

UPAYA MENURUNKAN TINGKAT CACAT PADA PIPA BAJA DENGAN ANALISIS DIAGRAM SEBAB AKIBAT DAN METODE 5W+1H

Casban^{1*}, Aria Purnamasari Dewi²

¹ Program Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta
Jalan Cempaka Putih Tengah 27 Jakarta 10510

*Corresponding Author : casban@ftumj.ac.id

Abstrak

Kualitas menjadi pertimbangan pelanggan untuk memilih produk yang akan dibeli, sehingga tingkat kepuasan terhadap kualitas berpengaruh terhadap *performance* perusahaan. Untuk mengurangi cacat produk diperlukan upaya tindakan perbaikan dengan menghilangkan sumber penyebab yang dapat menimbulkan kesalahan. Tujuan penelitian adalah menentukan tindakan perbaikan untuk menurunkan tingkat cacat pada pipa baja dan mendapatkan solusi untuk mencegah terjadinya cacat. Penelitian menggunakan desain penelitian deskriptif eksploratif dengan pendekatan kualitatif. Sample penelitian pada produk pipa baja dengan standar API 5L. Pengumpulan data menggunakan teknik observasi, diskusi, studi dokumentasi dan kajian literatur. Teknik analisis data berdasarkan diagram pareto, untuk menentukan sumber penyebab utama dengan melakukan analisis diagram sebab akibat dan metode 5W+1H. Berdasarkan hasil analisis dapat disimpulkan bahwa akar masalah penyebab cacat produk yang paling besar berasal dari faktor manusia karena *human error* dan tingkat keahlian yang belum merata, sedangkan dari faktor mesin karena adanya kerusakan mesin yang dipengaruhi umur pakai komponen yang singkat. Faktor material, metode dan lingkungan memiliki hubungan keterkaitan sebagai faktor penyebab terjadinya kesalahan namun tidak berpengaruh secara signifikan. Upaya tindakan perbaikan untuk menurunkan tingkat cacat produk dari faktor manusia dilakukan dengan meningkatkan kompetensi yang dimiliki oleh operator melalui kegiatan pelatihan secara rutin, untuk faktor mesin dengan melakukan pemeliharaan mesin secara teratur.

Kata kunci: Kualitas, Diagram Sebab Akibat dan Metode 5W+1H

Abstract

Quality is considered by the customer to choose the product to be purchased, so that the level of satisfaction with quality affects the company's performance. To reduce product defects, it is necessary to take corrective action by eliminating the source of causes that can cause errors. The research objective is to determine corrective actions to reduce the level of defects in steel pipes and obtain solutions to prevent defects. The study used a descriptive exploratory research design with a qualitative approach. Research sample on steel pipe products with API 5L standard. Data collection uses observation, discussion, documentation study and literature review techniques. The data analysis technique is based on the Pareto diagram, to determine the main cause source by analyzing the cause and effect diagram and the 5W + 1H method. Based on the results of the analysis it can be concluded that the root cause of the biggest product defects comes from human factors due to human error and the level of expertise that has not been evenly distributed, while from the engine factor due to engine damage that is affected by short component life. Material, method and environmental factors have a relationship as a factor that causes errors but does not have a significant effect. Corrective action efforts to reduce the level of product defects from the human factor is done by increasing the competency of the operator through regular training activities, for the engine factor by regularly maintaining the machine.

Keywords : *Quality, Cause and Effect Diagrams and the 5W+1H Method.*

PENDAHULUAN

Industri pembuatan pipa baja sudah menggunakan mesin teknologi yang canggih untuk meningkatkan efisiensi perusahaan, hal ini akan berdampak terhadap meningkatnya persaingan, sehingga untuk tetap bisa bertahan bahkan memenangkan persaingan, maka perusahaan harus dapat meningkatkan produktivitas dengan melakukan perbaikan kualitas produk secara berkesinambungan untuk mengurangi tingkat kesalahan yang dapat menyebabkan cacat produk sebagai tolak ukur untuk memberikan pelayanan terbaik kepada pelanggan, karena faktor utama dalam menentukan pemilihan produk yang akan dibeli adalah berdasarkan standar kualitas yang sudah terjamin mutunya dengan baik, sehingga dengan menjaga kualitas produk yang dihasilkan maka kepuasan pelanggan akan meningkat.

