

USULAN PERBAIKAN KUALITAS PRODUK PIPA BAJA LAS SPIRAL MENGGUNAKAN METODE *SIX SIGMA* BERDASARKAN *DESIGN OF EXPERIMENT (DOE)* DI PT. XYZ

Sandria Sandi¹, Maria Ulfah², Putro Ferro Ferdinant³

¹ Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Banten
sandri.sandria@gmail.com¹

² Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Banten
maria67_ulfah@yahoo.com²

³ Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Banten
putro.ferro@ft-untirta.ac.id³

ABSTRAK

Salah satu produk manufaktur yang dibutuhkan masyarakat adalah produk pipa baja. PT. XYZ merupakan perusahaan yang bergerak di bidang manufaktur dan menghasilkan produk berupa pipa baja las spiral dan las longitudinal. Berdasarkan data kontrol divisi *quality control* bulan Desember 2015, ditemukan permasalahan yaitu terdapat pipa hasil produksi dari beberapa karakteristik yang berpotensi terjadinya cacat atau disebut dengan *critical to quality* dengan jumlah kecacatan sebanyak 131. Pada penelitian ini akan diberikan usulan perbaikan menggunakan metode *six sigma*. Tujuan penelitian ini adalah menentukan *critical to quality* yang terjadi pada produk pipa baja las spiral, menghitung nilai rata-rata tingkat kemampuan *sigma* dan klasifikasinya pada produk pipa baja las spiral di PT. XYZ, menentukan faktor apa yang dominan berisiko menyebabkan jenis kecacatan potensial berdasarkan nilai RPN, memberikan usulan kondisi optimal dari proses produksi untuk memperbaiki kualitas produk berdasarkan *factorial experiment*. Berdasarkan hasil penelitian, tingkat kemampuan *sigma* yang telah dicapai oleh PT. XYZ sebesar 3,608. Faktor mesin adalah faktor yang memiliki risiko paling tinggi menyebabkan kecacatan dominan (*high-low*). Usulan kondisi optimal mesin yang diberikan untuk memproduksi produk pipa baja las spiral ASTM A252 di SPM 1800 adalah ukuran material (914-1020) x (10-16) mm, tegangan mesin 950-1000 A/V, dan kecepatan mesin 0,75-0,85 m/min.

Kata Kunci : *critical to quality, factorial experiment, RPN, six sigma*.

ABSTRACT

One manufacturing products that people need is a steel pipe products. PT. XYZ is a company engaged in manufacturing and produces products such as steel pipes and spiral welded longitudinal weld. Based on the division control data quality control Desember 2015 problems found in the form of pipe production are experiencing some of the characteristics that have the potential for the occurrence of defects or so-called *critical to quality* with 131 defects. This research will be given the proposed improvements using Six Sigma methods. The purpose of this study is to determine the *critical to quality* that occurs in spiral welded steel pipe products, calculate the value of the average level of capability *sigma* and classification in spiral weld steel pipe products in PT. XYZ, dominant determine what factors lead to the type of disability risk potential based on the RPN propose optimal conditions of the production process to improve product quality by factorial experiment. Based on the research results, levels of *sigma* that has been achieved by PT. XYZ at 3.608. Machine factor is the factor that has the highest risk of causing disability dominant (*high-low*). Proposed optimal conditions for a given engine produces spiral welded steel pipe ASTM A252 in SPM 1800 is the size of the material (914-1020) x (10-16) mm, the machine voltage 950-1000 A / V, and engine speed 0,75- 0.85 m / min.

Keywords : *critical to quality, factorial experiment, RPN, six sigma*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan dan keinginan konsumen akan produk manufaktur berkualitas menjadi hal utama bagi setiap perusahaan dalam mengembangkan produknya. Salah satu produk manufaktur yang dibutuhkan masyarakat adalah produk pipa baja. Kualitas menurut W. Edwards Deming merupakan kesesuaian dengan kebutuhan pasar (Montgomery, 2009). Untuk mendapatkan kualitas sesuai dengan definisi tersebut, perusahaan perlu melakukan pengendalian dan perbaikan kualitas produk yang diproduksinya.

PT. XYZ merupakan perusahaan yang bergerak di bidang manufaktur. Produk yang dihasilkan berupa pipa baja las spiral dan las longitudinal. Pipa yang diproduksi dapat digunakan sebagai pipa gas, pipa minyak, pipa air, dan pipa pancang. Berdasarkan data kontrol divisi *quality control* bulan Desember 2015, ditemukan permasalahan berupa terdapat pipa hasil produksi mengalami beberapa karakteristik yang berpotensi untuk terjadinya cacat atau disebut dengan *critical to quality* dengan jumlah kecacatan sebanyak 131. Pada penelitian ini akan diberikan usulan perbaikan menggunakan metode *six sigma* untuk menangani permasalahan tersebut.

1.2 Tujuan Penelitian

Berikut merupakan tujuan penelitian yang dilakukan pada penelitian ini :

1. Menentukan *critical to quality* yang terjadi pada produk pipa baja las spiral.
2. Menghitung nilai rata-rata tingkat kemampuan *sigma* dan klasifikasinya pada produk pipa baja las spiral di PT. XYZ.
3. Menentukan faktor apa yang dominan beresiko menyebabkan jenis kecacatan potensial berdasarkan nilai RPN.
4. Memberikan usulan kondisi optimal dari proses produksi untuk

memperbaiki kualitas produk berdasarkan *factorial experiment*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Metode Six Sigma

Six sigma adalah suatu visi peningkatan kualitas menuju target 3,4 kegagalan per sejuta kesempatan (DPMO) untuk setiap transaksi produk barang maupun jasa (Djunaidi dan Suryadamawan, 2011). Metode perbaikan dalam *six sigma* berupa tahapan-tahapan yang dinamakan DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, dan Control*).

