

Kendali Mutu Produksi *Concrete Tunnel Segment* Berbasis Metode Six Sigma Proyek Pembangunan *Mass Rapid Transit*

Hamonangan Girsang ^{[1]*}, Ichsan Chamami ^[2]

^{[1]*} Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana, Jakarta Barat, 11650, Indonesia

^[2] Departemen Quality Control, PT. Wijaya Karya Beton, Karawang, 41363, Indonesia

Email: hamonangan.girsang@mercubuana.ac.id *, chamamiichsan1@gmail.com

*) Correspondent Author

Received: 31 March 2023; Revised: 28 July 2023; Accepted: 31 July 2023

How to cited this article:

Girsang, H., Chamami, I. (2024). Kendali Mutu Produksi *Concrete Tunnel Segment* Berbasis Metode Six Sigma Proyek *Mass Rapid Transit*. *Jurnal Teknik Sipil*, 20(1), 43–62. <https://doi.org/10.28932/jts.v20i1.6391>

ABSTRAK

Pembangunan infrastruktur konstruksi MRT Jakarta tahap 2A dengan panjang total 5,8 kilometer yang terdiri dari tujuh stasiun bawah tanah dilakukan oleh PT. XY untuk memproduksi *concrete tunnel segment* yang dibutuhkan proyek, kemampuan memenuhi kualitas *Japanese Industrial Standard* memberikan nilai tambah pada perusahaan tersebut. Namun saat proses penanganan produksi seringkali kejadian produk *concrete tunnel segment* mengalami kerusakan yang berakibat berkurangnya kualitas produk tersebut. Hal ini sejalan dengan laporan produksi dalam kurun waktu 4 minggu berturut-turut ditemukan adanya *defect*. Penelitian ini bertujuan mengetahui persentase *defect* pada produksi *concrete tunnel segment* serta mengetahui faktor penyebab terjadinya *defect* sehingga dapat melakukan *improvement* untuk pengendalian mutu produksi. Metode analisis six sigma digunakan pada penelitian ini dengan melakukan lima tahapan analisa yaitu *define, measure, analyze, improve, dan control*. Penelitian ini menghasilkan rata-rata persentase *defect* yang terjadi adalah 5,80% dengan klasifikasi *defect* jenis sumpel 54,21%, retak 30%, sumpel bersamaan retak 15,26%, dan reject 0,53% dengan tingkat sigma rata-rata 3,07. Faktor yang sangat menentukan dalam pengendalian mutu produksi *concrete tunnel segment* adalah faktor metode, manusia dan peralatan, dimana ketiga faktor tersebut berperan secara langsung saat proses produksi.

Kata kunci: *Concrete Tunnel Segment, Defect, Mutu, Proyek MRT, Six Sigma.*

ABSTRACT. *Quality Control Production of Concrete Tunnel Segment Based on Six Sigma Method in the Mass Rapid Transit Project. Development infrastructure construction of MRT Jakarta Project Phase 2A with length is 5.8 kilometers consist of seven underground stations, production concrete tunnel segment done by XY company as the ability to meet the quality of Japanese Industrial Standard provides added value to the company. However during the production process concrete tunnel segment products often defects. This is in line with production report within 4 weeks which found defects. This study aims to determine the percentage of defects in the production of concrete tunnel segment and determine the factors causing occurrence of defects than improvements can be made to control production quality. The six sigma analysis method was used in this study by carrying out five stages of analysis are define, measure, analyze, improve, and control. This study result is average percentage of defects occurred is 5.80% with a total chipped defect of 54.21%, cracks 30%, chipped and cracks 15.26%, and rejects 0.53% with an average sigma level of 3.07. Factors are very decisive in controlling the production quality of the concrete tunnel segment are work methods, people management and tools, where are three factors a direct role during the production work process.*

Keywords: *Concrete Tunnel Segment, Defect, Quality, MRT Project, Six Sigma.*

1. PENDAHULUAN

PT. XY adalah perusahaan jasa penyedia produk– produk beton untuk berbagai proyek yang sumber dananya dari *Japan Bank for International Cooperation (JBIC)-Special Term for Economic Partnership (STEP)*, berbagai proyek yang telah dikerjakan PT. XY secara khusus yang berada di Jabodetabek. seperti salah satunya proyek yang telah berjalan adalah proyek pembangunan *Mass Rapid Transit* Jakarta tahap 1 dimulai pada Oktober 2013 dan dioperasikan sejak Maret 2019, kemudian pembangunan tahap 2 mulai dilanjutkan pada September 2020. Dari kedua tahap pembangunan konstruksi *Mass Rapid Transit* Jakarta, produk beton yang dipergunakan proyek tersebut di produksi oleh PT. XY yaitu *concrete tunnel segment*. Pembangunan konstruksi *Mass Rapid Transit* Jakarta tahap 2 terdiri dari dua tahapan yaitu tahap 2A dan tahap 2B. Tahap 2A yang menjadi fokus penelitian akan membangun tujuh stasiun baru yang berada di bawah tanah seperti Glodok, Mangga Besar, Sawah Besar, Harmoni, Monas, Thamrin dan Kota dengan total panjang jalur 5,8 kilometer. Pekerjaan konstruksinya terdiri dari tiga paket kontrak yaitu: CP-201 untuk pembangunan stasiun Monas dan stasiun Thamrin dengan jalur sepanjang 2,7 kilometer, CP-202 untuk pembangunan Stasiun Mangga Besar, Sawah Besar dan Harmoni serta jalur dengan panjang 1,8 kilometer, sedangkan CP-203 untuk pembangunan Stasiun Kota dan stasiun Glodok dengan jalur sepanjang 1,3 kilometer.

Proses produksi *concrete tunnel segment* memiliki rangkaian panjang mulai dari persiapan material, perakitan tulangan, pengecoran, finishing hingga proses penanganan produk jadi. Untuk bisa menghasilkan mutu produk yang baik pengawasan harus dilakukan disetiap proses. Hal tersebut dilakukan agar proses produk yang dihasilkan sesuai serta memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan dan proses inilah yang dinamakan pengendalian mutu. Namun pada saat produk jadi seringkali ditemukan *concrete tunnel segment* mengalami *defect* dari berbagai jenis kejadian yang berhubungan dengan kualitas. Hal ini sejalan dengan laporan departemen *quality control* bahwa *defect* yang terjadi pada durasi 4 minggu produksi berturut – turut mengalami *defect* rata – rata 5,52%.

Berdasarkan ISO 8420, ISO 9000 dan SNI-19-8420 mendefinisikan mutu adalah perangkat ciri dan karakteristik menyeluruh suatu produk yang mempengaruhi kemampuan produk memberikan kepuasan kebutuhan konsumen. sedangkan *defect* diartikan penyimpangan yang terjadi terhadap spesifikasi dalam pelaksanaan produksi sehingga tidak memuaskan kebutuhan pemakai. Menurut Bahrud, Saifudin. (2018), kurang sempurnaan permukaan beton akan memudahkan penetrasi air masuk ke beton yang berakibat mengurangi ketahanan beton, sejalan dengan hal tersebut berikut ini di paparkan kriteria *defect concrete tunnel segment* adalah sebagai berikut:

1. Sompel atau sompal adalah kondisi dimana sisi permukaan produk beton pecah dan terkelupas hingga menyebabkan permukaan pada produk menjadi tidak rata. Sompel paling sering terjadi pada bagian sisi sudut produk karena sisi ini paling riskan terhadap benturan.



