



Pengendalian Kualitas Pengelasan Pada Proyek *Pipeline Sabar#2*

Teguh Junianto^{a,*}, Imam Bayhaqi^a, Erna Rahayu^b

^a Program Studi Teknik Industri, Sekolah Tinggi Teknologi Nasional, Jln Kapten Patimura No. 100. Kota Jambi, Indonesia

^b Program Studi Teknik Industri, Sekolah Tinggi Teknologi Nasional, Jln Kapten Patimura No. 100. Kota Jambi, Indonesia

INFO ARTIKEL

Riwayat Artikel:

Diterima 00 Desember 00

Diterima setelah direvisi 00 Januari 00

Disetujui 00 Februari 00

Kata kunci:

Defect Per Million Opportunities

Pipeline

Pengendalian Kualitas

Abstract- PT. ICG is a company that handles the pipeline welding process at PetroChina Jabung Ltd. The welding process carried out is cutting, rolling, pressing and painting. The problem that occurs is that 243 defects are found from the output of 457 welding points. The types of defects after the welding process included 106 points of Root Cancellation defects, 99 points of Incomplete fusion, 29 points of Porosity, 8 points of Slug Inclusion, and 1 point of Tungsten Inclusion. This study aims to control quality by looking at the sigma value of the pipeline production process and analyzing the improvements that should be made to reduce the defects that occur. The results of the calculation of Defect Per Million Opportunities (DPMO) show that the number of welding defects that arise every one million opportunities is 174,10. The quality of the welding process in the pipeline Sabar # 2 project is at a sigma value of 2,43 with a DPMO value of 174,10. From the results of the sigma value obtained, this value is still far from the expectations of Petrochina's management to achieve a minimum sigma value of 4,0. The potential causes of weld defects include welding machines, work errors, work methods and work environment.

Intisari- PT. ICG adalah sebuah perusahaan yang menangani proses pengelasan pipeline di PetroChina Jabung Ltd. Proses pengelasan yang dilakukan adalah pemotongan pipa, rolling, pressing dan painting. Permasalahan yang terjadi yaitu ditemui cacat sebanyak 243 dari output 457 titik pengelasan. Jenis cacat setelah proses pengelasan di antaranya adalah cacat Root Cancavity sebanyak 106 titik, Incomplete fusion sebanyak 99 titik, Porosity sebanyak 29 titik, Slug Inclusion sebanyak 8 titik, dan Tungsten Inclusion sebanyak 1 titik. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan pengendalian kualitas dengan melihat nilai sigma proses produksi pipeline dan menganalisis perbaikan yang sebaiknya dilakukan untuk mengurangi cacat yang terjadi. Hasil perhitungan Defect Per Million Opportunities (DPMO) menunjukkan bahwa jumlah kecacatan pengelasan yang muncul setiap satu juta kesempatan adalah 174,10. Kualitas proses pengelasan pada proyek pipeline Sabar#2 berada pada nilai sigma 2,43 dengan nilai DPMO sebesar 174,10. Dari hasil nilai sigma yang di dapat, nilai ini masih jauh dari harapan manajemen Petrochina untuk mencapai nilai sigma minimum 4, 0. Faktor-faktor penyebab potensial dari weld defect diantaranya adalah Welding machine, kesalahan kerja, metode kerja dan lingkungan kerja.

1. Pendahuluan

Kebutuhan minyak dan gas di dunia terus meningkat dari tahun ke tahun, lebih dari 38 juta rumah dan industri serta berbagai pelayanan penting lainnya, yang dilayani oleh 800.000 mil jaringan transmisi

mengelola pipa, Pertamina selaku Badan Usaha Milik Negara (BUMN) jaringan transmisi tergantung pada minyak dan gas bumi sebagai sumber energi [1]. Dalam industri Migas, *pipeline* merupakan komponen utama yang digunakan sebagai sarana distribusi dan transmisi minyak dan gas baik di daratan (*onshore*) maupun di lepas pantai (*offshore*).