Dalam metode *six sigma*, digunakan 7 tools. 7 tools merupakan alat bantu yang digunakan untuk memetakan permasalahan, mengorganisasikan data agar lebih mudah dipahami, serta menelusuri berbagai kemungkinan penyebab permasalahan (Wisnubroto dan Rukmana, 2015). Contoh 7 tools yaitu *process chart, check sheet, scatter plot, histogram, diagram pareto, control chart, cause and effect diagram*.

Beberapa terminologi yang menjadi kunci dalam konsep *six sigma* (Djunaidi dan Mutiarahadi, 2014) adalah:

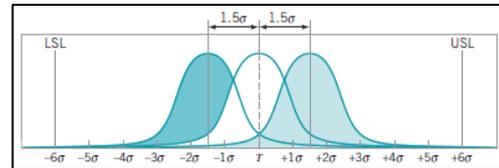
1. CTQ (*critical to quality*) adalah atribut utama dari kebutuhan konsumen. CTQ dapat diartikan sebagai elemen dari proses/ kegiatan yang berpengaruh langsung terhadap pencapaian kualitas yang diinginkan;
2. *Defect* adalah kegagalan untuk memuaskan pelanggan;
3. DPU adalah kejadian atau kondisi yang terstruktur yang memberikan kesempatan untuk tidak terpenuhinya kebutuhan pelanggan.
Rumus: $DPU = \frac{D}{U} \dots \dots (1)$
4. DPO (*defect per opportunity*) adalah kegagalan per satu kesempatan.
Rumus: $DPO = \frac{DPU}{CTQ} \dots \dots (2)$
5. DPMO (*defect per million opportunity*) adalah ukuran

kegagalan dalam *six sigma* yang menunjukkan kegagalan per sejuta kesempatan. Target dari pengendalian kualitas *six sigma* sebesar 3,4 DPMO. Rumus:

$$DPMO = DPO \times 1.000.000 \dots (3)$$

6. Tingkat Kemampuan *Sigma*
 Tingkat Kemampuan *Sigma*
 = $NORMSINV [(1000.000 - DPMO) / 1000.000 + 1,5]$ (4)

Hubungan *sigma* dengan DPMO dan manfaat pencapaian tingkat *sigma* ditunjukkan pada tabel 1 serta gambar konsep *six sigma* Motorola pada gambar 1.



Sumber : Montgomery 6th edition
 Gambar 1. Konsep *Six Sigma* Motorola

Tabel 1. Hubungan *sigma* dengan DPMO dan manfaat pencapaian nilai *sigma*

COPQ (Cost Of Poor Quality)		
Tingkat Pencapaian <i>Sigma</i>	DPMO	COPQ (Cost Of Poor Quality)
1- <i>sigma</i>	691.462 (sangat tidak kompetitif)	Tidak dapat dihitung
2- <i>sigma</i>	308.538 (rata-rata industri Indonesia)	Tidak dapat dihitung
3- <i>sigma</i>	66.807	25-40% dari penjualan
4- <i>sigma</i>	6.210 (rata-rata industri USA)	15-25% dari penjualan
5- <i>sigma</i>	233	5-15% dari penjualan
6- <i>sigma</i>	3,4 (industri kelas dunia)	< 1% dari penjualan

Setiap peningkatan atau pergeseran 1-*sigma* akan memberikan peningkatan keuntungan sekitar 10% dari penjualan.

(Sumber: Gaspersz, 2002)

2.2 Design of Experiment (DOE)

Design of Experiment atau perancangan eksperimen menurut Sudjana adalah suatu rancangan percobaan (dengan tiap langkah tindakan yang betul-betul terdefiniskan) sedemikian rupa sehingga informasi yang berhubungan dan diperlukan untuk persoalan yang sedang diteliti dapat dikumpulkan. Sudjana menyatakan bahwa terdapat beberapa hasil yang perlu diperhatikan dalam desain eksperimen yaitu (Winarso dan Alfari, 2016) :

1. Unit Eksperimen
Merupakan nilai-nilai variabel respon diukur.
2. Pengacakan (randomisasi).
Merupakan sebuah upaya untuk memenuhi beberapa asumsi yang diambil dalam suatu percobaan. Pengacakan berupaya untuk

memenuhi syarat adanya independensi yang sebenarnya hanya memperkecil adanya korelasi antar pengamatan, menghilangkan.

3. Replikasi.
Pengulangan eksperimen dasar yang bertujuan untuk menghasilkan taksiran yang lebih akurat terhadap efek rata-rata suatu faktor ataupun terhadap kekeliruan eksperimen. Menurut Scheffe Henry, untuk menentukan jumlah replikasi bila kehomogenan antar blok belum diketahui maka jumlah replikasi sudah cukup bila derajat kebebasan (dk) dari kesalahan eksperimen paling sedikit sama dengan 15 (Hardono, 2003).
4. Kekeliruan eksperimen.
Merupakan kegagalan dari dua unit eksperimen identik yang dikenai

perlakuan untuk memberi hasil yang sama.

5. Perlakuan (*treatment*). Sekumpulan kondisi eksperimen yang akan digunakan terhadap unit eksperimen dalam ruang lingkup desain yang dipilih. Perlakuan merupakan kombinasi level-level dari seluruh faktor yang ingin diuji dalam eksperimen.

