujian juga berlangsung selama 20 hari dari 1 November 2021 sampai 26 November 2021 dengan menguji sebanyak 5 sampel produk timah brand BA.

Tabel 3. Data Uji Berat pada Timah *Ingot* Brand BA

Tanggal	Uji Berat Timah Ingot per Bundle				
	X1	X2	X3	X4	X5
01/11	994,6	1000,6	998,6	998,4	1007,8
02/11	997,8	997,4	1002	995,8	1007
03/11	999,4	994,4	998,2	1008,2	999,8
04/11	1008,2	1008,2	996	995,2	992,4
05/11	997,4	1003,4	993,6	998,6	1007
06/11	1005,2	997,6	996,4	1007,4	993,4
08/11	1002	998	996,8	995,8	1007,4
09/11	1001	1003	1002,4	1001	992,6
12/11	1002	998	996,8	995,8	1007,4
13/11	1003	994,8	1001,6	1003,4	997,2
14/11	1008,4	1006,8	994,8	995,6	994,4

Tanggal	Uji Berat Timah Ingot per Bundle				
	X1	X2	X3	X4	X5
16/11	991,6	1004,6	991,8	1007,4	1004,6
17/11	1004	1002	1001,8	992,4	999,8
18/11	994,2	998,8	1005	995,4	1006,6
19/11	1001,2	998,8	1002,6	1000,2	997,2
21/11	992,2	1006,6	997,8	1008,4	995
22/11	1002,6	1000,8	1001,6	1003,4	991,6
23/11	993,8	1000,4	998,6	1008,4	998,8
24/11	1000,4	999	999,2	999,4	1002
26/11	1000	1000	999,4	999,4	1001,2

3.1 Hasil Tahap Define

Tahap *define* diawali dengan pengamatan terhadap objek penelitian yaitu produk timah *ingot* brand BA. Diagram SIPOC (Jones, 2014) adalah diagram yang menggambarkan aliran proses produksi yang dimulai dengan *supplier*, *input*, *process*, *output*, dan *customer*. *Supplier* merupakan pemasok bahan dalam menunjang proses. *Input* proses dapat berupa material, mesin atau metode untuk memproses. Sedangkan *process* merupakan sekumpulan kegiatan yang digunakan untuk memberikan nilai tambah dari input dan menciptakan output; *Output* dapat meliputi hasil dari produk yang dibutuhkan pelanggan, dan *Customer* adalah pelanggan atau pihak yang memakai output berupa produk akhir dari proses yang telah dilakukan. Tabel 4 memperlihatkan aliran proses produksi dalam bentuk Diagram SIPOC.

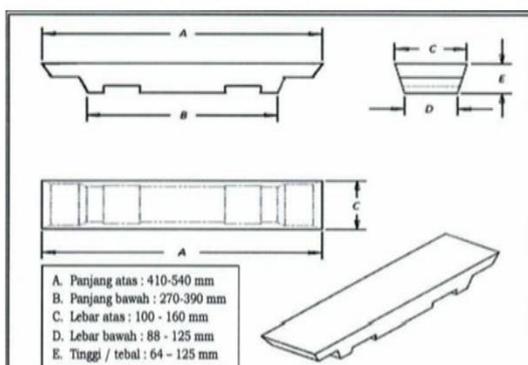
Tabel 4. Diagram SIPOC

Supplier	Input	Process	Output	Customer
PT. BA, PT. AL FAYYED	Biji Timah, Antracite, Batu Kapur, Backlog (Tin Dust, Dross, Hardhead)	Inspeksi Material Produksi	Bahan Baku Timah Ingot	Gudang Material Produksi
Gudang Material Produksi	Bahan Baku Timah Ingot	Mixing Material Produksi	Bahan Baku Timah Ingot (sudah Mixing)	Gudang Material Produksi
Gudang Material Produksi	Bahan Baku Timah Ingot (sudah Mixing)	Weighing Material	Timah Ingot (sesuai standar penimbangan)	Weighing Area
Weighing Area	Bahan Baku Timah Ingot (sesuai analisis komposisi)	Ore Smelting	Tin Ingot	Smelting Area
Smelting Area	Tin Ingot	Eutectic Refining	Tin Ingot	Refining Area
Refining Area	Tin Ingot	Pyro Refining	Tin Ingot	Casting Area
Casting Area	Tin Ingot	Casting	Tin Ingot	Gudang Barang Jadi (Quality Control Area)

Supplier	Input	Process	Output	Customer
Gudang Barang Jadi (Quality Control Area)	Tin Ingot	Verifikasi Dimensi Ukuran Timah Ingot	Tin Ingot (lulus uji Quality Control Produk)	Gudang Barang Jadi (Packaging Area)
Packaging Area	Tin Ingot (lulus uji Quality Control Produk)	Packaging	Tin Ingot (sudah dipackaging dan Strapping)	Gudang Barang Jadi
Gudang Barang Jadi	Tin Ingot (Siap Ekspor)	Delivery	Tin Ingot (Siap Ekspor)	Customer

Critical to Quality (CTQ) adalah indikator karakteristik sebuah proses atau produk yang sesuai spesifikasi untuk memperoleh suatu standar (De Albuquerque Marques & Matthé, 2017). Identifikasi CTQ menetapkan karakteristik standar kualitas timah *ingot* dan jenis kecacatan produk timah *ingot*. Standar kualitas produk timah *ingot* memiliki karakteristik sebagai berikut:

- Timah *ingot* mempunyai kandungan Stannum (Sn) paling rendah 99.9% dengan jumlah unsur pengotor lainnya paling tinggi 0.1%.
- Dimensi ukuran timah *ingot* sebagaimana terlihat pada Gambar 3 yaitu:
 Panjang atas : 410 - 540 mm,
 Panjang bawah : 70 - 390 mm,
 Lebar atas : 100 - 160 mm,
 Lebar bawah : 88 - 125 mm,
 Tinggi : 64 - 125 mm.



Gambar 3. Standar Dimensi Produk Logam Timah *Ingot*

- Berat timah *ingot* per batang yaitu 25 kg dengan toleransi berat kurang lebih 2 kg.
- Timah *ingot* berbentuk balok yang tidak memiliki bagian yang pecah atau retak.

- Permukaan timah *ingot* kasar atau terdapat benjolan.
- Mempunyai berat per *bundle* timah *ingot* yang sesuai standar perusahaan. Logam timah per *bundle* berisi maksimum 40 batang dengan batas toleransi maksimum total berat yaitu 1020 kg dan minimum 980 kg.

Pada Tabel 5 dapat terlihat jenis cacat dan definisi operasional jenis kecacatan pada produk timah *ingot*.

Tabel 5. *Critical to Quality*

No	Gambar	Jenis Cacat	Tipe Cacat	Deskripsi
1		Ingot Bersayap	Atribut	Terdapat kelebihan ukuran tambahan pada sisi ujung produk
2		Permukaan Ingot Kasar	Atribut	Permukaan luar memiliki bagian yang kasar atau bertekstur
3		Ujung Ingot Me-lengkung	Atribut	sisi ujung pada ujung batangan timah bengkok atau tidak lurus
4		Permukaan Ingot Berlubang	Atribut	Memiliki area yang berlubang pada timah batangan
5		Permukaan Ingot ada benjolan	Atribut	Terdapat area tertentu yang cembung dari sisi permukaan produk
6		Serpihan Kayu/ selain timah	Atribut	Terdapat serpihan kayu yang menempel pada timah batangan
7		Logo Brand Ingot Tidak Simetris	Atribut	Logo brand yang dicetak miring atau tidak rata
8		Ceceran Logam Timah	Atribut	Ceceran logam timah membuat samar logo brand ingot
9		Ingot Retak/ Patah	Atribut	Memiliki area yang retak atau bagian yang patah
10	-	Berat Ingot yang outspec	Variabel	Hasil uji berat produk diluar spesifikasi yaitu kurang dari 23 kg atau lebih dari 27 kg

3.2 Hasil Tahap *Measure*

Tahapan *measure* mengukur performansi atau kapabilitas tingkat kecacatan untuk memahami kinerja saat ini. Adapun pengukuran yang dilakukan pada tahap *measure* yaitu dilakukan pengumpulan, pengolahan serta evaluasi dari data pengamatan hasil cacat dan menggunakan peta kendali.

