



---

## **Analisis Cacat Produk pada Proses Pengelasan Pipa Penstock (Studi Kasus: PT. XYZ)**

**Katon Muhammad<sup>1</sup>, Fadhila Rifda Azka Syailendri<sup>2</sup>, Ayu Anggraeni Sibarani<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup> Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Soedirman, Purbalingga.

Email: [katon.muhammad@gmail.com](mailto:katon.muhammad@gmail.com)

---

### **Abstract**

The hydromechanical field is a complex field to be cultivated as a business field. The object of the case study in this research is a company that is a hydromechanical building contractor and its components such as dams, floodgates, and others, from the manufacturing process or component production, assembly, testing to installation in the field. With the company's engineering to order production system, the shutter for product quality is significant enough to meet customer demand. Some products have defects that can be repaired, but this makes the company cost more for rework and requires longer production time. From this, it can be seen the importance of improvement and quality control of the products produced by the company. This study aims to determine the causes of defects in the penstock pipe process. Identifying, measuring, and analyzing the causes of defects in the penstock pipe welding process and knowing what improvements the company needs to improve the quality of the penstock pipe welding. The method used in this research is Six Sigma where this method focuses on product quality problems and can be used to be able to make improvements to the production process and to overcome product defects. The results showed that the most significant weld defects found in the penstock pipe were porosity and slag inclusion with a cumulative percentage of 98.5%. Also obtained the sigma value with DPMO of 73,430.49 is 2.951  $\sigma$ . Recommendations to be able to overcome product defects are made to be able to overcome so that existing product defects can be minimized later.

*Keywords:* FMEA, penstock pipe, six sigma, welding.

---

### **Abstrak**

*Bidang hidromekanikal merupakan bidang yang cukup kompleks untuk digeluti sebagai bidang usaha. Objek dari studi kasus pada penelitian ini adalah perusahaan yang menjadi kontraktor bangunan hidromekanikal dan komponennya seperti bendungan, pintu air, dan lainnya dari mulai proses pembuatan atau produksi komponen, perakitan, pengujian hingga instalasi di lapangan. Dengan sistem produksi engineering to order pada perusahaan, rana kualitas produk cukup signifikan untuk memenuhi permintaan customer. Produk yang memiliki cacat (defect) memang ada beberapa yang dapat diperbaiki, tetapi hal itu membuat cost perusahaan bertambah banyak untuk pengerjaan ulang dan membutuhkan waktu produksi lebih lama. Dari hal ini dapat diketahui pentingnya perbaikan dan pengendalian kualitas pada produk yang dihasilkan oleh perusahaan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui penyebab terjadinya cacat pada proses pipa penstock. Mengidentifikasi, mengukur, dan menganalisis penyebab terjadinya cacat pada pengelasan proses pipa penstock dan Mengetahui improvement apa yang dibutuhkan perusahaan untuk meningkatkan kualitas pengelasan pipa penstock. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Six Sigma di mana metode ini berfokus terhadap permasalahan kualitas produk dan dapat digunakan untuk dapat melakukan perbaikan pada proses produksi dan dapat menanggulangi terjadinya cacat produk. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa cacat las yang paling signifikan terdapat pada pipa penstock adalah porosity dan slag inclusion dengan persentase kumulatifnya sebesar 98,5%. Didapatkan pula nilai sigma dengan DPMO sebesar 73.430,49 adalah 2,951  $\sigma$ . Rekomendasi untuk dapat menanggulangi cacat produk dibuat untuk dapat menanggulangi agar cacat produk yang ada nantinya dapat diminimasi.*

*Kata Kunci:* FMEA, pengelasan, pipa penstock, six sigma.

---

## 1. Pendahuluan

Bidang hidromekanikal merupakan bidang yang cukup kompleks untuk digeluti sebagai bidang usaha. Usaha hidromekanikal disini adalah perusahaan yang menjadi kontraktor bangunan hidromekanikal dan komponennya seperti bendungan, pintu air, dan lainnya dari mulai proses pembuatan atau produksi komponen, kemudian perakitan, pengujian hingga instalasi di lapangan. Perusahaan ini adalah salah satu perusahaan yang bergerak di bidang ini. Klien biasanya berasal dari pemerintah yang ingin membangun bendungan ataupun berasal dari kontraktor besar lain baik dalam negeri maupun luar negeri.

Perusahaan ini tidak menganut aliran produksi tipe *mass-production (Flow Shop)*, tetapi menggunakan aliran Proyek, karena pekerjaan yang dikerjakan berdasarkan spesifikasi pemesan (*Engineering to Order*). Sehingga permasalahan kualitas cukup signifikan untuk memenuhi permintaan *customer*. Meskipun tipe pekerjaannya custom, ada beberapa produk utama yang selalu dihasilkan untuk setiap proyek bangunan hidromekanikal, yaitu *Closer Gate*, *Pipa Penstock*, dan *Trashrack*. *Pipa penstock* adalah pipa tekan yang digunakan untuk mengalirkan air dari tangki atas (*head tank*) atau langsung dari bangunan pengambilan ke turbin. Dilihat dari fungsinya, pipa *penstock* membutuhkan kualitas yang baik agar saat diinstalasi di lapangan tidak menimbulkan kerugian seperti kebocoran air pada bendungan.