Kualitas sebagai indikator utama bagi perusahaan untuk dapat memenuhi keinginan dan harapan pelanggan, sehingga dapat menciptakan loyalitas pelanggan terhadap produk yang dapat berpengaruh terhadap *performance* perusahaan. Dengan demikian maka dibutuhkan pengembangan teknik dan metode kerja baru untuk meningkatkan kualitas produk secara berkesinambungan dalam proses produksi perusahaan yang dapat dilakukan dengan penerapan metode pengendalian kualitas nol cacat (*zero defect concept*) sebagai langkah strategis untuk mengurangi cacat produk yang diakibatkan oleh adanya kesalahan dalam tahapan proses produksi, yang dipengaruhi dari faktor *input* produksi yang mencakup aspek pekerja, material, metode, mesin atau peralatan dan lingkungan yang dapat menyebabkan terjadinya peningkatan biaya produksi.

Penerapan konsep nol cacat dapat dilakukan perusahaan dengan memberikan perhatian dan berkomitmen secara total terhadap upaya peningkatan kualitas dengan menerapkan kegiatan perencanaan, pengendalian dan pengawasan kualitas untuk memberikan jaminan kehandalan dan reliabilitas produk sesuai dengan spesifikasi yang dipersyaratkan sehingga dapat memenuhi keinginan pelanggan (Bella Azis, dkk, 2019). Penerapan kegiatan pengendalian kualitas yang dilakukan perusahaan dapat memberikan keuntungan

untuk mengetahui kemungkinan terjadinya masalah cacat produk dalam proses produksi dan mencegah produk yang *reject* diterima oleh pelanggan (Didi Haryono, dkk, 2018).

Produk yang dihasilkan perusahaan adalah pipa baja dengan ukuran mulai dari diameter 12 *inchi* sampai dengan 24 *inchi* sebagai produk pipa baja unggulan yang masih jarang diproduksi oleh perusahaan sejenis yang lainnya sehingga tingkat volume produksinya berdasarkan sistem pesanan pelanggan (*job order*). Berdasarkan hasil pengamatan yang dilakukan dalam proses pembuatan pipa baja, masih terdapat cacat produk yang menyimpang dari standar desain toleransi produk dan dinyatakan sebagai produk *reject*. Klasifikasi cacat produk dapat dibedakan berdasarkan kegiatan inspeksi yang meliputi (1) pemeriksaan secara visual dan pengukuran dimensi yaitu jenis cacat yang ditemukan selama kegiatan produksi dan (2) pemeriksaan hasil pengujian yaitu jenis cacat yang ditemukan setelah produk dilakukan kegiatan pengujian.

Karakteristik cacat hasil pemeriksaan secara visual dan pengukuran dimensi meliputi lima jenis cacat yaitu kampuh las bagian dalam, kampuh las bagian luar, cacat permukaan, kerataan dan bentuk. Data cacat produk dari pemeriksaan secara visual pada tabel berikut :

Tabel 1. Cacat hasil pemeriksaan visual tahun 2018

Jenis cacat	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des
Kampuh dalam	35	27	43	25	27	26
Kampuh luar	55	50	35	45	30	57
Permukaan	2	2	1	1	1	1
Kerataan	1	1	0	1	0	1
Bentuk	0	1	1	0	0	1
Jumlah	93	81	80	72	58	86

Karakteristik cacat dari pemeriksaan hasil pengujian dapat dikategorikan menjadi tiga tahapan pengujian yaitu uji kerataan, uji tekanan, uji ultrasonic manual. Data cacat produk dari hasil pengujian pada tabel berikut :

Tabel 2. Cacat hasil pengujian tahun 2018

Jenis pengujian	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des
Uji kerataan	1	0	0	0	0	0
Uji tekanan	0	0	1	1	0	0
Uji ultrasonic	85	73	65	55	52	74
Jumlah	86	73	66	56	52	74

Produk pipa baja yang mengalami cacat perlu dilakukan pekerjaan ulang untuk memperbaiki cacat dan melakukan kegiatan pengujian untuk memeriksa cacat produk sesuai batas toleransi. Adanya tahapan pekerjaan ulang dapat mengakibatkan waktu proses produksi menjadi lama dan berpengaruh terhadap meningkatnya biaya produksi.