Peta kendali mempresentasikan stabilitas proses dengan mengumpulkan kelompok data yang diplot pada ukuran sampel. Komponen yang ada dalam peta kendali adalah batas



kendali atas, batas kendali bawah dan garis pusat. Input berupa komponen ini akan dimasukkan ke analisis kemampuan proses. Batas kendala yang berlaku adalah parameter kontrol yang harus berada dalam rentang batas kisaran toleransi untuk melihat proses menjadi stabil untuk menganalisis kemampuannya (Jones, 2014). Peta kendali memiliki dua jenis data pada karakteristik kualitas dalam pengendalian proses statistikal yaitu data variabel dan data atribut.

Pembuatan peta kendali \bar{X} dan R bertujuan untuk mengontrol proses dari data variabel berdasarkan rata rata dan penyebarannya. Perhitungan peta kendali ini menggunakan data hasil pengamatan hasil uji berat timah *ingot* brand BA yang dilakukan selama 20 hari pada bulan November 2021. Berikut ini merupakan Tabel 6 Peta kendali \bar{X} dan R dari hasil uji berat timah *ingot* brand BA.

Tabel 6. Peta kendali \bar{X} dan R pada Uji Berat Timah *Ingot*

Tgl	Uji Berat Timah Ingot per Bundle					Xbar	R
	X1	X2	X3	X4	X5		
01/11	994,6	1000,6	998,6	998,4	1007,8	1000	13,2
02/11	997,8	997,4	1002	995,8	1007	1000	11,2
03/11	999,4	994,4	998,2	1008,2	999,8	1000	13,8
04/11	1008,2	1008,2	996	995,2	992,4	1000	15,8
05/11	997,4	1003,4	993,6	998,6	1007	1000	13,4
06/11	1005,2	997,6	996,4	1007,4	993,4	1000	14
08/11	1002	998	996,8	995,8	1007,4	1000	11,6
09/11	1001	1003	1002,4	1001	992,6	1000	10,4
12/11	1002	998	996,8	995,8	1007,4	1000	11,6
13/11	1003	994,8	1001,6	1003,4	997,2	1000	8,6
14/11	1008,4	1006,8	994,8	995,6	994,4	1000	14
16/11	991,6	1004,6	991,8	1007,4	1004,6	1000	15,8
17/11	1004	1002	1001,8	992,4	999,8	1000	11,6
18/11	994,2	998,8	1005	995,4	1006,6	1000	12,4
19/11	1001,2	998,8	1002,6	1000,2	997,2	1000	5,4
21/11	992,2	1006,6	997,8	1008,4	995	1000	16,2
22/11	1002,6	1000,8	1001,6	1003,4	991,6	1000	11,8
23/11	993,8	1000,4	998,6	1008,4	998,8	1000	14,6

Tgl	Uji Berat Timah Ingot per Bundle					Xbar	R
	X1	X2	X3	X4	X5		
24/11	1000,4	999	999,2	999,4	1002	1000	3
26/11	1000	1000	999,4	999,4	1001,2	1000	1,8
Jumlah						20000	230
Rata-rata						1000	11,51

Berikut ini perhitungan CL (*Center Line*), UCL (*Upper Control Limit*), LCL (*Lower Control Limit*) pada masing - masing peta kendali yaitu peta kendali \bar{X} dan peta kendali R.

Perhitungan CL, UCL, LCL untuk Peta Kendali \bar{X} :

$$CL = \bar{\bar{x}} = 1000 \text{ kg}$$

$$UCL = \bar{\bar{x}} + (A2 \times \bar{R}) = 1000 + (0,577 \times 11,51) = 1006,64 \text{ kg}$$

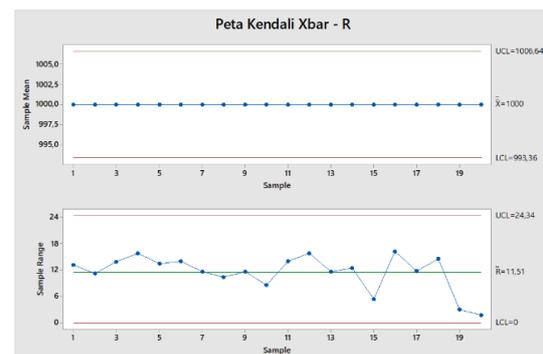
$$LCL = \bar{\bar{x}} - (A2 \times \bar{R}) = 1000 - (0,577 \times 11,51) = 993,36 \text{ kg}$$

Perhitungan CL, UCL dan LCL untuk peta kendali R seperti terlihat pada Gambar 4:

$$CL = \bar{R} = 11,51 \text{ kg}$$

$$UCL = D4 \times \bar{R} = 2,114 \times 11,51 = 24,34 \text{ kg}$$

$$LCL = D3 \times \bar{R} = 0 \times 11,51 = 0 \text{ kg}$$



Gambar 4. Plot Data Peta kendali \bar{X} dan R pada Uji Berat Timah *Ingot* brand BA

Hasil perhitungan dan plot data yang dihasilkan masih dalam batas kendali sehingga dapat dilanjutkan dengan menghitung kapabilitas proses untuk menganalisis apakah proses yang dilakukan memenuhi batas toleransi untuk menentukan adanya perbaikan atau tidak. Batas toleransi yang digunakan oleh perusahaan untuk uji berat timah *ingot* tidak

lebih atau kurang dari 20 kg dari total berat 1000 kg per *bundle* timah *ingot* yaitu maksimum 1020 kg dan minimum 980 kg.

$$LSL = 980 \text{ kg}$$

$$USL = 1020 \text{ kg}$$

$$\bar{R} = 11.51 = 12 \text{ kg}$$

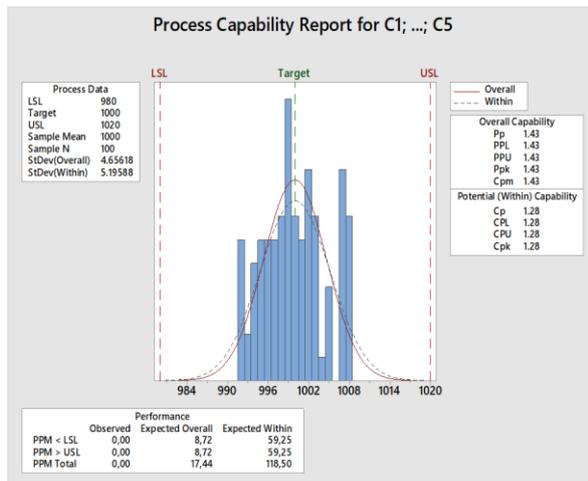
$$s = \frac{\bar{R}}{d2} = \frac{12}{2.326} = 5,159$$

$$CPL = \frac{\bar{X} - LSL}{3s} = \frac{1000 - 980}{3 \times 5,159} = 1,28$$

$$CPU = \frac{USL - \bar{X}}{3s} = \frac{1020 - 1000}{3 \times 5,159} = 1,28$$

$$Cpk = \text{Min} \{CPL, CPU\} = \text{Min} \{1,28, 1,28\} = 1,28$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, nilai Cpk sebesar 1,28 yang diambil dari nilai CPL menunjukkan bahwa proses cenderung mendekati batas spesifikasi atas. Nilai Cpk sebesar 1,28 ternyata lebih dari 1, hal ini menunjukkan kapabilitas proses untuk memenuhi spesifikasi yang ditentukan baik. Gambar 5 memperlihatkan grafik kapabilitas proses dari uji berat timah *ingot* brand BA.