Produk yang memiliki kualitas tidak baik atau cacat (*defect*) memang ada beberapa yang dapat diperbaiki, tetapi hal itu membuat *cost* perusahaan bertambah banyak untuk pengerjaan ulang, dan membutuhkan waktu produksi lebih lama, juga bisa mendapat komplain dari pelanggan. Maka dari itu perlunya perbaikan dan pengendalian kualitas pada produk yang dihasilkan oleh perusahaan. Menurut Assauri (2008) dalam suatu perusahaan, pengendalian kualitas merupakan suatu hal yang penting sehingga kualitas produk perlu adanya penanganan mulai dari awal adanya bahan baku, pengendalian kualitas proses produksi hingga produk siap untuk dapat dipasarkan. Pengendalian kualitas produk merupakan usaha meminimasi cacat dari suatu produk yang diproduksi. Irwan dan Haryono (2015) mengemukakan bahwa pengendalian kualitas statistik adalah salah satu cara untuk mengendalikan produksi yang bertujuan untuk dapat menghasilkan produk yang stabil dan berkualitas, sehingga dapat berpengaruh kedalam *demand* produk. Jadi, produk yang dihasilkan perusahaan sebaiknya diawasi dan dikendalikan kualitasnya untuk mengoptimalkan keuntungan perusahaan.

Menurut Waluyo (2020), pengawasan adalah jaminan dari hasil kegiatan pemeriksaan, penilaian, pengoreksian dan pengendalian terhadap kegiatan yang telah dan sedang dilakukan atau hasil yang akan dicapai sesuai dengan apa yang diharapkan atau apa yang akan direncanakan. Dari definisi di atas dapat ditetapkan bahwa unsur-unsur dalam pengendalian kualitas adalah: (1) adanya standar yang ditetapkan baik kualitatif maupun kuantitatif, (2) adanya metode untuk mengukur kualitas produk yang dihasilkan kemudian dibandingkan dengan standar yang ada, (3) adanya cara untuk mengadakan perbaikan-perbaikan terhadap kualitas yang dihasilkan tersebut ternyata produk yang dihasilkan tidak sesuai dengan kualitas standar yang telah ditetapkan.

## 2. Metode

Menurut Waluyo (2020), kualitas atau mutu pada dasarnya difungsikan sebagai senjata dalam persaingan serta dipergunakan memberikan jaminan (*assurance*) kepada pelanggan (*user*). Kualitas diharapkan mampu dijadikan indikator keberhasilan dari sebuah rekayasa, serta mengurangi variasi produk, kualitas akan memberikan dampak peningkatan profitabilitas. Kualitas yang dipertahankan sebagai target maka akan mengeliminasi kecelakaan (*zero accident*), mengeliminasi kerusakan (*zero defect*) dan mengeliminasi keluhan (*zero complain*).

### 2.1. Tahap Identifikasi

Pada proses *define* digunakan untuk menjelaskan atau mendefinisikan permasalahan yang ada di perusahaan yang menarik perhatian peneliti. Pada tahap *define*, rincian aktivitasnya adalah sebagai berikut:

1. Penelitian terhadap kondisi umum perusahaan  
Pada tahap ini dilakukan pencarian informasi yang dibutuhkan terkait gambaran umum perusahaan dan masalah yang diangkat dengan cara pengamatan dan wawancara.
2. Identifikasi jenis cacat yang terjadi pada produk  
Dari data yang jumlah cacat yang telah didapatkan dari perusahaan, maka selanjutnya dilakukan identifikasi jenis cacat apa saja yang muncul pada produk pipa untuk selanjutnya dilakukan kalkulasi dan analisis.

## 2.2. Tahap Pengukuran

Setelah tahap *define* selesai, tahap selanjutnya adalah *measure*. Tahap ini merupakan tahap untuk mengkalkulasi data-data yang ada, sebagai parameter seberapa besar efek permasalahan yang ada terhadap perusahaan. Pada fase *measure* dilakukan tahapan-tahapan sebagai berikut:

1. Identifikasi jenis *defect*  
Identifikasi jenis *defect* dilakukan untuk mengetahui jenis *defect* apa saja yang sering terjadi dan berpengaruh dalam proses produksi perusahaan. Kemudian dapat diketahui *defect* kritis sehingga dapat dilakukan *improvement* terhadap hal tersebut. Tahap ini menggunakan QC *Seven Tools*, yaitu *Pareto Diagram*. Menurut Waluyo (2020), diagram pareto diperkenalkan oleh Alfredo Pareto dan pertama kali digunakan oleh Joseph Juran. Fungsi diagram pareto, yaitu untuk mengidentifikasi atau menyeleksi permasalahan utama sehingga dapat digunakan sebagai alat pengendalian kualitas. Diagram pareto dibuat untuk menemukan atau mengetahui permasalahan yang menjadi kunci dalam menyelesaikan masalah dan membandingkannya dengan keseluruhan. Terdapat aturan 80 dan 20 di dalam diagram pareto. Pada umumnya, 80% dari total keseluruhan berasal dari 20% item yang ada secara keseluruhan pada proses.
2. Perhitungan nilai performansi awal (DPMO, Nilai Sigma)  
Menurut Gasperz (2007), *Six Sigma* adalah suatu metode pengendalian kualitas yang merupakan terobosan baru dalam bidang manajemen kualitas. Menurut Brue dikutip dalam Putra (2010), *Six Sigma* adalah suatu teknik pengendalian dan peningkatan kualitas secara dramatik di mana saat produk diproduksi satu juta produk hanya terdapat 3,4 produk cacat yang ada (*Defect Per Million Opportunities*). *Six Sigma* memiliki tujuan untuk mengurangi dan menemukan faktor-faktor penyebab cacat produk, meningkatkan produktivitas, mengurangi waktu siklus, mengurangi biaya operasi dan memenuhi kebutuhan pelanggan dengan lebih baik. Level sigma pada *Six Sigma* dapat dilihat pada Tabel 1. Nilai sigma didapat dari tabel konversi nilai DPMO (*Defect per Million Opportunity*). DPMO adalah indikasi berapa banyak kecacatan produk yang akan muncul dalam satu juta peluang. Rumus untuk menghitung nilai DPMO adalah seperti berikut:

$$DPMO = \frac{\text{JumlahCacat}}{\text{JumlahUnit} \times \text{PeluangCacat}} \times 1000000 \quad (1)$$

Penerapan metode *Six Sigma* pada perusahaan dapat diperlihatkan kondisi perusahaan tersebut dalam keadaan buruk, cukup atau baik, kondisi tersebut dapat diketahui saat proses produksi hingga barang jadi. Jika suatu perusahaan dapat menerapkan nilai sigma hingga level enam maka perusahaan tersebut dianggap mampu mengurangi *defect*. Berikut merupakan Tabel konversi level sigma dengan *capability*.

Tabel 1: Konversi level sigma dengan *capability*

Sigma	DPMO	Capability
6	3,4	World Class
5	320	World Class
4	6.210	Industry Average
3	66.800	Industry Average
2	308.000	Non-competitive
1	690.000	Non-competitive

Sumber: Kabir dkk., 2013

### 2.3. Tahap Analisis

Pada fase *analyze* ini dilakukan setelah dilakukan fase *define*, yang mana pada fase *define* sudah diketahui *defect* kritis. Tahapan pada fase *analyze* yang digunakan sebagai berikut:

1. Analisis *defect* kritis

setelah diketahui *defect* kritis dalam diagram pareto, selanjutnya dilakukan analisis terhadap beberapa jenis *defect* tersebut. Analisis ini terkait dengan tingkat keseringan munculnya *defect*, penyebab dan efek dari *defect* tersebut. Untuk mengetahui *defect* kritis pada penelitian ini, digunakan salah satu *QC seven tools* yaitu diagram pareto (analisis 80-20) untuk mencari *defect* apa saja yang mempengaruhi 80% dari proses produksi.

2. Membangun RCA (*Root Cause Analysis*)

Menurut Jucan (2005), *Root Cause Analysis* merupakan sebuah metode untuk mengetahui sebab-sebab penting dalam permasalahan, baik yang sifatnya operasional maupun fungsional. RCA terbagi menjadi dua, yaitu metode *5 why's* dan diagram *fishbone*. *Output* pada analisis terhadap *defect* kritis, selanjutnya dijadikan input untuk analisis RCA. Analisis RCA dilakukan untuk menganalisis akar penyebab dari *defect* kritis. Akar dari penyebab masalah ini nantinya akan dijadikan input dalam tahap *Failure Model and Effect Analysis* (FMEA) untuk dikalkulasi seberapa besar efeknya terhadap perusahaan.

3. *Failure Model and Effect Analysis* (FMEA)

Langkah berikutnya yaitu menganalisis akar penyebab permasalahan yang disebabkan oleh *defect* yang ada. FMEA dapat digunakan untuk melakukan klasifikasi suatu kegagalan dengan rinci sehingga dapat diketahui kegagalan-kegagalan kritis yang ada, sehingga perusahaan dapat melakukan antisipasi untuk dapat mengatasi kegagalan kritis tersebut (Thomas dan Keller, 2010). Berdasarkan perhitungan nilai *Risk Priority Number* (RPN) di dalam FMEA, didapatkan pemrioritasan akar penyebab *defect* yang memerlukan penanganan perbaikan. Nilai RPN didapatkan dari perkalian nilai *severity* atau tingkat keparahan dari suatu akar permasalahan, *occurrence* atau frekuensi terjadinya *defect*, dan *detection* atau tingkat kesulitan dalam mendeteksi *defect*.

a. *Severity*

*Severity* merupakan tingkat keparahan yang dihasilkan dari akar permasalahan (*defect*). Kriteria penilaian *severity* pada penelitian ini didapat dari sumber pustaka yang sudah disetujui oleh inspektur pengelasan di bagian daltas (pengendalian kualitas) di perusahaan.

b. *Occurance*

*Occurance* adalah ukuran yang menunjukkan frekuensi terjadinya *defect* dibandingkan dengan *defect* lain secara keseluruhan. Kriteria penilaian dari *Occurance* didapatkan dari suatu sumber pustaka yang telah disetujui oleh inspektur pengelasan di bagian daltas (pengendalian kualitas) di perusahaan

c. *Detection*

*Detection* adalah ukuran yang menunjukkan tingkat kesulitan dalam mendeteksi sebuah akar penyebab masalah yang terjadi akibat suatu *defect*. Kriteria penilaian dari *Detection* didapatkan dari suatu sumber pustaka yang telah disetujui oleh inspektur pengelasan di bagian daltas (pengendalian kualitas) di perusahaan.