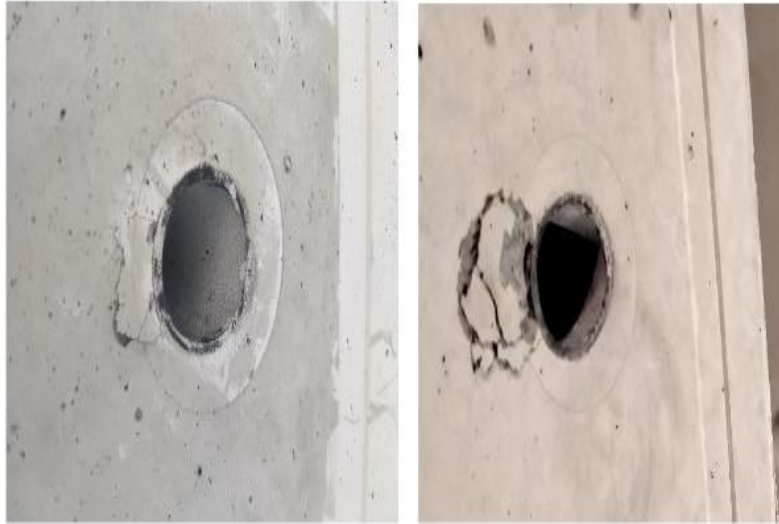
Gambar 1. Kondisi Sompel
(Sumber : Dokumen Pribadi, 2023)

2. Retak adalah kondisi dimana sisi permukaan produk beton pecah namun tidak sampai terkelupas dan menyebabkan garis berongga. Retak sering terjadi apabila produk mengalami benturan namun tidak sampai membuat kondisi produk menjadi sompel.



Gambar 2. Kondisi Retak
Sumber : (Dokumen Pribadi, 2023)

3. Kondisi sumpel bersama retak adalah perpaduan antara retak dan sumpel dimana bagian produk yang mengalami retak dan sumpel namun tidak sampai terkelupas sehingga untuk memperbaiki kondisi yang retak harus dihancurkan agar bisa selanjutnya dilakukan perbaikan.



Gambar 3. Kondisi Sumpel dan Retak
Sumber : (Dokumen Pribadi, 2023)

Untuk menganalisis *defect* yang terjadi pada *concrete tunnel segment* dilakukan dengan metode *Six Sigma*, yang mana dari struktur kata *Six Sigma* tersusun dari pola 2 kata yaitu: *Six* dan *Sigma*, yang mana *Six* berarti enam dan *Sigma* adalah merupakan konotasi dari simpangan baku sebagai ukuran satuan statistik yang memberikan pola gambaran kemampuan suatu proses, dengan ukuran nilai sigma adalah *Defect Per Unit* yang disingkat DPU atau *Defect Per Million* yang disingkat DPM.

Six Sigma merupakan sebuah *tools* peningkatan kualitas yang difokuskan pada penggunaan data dan statistik. Istilah *tools* “Sigma” dipergunakan untuk besaran deviasi standar atau melihat simpangan baku yang sangat relevan dengan ilmu statistik (Soemohadiwidjojo, Arini.T. 2017). Deviasi standar adalah perbedaan nilai rata-rata sampel terhadap nilai rata-rata data, sehingga deviasi standar akan memberikan gambaran besarnya keragaman penyebaran sampel data dari hasil pengukuran dimana semakin besar nilai deviasi standar maka semakin besar pula keragaman sampel, atau kejadian sebaliknya. Konsep dasar *Six Sigma* berperan meningkatkan kualitas produk dengan meminimalisasi tingkat kegagalan bahkan mendekati nol, yang bertujuan mengurangi cacat yang terjadi dalam proses produksi bahkan sampai menciptakan kondisi *zero defect* (Ivanda, Mitra Amerta & Suliantoro, Hery. 2018). Tingkatan *Six Sigma* dalam proses berlangsungnya produksi selalu dihubungkan dengan level pencapaian

sigma, yang dihitung dalam *defect per million opportunities*, seperti yang disajikan pada Tabel 1 berikut:

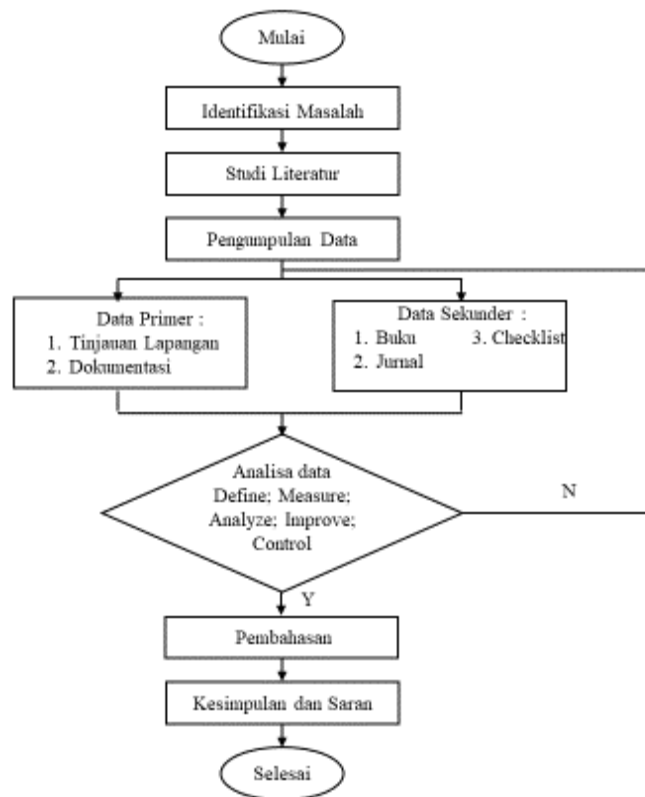
Tabel 1. Level Pencapaian Nilai *Sigma*

Level Pencapaian Sigma	Defect Per Million Opportunities (DPMO)	Persentase dari Nilai Penjualan
1	691.462 (sangat tidak kompetitif)	Tidak dapat dihitung
2	308.538 (rata-rata industry di Indonesia)	Tidak dapat dihitung
3	66.807	25-40% dari penjualan
4	6.210 (rata-rata industri USA)	15-25% dari penjualan
5	233 (rata-rata industri Jepang)	5-15% dari penjualan
6	3,4 (industri kelas dunia)	< 1% dari penjualan

Sumber: (Gasperz dan Fontana, 2017)

2. METODOLOGI

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah berbasis kuantitatif yang pengumpulan data menggunakan instrumen secara keseluruhan, dan proses berlangsungnya penelitian digambarkan seperti diagram alir dibawah ini:



Gambar 4. Diagram Alur Penelitian

Sumber : (Hasil Olahan Penulis, 2023)

Perumusan masalah yang ditinjau berdasarkan permasalahan di lapangan adalah adanya produksi *concrete tunnel segment* mengalami *defect* pada saat proses produksi berlangsung hingga pemindahan dari lokasi produksi menuju lokasi *stockyard* dan inilah yang menjadi fokus penelitian berdasarkan data yang diamati.