Gambar 5. Grafik Kapabilitas Proses dari Uji Berat Timah *Ingot* Brand BA

Pembuatan peta kendali C bertujuan untuk mengontrol proses dari data atribut berdasarkan jumlah kecacatan yang timbul dari produk. Perhitungan peta kendali ini menggunakan data hasil pengamatan berupa jumlah kecacatan yang dilakukan selama 20 hari pada bulan November 2021. Berikut ini perhitungan untuk mendapatkan nilai CL, UCL, LCL peta kendali

C Timah *ingot* Brand BA berdasarkan data yang diperlihatkan oleh Tabel 7.

$$CL = \bar{c} = \frac{\sum c}{k} = \frac{107}{20} = 5,35$$

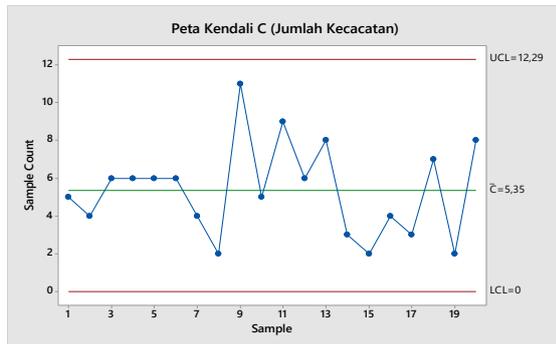
$$UCL = \bar{C} + 3\sqrt{\bar{C}} = 5,35 + 3\sqrt{5,35} = 12,29$$

$$LCL = \bar{C} - 3\sqrt{\bar{C}} = 5,35 - 3\sqrt{5,35} = 0$$

Tabel 7. Peta kendali C Timah *Ingot* Brand BA

Tgl	Sam pel	Jml ke-cacatan	CL	UCL	LCL	Status
01/11	70	5	5,35	12,29	-1,59	In Control
02/11	70	4	5,35	12,29	-1,59	In Control
03/11	70	6	5,35	12,29	-1,59	In Control
04/11	70	6	5,35	12,29	-1,59	In Control
05/11	70	6	5,35	12,29	-1,59	In Control
06/11	70	6	5,35	12,29	-1,59	In Control
08/11	70	4	5,35	12,29	-1,59	In Control
09/11	70	2	5,35	12,29	-1,59	In Control
12/11	70	11	5,35	12,29	-1,59	In Control
13/11	70	5	5,35	12,29	-1,59	In Control
14/11	70	9	5,35	12,29	-1,59	In Control
16/11	70	6	5,35	12,29	-1,59	In Control
17/11	70	8	5,35	12,29	-1,59	In Control
18/11	70	3	5,35	12,29	-1,59	In Control
19/11	70	2	5,35	12,29	-1,59	In Control
21/11	70	4	5,35	12,29	-1,59	In Control
22/11	70	3	5,35	12,29	-1,59	In Control
23/11	70	7	5,35	12,29	-1,59	In Control
24/11	70	2	5,35	12,29	-1,59	In Control
26/11	70	8	5,35	12,29	-1,59	In Control
Total	1400	107				

Gambar 6 memperlihatkan plot data Peta Kendali C pada timah *ingot* yang diperoleh dari perhitungan CL, UCL, LCL. Plot data ini menunjukkan bahwa dari pengamatan selama 20 hari, timah *ingot* brand BA masih dalam batas kendali atau tidak ada data yang out of *control* sehingga tidak diperlukan adanya perbaikan. Untuk selanjutnya hasil pengolahan data tersebut dapat dilanjutkan dengan menghitung DPMO dan level sigma.



Gambar 6. Plot Data Peta Kendali C pada timah ingot

Perhitungan DPMO dan level sigma dihitung menggunakan jenis data variabel dan data atribut. Perhitungan nilai DPMO dan level sigma pada data variabel untuk memperkirakan peluang cacat dalam satuan ppm yang dihasilkan dengan menggunakan batas spesifikasi atas dan batas spesifikasi bawah.

Perhitungan nilai DPMO data variabel yaitu:

a. Batas spesifikasi Atas

$$\begin{aligned} \text{Upper} &= P \left\{ Z \geq \frac{UCL - \bar{X}}{s} \right\} \\ &= 1 - P \left\{ Z \leq \frac{UCL - \bar{X}}{s} \right\} \\ &= 1 - P \left\{ Z \leq \frac{1020 - 1000}{5,159} \right\} \\ &= 1 - P \{ Z \leq 3,88 \} \\ &= 1 - 0,90186 \\ &= 0,09814 \end{aligned}$$

b. Batas Spesifikasi Bawah

$$\begin{aligned} \text{Lower} &= P \left\{ Z \leq \frac{LCL - \bar{X}}{s} \right\} \\ &= P \left\{ Z \leq \frac{980 - 1000}{5,159} \right\} \\ &= P \{ Z \leq -3,88 \} \\ &= 0,09814 \end{aligned}$$

c. DPMO

$$\begin{aligned} \text{DPMO} &= (U + L) \times 1.000.000 \\ &= (0,09814 + 0,09814) \times 1.000.000 \\ &= 196280 \text{ pcs} \end{aligned}$$

Dihasilkan perhitungan nilai DPMO dari data variabel sebesar 100 batang timah ingot. Perkiraan peluang terjadinya cacat dalam 1.000.000 produk dari hasil produksi timah ingot brand BA sebesar 196280 batang. Nilai DPMO kemudian dikonversi ke level sigma dengan melihat tabel konversi dihasilkan level sigma sebagai berikut.

d. Level Sigma

$$\begin{aligned} \text{Level Sigma} &= \text{NORMSINV} \left(\frac{1.000.000 - \text{DPMO}}{1.000.000} \right) + 1,5 \\ &= \text{NORMSINV} \left(\frac{1.000.000 - 196280}{1.000.000} \right) + 1,5 \\ &= 2,36 \text{ sigma} \end{aligned}$$

Perhitungan nilai DPMO untuk data atribut harus diawali dengan melakukan perhitungan untuk nilai DPU, DPO.

1. Total produksi merupakan jumlah sampel produksi yang diamati. Jumlah sampel yang digunakan dalam penelitian per hari sebesar 70 batang. Jumlah sampel yang digunakan dalam 20 hari adalah 1400 batang.
2.
$$\text{DPU} = \frac{\text{Total unit cacat}}{\text{Total produksi}} = \frac{70}{1400} = 0,05$$
3.
$$\text{DPMO} = \frac{\text{Total unit cacat}}{\text{Total produksi}} \times 1.000.000 = \frac{70}{1400} \times 1.000.000 = 50000 \text{ pcs}$$

Perhitungan nilai DPMO dari data variabel sebesar 50.000 batang timah ingot. Perkiraan peluang terjadinya cacat dalam 1.000.000 produk dari hasil produksi timah ingot brand BA sebesar 50.000 batang. Nilai DPMO kemudian dikonversi ke level sigma dengan melihat tabel konversi dihasilkan level sigma sebagai berikut.

e. Level Sigma

$$\begin{aligned} \text{Level Sigma} &= \text{NORMSINV} \left(\frac{1.000.000 - \text{DPMO}}{1.000.000} \right) + 1,5 \\ &= \text{NORMSINV} \left(\frac{1.000.000 - 50.000}{1.000.000} \right) + 1,5 \\ &= 3,15 \text{ sigma} \end{aligned}$$

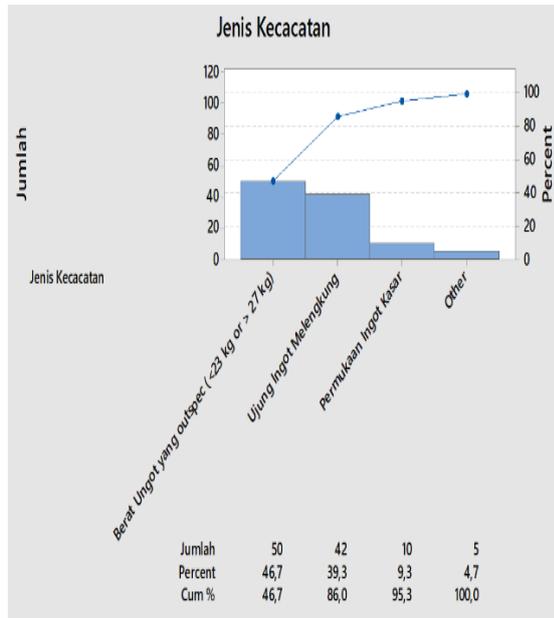
Dihasilkan perhitungan DPMO dan level sigma dari data variabel dan data atribut. Level sigma untuk data variabel sebesar 2,36 sigma lebih rendah dari level sigma untuk data atribut sebesar 3,15 sigma. Level sigma pada produk timah ingot brand BA dapat dikategorikan sebagai level sigma yang masih tergolong dibawah rata-rata industri USA dan Jepang namun level sigma produk timah ingot dapat ditingkatkan sebagai evaluasi perusahaan (Ober & Survey, 2018).

3.3 Hasil Tahap Analyze

Tahapan ini mengidentifikasi akar masalah kualitas produk dengan menganalisis data kecacatan pada tahap *measure*. Diagram Pareto adalah jenis grafik yang bertujuan untuk menentukan prioritas penyebab permasalahan yang paling dominan dari tipe cacat untuk dilakukan tindakan perbaikan.