2.4 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) merupakan suatu prosedur untuk mengidentifikasi dan mencegah kegagalan suatu produk sehingga *output* dari suatu produksi dapat sesuai dengan standar keinginan perusahaan (Mayangsari, dkk, 2015). Tahapan FMEA :

1. Menentukan *failure mode* (mode kegagalan) dan *cause of failure* (penyebab kegagalan) dari permasalahan yang dialami.
2. Menentukan nilai *frequency of occurrence*, yaitu tingkat keseringan terjadinya mode kegagalan. Skala yang digunakan adalah 1-10.
3. Menentukan nilai *degree of severity*, yaitu derajat keparahan dari mode kegagalan. Skala yang digunakan adalah 1-10.
4. Menentukan nilai *chance of detection*, yaitu peluang terdeteksinya mode kegagalan. skala yang digunakan adalah 1-10.
5. Menentukan nilai *Risk Priority Number* (RPN) pada mode kegagalan dengan mengalikan nilai *occurrence*, *severity*, dan, *detection* dari mode kegagalan.

3. METODE PENELITIAN

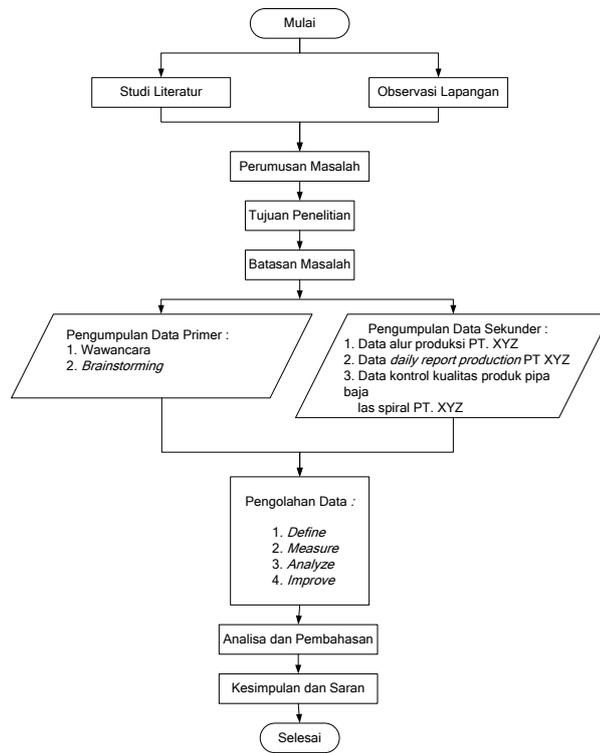
3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan jenis penelitian *cross-sectional* analitik, yaitu penelitian mengenai sebab-sebab dari efek yang terjadi melalui pendekatan observasi dan pengumpulan data untuk

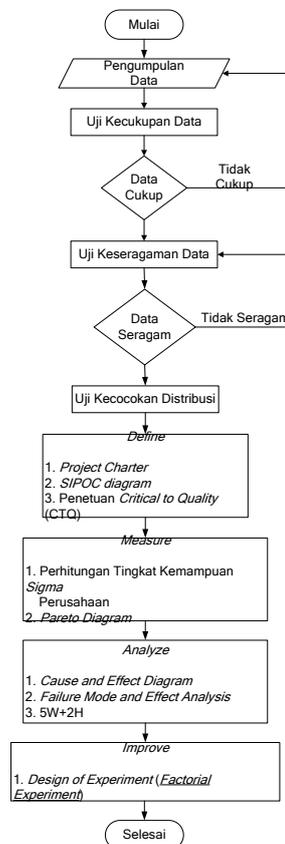
dilakukan perhitungan dalam pengolahan data. Data yang digunakan adalah data primer yaitu data wawancara dan *brainstorming*. Data sekunder yaitu data *control* kecacatan produk pipa baja las spiral ASTM A252 di SPM 1800, data *daily report production*, dan data alur proses produksi. Penelitian ini menggunakan metode *six sigma*. *Six sigma* adalah suatu visi peningkatan kualitas menuju target 3,4 kegagalan per sejuta kesempatan (DPMO) untuk setiap transaksi produk barang maupun jasa. Pada pengolahan data menggunakan metode *six sigma*, dilakukan tahapan DMAIC (*define, measure, analyze, improve, dan control*). Pada tahap *define*, dilakukan pembuatan *project charter*, SIPOC diagram, dan penentuan *critical to quality* yang terjadi pada produk pipa baja las spiral ASTM A252 di SPM 1800. Pada tahap *measure*, dilakukan perhitungan tingkat kemampuan *sigma* perusahaan, dan diagram Pareto. Pada tahap *analyze*, dilakukan pembuatan *cause and effect diagram*, *Failure Mode and Effect Analysis*, dan 5W+2H. Pada tahap *improve*, dibuat usulan perbaikan menggunakan *design of experiment*. *Design of experiment* yang digunakan adalah eksperimen faktorial. *Design of experiment* yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan data historis yaitu jumlah kecacatan yang ada pada data kontrol divisi produksi dan data *daily report production* untuk digunakan sebagai *level* dari faktor.

3.2 Alur Penelitian

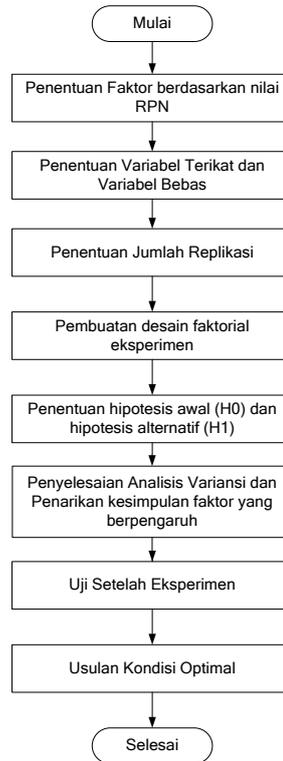
Penelitian digambarkan melalui alur penelitian secara umum, alur pemecahan masalah metode *six sigma*, dan alur pemecahan masalah pada tahap *improve* menggunakan *design of experiment* (DOE). Alur penelitian dan alur pemecahan masalah secara berturut-turut dijelaskan pada gambar 2, 3, dan 4.