Data penelitian didapatkan dari data primer yaitu data *defect* langsung yang diperoleh dari pengamatan dilapangan yang akan digunakan sebagai verifikasi hasil. Proses olah data dilakukan dengan observasi, wawancara, dan dokumentasi. Sedangkan data sekunder dikumpulkan dari berbagai sumber seperti *inspection test plan, method statement of repairing tunnel lining segment, report checklist* proses produksi (Pratiwi, Reno. Mustakim. Sucilanti, Leni. 2021), *report checklist* pemeriksaan visual produk termasuk data *defect* produksi. setelah pengumpulan data akan dilakukan analisis dengan mengacu kepada tahapan berikut ini:

1. *Define*

Langkah pertama dalam *six sigma* adalah menetapkan sasaran, menentukan tujuan peningkatan kualitas serta mengidentifikasi cacat produk yang terjadi.

2. *Measure*

Measure sebagai tahapan kedua dalam *six sigma*, adalah mengumpulkan data dalam tabel yang berisi jumlah prosentase product *defect*. kemudian dilanjutkan ketahapan pengukuran, yang melalui dua tahapan yaitu:

a. Analisis *P-Chart* atau disebut diagram kontrol,

Analisis *P-Chart* digunakan sebagai atribut sifat-sifat produk yang berdasarkan proporsi jumlah sebuah kejadian apakah diterima atau ditolak. Diagram kontrol ini dilakukan dengan mengikuti langkah-langkah dibawah ini:

1. Uji kecukupan data, perhitungan uji kecukupan data dilakukan dengan menggunakan formula berikut ini:

$$N' = K^2/S^2 \times p(1 - p) \quad (1)$$

Dimana N adalah kecukupan data, K adalah tingkat kepercayaan, S adalah tingkat ketelitian, dan P adalah presentase cacat, jika $N' < N$ jumlah data yang diuji cukup. Penentuan nilai K dilakukan jika tingkat kepercayaan 95% adalah 2 dan jika 99% adalah 3, dan Nilai S diambil jika tingkat ketelitian 5% adalah 0,05 dan jika 1% adalah 0,01

2. Menghitung nilai *mean* (CL) dengan pemeriksaan karakteristik data dengan menggunakan formula sebagai berikut :

$$CL = \Sigma np / \Sigma n \quad (2)$$

Dimana np adalah jumlah yang mengalami *defect*, n adalah jumlah sampel data dan CL adalah nilai rata-rata *defect*. Untuk memetakan *range* batas kendali maka harus ditentukan nilai *Upper Control Limit* (UCL) seperti menggunakan formula dibawah ini :

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

Juga menghitung *Low Control Limit* (LCL) dengan formula dibawah ini :

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

- b. Analisis tingkatan sigma atau *Defect for Million Opportunities* sebuah produksi pada perusahaan dilakukan dengan menghitung *Defect Per Million Opportunities* (DPMO) dengan formula:

$$DPMO = [\text{Total kerusakan} / \text{Total Produksi}] \times 1.000.000 \quad (5)$$

3. Analyze

Setelah melalui tahapan *define* dan *measure* maka dilanjutkan dengan identifikasi penyebab *defect* pada tahap ketiga ini. Hal ini dilakukan dengan menggunakan *Pareto Chart*. *Pareto Chart* dapat dibuat dengan menghitung prosentase *defect* produk. Setelah didapatkan hasil dari *Pareto Chart* maka akan terlihat jenis *defect* apa yang memiliki prosentase tertinggi. selanjutnya adalah menganalisa penyebab terjadinya *defect* produk menggunakan diagram *fishbone* yang memperlihatkan hubungan permasalahan dengan penyebabnya dan faktor-faktor yang mempengaruhinya diantaranya ditinjau adalah *Man, Method, Material, Machine dan Environment*.

4. Improve

Tahapan *improve* merupakan analisa penyebab *defect* produk menggunakan diagram *fishbone* dan menentukan langkah perbaikan dari tiap penyebab yang ada pada diagram.

5. Control

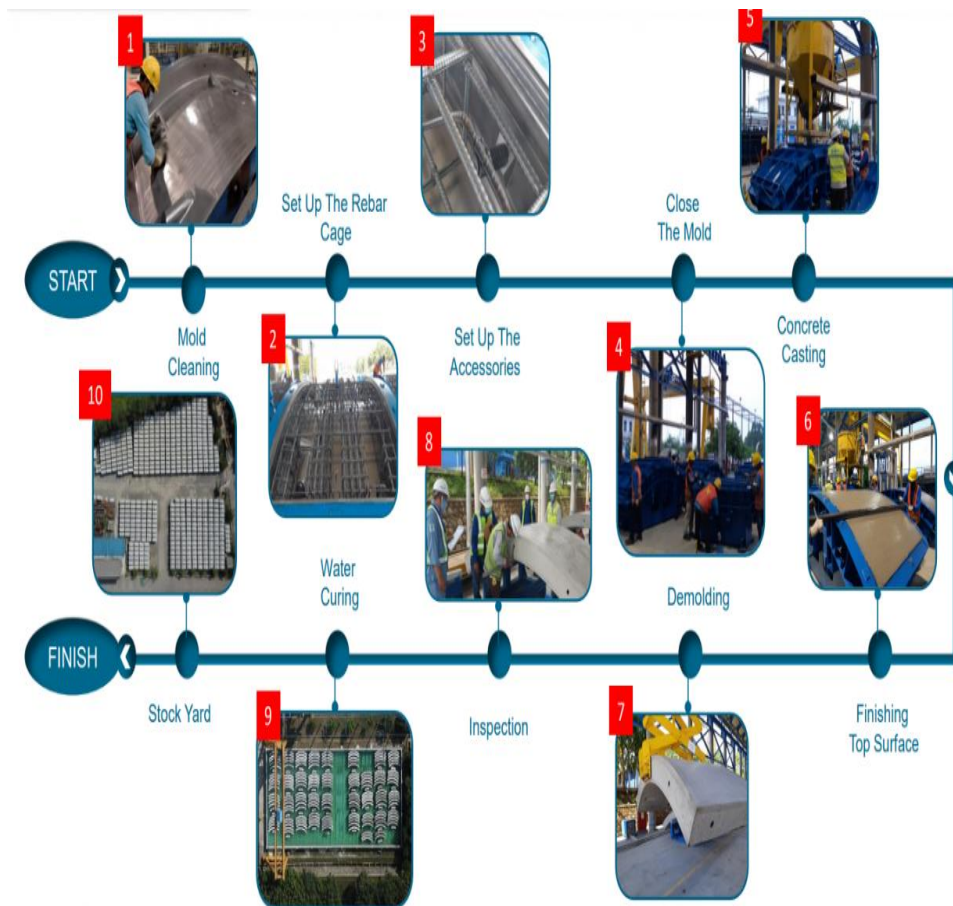
Merupakan tahapan memastikan langkah perbaikan yang didapatkan saat tahap *improve* dalam kondisi standar dengan nilai peningkatannya tetap terjaga dengan melakukan pendokumentasian yang baik sebagai barometer perbaikan kinerja berikutnya.