Berdasarkan data hasil pengamatan produk yang cacat, ditemukan 4 jenis kecacatan yang paling sering terjadi selama produksi timah ingot yaitu berat ingot yang *outspec* (23 kg or > 27 kg), ujung ingot melengkung, permukaan ingot kasar dan permukaan ingot terdapat benjolan. Analisis

menggunakan diagram pareto prinsip 80-20 dimana 80% masalah yang muncul dari 20% penyebab permasalahan. Diagram pareto kecacatan timah ingot brand BA dapat terlihat pada Gambar 7.

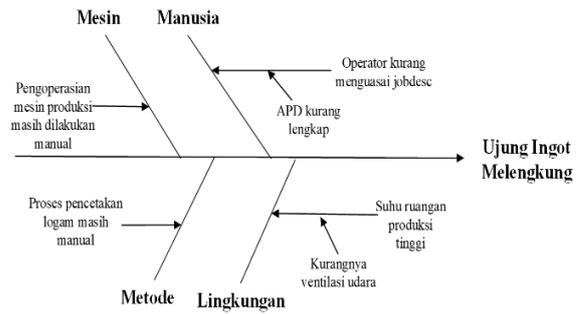


Gambar 7. Diagram Pareto Kecacatan Produk Timah *ingot* brand BA

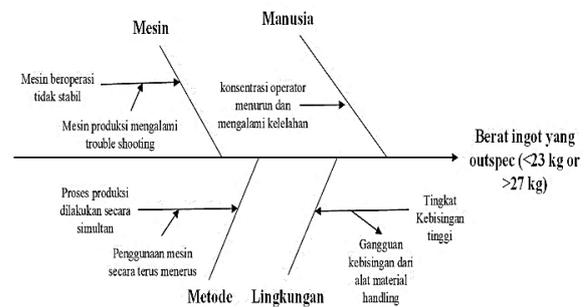
Dari diagram pareto terlihat bahwa jenis cacat yang paling mendominasi pada timah *ingot* brand BA adalah berat *ingot* yang *outspec* sebesar 46,7% dan ujung *ingot* melengkung dengan persentase 39,3%. Dua permasalahan yang paling dominan ini selanjutnya dianalisis akar penyebab kecacatan dominannya dengan menggunakan diagram *Ishikawa*.

Diagram *ishikawa* adalah diagram yang digunakan untuk menggambarkan hubungan antara penyebab dan akibat dari suatu permasalahan sehingga menghasilkan sumber yang paling signifikan terhadap permasalahan yang terjadi. Diagram ini membagi permasalahan menjadi beberapa bagian atau elemen yang meliputi material, manusia, mesin, metode, pengukuran dan lingkungan.

Analisis diagram *ishikawa* diperoleh melalui hasil observasi dan wawancara dengan pihak PT Timah Tbk. Berikut ini adalah diagram *ishikawa* dari jenis kecacatan yang paling mendominasi yaitu berat *ingot* yang *outspec* dan ujung *ingot* melengkung pada Gambar 8 dan Gambar 9.



Gambar 8. Diagram *Ishikawa* Kecacatan Ujung *Ingot* Melengkung



Gambar 9. Diagram *Ishikawa* Kecacatan Berat *Ingot* yang *Outspec*

Setelah memperoleh akar penyebab kecacatan paling dominan, dilakukan analisis potensi penyebab permasalahan dari produk timah *ingot* dengan menggunakan FMEA. FMEA adalah teknik analisis yang bertujuan untuk mencegah masalah yang mungkin terjadi pada produk selama proses produksi sehingga menghasilkan tindak perbaikan yang sesuai (Stamatis, 2003).

Urutan penyusunan FMEA menggunakan tabel yang berisi jenis kegagalan, identifikasi efek yang ditimbulkan dari kegagalan (*severity*), penyebab kegagalan (*occurrence*) dan pengendalian yang dilakukan (*detection*). Nilai dari *severity*, *occurrence* dan *detection* diberikan bobot 1 sampai 10 yang diperoleh dari wawancara langsung dengan pihak perusahaan untuk menghasilkan nilai RPN. Perhitungan nilai RPN diperoleh dari perkalian nilai *severity*, *occurrence* dan *detection*. Bobot nilai dimasukkan ke dalam tabel FMEA dan menghasilkan tiga penyebab kegagalan dengan nilai RPN tertinggi yang menjadi usulan perbaikan sebagaimana terlihat pada Tabel 8.

**Tabel 8.** Tabel FMEA produk Timah *Ingot* Brand BA

Proses	Jenis Kegagalan	Efek dari kegagalan	S	Penyebab Kegagalan	O	Pengendalian yang dilakukan	D	RPN
Casting	Ujung Ingot Melengkung	Tampilan timah ingot tidak sesuai dengan standar perusahaan dan adanya complain dari customer	7	Operator kurang menguasai <i>jobdesc</i>	6	Melakukan pengawasan ketat saat proses berlangsung	5	210
				Suhu ruangan produksi tinggi	7	Memperbanyak ventilasi di tempat yang sesuai untuk mengoptimalkan sirkulasi udara	3	147
				Pengoperasian mesin secara manual	5	Memberikan pelatihan dan prosedur untuk operator secara berkala dalam mengoperasikan mesin	4	140
				Proses pencetakan logam timah masih dilakukan secara manual	6	menargetkan pergantian mesin pencetakan otomatis untuk mempersingkat waktu produksi dan meminimalkan produk cacat	4	168
Uji Berat Timah Ingot	Berat Ingot yang Outspec yaitu kurang dari 23 kg dan lebih dari 27 kg	Ukuran timah ingot tidak sesuai batas toleransi yang telah ditentukan	8	konsentrasi operator menurun dan mengalami kelelahan	5	Mengatur jadwal operator agar tidak membebankan sehingga manajemen waktu yang digunakan efektif dalam meningkatkan produktivitas pekerja	4	160
				Tingkat kebisingan lantai produksi tinggi	4	Menggunakan alat pelindung diri seperti ear plug untuk mengurangi gangguan kebisingan	5	160
				Mesin beroperasi tidak stabil (mengalami <i>trouble shooting</i>)	5	Mengecek mesin saat komponen mesin mengalami kerusakan	6	240
				Proses Produksi dilakukan secara simultan	4	Melakukan penjadwalan mesin untuk memperpanjang umur mesin agar proses produksi berjalan efektif	5	160

Keterangan :

S : Severity (1-10)

O : Occurrence (1-10)

D : Detection (1-10)

Dari Tabel 8 terlihat bahwa nilai RPN (*Risk Priority Number*) tertinggi terjadi pada jenis kegagalan uji berat timah *ingot* dengan penyebab kegagalan “mesin beroperasi tidak stabil (mengalami *trouble shooting*)” dengan nilai RPN sebesar 240. Nilai RPN tertinggi kedua terjadi pada proses *casting* dengan penyebab kegagalan “operator kurang menguasai *jobdesc*” dengan nilai RPN 210. Nilai RPN tertinggi ketiga yakni 168, terjadi pada proses *casting* dengan penyebab kegagalan yaitu proses pencetakan logam timah masih dilakukan secara manual.

3.4 Hasil Tahap *Improve*

Tahap *Improve* bertujuan untuk mengevaluasi kecacatan dalam memperbaiki kualitas produk timah *ingot* yang diproduksi. Usulan perbaikan dilakukan pada dua jenis kegagalan paling mendominasi. Dua jenis kecacatan ini berdampak pada cacatnya produk akhir pada proses *casting* dan uji berat timah *ingot*. Usulan perbaikan yang dibuat, diajukan kepada pihak perusahaan untuk diimplementasikan. Tabel 9 merangkum usulan perbaikan pada produk timah *ingot* brand BA berdasarkan jenis dan penyebab kegagalan.



Tabel 9. Usulan Perbaikan produk Timah *Ingot* Brand BA

Jenis Kegagalan	Penyebab Kegagalan	Usulan Perbaikan
Berat Ingot yang <i>Outspec</i> yaitu kurang dari 23 kg dan lebih dari 27 kg	Mesin beroperasi tidak stabil (mengalami <i>trouble shooting</i>)	Membuat Checksheet penggunaan dan pemeriksaan mesin produksi yang digunakan per hari
Ujung Ingot Melengkung	Operator kurang menguasai <i>jobdesc</i> Proses pencetakan logam timah masih dilakukan secara manual	Melakukan pelatihan kerja secara berkala dan membuat Instruksi Kerja dalam proses <i>casting</i> Melakukan pergantian mesin pencetakan otomatis untuk meminimalkan proses produksi dan kegagalan produk

3.4.1. Usulan Perbaikan pada Operator yang Kurang Menguasai *Jobdesc*

Hasil analisis dari perhitungan nilai RPN pada tabel FMEA di tahap *analyze*, kegagalan yang memiliki nilai RPN tertinggi yaitu ujung *ingot* melengkung yang disebabkan oleh operator yang kurang menguasai *jobdesc* dalam proses *casting* sehingga logam timah dikategorikan cacat dalam uji fisik timah *ingot*. Usulan perbaikan yang digunakan adalah dengan melakukan pelatihan rutin operator proses *casting* secara rutin per bulan dan membuat instruksi kerja.

a. Pelatihan Rutin Operator Proses Casting.