### 2.4. Tahap Perbaikan

Pada tahap *Improve* dilakukan kalkulasi terhadap nilai RPN yang didapatkan dari hasil perkalian antara *Severity*, *Occurance*, dan *Detection* dari masing-masing akar penyebab masalah (Carlson, 2014). Apabila telah didapatkan nilai RPN pada masing-masing akar penyebab masalah, maka kemudian dapat diklasifikasikan nilainya. Berikut merupakan klasifikasi nilai RPN menurut Dessy (2014):

Tabel 2 : Tabel klasifikasi RPN

RPN	Calculation Level
0-19	Very Low
20-79	Low
80-119	Medium
120-199	High
>199	Very High

Sumber: Dessy, 2014

Nilai RPN yang memasuki kategori *Very High* adalah penyebab *defect* yang diprioritaskan dan dicari usulan perbaikannya.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Pada tahap ini dilakukan pengolahan data yang diperlukan untuk penelitian pada proses pengelasan pipa *penstock* di perusahaan dengan langkah dan metode yang telah dijelaskan pada tahap sebelumnya.

#### 3.1. Identifikasi

Data yang dimaksud disini adalah data historis yang dibutuhkan untuk penelitian ini, yaitu data *defect* pada pengelasan pipa *penstock* yang dilakukan dengan pengujian sinar x atau uji radiografi. Data yang diambil berasal dari proyek bendungan Karian, di mana proyek tersebut membutuhkan pipa *penstock* yang cukup banyak.

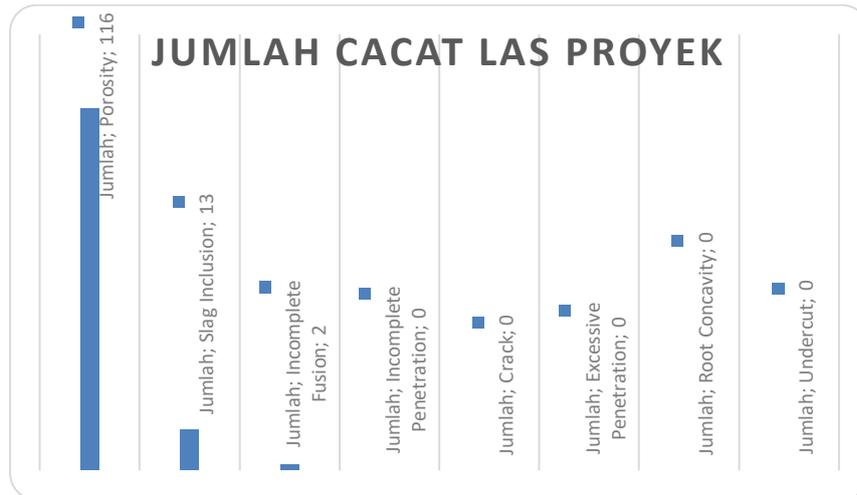
Proyek Karian merupakan proyek pembuatan pipa *penstock* untuk keperluan irigasi di Bendungan. Proyek Karian terdiri dari 3 (tiga) sambungan pipa di setiap pipa keluaran (OP) dengan 3 (tiga) titik inspeksi. Ringkasan data inspeksi non-visual Proyek Karian dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3: Jumlah cacat Proyek Karian periode Januari – Februari 2020

Jenis Cacat	Jumlah
<i>Incomplete Penetration</i>	0
<i>Incomplete Fusion</i>	2
<i>Crack</i>	0
<i>Slag Inclusion</i>	13
<i>Porosity</i>	116
<i>Excessive Penetration</i>	0
<i>Root Concavity</i>	0
<i>Undercut</i>	0
<i>Total</i>	131

Sumber: Data Proyek Karian, 2020

Jenis cacat yang ditemukan oleh pengujian Sinar X pada pengelasan pipa *penstock* Proyek Karian dan Proyek Karian adalah *porosity*, *slag inclusion*, dan *incomplete fusion*. Tetapi, dari cacat yang ada, yang paling berdampak pada kualitas las pipa *penstock* adalah cacat.