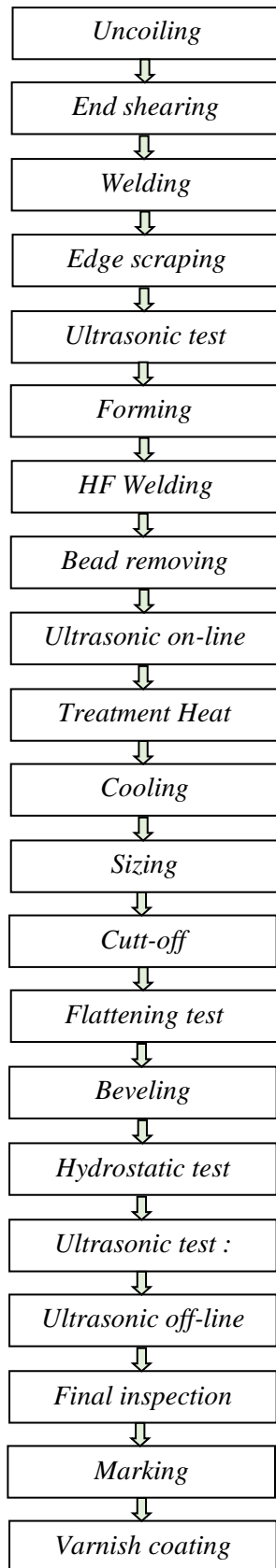
Untuk mencegah terjadinya peningkatan biaya produksi maka diperlukan upaya tindakan perbaikan untuk mengurangi jumlah produk yang cacat dengan menghilangkan sumber penyebab yang dapat menimbulkan pemborosan dari faktor manufaktur, material, metode, mesin dan lingkungan. Untuk mendapatkan solusi terhadap permasalahan maka tujuan penelitian adalah menentukan tindakan perbaikan untuk menurunkan tingkat cacat pada pipa baja dengan menggunakan analisis diagram sebab akibat dan metode 5W+1H serta mendapatkan solusi untuk mencegah terjadinya cacat.

Produk pipa baja yang dikaji dalam penelitian ini adalah pipa baja yang berstandar API (*American Petroleum Institute*) dengan spesifikasi 5L sebagai produk pipa yang dapat diaplikasikan untuk mendistribusikan berbagai jenis fluida yang berbentuk gas, air dan minyak. Proses produksi pembuatan pipa baja dimulai dari tahapan proses (1) *Uncoiling* : melepas gulungan *coil* menjadi lembaran, (2) *End shearing* : pemotongan ujung *coil* agar rata dan tegak lurus, (3) *Welding* : pengelasan ujung *coil* dengan ujung yang lain, (4) *Edge scraping* : menghaluskan pinggir pelat, (5) *Ultrasonic test* : mendeteksi cacat material *coil* yang masih berbentuk pelat, (6) *Forming* : pembentukan *coil* menjadi suatu bentuk pipa, (7) *High frequency welding* : menyatukan kedua ujung pipa yang digerakkan dengan kecepatan konstan, (8) *Bead removing* : penyerutan kampuh las pipa bagian luar dan pipa bagian dalam.

Kegiatan inspeksi yang dilakukan pada (9) *Ultrasonic on-line* : untuk mendeteksi cacat hasil pengelasan, (10) *Heat treatment* : proses pemanasan hasil pengelasan dengan temperatur 800 - 900° C, (11) *Cooling* : pendinginan untuk menurunkan temperature, (12) *Sizing* : proses membentuk kebulatan pipa sesuai standar, (13) *Cut-off* : pemotongan pipa dengan panjang tertentu, (14) *Flattening test* : untuk memeriksa cacat pada permukaan hasil pengelasan, (15) *Beveling* : pembuatan sudut diujung pipa, (16)

Hydrostatic test : proses pengujian dengan menggunakan tekanan tertentu (17) *Ultrasonic test- pipe ends lamination* : untuk memeriksa *reject* pada kedua ujung pipa, (18) *Ultrasonic off-line inspection for weld seam* : untuk memeriksa *reject* hasil serutan kampuh pengelasan, (19) *Final inspection* : pemeriksaan kebulatan, tebal dan kelurusan, (20) *Marking* : identifikasi kode produksi, (21) *Varnish coating* : proses perlindungan terhadap korosi.