Pelatihan rutin dilakukan dalam bentuk pembinaan keselamatan dan kesehatan kerja, lingkungan kerja dan alat pengaman kerja, pemeliharaan dan pemeriksaan alat produksi *casting*, internalisasi tanggung jawab kerja, peningkatan motivasi dan kinerja pekerja. Gambar 10 memperlihatkan rencana jadwal dan topik pelatihan yang dilakukan.

b. Instruksi Kerja

Instruksi kerja dibuat dengan tujuan untuk menggambarkan informasi tahapan dalam sebuah proses kerja sesuai dengan aturan yang telah diterapkan oleh perusahaan sehingga operator menguasai dan memiliki kemampuan yang sesuai dengan prosedur dan standar perusahaan dalam pencetakan logam timah untuk meningkatkan kualitas produk agar

kegagalan produk dapat dikurangi. Rancangan usulan perbaikan dalam bentuk instruksi kerja disusun sebagaimana terlihat pada Gambar 11.

Kegiatan Pelatihan Kerja Regu <i> Casting</i> PT Timah Tbk		
Periode Pelatihan	dilakukan 5 kali dalam seminggu selama 3 Minggu	
Tanggal	Topik Pelatihan	Total Durasi per Hari
21 Februari 2022 - 25 Februari 2022	Keselamatan dan Kesehatan Kerja Area <i>Casting</i>	90 Menit
7 Maret 2022 - 11 Maret 2022	Pemeliharaan dan Pemeriksaan Alat Produksi <i>Casting</i>	90 Menit
14 Maret 2022 - 18 Maret 2022	Sosialisasi tentang Tanggung Jawab, Motivasi Kerja dan Hasil Kinerja Regu <i>Casting</i>	90 Menit

Gambar 10. Implementasi Usulan Perbaikan Kegiatan Pelatihan Regu *Casting*

INSTRUKSI KERJA PROSES CASTING TIMAH INGOT	
Tgl diterbitkan	:
Revisi No	:
Tujuan / Objektif	Menjelaskan tata cara pencetakan dalam produksi timah ingot agar mampu telusur
Alat Keselamatan Kerja	1 Safety Helmet 2 Masker 3 Safety Shoes 4 Safety Gloves Leather
Alat Pencetakan	1 Melting Kettle kapasitas 50 ton 2 Pompa Cetak 3 Cetakan Logam
Pelaksanaan Proses casting Timah Ingot	1 Timah yang siap dicetak disalurkan dari melting kettle menuju cetakan 2 Ujung pipa penyalur timah diatur dengan meletakkannya diatas cetakan pertama pada serinya, aliran timah diatur dengan menutup pipa penyalur 3 Apabila cetakan penuh maka pipa penyalur digeser ke cetakan berikutnya kemudian permukaan timah yang telah dicetak dibersihkan dari droosnya dan segera dipasangkan cap pada permukaan timah cair 4 Kecepatan pencetakan diatur sedemikian rupa agar laju pendinginan akan merata sehingga ingot yang dihasilkan mempunyai kualitas yang bagus atau sesuai dengan standar 5 Timah ingot yang telah dingin disusun dan ditimbang
Dibuat Oleh,	Disetujui Oleh,
Nabila Rahmasuci	Koordinator Regu Pencetakan

Gambar 11. Usulan Perbaikan Instruksi Kerja Proses *Casting* Timah *Ingot*

3.4.2. Usulan Perbaikan pada Mesin yang Beroperasi Tidak Stabil

Kegagalan yang memiliki nilai RPN tertinggi kedua yaitu berat *ingot outspec* yang disebabkan oleh mesin yang beroperasi tidak

stabil sehingga perlu adanya pemeriksaan dan pemeliharaan mesin produksi secara berkala.

Usulan perbaikan yang digunakan adalah dengan membuat *checksheet* masa penggunaan dan pemeriksaan mesin produksi yang digunakan dalam sekali produksi sebagaimana terlihat pada Gambar 12.

Timah		FORM PEMERIKSAAN MESIN PRODUKSI TIMAH INGOT			
Diperiksa Oleh :		Tanggal Pemeriksaan :			
Disetujui Oleh :		Hari Pemeriksaan :			
No	Mesin Produksi	Waktu Pemakaian	Kategori		Keterangan
			Baik	Tidak	
1	Reverterator y Furnace				
2	Bunker				
3	Timbangan				
4	Castable kettle				
5	Weshaupt Burner				
6	Crystallizer				
7	Bak Anoda				
8	Bak Katoda				
9	Rectifier				
10	Overhead Crane				
11	Forklift				
12	Mobile Overhead Crane				

Gambar 12. Usulan Perbaikan *Checksheet* Mesin Produksi Timah *Ingot*

Tujuan adanya *checksheet* mesin produksi timah *ingot* adalah untuk mendeteksi kerusakan dini dan untuk perawatan rutin pada mesin produksi. Hal ini ditindaklanjuti agar dapat segera dilakukan perbaikan kerusakan mesin sehingga target produksi dapat dicapai serta mengoptimalkan kualitas produk timah *ingot* dalam rangkap pencapaian kepuasan pelanggan.

3.4.3. Usulan Perbaikan pada Proses *Casting* Logam Timah *Ingot* Masih Dilakukan secara Manual

Kegagalan dengan nilai RPN tertinggi ketiga yaitu ujung *ingot* melengkung akibat proses pencetakan logam masih dilakukan secara manual sehingga waktu yang digunakan dalam sekali produksi yaitu 4 jam per 50 ton.

Waktu produksi yang kurang efisien ini menyebabkan menurunnya produktivitas operator *casting* dan kualitas produk timah *ingot*. Usulan perbaikan dari kegagalan ini adalah melakukan pergantian mesin pencetakan otomatis.

Gambar 13 merupakan contoh mesin *casting* otomatis yang dapat digunakan perusahaan dengan spesifikasi yang mampu meminimalkan waktu proses produksi menjadi 1 jam dengan daya tamping sebesar 60 ton dan berat batangan timah sebesar 25 kg. Hal ini sesuai dengan toleransi berat perusahaan +/- 2 kg. Mesin terdiri dari mesin pengecoran *ingot* secara kontinu, serta mesin kastor *ingot*, konveyor pengecoran timah *ingot* yang sudah termasuk *drive*, bingkai, konveyor, cetakan *ingot*, distributor cair, pendingin dan bagian lainnya.



Gambar 13. Usulan Perbaikan *Automatic Casting Machine* Timah *Ingot*

3.5 Tahap *Control*

Pada tahapan ini dilakukan implementasi usulan perbaikan sesuai hasil dari tahap *Improve*. Usulan perbaikan yang dapat diimplementasikan adalah menyelenggarakan pelatihan kerja secara berkala dan membuat instruksi kerja dalam proses *casting*. Proses implementasi dilakukan selama 7 hari sejak 21 s.d. 27 Maret 2022. Hasil implementasi kemudian dihitung dan dibandingkan dengan kondisi sebelum perbaikan. Data yang dihasilkan berupa data cacat atribut dan data variabel dari uji berat timah per bundle. Akibat keterbatasan masa penelitian, jumlah data setelah implementasi lebih sedikit dibandingkan sebelum implementasi sehingga perlu dilakukan uji proporsi dua data.

3.5.1. Implementasi Usulan Perbaikan pada Jenis Kegagalan Ujung *Ingot* Melengkung

Implementasi usulan perbaikan pada jenis kegagalan ujung *ingot* melengkung yang terjadi pada proses *casting* adalah menerapkan pelatihan kerja secara berkala kepada operator *casting* berupa penerapan instruksi kerja yang telah dibuat, pembinaan keselamatan dan kesehatan lingkungan kerja dan alat pengaman kerja, pemeliharaan dan pemeriksaan alat produksi, internalisasi tanggung jawab kerja, serta pelatihan peningkatan kinerja operator. Gambar 14 menunjukkan usulan instruksi kerja proses *casting*.