* Corresponding Author:

E-mail: xxxx@politeknikjambi.ac.id (Xxxx Xxxx)

Proses pengelasan adalah ikatan metalurgi antara bahan dasar yang di las dengan elektroda las yang digunakan, melalui energi panas. Pengelasan menurut DIN (*Deutsche Industrie Normen*) adalah suatu ikatan metalurgi pada sambungan logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair [2]. Dapat dijabarkan lebih lanjut adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas [3, 4].

Dalam rangka peningkatan produksi Gas dan minyak, pada tahun 2019, Petrochina International Jabung Ltd, melakukan pengembangan sumur di lokasi Sabar, tepatnya di Tanjung Jabung Barat. Perusahaan melakukan pembangunan jalur *pipeline*, Size 6 Incih dengan panjang \pm 2,2 km dari sumur Sabar#2 menuju pipa yang sudah ada sebelumnya.

PT. ICG adalah salah satu pemenang kontrak kerja untuk pekerjaan pipeline sabar#2 tersebut. PT. ICG adalah sebuah perusahaan Industri manufaktur bejana tekan. Dalam manufaktur proses pengelasan adalah sebagai proses intinya pekerjaan ini, seperti pemotongan, *rolling*, *pressing* dan *painting*. Permasalahan yang terjadi setelah proses pengelasan terdapat cacat sebanyak 243 dari *output* 457 titik pengelasan, di antaranya adalah cacat *Root Concavity* 106, *Incomplete fusion* 99, *Porosity* 29, *Slug Inclusion* 8, dan *Tungsten Inclusion* 1.

Pengendalian kualitas adalah kegiatan yang dilakukan untuk menjaga konsistensi kualitas produk dan jasa yang dihasilkan agar sesuai dengan tuntutan kebutuhan pasar [5]. Dalam rangka mengurangi jumlah cacat, maka metode *six sigma* sebagai analisis *defect* pengelasan diharapkan menemukan penyebab utama tingginya cacat pengelasan dan mengusahakan perbaikan untuk mendapatkan hasil yang maksimal. *Six Sigma* adalah sebuah proses bisnis untuk memperbaiki mutu, mengurangi biaya, dan meningkatkan kepuasan pelanggan [6]. Di dalam penerapan *six sigma* faktor-faktor penyebab yang mempengaruhi *defect* pada produk dapat diketahui dengan tujuan mengurangi *defect* yang terjadi pada saat proses produksi dalam peningkatan kualitas [7].

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan pengendalian kualitas dengan melihat nilai sigma proses produksi *pipeline* dan menganalisis perbaikan yang sebaiknya dilakukan untuk mengurangi cacat yang terjadi. Hasil analisis ini diharapkan menjadi pertimbangan kebijakan perusahaan dalam menyusun kebijakan peningkatan mutu untuk menurunkan cacat yang terjadi.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode Six Sigma, metode six sigma merupakan sebuah metodologi terstruktur untuk memperbaiki proses yang difokuskan pada usaha mengurangi variasi proses sekaligus mengurangi cacat (produk/jasa yang diluar spesifikasi) dengan menggunakan statistik dan problem solving tools secara intensif. Six Sigma dapat diterjemahkan sebagai proses yang mempunyai

kemungkinan cacat sebesar 0.00034% atau sebanyak 3,4 buah dalam satu juta produk [8].

Six sigma merupakan pendekatan menyeluruh untuk menyelesaikan masalah dan meningkatkan proses melalui fase *Define, Measure, Analyze, Improve, Control (DMAIC)*. Strategi penerapan *six sigma* yang diciptakan oleh DR. *Mikel Harry* dan *Richard Schroeder* disebut sebagai *the six sigma Breakthrough Strategy*. Strategi ini merupakan metode sistematis yang menggunakan pengumpulan data dan analisis statistik untuk menentukan sumber-sumber variasi dan cara-cara untuk menghilangkannya [9].