3. HASIL DAN DISKUSI

Penelitian dilakukan pada proses produksi *concrete tunnel segment* yang dilakukan oleh PT. XY di daerah Karawang Jawa Barat, khusus diperuntukkan untuk proyek *Mass Rapid Transit* Jakarta Tahap 2A pada *section* CP-201.

Define

Penanganan produk pasca produksi yang meliputi – perawatan – *finishing* – *stacking* – *stockyard* adalah merupakan sasaran dan tujuan objek penelitian ini seperti yang dipaparkan oleh Al-Saedi, Alaa. Paslawski, Jerzy, and Nowotarski, Piotr. 2019, adalah melalui proses hubungan sumber daya dengan kegiatan awal sampai menghasilkan produk yang didalamnya melibatkan manusia, biaya, fasilitas, peralatan, teknik dan metoda pekerjaan. Dimana alur proses produksi *concrete tunnel segment* digambarkan berikut ini:



Gambar 5 Alur Proses Produksi Tunnel Segment
Sumber: (Dokumen Pribadi, 2023)

Dari alur proses produksi diatas tentu perusahaan selalu mengutamakan tingkat kepuasan pelanggan dengan berupaya menjaga kualitas produk selama proses pasca produksi. Dalam

mewujudkan hal tersebut perusahaan melakukan upaya agar produk yang sampai kepada pemakai atau pelanggan bebas dari cacat sompel, retak dan *reject*.

Measure

Sumber daya dalam hal ini adalah *Quality Control* yang selalu monitoring realisasi produk terkait penjaminan mutu setiap proses produksi (Yunita, Heni. Soekiman, Anton. 2017) mendapatkan data *defect* periode tertentu seperti tabel berikut ini:

Tabel 2. Laporan Data *Defect* Produk Periode Maret Sampai Oktober 2022

No	Tanggal Produksi	Jumlah Produk (Segmen)	Jumlah Produk <i>Defect</i> (Segmen)	Prosentase Produk <i>Defect</i>
1	7 Maret - 11 Maret 2022	240	11	4.58%
2	14 Maret - 18 Maret 2022	240	16	6.67%
3	21 Maret - 25 Maret 2022	240	14	5.83%
4	28 Maret - 1 April 2022	240	12	5.00%
5	4 April - 8 April 2022	240	12	5.00%
6	11 April - 15 April 2022	240	14	5.83%
7	18 April - 22 April 2022	240	18	7.50%
8	25 April - 29 April 2022	240	14	5.83%
9	9 Mei - 13 Mei 2022	240	17	7.08%
10	17 Mei - 21 Mei 2022	240	14	5.83%
11	23 Mei - 28 Mei 2022	240	11	4.58%
12	30 Mei - 3 Juni 2022	240	16	6.67%
13	6 Juni - 10 Juni 2022	240	15	6.25%
14	13 Juni -17 Juni 2022	240	13	5.42%
15	20 Juni - 24 Juni 2022	240	15	6.25%
16	27 Juni - 1 Juli 2022	240	17	7.08%
17	4 Juli - 8 Juli 2022	240	16	6.67%
18	11 Juli - 15 Juli 2022	240	16	6.67%
19	18 Juli - 22 Juli 2022	240	12	5.00%
20	25 Juli - 29 Juli 2022	240	14	5.83%
21	1 Agus - 5 Agus 2022	240	11	4.58%
22	8 Agus - 12 Agus 2022	240	8	3.33%
23	15 Agus -19 Agus 2022	192	12	6.25%
24	22 Agus - 26 Agus 2022	240	10	4.17%
25	29 Agus - 2 Sept 2022	240	16	6.67%
26	5 Sept - 9 Sept 2022	120	8	6.67%
27	12 Sept - 16 Sept 2022	120	7	5.83%
28	19 Sept - 23 Sept 2022	120	8	6.67%
29	26 Sept - 30 Sept 2022	120	6	5.00%
30	3 Okt - 7 Okt 2022	120	7	5.83%
Jumlah		6552	380	5.80%

Sumber : (Hasil Olahan Penulis, 2023)

Tabel 2 laporan data *defect* produk periode Maret hingga Oktober 2022 didapatkan data total rata rata *defect* produk dalam rentang waktu tersebut adalah 5,80 % dari total 6552 segmen tunnel produk.

1. Perhitungan Kecukupan Data

Perhitungan Kecukupan data sebagai berikut :

$N' = (K^2/S^2) \times p(1 - p)$, dimana K = Tingkat Kepercayaan 99% = 3, S = Tingkat Kepercayaan 1% = 0,01, P = 5,80 % dan N = 6552, sehingga diperoleh $N' = (32 / 0,012) \times 5,80\% (1 - 5,80\%)$, $N' = 4917,24$ dan diperoleh $N' < N$ jumlah data yang diuji cukup. Dan dari hasil perhitungan disimpulkan bahwa jumlah data yang dikumpulkan dalam laporan sudah cukup.

2. Analisis P-Chart (Diagram Kontrol)

Data diambil dari laporan data *defect* produk yang diukur saat proses pasca produksi yang sudah sampai di stockyard sementara. Jumlah produk yang digunakan sebagai data adalah sebanyak 6552 segmen serta didapatkan 380 segmen produk *defect*. Dari data tersebut dibuatkan peta kendali P-Chart dengan menghitung nilai *Mean* (P), *Control Limit* (CL), *Upper Control Limit* (UCL), dan *Lower Control Limit* (LCL).

a. Perhitungan Control Limit (CL)

$$CL = (\sum np) / (\sum n) = 380 / 6552 = 0,058$$

b. Perhitungan mean proporsi cacat produk (P)

$$P1 = \sum np / \sum n = 11 / 240 = 0,046$$

$$P2 = 16 / 240 = 0,066$$

$$P3 = 14 / 240 = 0,058$$

$$P4 = 12 / 240 = 0,050$$

c. Perhitungan *Upper Control Limit* (UCL)

$$UCL = CL + 3 \sqrt{((CL(1-CL))/n)}, = 0,058 + 3 \sqrt{((0,058 (1-0,058))/240)} = 0,103$$

d. Perhitungan *Lower Control Limit* (LCL)

$$LCL = CL - 3 \sqrt{((CL(1-CL))/n)}, = 0,058 - 3 \sqrt{((0,058(1-0,058))/240)}, = 0,013$$