Proses produksi pembuatan pipa baja dapat digambarkan pada *flow chart* berikut :



Gambar 1. Flow chart pembuatan pipa baja

Upaya meningkatkan kualitas menjadi perhatian utama bagi perusahaan untuk mengurangi tingkat cacat produk, karena kualitas akan terkait langsung dengan produk yang dihasilkan untuk memenuhi harapan bahkan melewati batas standar yang diinginkan oleh pelanggan (Nasution, 2015). Pengendalian kualitas yang tidak dijalankan secara berkesinambungan akan memberikan dampak terhadap peningkatan biaya produksi yang disebabkan adanya kesalahan sehingga produk yang dihasilkan terdapat cacat dan dapat menurunkan daya saing produk (Safrizal, 2016). Menurut Yamit (2013) penggunaan tools manajemen kualitas dapat membantu dalam upaya peningkatan kualitas.

Dalam Sofiya N dan Hikmatul M (2018) menyatakan bahwa 7 alat bantu pengendalian kualitas dapat digunakan oleh perusahaan untuk mengetahui kualitas produk dapat terjamin dengan baik. Alat bantu manajemen untuk mengendalikan kualitas adalah diagram sebab akibat yang mempunyai banyak kegunaan dalam memecahkan berbagai permasalahan dengan mengidentifikasi berbagai faktor kemungkinan yang mempunyai hubungan sebab akibat. Penggunaan analisis diagram sebab akibat untuk memecahkan permasalahan dengan mengembangkan berbagai ide dan masukan dengan membuat pengelompokkan berdasarkan faktor-faktor penyebab untuk memudahkan analisis dalam menentukan akar penyebab. Pengelompokkan sumber penyebab masalah mencakup faktor manusia, mesin, metode, material dan lingkungan.

Hasil penelitian terdahulu dengan analisa diagram sebab akibat untuk membantu dalam memecahkan permasalahan dilakukan oleh Annisa I.P dan Yusuf A.W (2018), Prima F dan Niffy E.Y (2016) mendapatkan kesimpulan bahwa faktor penyebab *reject* bersumber dari metode yang kurang baik. Hasil lain dilakukan oleh Sandria S (2017), Supriyadi, dkk (2017), Dimas N dan Wibawati (2014) mendapatkan hasil bahwa cacat yang sering tinggi disebabkan oleh faktor mesin. Menurut Imat S dan Hilmi A (2016), Silvanus P (2017), Arga A dan Naniek (2018) menyebutkan bahwa material, mesin dan faktor lingkungan menjadi faktor penyebab utama terjadinya cacat produk. Hasil ini didukung oleh M.Sulaiman dan Suparno (2015), Adhi. M dan Haryono (2016) mendapatkan

kesimpulan bahwa penyebab utama terjadinya cacat dipengaruhi oleh faktor manusia.

METODE

Penelitian menggunakan desain penelitian deskriptif eksploratif untuk memberikan gambaran yang jelas tentang langkah pengendalian kualitas dengan menggunakan analisis diagram sebab akibat untuk menemukan berbagai potensi yang menjadi faktor penyebab sehingga mendapatkan solusi yang efektif untuk mengembangkan langkah perbaikan dan pencegahan untuk mengurangi cacat produk. Pendekatan penelitian menggunakan pendekatan kualitatif untuk mengungkapkan permasalahan yang dikaji secara tuntas, utuh dan menyeluruh untuk mendapatkan kejelasan dari hubungan antara variabel penelitian yang saling berkorelasi berdasarkan data yang diucapkan secara langsung oleh obyek penelitian dan perilaku hasil pengamatan.

Penelitian dilakukan pada salah satu perusahaan yang memproduksi pipa baja dengan standar API 5L yang berlokasi di daerah Bekasi Jawa Barat, dengan rentang waktu dari Juli sampai Desember 2018. Populasi penelitian meliputi semua bagian yang terlibat dalam tahapan proses produksi yang dimulai dari bahan mentah sampai menjadi produk, sedangkan yang menjadi sampel penelitian adalah operator dan pimpinan yang terlibat langsung dalam kegiatan produksi. Data penelitian yang digunakan untuk memecahkan masalah penelitian yaitu (1) Data primer mencakup berbagai informasi yang berasal dari sumber secara langsung meliputi data proses produksi pembuatan pipa dan tahapan kegiatan pengujian. (2) Data sekunder yang diperoleh berdasarkan informasi dari perusahaan meliputi data hasil produksi dan tingkat cacat produk.