Dalam rangka peningkatan produksi Minyak dan Gas di PetroChina Jabung Ltd terdapat permasalahan kecacatan pada suatu proses pengelasan. Berdasarkan data produksi pengelasan dan kerusakan yang terjadi maka tahapan penelitian menggunakan *six sigma* terdiri dari (*Define, Measure, dan Analyze*) Metode ini digunakan untuk mengantisipasi terjadinya kesalahan atau *defect* (cacat) dengan menggunakan langkah-langkah terukur dan terstruktur yang meliputi tahapan proses:

Tahapan Define : Merupakan fase penetapan masalah yang terjadi pada pengelasan di antaranya adalah (a) Identifikasi *Critical to Quality (CTQ)*. Dalam tahap proses pengelasan terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi kualitas pengelasan, salah satunya adalah cacat. (b) Perancangan *Pareto Chart*. Membuat informasi tentang kecacatan yang terjadi /persentase nilai kecacatan yang tertinggi dari suatu pengelasan. (c) Perancangan Diagram SIPOC . Perancangan diagram SIPOC adalah proses *mapping* / proses memberikan gambaran bagai mana langkah-langkah proses pengelasan yang di lakukan dan ketergantungan pada proses –proses sebelumnya.

Tahapan Measure : Mengukur tingkat ke cacatan dan tingkat kinerja. (a) Pengukuran stabilitas proses pada pengelasan. (b) Menentukan nilai *Center line* pada pengelasan melalui perhitungan dengan membagi jumlah banyaknya cacat per jumlah sampel keseluruhan. (c) Menghitung nilai *Defect Per Million Opportunities (DPMO)* Mengidentifikasi beberapa banyak cacat atau defect yang terjadi dalam satu juta peluang dan menghitung nilai sigma produk pada setiap proses .

Tahapan Analyze: Merupakan fase mencari dan menentukan penyebab dari suatu masalah. (a) Mengidentifikasi cacat dengan diagram sebab akibat. (b) Analisis konsep 5W-IH. Konsep ini ditujukan untuk mendefinisikan jenis cacat yang akan di carikan usulan perbaikan.

3. Hasil Pembahasan

3.1 Define

Merupakan Langkah awal dalam pelaksanaan metodologi *Six Sigma* dimana mengidentifikasi secara jelas masalah-masalah yang

terjadi. Dalam tahap *define* ini dapat diketahui bahwa terdapat jumlah cacat las /*defect weld* pada pekerjaan pengelasan pipeline Sabar#2.

a) Identifikasi *Critical to Quality (CTQ)*

Tabel 1. Identifikasi Critical to quality pada proyek sabar#2

Jenis Cacat	Diskripsi
<i>Root Cancavity</i>	<i>Rod Cancavity</i> adalah cacat pengelasan yang dikarenakan terjadinya cekungan pada bagian root (akar) lasan.
<i>Incomplete Fusion</i>	<i>Incomplete Fusion</i> adalah cacat las yang tidak sempurna antara proses sambungan logam las dan logam induk.
<i>Porosity</i>	Cacat <i>Porosity</i> adalah sebuah cacat pengelasan yang berupa sebuah lubang lubang kecil pada <i>weld</i> metal (logam las), dapat berada pada permukaan maupun di dalamnya.
<i>Slag Inclusion</i>	<i>Slag Inclusion</i> adalah suatu cacat las karena terperangkapnya suatu <i>slag</i> atau <i>flux</i> yang mencair didalam suatu proses pengelasan.
<i>Tungsten Inclusion</i>	<i>Tungsten Inclusion</i> adalah cacat pengelasan karena pelehan <i>tungsten</i> pada pengelasan yang kemudian melebur menjadi satu dengan <i>weld</i> metal.