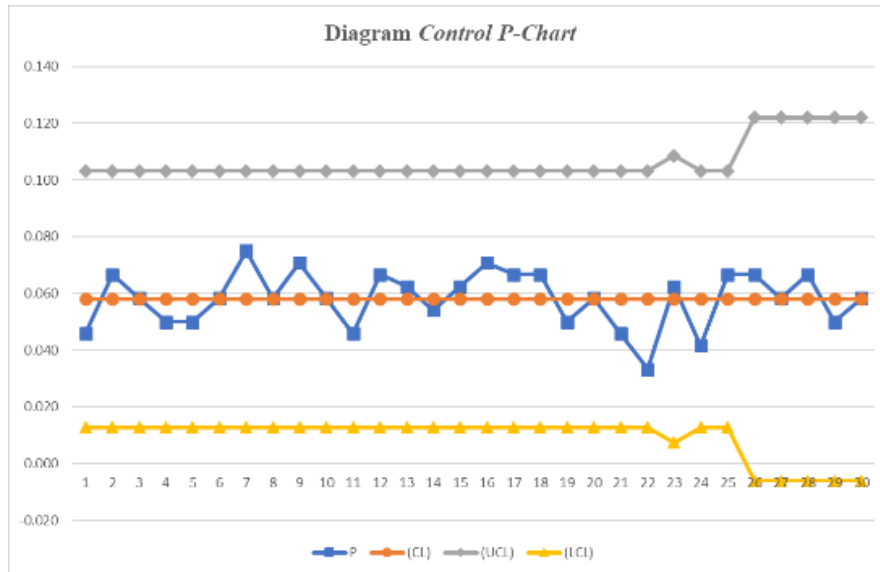
Perhitungan nilai *mean*, *control limit*, *upper control limit* serta *lower control limit* setiap periode peninjauan digambarkan pada **Tabel 3** berikut ini;

Tabel 3. Nilai *Mean*, *Control Limit*, *Upper Control Limit* dan *Lower Control Limit*.

No	Tanggal Produksi	Jumlah Produk (Segmen) (n)	Jumlah Produk Defect (Segmen) (np)	<i>Mean</i> P	<i>Control Limit</i> (CL)	<i>Upper Control Limit</i> (UCL)	<i>Lower Control Limit</i> (LCL)
1	7 Maret - 11 Maret 2022	240	11	0.046	0.058	0.103	0.013
2	14 Maret - 18 Maret 2022	240	16	0.067	0.058	0.103	0.013
3	21 Maret - 25 Maret 2022	240	14	0.058	0.058	0.103	0.013
4	28 Maret - 1 April 2022	240	12	0.050	0.058	0.103	0.013
5	4 April - 8 April 2022	240	12	0.050	0.058	0.103	0.013
6	11 April - 15 April 2022	240	14	0.058	0.058	0.103	0.013
7	18 April - 22 April 2022	240	18	0.075	0.058	0.103	0.013
8	25 April - 29 April 2022	240	14	0.058	0.058	0.103	0.013
9	9 Mei - 13 Mei 2022	240	17	0.071	0.058	0.103	0.013
10	17 Mei - 21 Mei 2022	240	14	0.058	0.058	0.103	0.013
11	23 Mei - 28 Mei 2022	240	11	0.046	0.058	0.103	0.013
12	30 Mei - 3 Juni 2022	240	16	0.067	0.058	0.103	0.013
13	6 Juni - 10 Juni 2022	240	15	0.063	0.058	0.103	0.013
14	13 Juni -17 Juni 2022	240	13	0.054	0.058	0.103	0.013
15	20 Juni - 24 Juni 2022	240	15	0.063	0.058	0.103	0.013
16	27 Juni - 1 Juli 2022	240	17	0.071	0.058	0.103	0.013
17	4 Juli - 8 Juli 2022	240	16	0.067	0.058	0.103	0.013
18	11 Juli - 15 Juli 2022	240	16	0.067	0.058	0.103	0.013
19	18 Juli - 22 Juli 2022	240	12	0.050	0.058	0.103	0.013
20	25 Juli - 29 Juli 2022	240	14	0.058	0.058	0.103	0.013
21	1 Agus - 5 Agus 2022	240	11	0.046	0.058	0.103	0.013
22	8 Agus - 12 Agus 2022	240	8	0.033	0.058	0.103	0.013
23	15 Agus -19 Agus 2022	192	12	0.063	0.058	0.109	0.007
24	22 Agus - 26 Agus 2022	240	10	0.042	0.058	0.103	0.013
25	29 Agus - 2 Sept 2022	240	16	0.067	0.058	0.103	0.013
26	5 Sept - 9 Sept 2022	120	8	0.067	0.058	0.122	-0.006
27	12 Sept - 16 Sept 2022	120	7	0.058	0.058	0.122	-0.006
28	19 Sept - 23 Sept 2022	120	8	0.067	0.058	0.122	-0.006
29	26 Sept - 30 Sept 2022	120	6	0.050	0.058	0.122	-0.006
30	3 Okt - 7 Okt 2022	120	7	0.058	0.058	0.122	-0.006
Jumlah		6552	380				

Sumber : (Hasil Olahan Penulis, 2023)

Berdasarkan tabel analisis perhitungan diatas, diplotkan pada peta kendali bentuk grafik yang fungsinya untuk memperlihatkan apakah suatu proses produksi berada didalam range batas kendali yang diharapkan, seperti **Gambar 6** dibawah ini:



Gambar 6. Diagram Control P-Chart
Sumber : (Hasil Olahan Penulis, 2023)

Gambar 6 diagram Control P-Chart di atas terlihat bahwa secara keseluruhan data yang diperoleh berada dalam batas kendali serta hal ini menunjukkan pengendalian kecacatan produk masih dalam keadaan stabil.

3. Analisis Tingkatan Six Sigma

Untuk mengukur tingkat six sigma dari penanganan produk jadi *concrete tunnel segment* dilakukan dengan mengadopsi metode Gaspersz (2007:42) dengan melakukan langkah sebagai berikut:

- Menghitung nilai *Defect per Unit* (DPU)

$$DPU = (\text{Total Kerusakan})/(\text{Total Produksi}) = 11/240 = 0,045833$$

- Menghitung nilai *Defect Per Million Opportunities* (DPMO)

$$DPMO = (\text{Total Kerusakan})/(\text{Total Produksi}) \times 1000000 = 11/240 \times 1000000 = 45.833$$

- Konversi hasil DPMO ke Nilai Sigma

Konversi nilai DPMO ke nilai Sigma dengan menggunakan tabel konversi sigma yang dikembangkan oleh Vincent Gaspersz (2002) seperti Tabel 4 dibawah ini:

Tabel 4. Konversi Nilai Sigma

No	Nilai Sigma	DPMO	No	Nilai Sigma	DPMO	No	Nilai Sigma	DPMO
1	3.24	40,929	13	3.12	52,616	25	3	66,807
2	3.23	41,815	14	3.11	53,699	26	2.99	68,112
3	3.22	42,716	15	3.1	54,799	27	2.98	69,437
4	3.21	43,633	16	3.09	55,917	28	2.97	70,781
5	3.2	44,565	17	3.08	57,053	29	2.96	72,145
6	3.19	45,514	18	3.07	58,208	30	2.95	73,529
7	3.18	46,479	19	3.06	59,380	31	2.94	74,934
8	3.17	47,460	20	3.05	60,571	32	2.93	76,359
9	3.16	48,457	21	3.04	61,780	33	2.92	77,804
10	3.15	49,471	22	3.03	63,008	34	2.91	79,270
11	3.14	50,503	23	3.02	64,256	35	2.9	80,757
12	3.13	51,551	24	3.01	65,522	36	2.89	82,264

Sumber: (Gasperz dan Fontana, 2017)

Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai sigma berdasarkan nilai *Defect per Unit* dan *Defect Per Million Opportunities* pada setiap periode yang dimunculkan pada **Tabel 5**.