Gambar 1: Grafik Pipa Cacat pada Proyek

Sumber: Pengolahan data penulis, 2020

### 3.2. Pengukuran

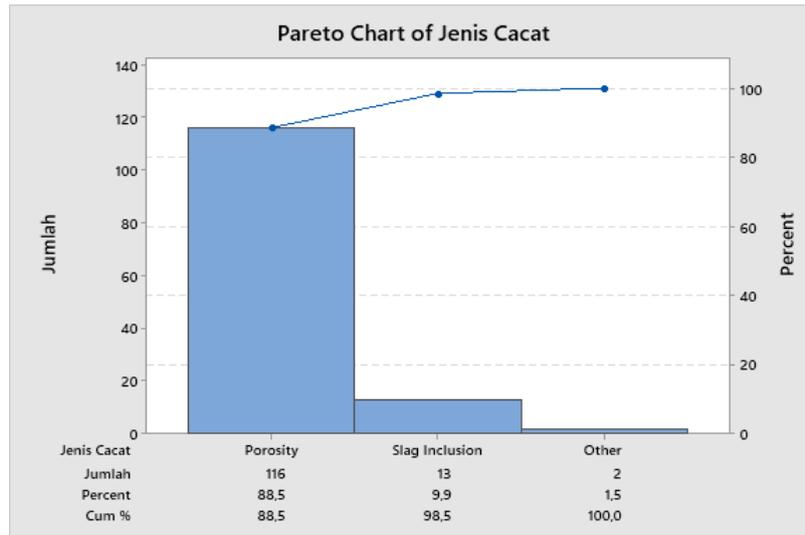
Pada dasarnya, semua jenis *defect* diidentifikasi sebagai CTQ potensial. CTQ potensial terhadap jenis *defect* pada pengelasan pipa *penstock* yang dapat diidentifikasi oleh Uji sinar X (radiografi) adalah sebagai berikut: (a) *Incomplete Penetration*, (b) *Incomplete Fusion*, (c) *Cracks*, (d) *Slag Inclusion*, (e) *Porosity*, (f) *Excessive Penetration*, (g) *Undercut*. Berdasarkan data yang didapat dari perusahaan, dapat diketahui jumlah *defect* dan persentase kumulatifnya dari masing-masing CTQ potensial:

Tabel 4: CTQ potensial pipa *penstock*

Jenis Cacat	Jumlah	Percent	Cum. Percent
<i>Porosity</i>	116	88,55%	88,55%
<i>Slag Inclusion</i>	13	9,92%	98,47%
<i>Incomplete Fusion</i>	2	1,53%	100,00%
<i>Incomplete Penetration</i>	0	0,00%	100,00%
<i>Crack</i>	0	0,00%	100,00%
<i>Excessive Penetration</i>	0	0,00%	100,00%
<i>Root Concavity</i>	0	0,00%	100,00%
<i>Undercut</i>	0	0,00%	100,00%
Total	131		

Sumber: Pengolahan data penulis, 2020

Tahap *measure* adalah tahap di mana kita mendefinisikan masalah dengan menentukan *Critical To Quality*, untuk mengetahui hal apa yang menjadi patokan kualitas las pipa *penstock*. Karakteristik kualitas CTQ kunci adalah hal yang paling berpengaruh terhadap kualitas las pipa *penstock* secara keseluruhan. Pada tahap *Define* dilakukan penentuan CTQ kunci dengan diagram pareto untuk mengetahui.



Gambar 2: Diagram Pareto

Sumber: Pengolahan data penulis, 2020

Berdasarkan aturan 80–20 pada diagram pareto, maka *defect* yang perlu diperhatikan untuk adalah *defect* yang mempengaruhi 80% dari keseluruhan *defect* yang ada. Cacat *porosity* sebenarnya sudah mempengaruhi 88,5 persen dari *defect* keseluruhan. Cacat *slag inclusion* yang mempengaruhi sebanyak 9,5% dari *defect* keseluruhan yang menjadikan persen kumulatifnya menjadi 98,5%. Dan cacat *incomplete fusion* mempengaruhi sebanyak 1,5% dari *defect* keseluruhan. Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai DPMO untuk mengetahui tingkat kualitas perusahaan secara umum. Berdasarkan *tool* pada *isixsigma.com*, hasil perhitungan menunjukkan nilai sigma untuk DPMO sebesar 73.430,49 adalah 2,95  $\sigma$ , yang memasuki level nonkompetitif berdasarkan Tabel 1.

ENTER YOUR PROCESS OPPORTUNITIES AND DEFECTS AND PRESS THE "CALCULATE" BUTTON.

<p>Opportunities 1,784</p> <hr/> <p>Defects 131</p> <hr/> <p><input type="checkbox"/> Advanced Calculator</p> <p style="text-align: center; background-color: #333; color: white; padding: 5px; width: 60px; margin: 0 auto;">CALCULATE</p>	<p style="text-align: center;">The fields below will show the results of your process.</p> <p>DPMO 73,430.49327354261</p> <hr/> <p>Defects (%) 7.34</p> <hr/> <p>Yield (%) 92.66</p> <hr/> <p>Process Sigma 2.95</p> <hr/>
---	--