Gambar 2. Alur Penelitian



Gambar 3. Alur Pemecahan Masalah Pada Tahap Metode Six Sigma



Gambar 4. Alur Pemecahan Masalah Pada Tahap *Design of Experiment*

4. HASIL DAB PEMBAHASAN

4.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data terdiri dari data primer dan data sekunder. Data yang diperoleh pada penelitian ini berasal dari data Divisi *Quality Control* dan data Divisi Produksi PT. XYZ untuk produk pipa baja las spiral ASTM A252 di SPM 1800. Data primer dan data sekunder yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Data Primer

Data primer merupakan data yang diperoleh secara langsung saat observasi lapangan untuk kemudian digunakan dalam penelitian ini. Data primer pada penelitian ini berupa wawancara dengan personel yang *expert* di Divisi Produksi PT. XYZ dan pengisian *form* nilai *occurrence*, *severity*, dan *detection* untuk mendapatkan nilai *Risk Priority Number* pada FMEA.

2. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang telah dimiliki oleh perusahaan. Data

sekunder pada penelitian ini adalah data karakteristik kualitas produk (*Critical to Quality*) atau disebut juga data *control* kecacatan produk pipa baja las spiral ASTM A252 di SPM 1800 bulan Mei 2016 sampai dengan bulan November 2016, data *daily report* yang berisikan informasi mengenai kecepatan mesin dan tegangan mesin, dan data alur produksi PT XYZ.

4.2 Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan agar tujuan dari penelitian dapat di capai. Adapun pengolahan data yang dilakukan dalam penelitian ini berupa tahapan analisa kualitas produk perusahaan dengan menggunakan metode *six sigma*, yaitu tahap *define* (*project charter*, *SIPOC diagram*, dan penentuan *critical to quality*), tahap *measure* (perhitungan tingkat kemampuan *sigma* perusahaan dan diagram Pareto), tahap *analysis* (*cause and effect diagram*, FMEA, dan

5W+2H), tahap *improve* (*Design of Experiment*). Sebelum dilakukan tahapan metode *six sigma*, terlebih dahulu dilakukan uji data. Uji data

4.2.1 Uji Kecukupan Data

Uji kecukupan data merupakan pengujian yang digunakan untuk mengetahui data yang diperoleh cukup untuk dilakukan pengolahan data pada proses selanjutnya.

Perhitungan uji kecukupan data :

Diketahui :

Tingkat kepercayaan = 95%
 α (s) = 0,05
 k = 2 (berdasarkan tabel Z pada lampiran 3)

Jumlah kecacatan = 3511

Jumlah diperiksa (N) = 19464,5 meter

$$p = \frac{\text{Jumlah Kecacatan}}{\text{Jumlah diperiksa}}$$

$$= \frac{3511}{19464,5 \text{ meter}} = 0,1804/\text{meter}$$

$$N' = \frac{k^2}{s^2} \times p(1 - p)$$

$$= \frac{2^2}{0,05^2} \times 0,1804(1 - 0,1804)$$

$$= 236,5$$

berupa uji kecukupan data, uji keseragaman data, dan uji distribusi data.

Berdasarkan perhitungan uji kecukupan data. Diperoleh nilai $N' = 236,5$. Maka data dikatakan cukup, karena $N' < N = 236,5 < 19464,5$. Maka data dapat digunakan ke proses selanjutnya.

4.2.2 Uji Keseragaman Data

Uji keseragaman data dilakukan untuk mengetahui data yang digunakan berada dalam batas kendali atas (BKA) dan batas kendali bawah (BKB). Data dikatakan seragam apabila keseluruhan data berada dalam batas kendali atas (BKA) dan batas kendali bawah (BKB).

Perhitungan uji keseragaman data dapat serta hasilnya ditunjukkan pada gambar 5.

$$\text{BKA} = \bar{x} + 2\sigma$$

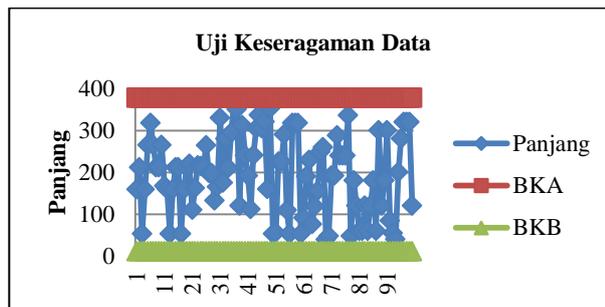
$$= 194,65 + 2(91,9)$$

$$= 378,44$$

$$\text{BKB} = \bar{x} - 2\sigma$$

$$= 194,65 - 2(91,9)$$

$$= 10,85$$



Gambar 5. Hasil Uji Keseragaman Data

4.2.3 Uji Kecocokan Distribusi Data

Berdasarkan perhitungan uji kecocokan distribusi *poisson* menggunakan uji *chi square*, maka diperoleh :

$$X_{\text{hitung}}^2 < X_{\text{Tabel}}^2 = 44,71 < 123,2$$

H_1 ditolak. Jumlah kecacatan produk berasal dari distribusi *poisson*.

4.2.4 Define

Pada tahap *define*, dilakukan pembuatan *project charter*, SIPOC

diagram, dan penentuan *critical to quality* (CTQ).

4.2.4.1 Project Charter

Project charter dibuat untuk mengetahui ringkasan dari penelitian yang dilakukan. *Project charter* dapat ditunjukkan pada tabel 2.