Tabel 5 memperlihatkan pengendalian kualitas penanganan *defect* produk *concrete tunnel segment* memiliki tingkat sigma rata-rata 3.070 yang berarti kisaran 25% produk jadi akan berpeluang mengalami *defect* setiap 1 juta kesempatan produksi dan nilai tersebut berada diatas pencapaian nilai sigma rata rata industri di Indonesia.

Tabel 5. Perhitungan Nilai Sigma

No	Jumlah Produk (Segmen)	Jumlah Produk Defect (Segmen)	DPU	DPMO	Nilai Sigma
1	240	11	0.045833	45,833	3.034
2	240	16	0.066667	66,667	3.001
3	240	14	0.058333	58,333	3.069
4	240	12	0.050000	50,000	3.145
5	240	12	0.050000	50,000	3.145
6	240	14	0.058333	58,333	3.069
7	240	18	0.075000	75,000	2.940
8	240	14	0.058333	58,333	3.069
9	240	17	0.070833	70,833	2.950
10	240	14	0.058333	58,333	3.069
11	240	11	0.045833	45,833	3.187
12	240	16	0.066667	66,667	3.001
13	240	15	0.062500	62,500	3.034
14	240	13	0.054167	54,167	3.106
15	240	15	0.062500	62,500	3.034
16	240	17	0.070833	70,833	2.950
17	240	16	0.066667	66,667	3.001
18	240	16	0.066667	66,667	3.001
19	240	12	0.050000	50,000	3.145
20	240	14	0.058333	58,333	3.069
21	240	11	0.045833	45,833	3.187
22	240	8	0.033333	33,333	3.332
23	192	12	0.062500	62,500	3.034
24	240	10	0.041667	41,667	3.232
25	240	16	0.066667	66,667	3.001
26	120	8	0.066667	66,667	3.001
27	120	7	0.058333	58,333	3.069
28	120	8	0.066667	66,667	3.001
29	120	6	0.050000	50,000	3.145
30	120	7	0.058333	58,333	3.069
Total	6,552	380	1.745833	1,745,833	92.089
Rata - Rata			0.058194	58,194	3.070

Sumber : (Hasil Olahan Penulis, 2023)

Analyze

1. Perhitungan Diagram Pareto

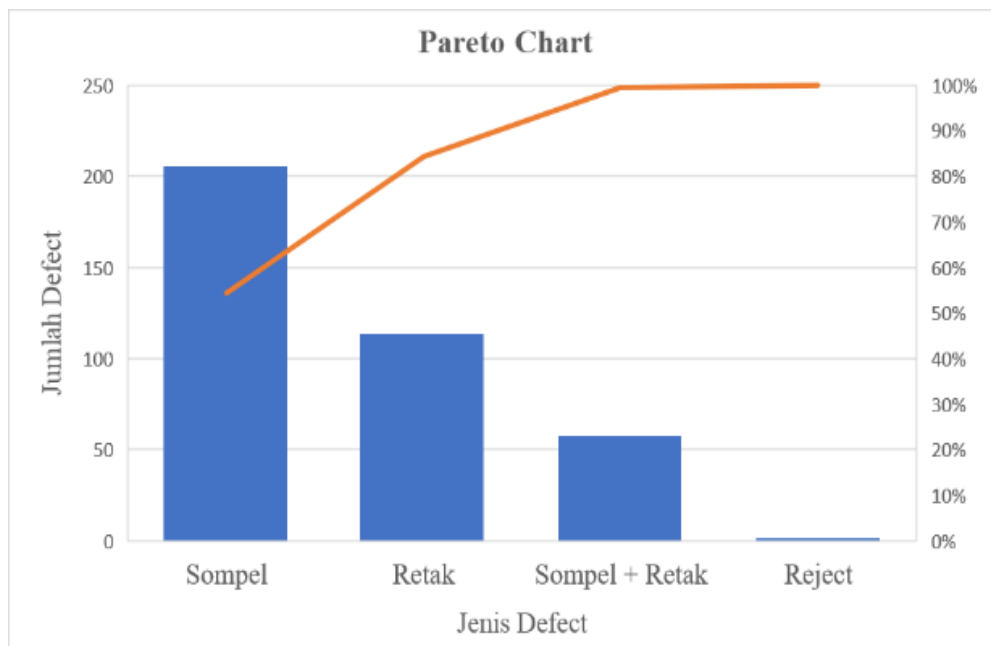
Mengidentifikasi penyebab permasalahan dalam pengendalian kualitas produk jadi *concrete tunnel segment* adalah menggunakan diagram Pareto, dimana data yang diolah untuk mengetahui persentasi kerusakan produk dihitung dengan formula: Persentasi *defect* = (Jumlah Jenis *Defect*)/(Total Keseluruhan *Defect*) x 100%, seperti diperlihatkan pada tabel berikut ini:

Tabel 6. Perhitungan Prosentase Defect

No	Jenis Defect	Jumlah Defect	Prosentase Defect	Prosentase Kumulatif
1	Sompel	206	54.21%	54.21%
2	Retak	114	30.00%	84.21%
3	Sompel + Retak	58	15.26%	99.47%
4	Reject	2	0.53%	100.00%
	Jumlah	380		

Sumber : (Hasil Olahan Penulis, 2023)

Data Tabel 6 dengan 4 jenis kategori defect menunjukkan jenis defect paling banyak terjadi diurutkan secara berurutan adalah sompel, retak + sompel, retak dan reject yang digambarkan dengan diagram batang bersamaan persentasi defect, sedangkan komulatif persentase digambarkan dengan grafik seperti Gambar 7 dibawah ini:



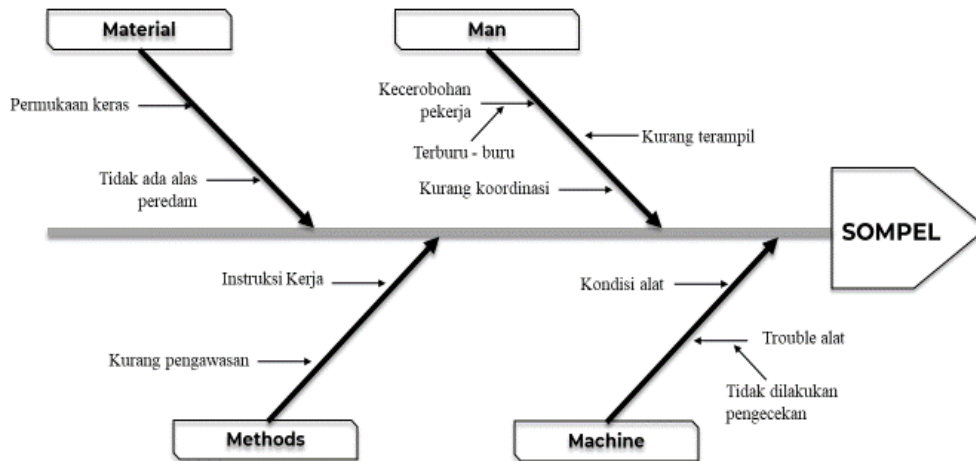
Gambar 7. Diagram Pareto Chart
Sumber : (Hasil Olahan Penulis, 2023)

Diagram Pareto menunjukkan penyebab cacat produk persentasenya diurutkan dari terbesar hingga terkecil dalam bentuk histogram (S Indriyawati, Gde Agus Yudha Prawira Adistana. 2018), dihasilkan penyebab defect produk paling signifikan adalah sompel dengan persentase 54,21%, di peringkat kedua adalah retak dengan persentase 30,00%, sedangkan sompel bersama retak dan reject dengan persentasi masing-masing berturut-turut adalah 15,26% dan 0,53%.