Gambar 3: Perhitungan Nilai Six Sigma

Sumber: *isixsigma.com*

### 3.3. Analisis

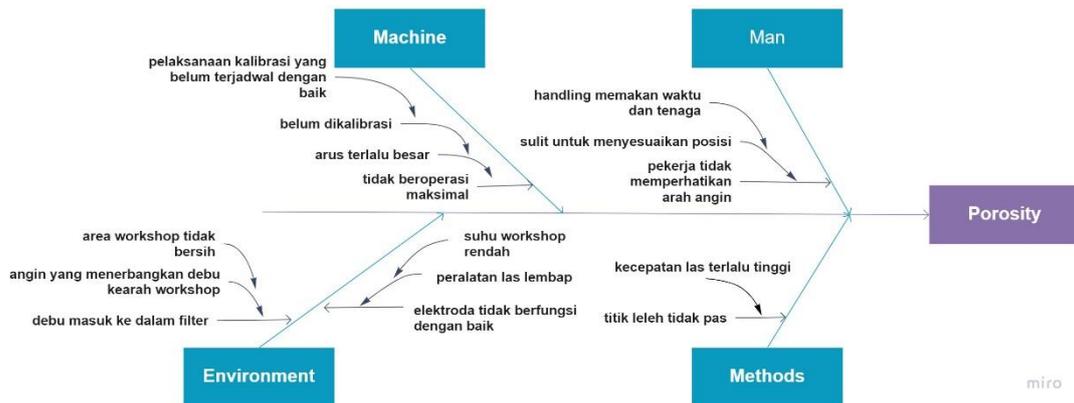
#### 1. Analisis terhadap *Defect* Kritis

Berdasarkan perhitungan *defect* kritis pada tahap *Measure*, maka didapatkan dua jenis *defect* yang menjadi *Critical to Quality* dari produk pipa *penstock*. Cacat *porosity* sebenarnya sudah mempengaruhi lebih dari 80%, yaitu 88,5 persen dari *defect* keseluruhan. Namun sebagai perbandingan, ditambahkan cacat *slag inclusion* yang mempengaruhi sebanyak 9,5% dari *defect* keseluruhan yang menjadikan persen kumulatifnya menjadi 98,5%.

*Porosity* merupakan jenis *defect* pada pengelasan berupa kantung udara yang berada dalam *filler* las yang sudah beku dalam hasil pengelasan. *Defect* ini biasanya disebabkan oleh proses pengisian las yang terlalu cepat (*travel speed* tinggi), ataupun elektroda yang lembab. *Defect porosity* merupakan *defect* yang tingkat kerugiannya paling tinggi diantara *defect* lainnya. Sedangkan *slag inclusion* adalah merupakan cacat las yang berupa terjebakanya benda nonlogam pada *filler* las.

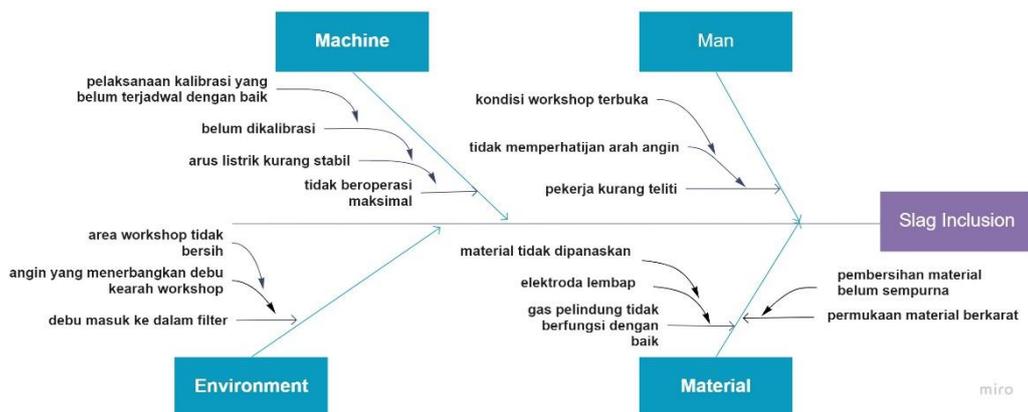
2. *Root Cause Analysis* (RCA)

Untuk permasalahan pada penelitian ini, karena faktor penyebab cukup banyak maka digunakan metode *fishbone* untuk mengetahui akar penyebab permasalahannya.



Gambar 4: *Fishbone Diagram* dari *Defect Porosity*  
 Sumber: Pengolahan data penulis, 2020

Dari *fishbone diagram* pada *defect porosity* dapat diketahui ada beberapa faktor yang menyebabkan *defect* ini, diantaranya yaitu faktor manusia, metode, mesin, dan lingkungan. Dari faktor manusia diketahui bahwasanya *handling* yang memakan waktu dan tenaga merupakan akar penyebab *defect* dari faktor manusia. Pada faktor metode diketahui bahwasannya kecepatan las terlalu tinggi merupakan akar penyebab *defect* dari faktor metode. Pada faktor mesin diketahui bahwa pelaksanaan kalibrasi yang belum terjadwal dengan baik menjadi akar penyebab *defect* pada faktor mesin. Pada faktor lingkungan diketahui bahwa *area workshop* tidak bersih dan suhu workshop rendah menjadi akar penyebab *defect* pada faktor lingkungan.