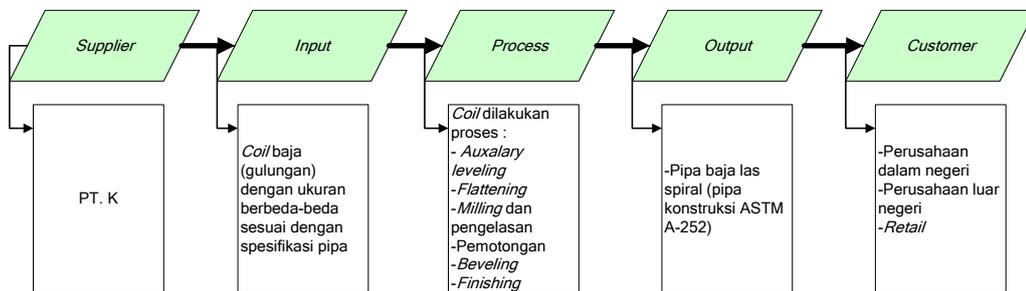
Tabel 2. Project Charter

Informasi Penelitian			
Institusi	Jurusan Teknik Industri Universitas Sultan Tirtayasa	Judul Penelitian	: Usulan Perbaikan Kualitas menggunakan Metode <i>Six Sigma</i> dan <i>Design of Experiment (DOE)</i> pada Produk Pipa Baja Las Spiral di PT. XYZ
		Peneliti	: Sandria Sandi
Tanggal mulai	8 November 2016	Pembimbing Produksi	: Darito Arbianta
Tanggal selesai	20 Januari 2017	Pembimbing QC	: Sigit Wahyu N
Permasalahan		Tujuan dan Lingkup Penelitian	
Berdasarkan data kontrol Divisi <i>Quality Control</i> masih ditemukan kecacatan pada produk pipa baja las spiral. Kecacatan ini menimbulkan waktu tambahan dalam memperbaiki produk yang mengalami kecacatan tersebut, sehingga kepuasan konsumen belum tercapai dengan baik.		Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui tingkat kemampuan <i>sigma</i> yang telah dicapai oleh perusahaan dengan kondisi kecacatan produk yang masih menjadi permasalahan, sehingga dapat diberikan usulan perbaikan dan usulan kondisi optimal pada faktor yang mempengaruhi terjadinya kecacatan. Lingkup dari penelitian ini adalah pada perbaikan kualitas produk tanpa melakukan perhitungan biaya produksi.	

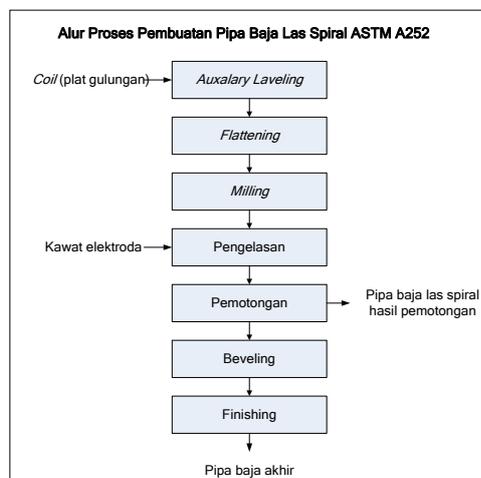
4.2.4.2 SIPOC Diagram

SIPOC adalah kependekan dari *supplier*, *input*, *process*, *output*, dan *customers*.

SIPOC diagram ditunjukkan pada gambar 6 dan 7.



Gambar 6. SIPOC Diagram



Gambar 7. Alur Proses Pembuatan Pipa Baja Las Spiral ASTM A252

4.2.4.3 Penentuan Critical to Quality

Critical to Quality (CTQ) adalah parameter yang menjelaskan karakteristik produk sesuai dengan kualitas yang diinginkan oleh konsumen. CTQ terdiri dari 3 jenis, yaitu *physical* (tampilan fisik), *sensory* (dapat dirasakan oleh alat indera), dan *time orientation* (berdasarkan waktu).

Critical to Quality (CTQ) pada penelitian ini termasuk pada jenis *physical*, karena kriteria kecacatan produk dilihat dari *visual dimension* pipa. CTQ pada produk pipa baja las spiral ASTM A252 di SPM 1800 terdiri dari :

1. *Stop start* (SS) : Terjadi ketika *coil* yang sedang dilakukan proses produksi habis, sehingga harus disambung dengan *coil* yang baru.
2. *Under fill* (UF) : Berbentuk lengkungan cekung pada bagian lasan.
3. *Under cut* (UC) : Bagian lasan spiral pipa terputus.

4. *Scratch* (SCR) : Berupa goresan tajam (akibat *rollmark* yang terlalu dalam).
5. *Rollmark* : Bekas *roll* mesin yang timbul pada badan pipa.
6. *Indent* : Bagian badan pipa mengalami penyok.
7. *Burn through* (BT) : Bagian lasan yang terbakar.
8. *Porosity* (POR) : Gelembung udara yang timbul di sepanjang poros lasan pipa.
9. *High-Low* (HL) : Kondisi bagian sambungan spiral yang tidak rata.
10. *Jump weld* (JW) : Bagian spiral yang terlewat saat proses pengelasan.

4.2.5 Measure

Tahapan yang dilakukan pada *measure* yaitu penentuan tingkat kemampuan *sigma* perusahaan dan pembuatan diagram Pareto.