Persentasi kejadian defect tersebut perlu dianalisis lebih dalam terkait penyebab serta perbaikan 4 jenis kategori defect dengan melakukan analisis diagram Fishbone.

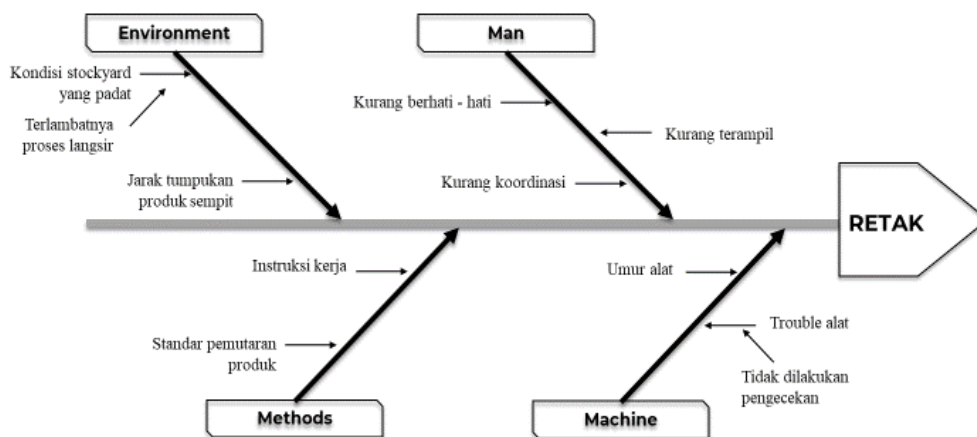
2. Diagram *Fishbone*

Defect Sompel yang menempati urutan tertinggi persentasinya 54,21% dianalisis lewat diagram *fishbone* dengan melakukan pengelompokan sumber penyebab kejadian yang berasal dari *material*, *man*, *methods* dan *machine*. pada setiap kelompok tersebut dilakukan analisis serta pemetaan apa saja peristiwa kejadian yang mungkin terjadi yang memberikan kontribusi terhadap kejadian *defect* seperti hasil *fishbone defect* sompel digambarkan seperti diagram *fishbone* berikut ini;



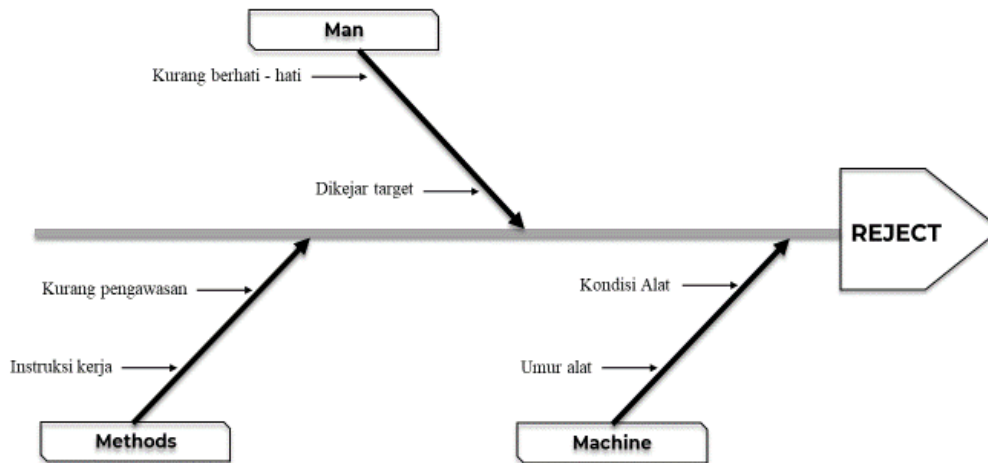
Gambar 8. Diagram *Fishbone* Sompel
Sumber : (Hasil Olahan Penulis, 2023)

Defect retak yang terjadi merupakan urutan ke dua tertinggi dengan persentasi 30% dilakukan analisis klusterisasi *environment*, *man*, *methods* dan *machine* yang mana disetiap kluster dilakukan potretisasi apa saja peristiwa kejadian yang memberikan effect berpeluang menimbulkan retak sehingga dengan melakukan analisis setiap kluster memberikan hasil fishbone pada *defect* retak seperti diagram berikut ini;



Gambar 9. Diagram *Fishbone* Retak
Sumber : (Hasil Olahan Penulis, 2023)

Defect reject adalah kelompok minor dari hasil diagram pareto yang memberikan kontribusi 0.53%, tetap dilakukan analisis sumber kejadian dengan pengelompokan *man*, *methods* dan *machine* pada kejadian *defect reject* dilanjutkan dengan menganalisis peristiwa kejadian apa saja pada setiap kelompok yang memberikan kemungkinan terjadi *reject* seperti hasil diagram *fishbone* berikut ini;



Gambar 10. Diagram *Fishbone Reject*
Sumber : (Hasil Olahan Penulis, 2023)

Improve

Pada tahapan *improve* ini dikemukakan usulan langkah strategi perbaikan terhadap produk *concrete tunnel segment* pasca produksi untuk mengurangi *defect* yang terjadi. Adapun usulan strategi didapatkan lewat wawancara dengan melakukan hal-hal sebagai berikut:

- Man*, dengan memberikan *training* kepada pekerja untuk meningkatkan keterampilan untuk memaksimalkan kualitas pekerjaan serta mengurangi *defect*.
- Method*, dengan menambah 1 personil untuk melakukan pengawasan yang menyeluruh saat proses penanganan produk *pasca demoulding*, menyiapkan instruksi kerja yang terstruktur serta membuat standar penanganan produk pada setiap proses.
- Material*, dengan melapisi permukaan pada tempat yang digunakan untuk meletakkan produk di area *curing pool* dengan material lunak guna meredam benturan agar tidak terjadi sompel/retak sehingga produk aman dari *defect*, dan memastikan kondisi lapisan masih dalam kondisi baik dan melakukan penggantian secara rutin untuk menghindari terjadinya *defect*.
- Machine*, dengan melakukan pengecekan alat secara rutin guna menghindari trouble dan memastikan kondisi alat dalam kondisi optimal dan melakukan penggantian sparepart alat yang digunakan untuk mengangkat produk secara rutin jika kondisi alat sudah tidak optimal.
- Environment*, dengan membuat jadwal dan target langsir untuk memastikan kembali proses langsir berjalan dengan lancar guna mencegah terjadinya penumpukan produk di *stockyard* yang mengakibatkan area terlalu padat dan mengurangi ruang gerak pekerja saat melakukan

pengangkatan produk dan memastikan kembali jarak tumpukan produk di area stockyard sementara tidak terlalu rapat dengan membuat marking pada area *stockyard* dengan jarak aman yang sudah ditentukan.