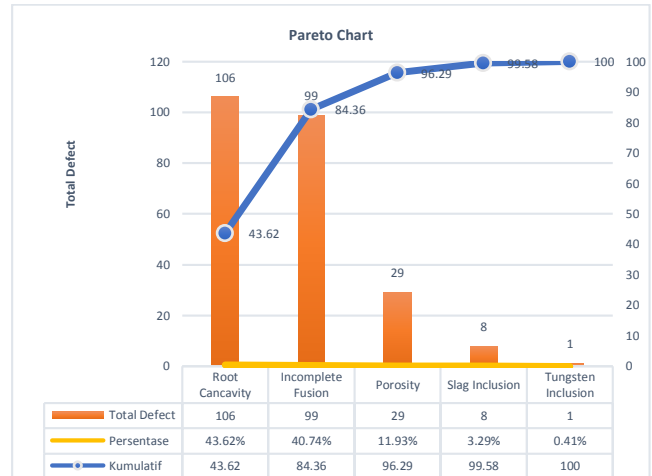
Berikut adalah data cacat pengelasan (*welding defect*) yang telah diperoleh setiap minggunya oleh pihak QC (*Quaty Control*) PT. ICG selama project *pipeline* Sabar#2 berlangsung.

Tabel 2. Rekapitulasi pengelasan sabar#2 Tahun 2019.

Minggu	Output	Defect Qty	<i>Root Cancavity</i>	<i>Incomplete Fusion</i>	<i>Porosity</i>	<i>Slag Inclusion</i>	<i>Tungsten Inclusion</i>
I	105	66	31	18	15	1	1
II	101	57	29	21	6	1	-
III	92	53	25	24	2	2	-
IV	85	47	15	27	2	3	-
V	74	20	6	9	4	1	-
total	457	243	106	99	29	8	1
Persentase			43,62%	40,74%	11,93%	3,29%	0,41%

Persentase didapat dengan cara perhitungan jumlah cacat dibagi total jumlah *defect*.

- 1) *Root cancavity* .jumlah cacat dibagi total defect. $106 : 243 = 43,62\%$
- 2) *Incomplete .Fusion* jumlah cacat dibagi total defect. $99 : 243 = 40,74\%$
- 3) *Porosity* .jumlah cacat dibagi total defect. $29 : 243 = 11,93\%$
- 4) *Slag Inclusion* .jumlah cacat dibagi total defect. $8 : 243 = 3,29\%$
- 5) *Tungsten Inclusion* . jumlah cacat dibagi total defect . $1 : 243 = 0,41\%$



Gambar 1. Pareto Chart

Berdasarkan informasi pada pareto diatas bahwa terdapat cacat tertinggi yang terjadi pada cacat *Root Cancavity* 43,62% *Incomplete Fusion* 40,74% *Porosity* 11,93% *Slag Insulation* 3,29% dan *Tungsten Inclusion* 0,41% Berdasarkan prinsip analisis menggunakan diagram pareto yaitu dengan aturan 80%-20%, maka ditetapkan bahwa jenis cacat yang ditetapkan dari yang tertinggi sebagai *Critical to Quality (CTQ)* adalah *Root Cancavity, Incomplete Fusion, dan Porosity*

3.2 Diagram SIPOC

Perancangan diagram SIPOC bertujuan untuk lebih memahami proses, dimulainya dari *Supplier* hingga *Customer*. Pada diagram SIPOC seperti (*Supplier, Input, Process, Output, and Customer*) ini menjelaskan secara lengkap alur proses mulai dari pemasok (*supplier*) sampai pada pelanggan (*customer*).



Gambar 2. Diagram SIPOC

3.3 Measure

Pengukuran merupakan fase kedua dari konsep Six Sigma. Dalam tahap ini akan dilakukan beberapa analisis untuk menentukan bagaimana kondisi proses pengelasan.

a) Pengukuran Stabilitas proses pengelasan. Pengukuran stabilitas proses pengelasan di dilakukan melalui alat (*tools*) *Statistical Process Control* (SPC). Karena berdasarkan jenis data yang digunakan adalah data jumlah cacat suatu pengelasan yang diperiksa dengan jumlah sampel yang berbeda di setiap minggu, karena pada satu berkas *radiography film* yang dihasilkan dapat memiliki beberapa kecacatan. Data cacat yang di peroleh pada proyek *pipeline Sabar#2* priode November hingga Desember-2019 akan di gunakan untuk menentukan batas kendali atas dan batas kendali bawah.