Gambar 5: *Fishbone Diagram* dari *Defect Slag Inclusion*  
 Sumber: Pengolahan data penulis, 2020

Dari *fishbone* pada dari *defect slag inclusion* diketahui ada beberapa faktor yang menyebabkan *defect* ini, diantaranya yaitu faktor manusia, material, mesin, dan lingkungan. Dari faktor manusia dapat diketahui bahwasannya kondisi *workshop* terbuka menjadi akar penyebab *defect* pada faktor manusia. Dari faktor material diketahui bahwa elektroda tidak dipanaskan dan pembersihan permukaan las belum sempurna menjadi akar penyebab *defect* pada faktor material. Pada faktor

mesin didapatkan bahwa pelaksanaan kalibrasi yang belum terjadwal dengan baik menjadi akar penyebab *defect* pada faktor mesin. Pada faktor lingkungan didapatkan bahwa faktor area *workshop* tidak bersih menjadi akar penyebab *defect* pada faktor lingkungan.

3. *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

FMEA digunakan untuk menghitung RPN supaya kemudian dilakukan *improvement* berdasarkan nilai *Risk Priority Number* (RPN). Hasil penilaian *Severity*, *Occurance*, dan *Detection* (SOD) berdasarkan kuesioner yang diberikan kepada inspektur pengelasan di bagian daltas (pengendalian kualitas) dan nilai RPN dari masing-masing penyebab *defect* dapat dilihat pada Tabel 8 dan 9 sebagai berikut:

Tabel 5: Nilai *Severity*, *Occurance*, dan *Detection* serta RPN dari jenis *Defect Porosity*

<b>Jenis Defect: Porosity</b>					
<i>Effect</i>	<i>Cause</i>	<i>Severity</i>	<i>Occurance</i>	<i>Detection</i>	RPN
Pipa dapat mengalami kebocoran atau dapat mengurangi <i>lifetime</i>	<i>Handling</i> yang memakan waktu dan tenaga	1	3	1	3
	Pelaksanaan kalibrasi yang belum terjadwal dengan baik	5	5	5	125
	Kecepatan mengelas terlalu tinggi	7	6	7	294
	Suhu <i>workshop</i> rendah	8	8	3	192
	Area <i>workshop</i> tidak bersih	3	3	9	81

Sumber: Pengolahan data penulis, 2020

Tabel 6: Nilai *Severity*, *Occurance*, dan *Detection* serta RPN dari jenis *Defect Slag Inclusion*

<b>Jenis Defect: Slag Inclusion</b>					
<i>Effect</i>	<i>Cause</i>	<i>Severity</i>	<i>Occurance</i>	<i>Detection</i>	RPN
Pipa pecah jika terdapat tekanan yang besar	Kondisi <i>workshop</i> terbuka	2	3	2	12
	Material tidak dipanaskan	8	8	7	448
	Pembersihan permukaan material belum sempurna	7	7	7	343
	Pelaksanaan kalibrasi yang belum terjadwal dengan baik	5	5	5	125
	Area <i>workshop</i> tidak bersih	3	3	8	72

Sumber: Pengolahan data penulis, 2020

Berdasarkan nilai RPN yang telah dihitung, diambil tiga peringkat teratas akar penyebab masalah kualitas pada pengelasan pipa *penstock*. Tiga penyebab tersebut masuk ke dalam klasifikasi *very high* berdasarkan tabel klasifikasi RPN yang berarti sangat butuh untuk diprioritaskan untuk dicari usulan perbaikannya. Berikut tabel peringkat RPN akar penyebab masalah pada pipa *penstock*:

Tabel 7: Peringkat RPN penyebab cacat las pipa *penstock*

Peringkat prioritas	Jenis Defect	Cause dengan RPN tertinggi	RPN
1	<i>Slag Inclusion</i>	Material tidak dipanaskan	448
2	<i>Slag Inclusion</i>	Pembersihan permukaan material belum sempurna	343
3	<i>Porosity</i>	Kecepatan mengelas terlalu tinggi	294

Sumber: Pengolahan data penulis, 2020

### 3.4. Perbaikan

Pada tahap *improve* ini dilakukan usulan-usulan perbaikan yang berdasarkan hasil dari analisis FMEA. Usulan solusi perbaikan diberikan berdasarkan diskusi dengan pihak perusahaan. Usulan yang diberikan berdasarkan hasil tiga nilai RPN tertinggi hingga terendah sesuai dengan skala prioritas untuk ditangani:

Tabel 8 : Cause dengan RPN tertinggi dan usulan perbaikan

Peringkat prioritas	Jenis Defect	Cause dengan RPN tertinggi	Usulan Perbaikan
1	<i>Slag Inclusion</i>	Material tidak dipanaskan	Menyediakan termos elektroda sebelum proses pengelasan dan memanaskan elektroda. Hal ini termasuk dalam <i>checklist</i> bagian Daltas.
2	<i>Slag Inclusion</i>	Pembersihan permukaan material belum sempurna	Menggerinda 2 tahap, tahap pertama berdasarkan amatan operator, tahap dua berdasarkan amatan dari Bagian Daltas.
3	<i>Porosity</i>	Kecepatan mengelas terlalu tinggi	Mengatur ampere pada alat las setiap sebelum mengelas, pengaturan <i>travel speet</i> mengikuti standar <i>Welding Procedure Specification</i> (WPS).
4	<i>Porosity</i>	Suhu <i>workshop</i> rendah	Dibuatnya SOP pelaksanaan pemanasan benda kerja (elektroda) sebelum dipergunakan.
5	<i>Slag Inclusion &amp; Porosity</i>	Pelaksanaan kalibrasi yang belum terjadwal dengan baik	Dibuatnya jadwal rutin kalibrasi alat dan label <i>checklist</i> pada alat sebagai informasi pelaksanaan kalibrasi
6	<i>Slag Inclusion &amp; Porosity</i>	Area <i>workshop</i> tidak bersih	Penambahan intensitas pembersihan <i>workshop</i> oleh bagian terkait pada pagi dan siang hari

Sumber: Pengolahan data penulis, 2020

### 4. Kesimpulan

Berdasarkan pengolahan data dan analisis yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Cacat las yang terdapat pada pipa *penstock* Proyek Karian adalah *Porosity* sebanyak 116 cacat, *Slag Inclusion* sebanyak 13 cacat, dan *Incomplete Fusion* sebanyak 2 cacat.
2. Pada analisis CTQ *porosity* yang mempengaruhi 88,5 persen. Tetapi karena hanya satu cacat saja sudah melebihi 80%, maka digunakan *slag inclusion* sebagai perbandingan. *Slag Inclusion* mempengaruhi sebanyak 9,9% dan persentase kumulatifnya sebesar 98,5%. Hasil perhitungan nilai sigma untuk DPMO sebesar 73.430,49 adalah 2,951  $\sigma$ , yang memasuki level nonkompetitif. Faktor penyebabnya ada pada cacat las *porosity*, yaitu: pelaksanaan kalibrasi yang belum

terjadwal dengan baik, kecepatan mengelas terlalu tinggi, suhu *workshop* rendah. Sedangkan pada cacat *slag inclusion*, yaitu: material elektroda tidak dipanaskan, pembersihan permukaan material belum sempurna, dan pelaksanaan kalibrasi yang belum terjadwal dengan baik.

3. Rekomendasi untuk dapat menanggulangi cacat produk diantaranya, yaitu menyediakan termos elektroda sebelum proses pengelasan dan memanaskan elektroda (hal ini termasuk dalam *checklist* bagian pengendalian kualitas (daltas)), menggerinda 2 tahap: tahap pertama berdasarkan amatan operator dan tahap dua berdasarkan amatan dari bagian daltas, mengatur ampere pada alat las setiap sebelum mengelas, mengikuti standar acuan WPS, dibuatnya SOP pelaksanaan pemanasan benda kerja (elektroda) sebelum dipergunakan, dibuatnya jadwal rutin kalibrasi alat dan label *checklist* pada alat sebagai informasi pelaksanaan kalibrasi, serta penambahan intensitas pembersihan *workshop* oleh bagian terkait pada pagi dan siang hari. Terdapat pula rekomendasi perbaikan secara umum, rekomendasinya yaitu setelah *welder* mendapat sertifikat kualifikasi *welder*, wajib mendapat pengajaran tambahan terkait WPS, dan pada bagian daltas diadakan jadwal pengecekan mesin las tiap 6 bulan sekali.

#### Daftar Pustaka

- Assauri, S. (2008) *Manajemen Produksi dan Operasi edisi revisi*, Jakarta: Lembaga Penerbit Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia.
- Desy, I., Hidayanto, B. C., dan Astuti, H. M. (2014) 'Penilaian risiko keamanan informasi menggunakan metode failure mode and effects analysis di divisi TI PT. Bank XYZ Surabaya' dalam *Seminar Nasional Sistem Informasi Indonesia*, Surabaya, Indonesia: SESINDO.
- Gaspersz, V. (2007) *Lean Six Sigma for Manufacturing and Service Industries*, Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Irwan, I. dan Haryono, D. (2015) *Pengendalian Kualitas Statistik (Pendekatan Teoritis dan Aplikatif)*, Bandung: Alfabeta.
- Jucan, G. (2005) 'Root cause analysis for IT incidents investigation', Toronto, Ontario.
- Kabir, M. E., Bobby, S. M. M. I., dan Lutfi, M. (2013) 'Productivity improvement by using Six Sigma', *International Journal of Engineering and Technology*, Vol. 3, No. 12: 1056-1084.
- Putra, B. I. (2010) 'Penerapan metode Six Sigma sebagai usaha untuk memperkecil kecacatan produk Fraypan merek Revere Wera di CV. Corning Sidoarjo', *Jurnal Teknik Industri*, Vol. 11, No. 2: 134-142.
- Thomas, Pyzdek dan Keller, P. A. (2010). *The Six Sigma Handbook: A Complete Guide for Green Belts, Black Belts, and Managers at All Levels*. New York: McGraw-Hill Companies.
- Waluyo, D.A., Koesdijati, T., dan Utomo, Y. (2020) *Pengendalian Kualitas*. Surabaya: Scopindo Media Pustaka.