INSTRUKSI KERJA PROSES CASTING TIMAH INGOT	
Tgl diterbitkan	:
Revisi No	:
Tujuan / Objektif	Menjelaskan tata cara pencetakan dalam produksi timah ingot agar mampu telusur
Alat Keselamatan Kerja	1 Safety Helmet 2 Masker 3 Safety Shoes 4 Safety Gloves Leather
Alat Pencetakan	1 Melting Kettle kapasitas 50 ton 2 Pompa Cetak 3 Cetakan Logam
Pelaksanaan Proses casting Timah Ingot	1 Timah yang siap dicetak disalurkan dari melting kettle menuju cetakan
	2 Ujung pipa penyalur timah diatur dengan meletakkannya diatas cetakan pertama pada serinya, aliran timah diatur dengan mengatup pipa penyalur
	3 Apabila cetakan penuh maka pipa penyalur digeser ke cetakan berikutnya kemudian permukaan timah yang telah dicetak dibersihkan dari drossnya dan segera dipasangkan cap pada permukaan timah cair
	4 Kecepatan pencetakan diatur sedemikian rupa agar laju pendinginan akan merata sehingga ingot yang dihasilkan mempunyai kualitas yang bagus atau sesuai dengan standar
	5 Timah ingot yang telah dingin disusun dan ditimbang
Dibuat Oleh, Nabila Rahmasuci	Disetujui Oleh, Koordinator Regu Pencetakan

Gambar 14. Usulan Instruksi Kerja Proses Casting

3.5.2. Uji Antar Dua Proporsi

Uji ini bertujuan untuk mengetahui apakah data proporsi cacat sebelum implementasi lebih besar atau lebih kecil dibandingkan dengan proporsi cacat setelah implementasi. Pengujian menggunakan tingkat kepercayaan 95% dengan tingkat signifikansi sebesar 0,05. Berikut ini merupakan perhitungan dari uji antar dua proporsi:

- H_0 menyatakan apabila proporsi cacat sebelum implementasi \leq proporsi cacat setelah implementasi.
- H_1 menyatakan apabila proporsi cacat sebelum implementasi $>$ proporsi cacat setelah implementasi.
- \hat{p}_1 = Proporsi cacat timah *ingot* sebelum

implementasi.

- \hat{p}_2 = Proporsi cacat timah *ingot* setelah implementasi.

e. n = Total produksi selama pengamatan

f. $H_0: p_1 \leq p_2$

g. $H_1: p_1 > p_2$

h. Tingkat Signifikansi ($\alpha = 0,05$)

i. Wilayah Kritik : $Z > Z_\alpha$; $Z > 1,645$

j. Perhitungan:

$$\hat{p}_1 = \frac{x_1}{n_1} = \frac{107}{1400} = 0,0764$$

$$\hat{p}_2 = \frac{x_2}{n_2} = \frac{22}{490} = 0,0449$$

$$\hat{p} = \frac{x_1 + x_2}{n_1 + n_2} = \frac{107 + 22}{1400 + 490} = 0,0683$$

$$\hat{q} = 1 - 0,0683 = 0,9317$$

$$Z = \frac{\hat{p}_1 - \hat{p}_2}{\sqrt{\hat{p} \cdot \hat{q} \left\{ \left(\frac{1}{n_1} \right) + \left(\frac{1}{n_2} \right) \right\}}} = \frac{0,0764 - 0,0449}{\sqrt{(0,0683) \cdot (0,9317) \left\{ \left(\frac{1}{1400} \right) + \left(\frac{1}{490} \right) \right\}}} = 2,379$$

- Keputusan yaitu $Z_{hitung} > Z_\alpha$ sehingga Tolak H_0 , berarti proporsi cacat timah *ingot* sebelum dilakukan implementasi lebih besar dibandingkan dengan setelah implementasi.

3.5.3. Data Cacat Atribut dan Data Cacat Variabel Uji Berat Timah *Ingot* Setelah Implementasi

Data cacat atribut timah *ingot* setelah implementasi usulan perbaikan diperoleh dari uji fisik dan uji berat timah *ingot* selama 7 hari. Tabel 10 menunjukkan perolehan jumlah produksi, jumlah produk cacat dan jumlah dari tiap jenis kecacatan produk.

Tabel 10. Data Sampel produksi, Jumlah Produk Cacat dan Jenis Kecacatan Timah *Ingot* Brand BA Setelah Implementasi

Tgl	Jumlah Produksi (Sampel)	Jenis kecacatan				Jumlah Kecacat-an
		(a)	(b)	(c)	(d)	
21/03	70	1	1	1	0	3
22/03	70	0	1	1	0	2
23/03	70	1	0	2	0	3
24/03	70	2	0	1	1	4
25/03	70	0	2	2	1	5
26/03	70	1	0	1	0	2
28/03	70	1	1	1	0	3
Jml	490	6	5	9	2	22

Catatan : a : Permukaan Ingot Kasar
 b : Ujung Ingot Melengkung
 c : Berat Ingot outspec (< 23 kg atau > 27 kg)
 d : Permukaan Ingot ada benjolan



Data cacat variabel timah *ingot* setelah implementasi diperoleh dari hasil uji berat timah *ingot* brand BA per *bundle* yang dilakukan selama 7 hari sebagaimana ditunjukkan Tabel 11.

Tabel 11. Data Uji Berat Timah *Ingot* Brand BA Setelah Implementasi

Tanggal	Uji Berat Timah <i>Ingot</i> per <i>Bundle</i>				
	X1	X2	X3	X4	X5
21/03/2022	1002	995,2	1003,6	1004,4	994,8
22/03/2022	994,2	1007,2	994,6	1004,6	1001,4
23/03/2022	1001,6	998,2	998,4	1004,2	997,6
24/03/2022	1001,5	999,8	997,4	1001	1005
25/03/2022	993,2	995,2	1009	1000,2	1008
26/03/2022	1007,8	1001,8	1000,8	998,2	994,4
28/03/2022	1000	993,8	1003	997,5	1007,6

3.5.4. Perhitungan Peta Kendali \bar{X} dan R, Peta Kendali C Setelah Implementasi

Hasil perhitungan peta kendali adalah seperti berikut:

a. Perhitungan Peta Kendali \bar{X} dan R

Sebelum implementasi, pengujian berat timah *ingot* per *bundle* berlangsung selama 20 hari dengan menguji sebanyak 5 sampel produk timah brand BA. Berikut ini perhitungan CL, UCL, LCL peta kendali \bar{X} dan R.

b. Perhitungan CL, UCL, LCL untuk Peta Kendali \bar{X} :

$$CL = \bar{\bar{X}} = 1000,49 \text{ kg}$$

$$UCL = \bar{\bar{X}} + (A2 \times \bar{R}) = 1000,49 + (0,577 \times 11,4) = 1007,07 \text{ kg}$$

$$LCL = \bar{\bar{X}} - (A2 \times \bar{R}) = 1000,49 - (0,577 \times 11,4) = 993,92 \text{ kg}$$

c. Perhitungan CL, UCL dan LCL untuk peta kendali R:

$$CL = \bar{R} = 11,4 \text{ kg}$$

$$UCL = D4 \times \bar{R} = 2,114 \times 11,4 = 24,11 \text{ kg}$$

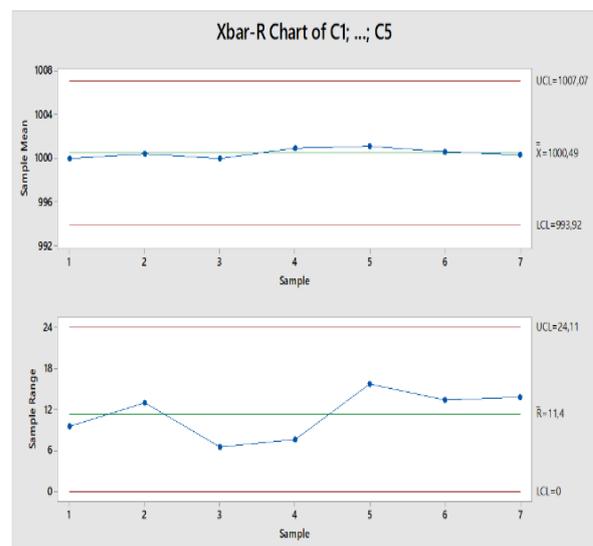
$$LCL = D3 \times \bar{R} = 0 \times 11,4 = 0 \text{ kg}$$

Tabel 12 memperlihatkan data hasil pengujian berat pada timah *ingot* brand BA setelah implementasi yang dilakukan selama 7 hari pengamatan.