Tabel 3. Pengukuran stabilitas pengelasan sabar#2

Minggu	Output Radiography	Defect Qty	Internal Cavcavity	Incomplete Fusion	Porosity
I	103	64	31	18	15
II	100	56	29	21	6
III	90	51	25	24	2
IV	82	44	15	27	2
V	73	19	6	9	4
Total	448	234	106	99	29

b) Menentukan Nilai *Center Line*.

Nilai *Center line* berfungsi sebagai acuan pengontrolan pada proses pengelasan. Nilai *Central Line* dapat diketahui melalui perhitungan dengan membagi jumlah banyaknya Cacat (234) per jumlah sampel keseluruhan (5), dengan rumus sebagai berikut.

$$CL = C = \frac{\sum_{i=1}^m D_i}{\sum_{i=1}^m n_i} \quad (1)$$

$$Central Line = \frac{234}{5}$$

$$Central Line = 46,8$$

Menentukan batas kendali atas *Upper Control Limit (UCL)* Nilai *UCL 67,3231 Upper Control Limit* dapat di lakukan perhitungan dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$UCL = C + 3 \sqrt{c} \quad (2)$$

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

$$UCL = 46,8 + 20,5231$$

$$UCL = 67,3231$$

Menentukan batas kendali bawah *lower Control Limit (LCL)*. Nilai *LCL 26,2768* adalah sebagai batas nilai kontrol cacat pada kontrol kendali bawah. perhitungan dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

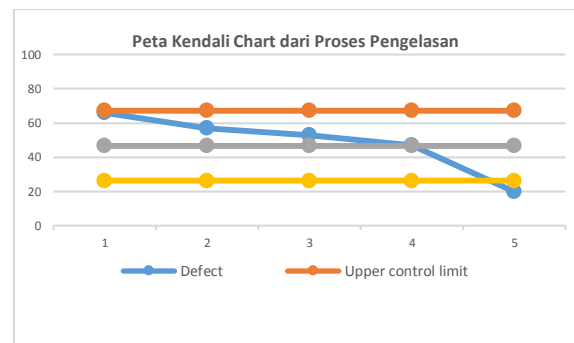
$$LCL = C - 3 \sqrt{c} \quad (3)$$

$$LCL = 46,8 - 3 \sqrt{46,8}$$

$$LCL = 46,8 - 20,5231$$

$$LCL = 26,2768$$

Berdasarkan data yang di dapat dan di tampilkan terlihat bahwa selama priode proyek pengelasan *pipeline Sabar#2* dari bulan November 2019- hingga Desember-2019 memiliki nilai tengah (*Central Line*) sebesar 46,8 selanjutnya nilai batas kendali atas (*Upper Control Limit*) sebesar 67,3231 dan nilai batas kendali bawah (*Lower Control Limit*) adalah sebesar 26,2768.



Gambar 3. Peta Kendali

Batas kendali atas (*Upper Control Limit*) dan batas kendali bawah *lower Control Limit* merupakan suatu alat dalam mengendalikan proses yang bertujuan untuk menentukan suatu proses berada dalam pengendalian atau tidak.

c) Menghitung Nilai *Defect Per Million Opportunities (DPMO)*

Tabel 4. Nilai defect permillion opportunities.(DPMO)

Minggu	Output Radiography	Jumlah Cacat (Defect)	DPO	DPMO	Sigma Level
I	103	64	0,6213	20,71198	2,31
II	100	56	0,56	18,66667	2,39
III	90	51	0,5667	18,88889	2,38
IV	82	44	0,5365	17,88618	2,41
V	73	19	0,2602	86,75799	2,87
Total	448	234	0,52232	17,41071	2,43