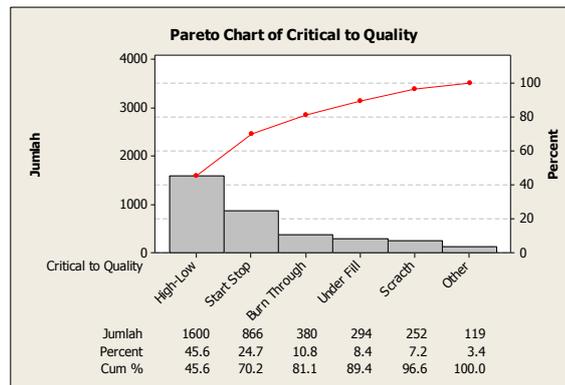
Tabel 3. Perhitungan Tingkat Kemampuan Sigma

No	Tanggal	Panjang (m)	Jumlah (unit)	Jumlah kecacatan	Critical to Quality (CTQ)	DPU	DPO	DPMO	Tingkat kemampuan sigma
1	3 Mei 2016	159,09	3	15	10	0,094	0,0094	9428,625	3,848
2	4 Mei 2016	212,12	4	49	10	0,231	0,0231	23100,132	3,494
3	5 Mei 2016	53,03	1	9	10	0,170	0,0169	16971,526	3,621
4	6 Mei 2016	159,09	3	28	10	0,176	0,0176	17600,101	3,606
5	8 Mei 2016	265,15	5	76	10	0,287	0,0287	28663,021	3,401
.
100	3 November 2016	120,15	3	13	10	0,108	0,011	10819,809	3,797
Rata-rata Kemampuan Sigma									3,608

Berdasarkan rata-rata tingkat kemampuan *sigma* sebanyak 100 sampel hari pada produk pipa baja las spiral ASTM A252 di SPM 1800 adalah sebesar 3,608. Tingkat kemampuan *sigma* perusahaan tersebut menunjukkan bahwa perusahaan termasuk klasifikasi kemampuan rata-rata industri Indonesia (Gasperz, 2002).

4.2.2.2 Diagram Pareto

Diagram Pareto adalah informasi jumlah, persentase, dan persentase kumulatif dari suatu hal yang diteliti, yang dijelaskan dalam bentuk gambar.



Gambar 8. Diagram Pareto

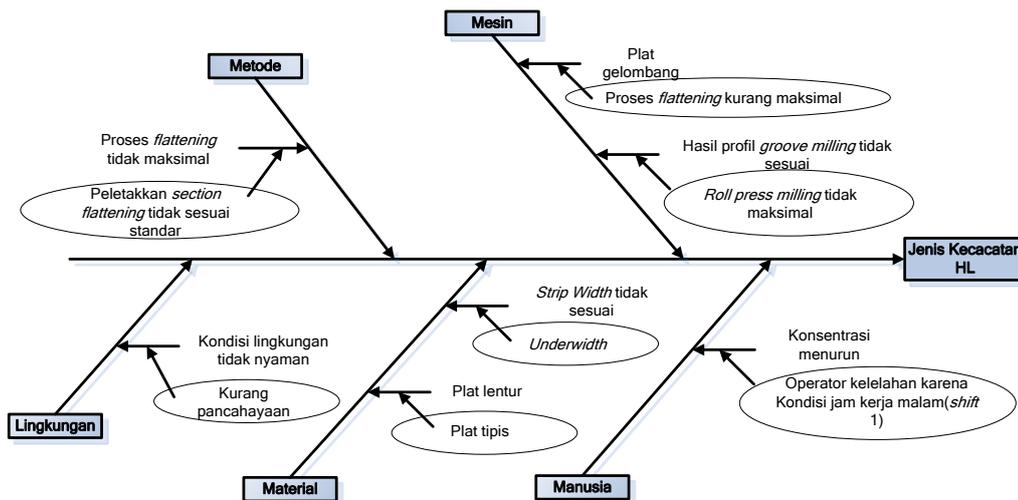
4.2.6 Analysis

Tahap analisa menggunakan *cause and effect* diagram, FMEA, dan 5W+2H.

4.2.6.1 Cause and Effect Diagram

Cause and effect diagram memaparkan sebab dan akibat dari suatu

kegagalan melalui beberapa faktor. Faktor-faktor tersebut yaitu manusia, mesin, material, metode, dan lingkungan. *Cause and effect diagram* untuk mengetahui sebab dan akibat terjadinya kecacatan HL dapat ditunjukkan pada gambar 9.



Gambar 9. Cause and Effect Diagram

4.2.6.2 FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)

Hasil dari FMEA berupa nilai *Risk Priority Number* (RPN) yang digunakan untuk menentukan prioritas dilakukannya perbaikan menggunakan *design of experiment* (tahap *improve*) pada faktor yang menyebabkan terjadinya kecacatan HL (*high-low*), sedangkan faktor lainnya diberikan usulan perbaikan menggunakan 5W+2H. FMEA ditunjukkan pada tabel

14 dan 5W+2H ditunjukkan pada tabel 15.

Berdasarkan FMEA, urutan prioritas didahulukannya perbaikan pada penyebab mode kegagalan dari paling utama sampai paling akhir adalah *section flattening* tidak bekerja maksimal (mesin) dengan RPN 200, operator kurang fokus karena kelelahan akibat jam kerja malam/*shift 1* (manusia) dengan RPN 96, peletakkan *section* mesin tidak sesuai (metode) dengan RPN 90, plat tipis (material)

dengan RPN 80, *roll press milling* tidak bekerja maksimal (mesin) dengan RPN 56, kurang pencahayaan (lingkungan) dengan RPN 6, dan plat yang *underwidth* (material) dengan RPN 4. Hasil tersebut menunjukkan bahwa

4.2.7 Improve

Improve yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan *design of experiment* (DOE), yaitu desain eksperimen faktorial. Pada tahap *improve* akan dilakukan desain eksperimen faktorial 2^3 dan uji setelah eksperimen menggunakan uji rentang Newman-Keuls.

4.2.7.1 Tahapan-Tahapan Desain Eksperimen Faktorial

- a. Penentuan faktor berdasarkan nilai RPN

Faktor yang digunakan adalah faktor mesin. Faktor mesin terdiri dari

faktor mesin menjadi faktor utama yang menjadi prioritas untuk dilakukan perbaikan sehingga memperbaiki kualitas produk dan mengurangi terjadinya kecacatan HL (*high-low*).

ukuran pipa, kecepatan mesin, dan tegangan (*outside welding*) mesin.