Hasil perhitungan dan plot data yang dihasilkan pada Gambar 15 menunjukkan bahwa hasil uji berat timah *ingot* brand BA masih dalam batas kendali atau tidak ada data yang *out of Control* sehingga dapat dilanjutkan dengan menghitung kapabilitas proses.

Tabel 12. Peta Kendali \bar{X} dan R Timah *Ingot* Setelah Implementasi

Tgl	Uji Berat Timah <i>Ingot</i> per <i>Bundle</i>					X	R
	X1	X2	X3	X4	X5		
21/03	1002	995,2	1003,6	1004,4	994,8	1000	9,6
22/03	994,2	1007,2	994,6	1004,6	1001,4	1000	13
23/03	1001,6	998,2	998,4	1004,2	997,6	1000	6,6
24/03	1001,5	999,8	997,4	1001	1005	1001	7,6
25/03	993,2	995,2	1009	1000,2	1008	1001	15,8
26/03	1007,8	1001,8	1000,8	998,2	994,4	1001	13,4
28/03	1000	993,8	1003	997,5	1007,6	1000	13,8
Jumlah						7003	80
Rata-rata						1000,5	11,4



Gambar 15. Plot Data Peta kendali \bar{X} dan R pada Uji Berat Timah *Ingot* brand BA Setelah Implementasi.

Berikut adalah perhitungan kapabilitas proses untuk menghitung Cp, CPU, CPL dan Cpk :

$$LSL = 980 \text{ kg}$$

$$USL = 1020 \text{ kg}$$

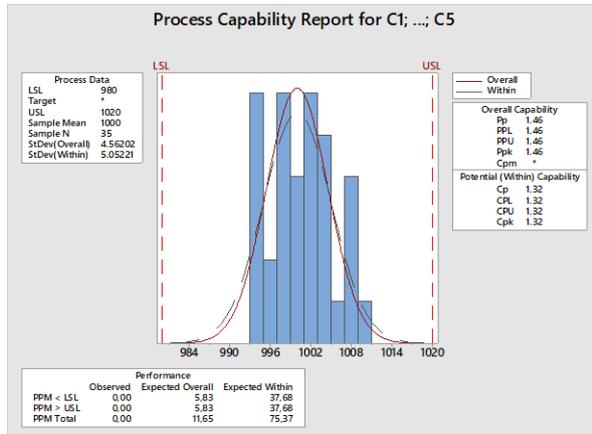
$$s = \frac{\bar{R}}{d2} = \frac{11,4}{2,326} = 4,9$$

$$CPL = \frac{\bar{\bar{X}} - LSL}{3s} = \frac{1000 - 980}{3 \times 4,9} = 1,32$$

$$CPU = \frac{USL - \bar{\bar{X}}}{3s} = \frac{1020 - 1000}{3 \times 4,9} = 1,32$$

$$Cpk = \text{Min} \{CPL, CPU\} = \text{Min} \{1,32; 1,32\} = 1,32$$

Hasil perhitungan nilai Cpk 1,32 menunjukkan bahwa proses cenderung mendekati batas spesifikasi atas serta memperlihatkan bahwa kapabilitas proses untuk memenuhi spesifikasi yang ditentukan baik. Grafik kapabilitas proses dari uji berat timah *ingot* brand BA terlihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Grafik Kapabilitas Proses dari Uji Berat Timah *Ingot* Brand BA

Dari hasil perhitungan kapabilitas proses berdasarkan data cacat variabel setelah implementasi diperoleh nilai Cpk yang lebih tinggi dibandingkan kapabilitas proses sebelum adanya implementasi sebagaimana terlihat perbandingannya pada Tabel 13.

Tabel 13. Hasil Perbandingan Nilai Kapabilitas Proses Sebelum dan Setelah Implementasi Kapabilitas Proses (Nilai Cpk)

Sebelum Implementasi	Setelah Implementasi
1,28	1,32

d. Perhitungan Peta Kendali C

Perhitungan peta kendali C sebelum implementasi menggunakan data hasil pengamatan berupa jumlah kecacatan yang dilakukan selama 20 hari. Setelah implementasi, pengamatan dilakukan selama 7 hari. Peta menggunakan data atribut yang bertujuan untuk mengukur stabilitas proses.

Berikut merupakan perhitungan untuk mendapatkan nilai CL, UCL, LCL dari peta kendali C :

$$CL = \bar{c} = \frac{\sum c}{k} = \frac{22}{7} = 3,143$$

$$UCL = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}} = 3,143 + 3\sqrt{3,143} = 8,46$$

$$LCL = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}} = 3,143 - 3\sqrt{3,143} = 0$$

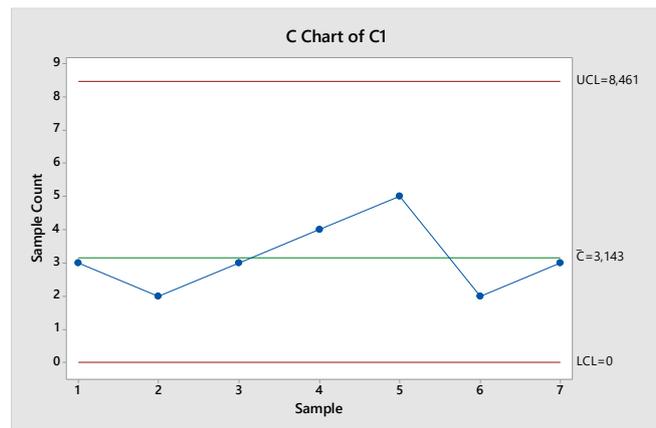
Tabel 14 memperlihatkan Peta kendali C Timah *Ingot* Brand BA setelah dilakukan implementasi usulan perbaikan. Hasil perhitungan menunjukkan tidak ada data yang

out of control sehingga tidak diperlukan adanya perbaikan dan hasil data dapat dilanjutkan dengan menghitung DPMO dan level sigma.

Tabel 14. Peta Kendali C Setelah Implementasi

Tgl	Total Produksi (Sampel)	Jml Kecacatan	CL	UCL	LCL	Status
21/03	70	3	3,1429	8,46	-2.18	In Control
22/03	70	2	3,1429	8,46	-2.18	In Control
23/03	70	3	3,1429	8,46	-2.18	In Control
24/03	70	4	3,1429	8,46	-2.18	In Control
25/03	70	5	3,1429	8,46	-2.18	In Control
26/03	70	2	3,1429	8,46	-2.18	In Control
28/03	70	3	3,1429	8,46	-2.18	In Control
Total	490	22				

Gambar 17 merupakan plot data Peta Kendali C pada timah *ingot* setelah dilakukan implementasi usulan perbaikan.



Gambar 17. Plot Data Peta Kendali C pada timah *ingot* Setelah Implementasi

3.5.5. Perhitungan Nilai DPMO dan Tingkat Sigma Setelah Implementasi

Perhitungan DPMO dan level sigma dihitung menggunakan hasil perhitungan data variabel dan atribut setelah implementasi. Nilai DPMO dan level sigma pada data variabel digunakan untuk memperkirakan peluang cacat dalam satuan ppm yang dihasilkan dengan menggunakan batas spesifikasi atas dan batas spesifikasi bawah.