Berdasarkan hasil pengukuran kapabilitas proses pengelasan yang mengalami kecacatan sebesar 234 titik pengelasan dari total *Output* 448 *radiography films* yang dihasilkan dari proses *Non Destructive Testing* (NDT).

$$DPMO = \frac{\text{Jumlah Cacat}}{\text{Output Radiography} \times CTQ} \times 1000.000 \quad (4)$$

$$DPMO = \frac{234}{448 \times 3} \times 1000.000$$

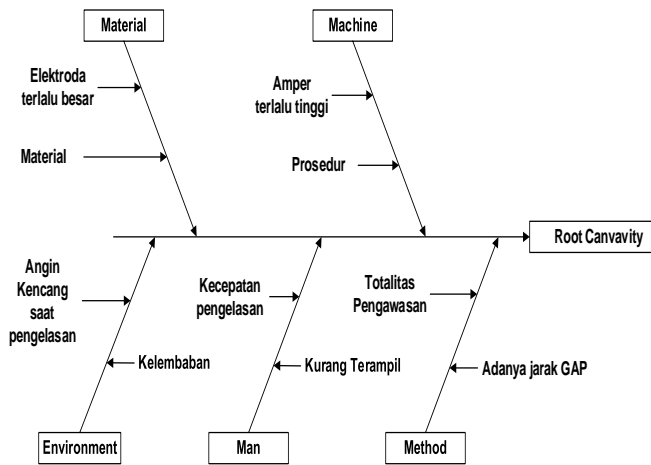
$$DPMO = 0,17410 \times 1000.000 = 174,10$$

Hasil perhitungan DPMO menunjukkan bahwa jumlah kecacatan pengelasan yang muncul setiap satu juta kesempatan adalah 174,10. kualitas proses pengelasan pada proyek pipeline Sabar#2 berada pada nilai sigma 2,43 dengan nilai DPMO sebesar 174,10. Dari hasil nilai sigma yang di dapat, nilai ini masih jauh dari harapan manajemen Petrochina untuk mencapai nilai sigma minimum 4, 0.

3.4 Analyze

Pada tahap ini di lakukan analisis dan identifikasi mengenai sebab akibat timbulnya masalah yang terjadi atau cacat yang terjadi.

a) Analisis Diagram sebab akibat.

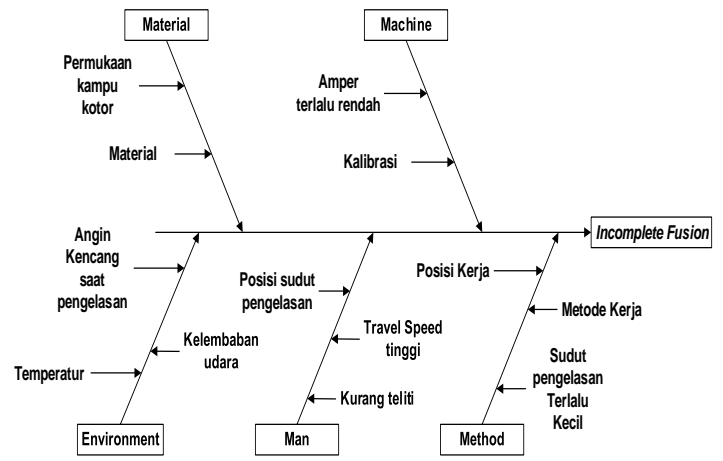


Gambar 4. Diagram Sebab Akibat Cacat Root Cavidity

Tabel 5. Faktor terjadinya cacat root cavcavity

Faktor penyebab	Akibat	Solusi
Amper root terlalu tinggi.	Melemahnya Sambungan	Kalibrasi mesin