- b. Penentuan variabel bebas dan variabel terikat

Variabel terikat pada penelitian ini adalah jumlah kecacatan HL pada produk pipa baja las spiral ASTM A252 di SPM 1800. Variabel bebas pada penelitian ini adalah ukuran material (faktor A), tegangan *outside welding* mesin (faktor B), kecepatan mesin (faktor C).

- c. Penentuan faktor dan *level* yang digunakan

Tabel 3. Faktor dan Level

Faktor	Level
Ukuran Pipa (mm)	(800-812,8) x (14-16) (914-1020) x(10-16)
Tegangan (<i>Outside Welding</i>) mesin (A/V)	750-900 950-1000
Kecepatan Mesin (m/min)	0,7 0,75-0,85

- d. Penentuan jumlah replikasi dan jumlah eksperimen

Replikasi digunakan untuk menghasilkan taksiran yang lebih akurat terhadap efek rata-rata suatu faktor ataupun terhadap kekeliruan eksperimen. Derajat kebebasan (dk) yang digunakan pada penelitian ini adalah 15, karena kehomogenan antar blok belum diketahui. Penentuan jumlah replikasi untuk eksperimen faktor pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

Derajat kebebasan (dk) = 15
 Jumlah *treatment* (t) = $2^3 = 2 \times 2 \times 2 = 8$

Sehingga :

$$(t-1) (r-1) \geq dk$$

$$(8-1) (r-1) \geq 15$$

$$7r-7 \geq 15$$

$$7r \geq 15+7$$

$$7r \geq 22$$

$$r \geq \frac{22}{7}$$

$$r \geq 3,14$$

$$r \approx 4$$

Berdasarkan perhitungan di atas, maka jumlah replikasi yang digunakan untuk eksperimen faktor pada penelitian ini adalah sebanyak 4 replikasi. Sehingga jumlah eksperimen yang digunakan adalah :

$$\text{Jumlah eksperimen} = a \times b \times c \times r = 2 \times 2 \times 2 \times 4 = 32$$

Dengan :

- a = jumlah *level* faktor A
- b = jumlah *level* faktor B
- c = jumlah *level* faktor C
- r = jumlah replikasi

- e. Pembuatan desain eksperimen faktor dan penyelesaian
 Data yang digunakan dalam desain eskperimen faktor 2³ dapat ditunjukkan pada tabel 4. Serta perhitungan ANOVA pada tabel 5.

Tabel 4. Data Jumlah Kecacatan HL tiap Kondisi Perlakuan

		Ukuran (ai)				Total k
		(800-812,8) x (14-16)		(914-1020) x(10-16)		
		Tegangan (bj)		Tegangan (bj)		
		750-900	950-1000	750-900	950-1000	
Kecepatan (ck)	0.7	12	5	10	9	
		40	4	19	8	
		26	5	12	4	
		13	2	22	7	
	Jumlah	91	16	63	28	198
Kecepatan (ck)	0.75-0.85	7	3	0	17	
		22	3	0	19	
		19	9	0	8	
		27	5	0	21	
	Jumlah	75	20	0	65	160
	Total ijk	166	36	63	93	358
	$\sum y_{ijk}^2$	4212	194	1089	1365	6860

Tabel 5. Analysis of Variance (ANOVA) Factorial Eksperimen 2³

Source	Derajat Kebebasan (dk)	Sum Square (SS)	Mean Square (MS)	F hitung	F tabel	Kesimpulan
Ukuran (ai)	1	66,125	66,125	1,63	4,26	Tidak Berhubungan
Tegangan (bj)	1	312,5	312,5	7,69	4,26	Berhubungan
Kecepatan (ck)	1	45,125	45,125	1,11	4,26	Tidak Berhubungan
Ukuran (ai) x tegangan (bj)	1	800	800	19,692	4,26	Berhubungan
Ukuran (ai) x kecepatan (ck)	1	6,125	6,125	0,15	4,26	Tidak Berhubungan
Tegangan (bj) x kecepatan (ck)	1	450	450	11,077	4,26	Berhubungan
Ukuran (ai) x tegangan (bj) x kecepatan (ck)	1	200	200	4,92	4,26	Berhubungan
Error	24	975,005	40,625			
Total	31	2854,88				

Contoh perhitungan :

$$\begin{aligned}
 dk (ai) &= (a-1) = (2-1) = 1 \\
 dk (ai \times bj) &= (a-1) (b-1) = (2-1) (2-1) = 1 \\
 dk (ai \times bj \times ck) &= (a-1) (b-1) (c-1) \\
 &= (2-1) (2-1) (2-1) = 1 \\
 MS (ai) &= \frac{SSa}{df a} = \frac{66,125}{1} = 66,125 \\
 F \text{ hitung} &= \frac{MS a}{MS \text{ error}} = \frac{66,125}{40,625} = 1,63 \\
 F \text{ tabel } \alpha_{0,05(1,24)} &= 4,26 \text{ (berdasarkan tabel F pada lampiran 1)}
 \end{aligned}$$

4.2.7.2 Uji Setelah Eksperimen (Uji Rentang Newman-Keuls)

Uji setelah eksperimen dilakukan ketika terdapat perlakuan yang memiliki pengaruh terhadap suatu respon (H₁ diterima).