Perhitungan nilai DPMO data variabel yaitu:

a. Batas spesifikasi Atas

$$Upper = P \left\{ Z \geq \frac{UCL - \bar{X}}{s} \right\}$$



$$\begin{aligned}
 &= 1 - P \left\{ Z \leq \frac{UCL - \bar{x}}{s} \right\} \\
 &= 1 - P \left\{ Z \leq \frac{1020 - 1000}{4,9} \right\} \\
 &= 1 - P \{ Z \leq 1,36 \} \\
 &= 1 - 0,91312 \\
 &= 0,08688 \\
 \text{b. Batas Spesifikasi Bawah} \\
 \text{Lower} &= P \left\{ Z \leq \frac{LCL - \bar{x}}{s} \right\} \\
 &= P \left\{ Z \leq \frac{980 - 1000}{4,9} \right\} \\
 &= P \{ Z \leq -1,36 \} \\
 &= 0,08688 \\
 \text{c. DPMO} \\
 \text{DPMO} &= (U + L) \times 1.000.000 \\
 &= (0,08688 + 0,08688) \times 1.000.000 \\
 &= 173760 \text{ pcs}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan menunjukkan nilai DPMO data variabel sebesar 100 batang timah *ingot*. Perkiraan peluang terjadinya cacat dalam 1.000.000 produk dari hasil produksi timah *ingot* brand BA sebesar 173760 batang. Nilai DPMO kemudian dikonversi ke level sigma melalui perhitungan berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{d. Level Sigma} \\
 \text{Level Sigma} &= \text{NORMSINV} \left(\frac{1.000.000 - \text{DPMO}}{1.000.000} \right) + 1,5 \\
 &= \text{NORMSINV} \left(\frac{1.000.000 - 173760}{1.000.000} \right) + 1,5 \\
 &= 2,44 \text{ sigma}
 \end{aligned}$$

Nilai DPMO dan level sigma pada data cacat variabel produk timah *ingot* brand BA setelah implementasi mengalami kenaikan namun belum signifikan sebagaimana terlihat dari perbandingan nilai DPMO dan level sigma sebelum dan setelah dilakukan implementasi pada Tabel 15.

Tabel 15. Perbandingan Nilai DPMO dan Level Sigma pada Data Variabel Sebelum dan Sesudah Implementasi

	Data Variabel	
	Sebelum Implementasi	Setelah Implementasi
Nilai DPMO	196280	173760
Level Sigma	2,36	2,44

Perhitungan nilai DPMO untuk data atribut dimulai dengan melakukan perhitungan untuk nilai DPU, DPO.

- a. Total produksi merupakan jumlah sampel produksi yang diamati. Jumlah sampel yang digunakan dalam penelitian per hari

sebesar 70 batang. Jumlah sampel yang digunakan dalam 7 hari adalah 490 batang.

$$\begin{aligned}
 \text{b. DPU} &= \frac{\text{Total unit cacat}}{\text{Total produksi}} \\
 &= \frac{22}{490} \\
 &= 0,045 \\
 \text{c. DPMO} &= \frac{\text{Total unit cacat}}{\text{Total produksi}} \times 1.000.000 \\
 &= \frac{22}{490} \times 1.000.000 \\
 &= 44898 \text{ pcs}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan nilai DPMO dari data variabel adalah 50.000 batang timah *ingot*. Hal ini berarti perkiraan peluang terjadinya cacat dalam 1.000.000 produk dari hasil produksi timah *ingot* brand BA sebesar 44898 batang. Nilai DPMO kemudian dikonversi ke level sigma melalui perhitunga berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{a. Level Sigma} \\
 \text{Level Sigma} &= \text{NORMSINV} \left(\frac{1.000.000 - \text{DPMO}}{1.000.000} \right) + 1,5 \\
 &= \text{NORMSINV} \left(\frac{1.000.000 - 44898}{1.000.000} \right) + 1,5 \\
 &= 3,19 \text{ sigma}
 \end{aligned}$$

Perhitungan DPMO dan level sigma dari data variabel dan data atribut menghasilkan level sigma untuk data variabel sebesar 2,44 sigma, nilai ini lebih rendah dari level sigma untuk data atribut sebesar 3,19 sigma. Nilai DPMO dan level sigma data atribut pada produk timah *ingot* brand BA setelah implementasi mengalami kenaikan namun tidak signifikan. Perbandingan nilai nilai DPMO dan level sigma sebelum dan setelah dilakukan implementasi dapat terlihat pada Tabel 16.

Tabel 16. Perbandingan Nilai DPMO dan Level Sigma pada Data Atribut Sebelum dan Sesudah Implementasi

	Data Atribut	
	Sebelum Implementasi	Setelah Implementasi
Nilai DPMO	50000	44898
Level Sigma	3,15	3,19

Berdasarkan perbandingan sebelum dan setelah implementasi, terlihat bahwa nilai DPMO yang mengalami penurunan. Hal ini berarti terjadi penurunan peluang terjadinya kecacatan yang terlihat dari level sigma yang mengalami kenaikan sebesar 0,04 selama 7 hari implementasi usulan. Meskipun masih terdapat



produk cacat, namun dari implementasi usulan perbaikan yang diberikan dapat meminimalkan jumlah kecacatan untuk memenuhi persyaratan dan kepuasan pelanggan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pengolahan data dan analisis yang dilakukan, terdapat 9 jenis cacat atribut dan 1 jenis cacat variable pada produk logam timah *ingot* selama proses produksi. Jenis cacat yang paling mendominasi berdasarkan diagram pareto adalah berat *ingot* yang *outspec* dengan persentase jenis kecacatan sebesar 46,7%, dan ujung *ingot* melengkung sebesar 39,3%.

Nilai DPMO yang dihasilkan dari data atribut sebesar 50000 batang logam dengan level sigma yang dicapai sebesar 3,15 sigma sedangkan nilai DPMO untuk data variabel yaitu 196280 batang logam dan level sigma sebesar 2,36 sigma.

Usulan perbaikan yang diberikan untuk menurunkan tingkatan kecacatan produk timah *ingot* brand BA adalah pembuatan instruksi kerja proses *casting* timah *ingot*, pembuatan *checksheet* masa penggunaan dan pemeriksaan mesin produksi dan melakukan pergantian mesin pencetakan manual menjadi otomatis.

Implementasi dari usulan perbaikan untuk data atribut menurunkan nilai DPMO sebesar 44898 batang logam dan data variabel sebesar 173760 batang logam. Penerapan usulan perbaikan terhadap level sigma mengalami peningkatan untuk data atribut sebesar 3,19 sigma dan data variabel sebesar 2,44 sigma. Perubahan level sigma adalah 0,04 selama 7 hari implementasi usulan perbaikan. Diharapkan dengan implementasi usulan perbaikan yang berkelanjutan dapat menurunkan tingkat kecacatan produk timah *ingot* brand BA secara signifikan.

Penelitian selanjutnya dapat mengkaji lebih lanjut penyebab cacat yang terjadi pada setiap tahapan proses produksi agar perbaikan dapat difokuskan pada proses tertentu dan lebih tepat sasaran.

DAFTAR PUSTAKA

- Catt, E. A. (2015). *Lean Six Sigma & A3 Thinking Workbook*. TTAC Consulting, LLC.
- De Albuquerque Marques, P. A., & Matthé, R. (2017). Six Sigma DMAIC Project to

Improve The Performance of An Aluminum Die Casting Operation in Portugal. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 34(2), 307–330.

- Gasperz, V. (2002). Pedoman Implementasi Program Six Sigma: Terintegrasi Dengan ISO 9001 dan HACCP. PT. Gramedia Pustaka Tama.
- Idris, I., Sari, R. A., Wulandari, & U, W. (2016). Pengendalian Kualitas Tempe Dengan Metode Seven Tools. *Teknovasi*, 3(1), 66–80.
- Jones, E. (2014). *Quality Management for Organizations using Lean Six Sigma Techniques*. CRC press.
- Montgomery, D. C. (2020). *Introduction to Statistical Quality Control*. John Wiley & Sons.
- Ober, J. A., & Survey, U. S. G. (2018). Mineral Commodity Summaries 2018. In *Mineral Commodity Summaries*. <https://doi.org/10.3133/70194932>
- Pandey, A., & Jain, K. K. (2016). Six Sigma in Manufacturing of Ingot Moulds in Foundry and Pattern Shop by Improving Sand Quality. *American Journal of Engineering Research*, 5(4), 209–217.
- Saragih, J., & Aliyani, W. T. (2020). Perbaikan Kualitas Pipa Api Spec Menggunakan Metoda Six Sigma Pada Pt Z.
- Sirine, H., Kurniawati, E. P., Pengajar, S., Ekonomika, F., Bisnis, D., & Salatiga, U. (2017). Pengendalian Kualitas Menggunakan Metode Six Sigma (Studi Kasus pada PT Diras Concept Sukoharjo). *AJIE-Asian Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 02(03), 2477–3824.
- Stamatis, D. H. (2003). *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution*. Quality Press.
- Suprpto, S. J. (2010). Potensi, Prospek, dan Pengusahaan Timah Putih di Indonesia. *Makalah Ilmiah Tidak Diterbitkan. Tersedia Secara Online Juga Di: Http://Psdg. Bgl. Esdm. Go. Id/Buletin_pdf_file/Bul [Diakses Di Ciputat, Indonesia: 27 Desember 2017]*.