Pengumpulan data menggunakan teknik (1) Observasi lapangan bertujuan untuk mendapatkan gambaran secara menyeluruh dari kegiatan produksi, (2) Diskusi dengan pekerja dan berbagai pihak yang mempunyai keterkaitan langsung dengan proses produksi yang bertujuan untuk mengumpulkan informasi, ide, gagasan dan masukan untuk mendapatkan solusi pemecahan masalah dalam penelitian, (3) Studi dokumentasi untuk mengumpulkan berbagai informasi tentang tahapan kegiatan pengendalian kualitas dan standar pengujian produk. (4) Kajian literatur yang bertujuan

untuk mendapatkan pengetahuan dari berbagai referensi yang memiliki hubungan keterkaitan untuk mendapatkan solusi pemecahan masalah yang dikaji dalam penelitian.

Tahapan proses pengumpulan data dilakukan terhadap sampel produk pipa baja berdasarkan data hasil kegiatan pemeriksaan secara visual dan pengukuran dimensi produk yang dilakukan oleh operator untuk memeriksa adanya kemungkinan terdapat cacat atau ketidaksempurnaan bentuk. Karakteristik jenis cacat yang ditemukan dari hasil pemeriksaan visual meliputi cacat kampuh las pada bagian dalam dan luar pipa serta cacat yang ditemukan pada permukaan pipa, sedangkan jenis cacat yang ditemukan berdasarkan hasil pengukuran dimensi meliputi penyimpangan ketegaklurusan yang tidak simetris dan penyimpangan bentuk yang tidak bulat secara sempurna.

Proses pengumpulan data hasil pengujian produk yang meliputi beberapa tahapan proses pengujian yaitu (1) Pengujian kerataan permukaan yang dilakukan terhadap pipa yang sudah selesai dilakukan pengelasan berdasarkan perbandingan antara diameter (D) dan tebal (t) sesuai standar toleransi dimensi pipa API 5L. (2) Pengujian kebocoran terhadap hasil pengelasan pipa dilakukan dengan metode uji menggunakan tekanan tertentu sesuai standar (3) Pengujian ultrasonik manual terhadap produk pipa baja untuk mendeteksi adanya cacat permukaan hasil pengelasan bagian dalam dan luar pipa sesuai batas toleransi. (4) Pengujian elektro magnetik dilakukan secara kontinyu untuk memeriksa kemungkinan adanya cacat pada bagian luar dan dalam pipa.

Teknik analisis data dilakukan berdasarkan diagram pareto untuk mengklasifikasikan data berdasarkan skala urutan prioritas yang dapat membantu dalam menentukan solusi yang efektif untuk penyelesaian masalah. Setelah diketahui urutan prioritas masalah, maka dilakukan analisis dengan diagram sebab akibat untuk melakukan identifikasi dan menentukan faktor penyebab yang dapat mempengaruhi kualitas pipa baja yang berasal dari sumber daya produksi yang meliputi manusia (tenaga pekerja), metode atau prosedur kerja, mesin atau peralatan produksi, material bahan baku produksi dan keadaan tempat kerja. Untuk menentukan faktor penyebab yang paling berpengaruh, maka dilakukan analisis metode

5W+1H untuk menginvestigasi faktor penyebab secara mendalam dengan mengembangkan pertanyaan berdasarkan metode 5W+1H yaitu *What, Where, When, Why, Who* dan *How* sehingga dapat menentukan sumber penyebab utama (Jens J. Dahlggaard, et all, 2007).