Control

Merupakan analisis pada *six sigma* yang menekankan pendokumentasian dan sosialisasi tindakan perbaikan yang dilakukan sehingga dengan tindakan tersebut diharapkan akan mengurangi *defect* yang terjadi. Beberapa tindakan perbaikan yang didapatkan lewat wawancara yang akan dilakukan meliputi:

1. Melakukan pengarahan dan pengawasan menyeluruh kepada para pekerja untuk memastikan pekerja melakukan pekerjaan sesuai dengan instruksi yang telah diberikan.
2. Melakukan penggantian lapisan peredam pada alat dan area yang digunakan untuk mengangkat / meletakkan produk secara rutin.
3. Melakukan pengecekan alat tidak hanya disaat alat mengalami *trouble*/kerusakan dan melakukan penggantian *sparepart* alat secara periodik dengan membuat jadwal.
4. Mengontrol jadwal langsir produk pada setiap shift dan mengatur target kuantitas langsir per hari.
5. Menandai lokasi penumpukan produk agar tertata rapi, bagus dengan menggunakan *marking cat*.

4. SIMPULAN

Analisis dan pembahasan data yang telah dilakukan diawal, maka pengendalian mutu terhadap produk *concrete tunnel segment* disimpulkan sebagai berikut:

1. Berdasarkan laporan data produksi periode Maret hingga Oktober 2022 adalah sebanyak 1092 ring atau 6552 segmen, dan produk *defect* ada sebanyak 380 segmen. Setelah dilakukan perhitungan ditemukan prosentase *defect* adalah sebesar 5,80 % dengan nilai tingkatan sigma rata – rata 3,070 yang berarti kisaran 25% produk jadi akan berpeluang mengalami *defect* setiap 1 juta kesempatan produksi dan nilai tersebut berada diatas pencapaian nilai sigma rata rata industri di Indonesia, namun nilai tingkat sigma ini perlu ditingkatkan kembali mengingat produk *defect* mengakibatkan *cost* tambahan bagi perusahaan untuk melakukan perbaikan demi menjaga mutu produk.
2. Analisis diagram *Pareto* menunjukkan penyebab kecacatan produk tertinggi adalah sompel 54,21%, kemudian retak sebanyak 30%, sompel bersamaan retak sebanyak 15,26% dan produk *reject* sebanyak 0,53%. Dan faktor yang sangat berpengaruh dalam pengendalian mutu produk *concrete tunnel segment* adalah faktor metode pekerjaan, manusia dan peralatan dimana ketiga faktor tersebut berperan secara langsung saat proses produksi.

3. Tahap *improvement* yang perlu dilakukan dan ditekankan untuk mengurangi terjadinya *defect* pada produk dan meningkatkan pengendalian mutu produk *concrete tunnel segment* antara lain:
 - a. Melakukan pengarahan dan pengawasan menyeluruh kepada para pekerja untuk memastikan dalam melaksanakan pekerjaan sesuai dengan petunjuk yang telah diberikan.
 - b. Melakukan penggantian lapisan peredam pada alat dan area yang digunakan untuk mengangkat / meletakkan produk secara rutin.
 - c. Melakukan pengecekan alat tidak hanya disaat alat mengalami kerusakan dan melakukan penggantian *sparepart* alat secara rutin.
 - d. Mengontrol jadwal langsir produk pada setiap *shift* dan mengatur target langsir per hari
 - e. Menandai lokasi penumpukan produk dengan menggunakan marking cat.

SARAN

Berdasarkan hasil analisis penelitian, maka disarankan hasil *improvement* yang telah dilakukan bisa dijadikan standar operasi untuk proyek MRT paket berikutnya. Kemudian dari standar yang dilakukan selanjutnya bisa dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap hasil peningkatan pengendalian mutu dan peningkatan tingkat nilai sigma serta bisa ditambahkan terkait pengaruh biaya yang timbul akibat dari perbaikan produk *defect*.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Al-Saedi, Alaa. Paslawski, Jerzy, and Nowotarski, Piotr. (2019): Quality Management to Continuous Improvements in Process of Ready Mix Concrete Production, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 518(1) : 1-15.
- Bahrud, Saifudin. (2018): Analisa Pengendalian Mutu Produk Box Culvert dengan Menggunakan Metode *Six Sigma*, *Jurnal Unessa* 2(2) : 1-10.
- Ervianto, W.I. (2005): Manajemen Proyek Konstruksi, Andi, Yogyakarta.
- Gaspersz, Vincent. Fontana, Avanti. (2011): Lean Six Sigma for Manufacturing and Service Industries : Waste Elimination and Continuous Cost Reduction, Bogor : Vinchristo Publication.
- Gaspersz, Vincent. (2001): Total Quality Management, Gramedia, Jakarta.
- Gaspersz, Vincent. (2002): ISO: 2000 And Continual Quality Improvement, Gramedia, Jakarta.
- Ivanda, Mitra Amerta and Suliantoro, Hery. (2018): Analisis Pengendalian Kualitas dengan Metode *Six Sigma* Pada proses Produksi Barcode PT. Bakti Putra Nusantara, *Industrial Engineering Online Journal* 7(1) : 1-7.
- PMI. (2017). A Guide to The Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide) Sixth Edition. Pennsylvania: Project Management Institute, Inc.

- Pratiwi, Reno. Mustakim. Sucilianti, Leni. (2021): Pengendalian Kualitas pada *Corrugated Concrete Sheet Pile* dengan Metode *Six Sigma*. *Jurnal Transukma* 3(2) : 99-113.
- Soemohadiwidjojo, Arini.T. (2017): *Six Sigma* Metode Pengukuran Kinerja Perusahaan Berbasis Statistik, Raih Asa Sukses, Jakarta.
- Simanjuntak, Manlian R.A. and Manik, Raja B.H. (2019): Kajian Awal Sistem Manajemen Pengendalian Mutu dalam Meningkatkan Kinerja Waktu Proses Konstruksi Bangunan Gedung Tinggi Hunian di DKI Jakarta, *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil IX(1)* : 258-264.
- S Indriyawati, Gde Agus Yudha Prawira Adistana (2018): Analisis Pengendalian Kualitas Produk Tiang Pancang Menggunakan Metode Six Sigma. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil* 2(2): <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/rekayasa-teknik-sipil/issue/view/1420>
- Wartuny, William Ridson. Lumeno, Shirly. and Mandagi, R.J.M. (2018): Model Penerapan Sistem Manajemen Mutu Berbasis ISO 9001:2015 pada Kontraktor di Propinsi Papua Barat', *Jurnal Sipil Statik* 6(8): 579-588.
- Yunita, Heni. Soekiman, Anton. (2017): Analisis Tingkat Kepuasan Pengguna Jasa Konstruksi terhadap Penerapan Sistem Manajemen Mutu ISO 9001:2008 di Perusahaan Jasa Konstruksi, *Jurnal Konstruksia* 8(1): 35 – 46