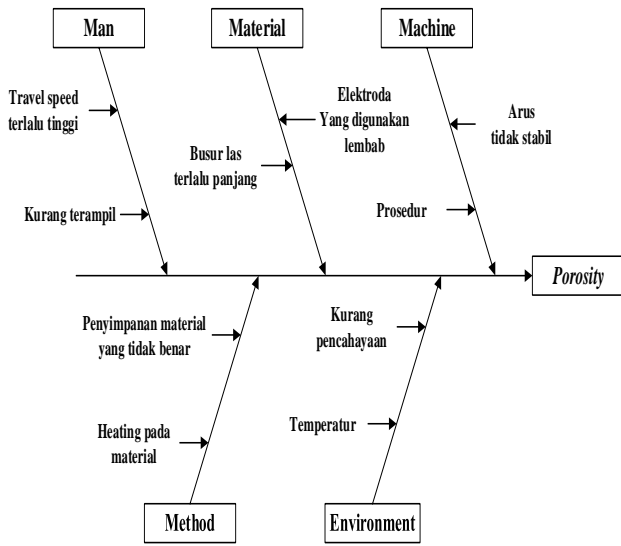
Elektrod terlalu besar		Gunakan elektroda sesuai <i>Welding procedur</i>
Kecepatan pengelasan		<i>Welding inspector</i> harus monitor pengelasan
Gab terlalu besar.		Fase <i>Fit-up</i> harus di monitor
Angin		Buat protek angin saat melakukan pengelasan



Gambar 5. Diagram Sebab Akibat Cacat Incomplete Fusion

Tabel 6. Faktor terjadinya cacat root Incomplete fusion.

Faktor penyebab	Akibat	Solusi
Posisi sudut las salah	Timbul <i>Notch</i> yang berpotensi retak	Memperbaiki sudut las <i>repair</i> kembali
Amper terlalu rendah	Melemahnya sambungan	Menaikkan Ampere sesuai dengan WPS atau Ampere <i>Recomended</i> .
Permukaan kampu kotor		Bevel pipa sebelum di las.
Kecepatan pengelasan		<i>Welding inspector</i> harus monitor pengelasan



Gambar 6. Diagram Sebab Akibat Cacat *Rood Porosity*

Tabel 7. Faktor terjadinya cacat *root Porosity*

Faktor penyebab	Akibat	Solusi
Arus naik turun.	Korosi	Ampere disesuaikan prosedur
Elektroda yang di gunakan masih lembab.	Lemahnya daya tahan penyambungan.	Menyediakan <i>open</i> Elektroda di tempat pengelasan.
Travel pengelasan terlalu cepat		<i>Welding inspector</i> harus monitor pengelasan
Material Lasan kotor		Pastikan saat <i>Fit-up</i> material bersih.

(b) Analisis Konsep 5W-1H.

Konsep ini ditujukan untuk mendefinisikan jenis cacat dari proses pengelasan dan akan dicarikan usulan perbaikannya. Faktor-faktor yang akan dianalisis adalah *machine*, material, manusia, dan *method*. Analisis konsep 5W-1H dapat dilihat pada Tabel 8, Tabel 9, dan Tabel 10.

Tabel 8. Diagram sebab akibat cacat *root Porosity*

Faktor	Manusia	Material	Machine	Method
What	Kemampuan blm merata	Brus pembersih tdk sesuai.	Pemeliharaan blm baik	Parameter penyetingan
Who	Juru las	Logistik	Mekanik	Pipe fitter
Where	workhop	Lokasi sabar#2	Lokasi sabar#2	workhop
When	Sif Malam	Sif siang	Sif siang	Sif Malam
Why	Pemahaman rendah	Pembersihan tidak maksima	Belum konsisten pemeliharaan	Belum ada standar tetap
How	Mengadakan pelatihan	Menyediakan material	Pemeliharaan teratur.	Menetapkan standar