HASIL DAN PEMBAHASAN

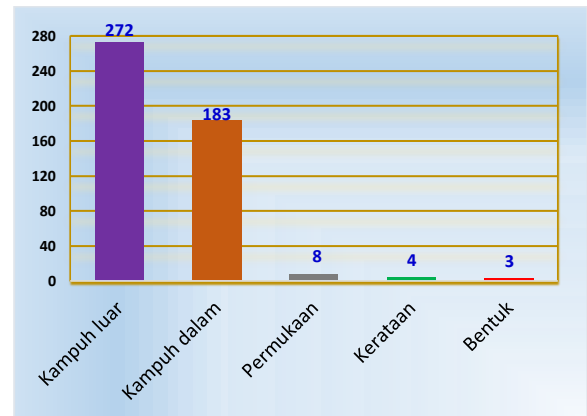
Berdasarkan hasil Pengumpulan data pengamatan dari bulan Juli sampai Desember 2018, jumlah cacat produk yang sudah menyimpang dari standar desain toleransi dan ditetapkan sebagai produk *reject* berdasarkan hasil pemeriksaan secara visual dan pengukuran dimensi dapat diurutkan pada tabel berikut :

Tabel 3. Persentase cacat hasil pemeriksaan visual

No	Jenis Cacat	Jumlah (pcs)	Persentase (%)
1	Kampuh luar	272	57,87
2	Kampuh dalam	183	38,94
3	Permukaan	8	1,70
4	Kerataan	4	0,85
5	Bentuk	3	0,64

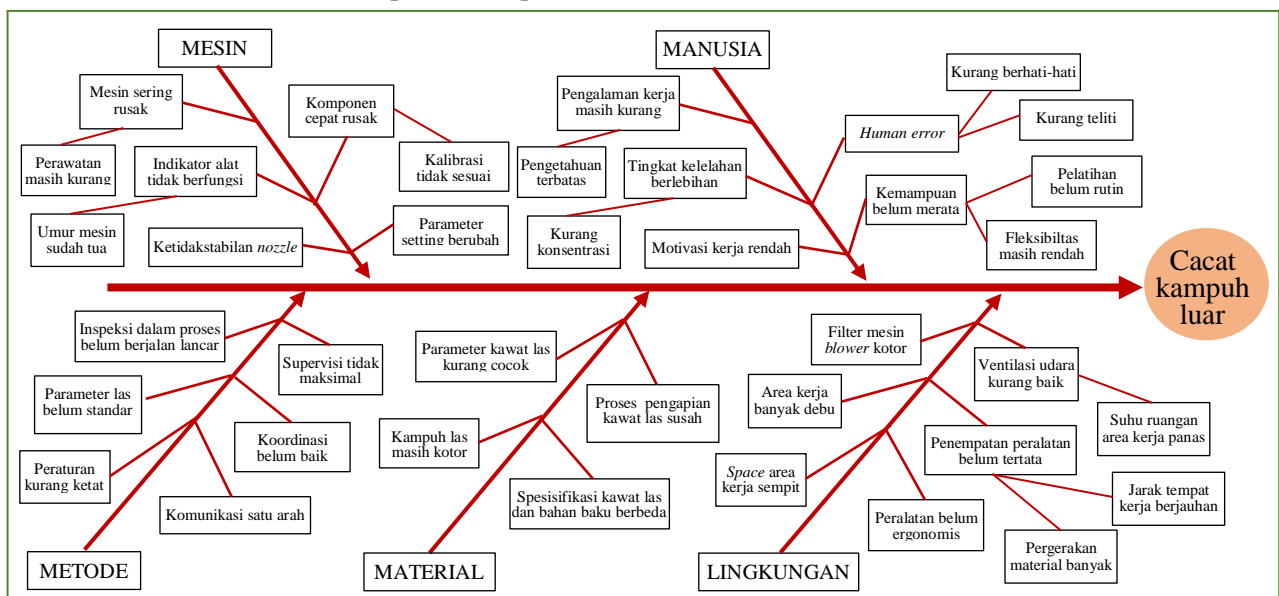
Berdasarkan data pada tabel 3, mendapatkan hasil bahwa jumlah cacat dari pemeriksaan secara visual dan pengukuran dimensi yang paling tinggi adalah jenis cacat kampuh las pada bagian luar pipa dengan persentase sebesar 57,87% dan cacat kampuh las pada bagian dalam pipa dengan persentase sebesar 38,94%. Untuk mempermudah proses

analisis, maka data produk cacat dapat dibuat dalam diagram pareto pada gambar berikut :