Tabel 6. Rekapitulasi Hasil Uji Rentang Newman-Keuls

Faktor	Kondisi Optimal tiap Faktor
Faktor Tegangan	950-1000 A/V.
Interaksi Faktor Ukuran Material dan Tegangan Mesin	Faktor Ukuran Material : 914-1020 mm x 10-16 mm Faktor Tegangan Mesin : 950-1000 A/V
Interaksi Faktor Tegangan Mesin dan Kecepatan Mesin	Faktor Tegangan Mesin: 950-1000 A/V Faktor Kecepatan Mesin : 0,75-0,85 m/min
Interaksi Faktor Ukuran Material, Tegangan Mesin dan Kecepatan Mesin	Faktor Ukuran Material : 914-1020 mm x 10-16 mm Faktor Tegangan Mesin : 950-1000 A/V Faktor Kecepatan Mesin : 0,75-0,85 m/min

Berdasarkan tabel 6, dapat ditarik kesimpulan kondisi optimal mesin untuk memproduksi produk pipa baja las spiral ASTM A252 di SPM 1800 adalah :

1. Ukuran material = (914-1020) x (10-16) mm
2. Tegangan mesin = 950-1000 A/V
3. Kecepatan mesin = 0,75-0,85 m/min

5. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian yang dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Terdapat 10 *Critical to Quality* (kecacatan) dari produk pipa baja las spiral ASTM A252 di mesin pipa spiral (SPM) 1800 adalah sambungan baru (*stop start*), cekungan las (*under fill*), lasan terpotong (*under cut*), goresan (*scratch*), tekanan bekas *roll* (*rollmark*), penyok (*indent*), lasan terbakar (*burn through*), gelembung udara (*porosity*), sisi lasan tidak rata (*high-low*), dan lasan terlewat (*jump weld*). Kecacatan yang paling sering terjadi adalah sisi lasan tidak rata (*high-low*).
2. Nilai rata-rata tingkat kemampuan *sigma* (*level sigma*) sebanyak 100 sampel hari pada produk pipa baja las spiral ASTM A252 di SPM 1800 adalah sebesar 3,608. Artinya, nilai tersebut menunjukkan bahwa perusahaan termasuk klasifikasi kemampuan rata-rata industri Indonesia.

Usulan kondisi optimal di atas akan diberikan pada perusahaan dengan harapan dapat memperbaiki kualitas produk pipa baja las spiral ASTM A252 di SPM 1800 dan meningkatkan tingkat kemampuan *sigma* mendekati 6 *sigma*. Keputusan untuk mengimplementasikan usulan tersebut dikembalikan kepada pihak perusahaan.

3. Kecacatan yang paling sering terjadi disebabkan oleh faktor dominan yaitu faktor mesin berdasarkan nilai *risk priority number* (RPN) sebesar 200 Faktor mesin tersebut yaitu pada bagian *section flattening* yang umurnya sudah tua.
4. Usulan perbaikan kualitas produk pipa baja las spiral ASTM A252 di mesin pipa spiral (SPM) 1800 adalah dengan mengukur material menjadi (914-1020) x (10-16) mm, menyeting tegangan mesin sebesar 950-1000 A/V, dan menyeting kecepatan mesin sebesar 0,75-0,85 m/min. Usulan tersebut diharapkan menjadi kondisi optimal mesin untuk mengurangi kecacatan produk.

6.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang diperoleh, maka dapat diberikan saran untuk penelitian selanjutnya :

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat menambahkan level atau faktor yang digunakan pada desain eksperimen faktorial.

2. Dapat melakukan metode *six sigma* pada jenis pipa lainnya, seperti pipa API 5L atau AWWA C200.

DAFTAR PUSTAKA

1. Djunaidi, Much, dan Mutiarahadi, Risti. 2014. Pengendalian Kualitas Produk Benang *Cotton* dengan Metode *Six Sigma*. *Jurnal Universitas Muhammadiyah Surakarta*. Surakarta.
2. Djunaidi, Much, dan Suryadamawan V.A. 2011. Pengendalian Dan Perbaikan Kualitas Produk Kawat Baja Dengan Metode Aplikasi *Six Sigma* (DMAIC) dan *Kaizen* (5w+1h) Pada Divisi *Wire Rod Mill* (Studi Kasus: Pt. Krakatau Steel Tbk). *Jurnal Universitas Muhammadiyah Surakarta*. Surakarta.
3. Gaspersz, Vincent. 2002. *Pedoman Implementasi Program Six Sigma*. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
4. Hardono, Sutik. 2003. Analisa Penyebab Wet Spot untuk Menentukan *Setting* Optimum Proses Pengeringan *Rubber* dengan Metode Eksperimen Faktorial 2⁵ [Skripsi]. *Universitas Sultan Ageng Tirtayasa*. Cilegon
5. Mayangsari, Diana Fitria; Adianto, Hari; Yuniati, Yoanita. 2015. *Usulan Pengendalian Kualitas Produk Isolator dengan Metode Failure Mode And Effect Analysis (FMEA) dan Fault Tree Analysis (FTA)**. *Jurnal Institut Teknologi Nasional*. Bandung.
6. Montgomery, C.D. 2009. *Introduction to Statistical Quality Control 6th Edition*. USA: John Wiley & Sons Inc.
7. Winarso, Kukuh dan Alfaris, Salman. 2016. Efek Diameter *Coil*, Perbandingan Jumlah Lilitan, Jenis *Coil*, pada *Trasmitter Receiver* Terhadap Efisiensi Energi *Transfer Wireless Transfer Electricity* dengan Metode *Desain of Experiment (DOE)*. *Jurnal Universitas Trunojaya*. Madura.
8. Wisnubroto, Petrus dan Rukmana, Arya. 2015. Pengendalian Kualitas Produk dengan Pendekatan *Six Sigma* dan Analisis *Kaizen* Serta *New Seven Tools* sebagai Usaha Pengurangan Kecacatan Produk. *Jurnal Teknik Industri*. AKPRIND.