Tabel 9. Konsep 5W+IH pada cacat *Incomplete Fusion*

Faktor	Machine	Material	Manusia	Method
What	Umur mesin singkat	Parameter kawat las	Kelelahan berlebihan	Pemeriksaan dalam proses
Who	Mekamik	Juru Las	Juru las	Engginer
Where	Lokasi Sabar#2	Okasi Tie-in sabar#2	Workshop	Sabar#2
When	Sif siang	Sif siang	Sif siang	Sif siang
Why	komponen tdk sesuai	Pengapian kawat Las susah	Ruang kerja pa nas byk asap.	Blm ada petunjuk krj baku.
How	Menetapkan penggantian	Kawat las harus sesuai	Perbaiki pentilasi udara	Membuat petunjuk kerja

Tabel 10. Konsep 5W+IH pada cacat porosity

Faktor	Machine	Material	Manusia	Method
What	Indikator tdk baik.	Persiapan kampuh las	Motivasi kerja rendah	Peraturan disiplin kerja
Who	Mekamik	Jurtru Las	Juru Las	Pekerja
Where	Lokasi lembur	Lokasi sabar#2	Lokasi Tie-in	Lokasi sabar#2
When	Sif siang	Sif siang	Sif malam	Sif siang dan malam
Why	Peralatan tdk layak	Kampuh las blm bersih	Tidak ada tindak dakan prbaikan	Peraturan tdk konsisten
How	Pemeriksaan pisik mesin.	Perbaiki metode pembersih	Berikan reward pkerja	Pemberian san ngsi tegas.

4. KESIMPULAN

Hasil analisis yang dilakukan selama proyek *pipeline* Sabar #2 dan berdasarkan data penelitian dari masalah yang terjadi maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Dengan menerapkan metode Six Sigma maka perusahaan dapat mengidentifikasi masalah-masalah yang terjadi pada proyek sabar#2 periode November-Desember 2019. Penetapan *Critical to Quality* (CTQ) masalah seperti cacat *Root Cancavity* sebesar 43,62%, *Incomplete Fusion* sebesar 40,74%, *Porosity* sebesar 11,93% *Slag Inclusion* sebesar 3,29% dan *Tungsten Inclusion* 0,41%.
2. Berdasarkan perhitungan menggunakan metode Six Sigma hasil rata-rata tingkat sigma sebesar 2,43 dengan nilai DPMO sebesar 174,10. Nilai ini masih jauh dari harapan manajemen Petrochina untuk mencapai nilai level sigma 4, 0.
3. Berdasarkan analisis yang dilakukan faktor-faktor penyebab potensial dari *weld defect* diantaranya adalah *Welding machine*, kesalahan kerja, metode kerja dan lingkungan kerja.

Referensi

- [1] KESDM. (2015b). Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM).
- [2] Bintoro, G.A. Dasar-Dasar Pekerjaan Las. Jilid I. Penerbit Kanisius. Yogyakarta. 1999.
- [3] Wiryosumarto, H. dan T. Okumura. Teknologi Pengelasan Logam. PT Pradnya Paramita. Jakarta. 2000.
- [4] Widharto, S. Welding Inspection, Mitra Wacana Media, Jakarta. 2013.
- [5] Schroeder, Roger G., et al. Operations Management 5th edition. Avenue of The Americans. New York: McGraw-Hill. 2011.
- [6] Stevenson, William J., & Chuong, Sum Chee. Operations Management: An Asian Perspective. New York: McGraw-Hill. 2014.
- [7] Kusumawati, A., & Fitriyeni, L. Pengendalian Kualitas Proses Pengemasan Gula Dengan Pendekatan Six Sigma. *Jurnal Sistem Dan Manajemen Industri*, 2017. 1(1), 43–48.
- [8] Gaspersz, Vincent. Pedoman Implementasi Six Sigma Terintegrasi dengan ISO 9001:2000, MBNQA, dan HACCP. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama. 2002.
- [9] Kumar, Dhiraj & Deepak Kaushish. Scrap Reduction in a Piston Manufacturing Industry: An Analysis Using Six Sigma and DMAIC Methodology. *The IUP Journal of Operations Management*, 2015. Vol. XIV, No.2.