Gambar 2. Diagram pareto hasil pemeriksaan visual

Berdasarkan diagram pareto pada gambar 2, dapat ditentukan bahwa cacat kampuh las pada bagian luar pipa merupakan jenis cacat yang dapat ditetapkan sebagai permasalahan utama yang perlu dilakukan perbaikan dan pencegahan dengan mengembangkan berbagai tindakan alternatif untuk mengurangi kesalahan dalam proses produksi yang menyebabkan terjadinya cacat. Untuk melakukan identifikasi dan mendapatkan faktor penyebab yang memiliki hubungan keterkaitan sebab akibat, maka dilakukan analisa dengan menggunakan diagram sebab akibat pada gambar berikut :



Gambar 3. Diagram sebab akibat cacat kampuh luar

Hasil analisis diagram sebab akibat pada gambar 3, cacat kampuh las pada bagian luar

pipa disebabkan oleh lima faktor yang berpengaruh meliputi (1) Manusia yaitu

permasalahan yang berasal dari kesalahan operator dalam melakukan proses pengecekan dan penyetingan mesin masih kurang teliti dan kurang berhati-hati, sehingga pengoperasian mesin belum dapat berfungsi secara optimal dan dapat menimbulkan potensi terjadinya kesalahan proses atau cacat produk. Aspek yang lain disebabkan karena operator masih kurang mendapatkan pelatihan untuk meningkatkan keahlian dalam mengoperasikan mesin, permasalahan ini memberi dampak terhadap tingkat keahlian operator dalam mengoperasikan mesin masih belum merata, sehingga dapat mengurangi tingkat fleksibilitas pengaturan operator pada kondisi tertentu apabila ada operator yang berhalangan maka ada operator pengganti yang memiliki keahlian yang sama. Beberapa operator baru masih belum mendapatkan pengalaman kerja yang baik sehingga pengetahuan yang dimiliki operator masih kurang memahami sistem pengoperasian mesin. Adanya tingkat kelelahan operator yang berlebihan selama mengoperasikan mesin dapat menurunkan daya konsentrasi, dalam kondisi ketahanan fisik yang mengalami kelelahan dapat berdampak terhadap terjadinya kesalahan. Hal yang lain dipengaruhi karena operator kurang memiliki motivasi kerja untuk mengembangkan ide dan gagasan untuk menciptakan teknik dan metode kerja baru yang lebih efektif.

Penyebab cacat kampuh las bagian luar pipa dari faktor (2) Mesin yaitu permasalahan yang disebabkan karena masih belum optimalnya kegiatan perawatan mesin sehingga mesin sering mengalami kerusakan yang dapat mengakibatkan proses pengelasan kampuh bagian luar pipa menjadi terhambat, dalam kondisi proses pengelasan sedang dilakukan kemudian terjadi kerusakan pada mesin, maka akan menimbulkan cacat dan hasil pengelasan tidak merata. Pemakaian mesin secara kontinyu dalam proses produksi menjadi salah satu penyebab komponen mesin cepat mengalami kerusakan yang dapat menurunkan kapabilitas fungsional mesin, sehingga kecepatan mesin hanya bisa dioperasikan dibawah standar. Aspek yang lain disebabkan karena adanya perubahan parameter penyetingan mesin yang digunakan dalam tahapan produksi sebelumnya, sehingga kalibrasi peralatan tidak sesuai dengan batas standar proses yang dapat mengakibatkan terjadinya kesalahan. Adanya peralatan produksi

yang digunakan sudah tidak layak digunakan yang ditandai dengan ketidakstabilan gerakan nozzle mesin las yang dapat menyebabkan jarak busur api pengelasan dengan benda kerja menjadi tidak konsisten, sehingga proses pencairan material logam pengisi menjadi tidak stabil dan hasil pengelasan tidak merata. Beberapa indikator alat ukur parameter operasi mesin kondisinya sudah tidak dapat fungsi secara normal, sehingga mesin tidak bisa dioperasikan dengan baik yang disebabkan karena umur mesin yang sudah tua.

Penyebab cacat kampuh las bagian luar pipa dari faktor (3) Metode yaitu permasalahan yang disebabkan karena belum adanya standar pengaturan parameter pengelasan kampuh las bagian luar, yang harus disesuaikan dengan ketebalan material, ukuran diameter pipa, penyetingan ampere, voltase dan parameter pengelasan yang lainnya. Pengaturan parameter pengelasan menjadi hal yang penting karena akan berpengaruh secara langsung terhadap kualitas produk yang dihasilkan. Aspek yang lain disebabkan karena masih belum adanya petunjuk kerja untuk kegiatan inspeksi yang akan dilakukan oleh operator dalam proses produksi, sehingga apabila terjadi kesalahan dari parameter proses yang dapat menyebabkan cacat produk tidak bisa langsung diketahui secara langsung oleh operator untuk dilakukan tindakan perbaikan. Kegiatan *supervise* yang dilakukan belum diterapkan secara ketat sehingga kegiatan pemeriksaan masih belum optimal untuk mengurangi tingkat kesalahan dan mencegah cacat dapat lolos ketahapan proses selanjutnya. Komunikasi yang dilakukan bersifat satu arah, sehingga koordinasi pekerjaan masih belum berjalan dengan baik dan operator hanya bekerja sesuai dengan instruksi yang disampaikan oleh atasan dan masih kurang memiliki rasa kepedulian dan bertanggungjawab untuk meningkatkan kualitas. Peraturan pengendalian kualitas yang diterapkan masih kurang disiplin sehingga kegiatan pemeriksaan terhadap produk yang dilakukan oleh operator belum sepenuhnya diterapkan dengan baik dan penegakkan disiplin kerja masih belum diterapkan dengan konsisten.

Penyebab cacat kampuh las bagian luar pipa dari faktor (4) Material yaitu permasalahan yang disebabkan oleh material kawat las yang digunakan kurang cocok dengan bahan material

yang akan dilas, pemilihan material kawat las tidak sesuai dengan spesifikasi material pipa dapat mengakibatkan kualitas hasil pengelasan kurang bagus dan kekuatan sambungan hasil pengelasan dibawah standar, sehingga berpotensi tidak lolos dalam pengujian. Aspek yang lain disebabkan karena jenis material kawat las sering mengalami kesulitan dalam proses menyalakan busur api, sehingga menimbulkan cacat pada hasil pengelasan. Penyebab yang lain dipengaruhi oleh persiapan kampuh las belum baik sehingga masih adanya cacat permukaan pada material didekat kampuh pengelasan yang berpengaruh terhadap kualitas produk akhir.

Penyebab cacat kampuh las bagian luar pipa dari faktor (5) Lingkungan yaitu permasalahan yang disebabkan karena kurangnya ventilasi udara sehingga area tempat kerja menjadi panas yang dapat berdampak terhadap tingkat konsentrasi dari operator yang sedang bekerja, kondisi ini dapat mempengaruhi keadaan tempat kurang nyaman yang dapat mengakibatkan operator kurang fokus terhadap pekerjaan. Aspek yang lain disebabkan karena filter udara mesin *blower* yang digunakan kondisinya sudah kotor dan banyak mengandung debu, hal tersebut mengakibatkan asap dari proses pengelasan tidak dapat disirkulasi dengan baik sehingga dapat merugikan kesehatan operator yang bekerja. Penempatan material dan peralatan produksi masih belum dirancang dengan tata letak yang baik berdasarkan urutan pergerakan alur proses kerja, dengan kondisi penempatan material dan peralatan kerja yang masih belum tertata dengan rapih dapat mengganggu kenyamanan kerja dan menambah waktu untuk pemindahan material. Tingkat kebisingan dalam area kerja menjadi faktor penyebab yang dapat mengurangi daya konsentrasi dari operator selama melakukan pekerjaan. Pengaruh yang lain berkaitan dengan

tingkat kompleksitas beban kerja operator yang dapat mempengaruhi tingkat ketelitian dan konsistensi terhadap. Faktor yang lain dipengaruhi oleh luas area kerja yang sempit, dan peralatan produksi yang digunakan masih belum dirancang secara ergonomis untuk memberikan kenyamanan operator dan optimalisasi fungsi peralatan kerja.

Tahapan proses kegiatan pemeriksaan kualitas produk pipa baja dilakukan dengan melakukan beberapa tahapan pengujian untuk memeriksa bahwa sudah tidak terdapat cacat dalam produk pipa baja. Data cacat dari hasil pengujian pada tabel berikut :

Tabel 4. Persentase cacat hasil pengujian

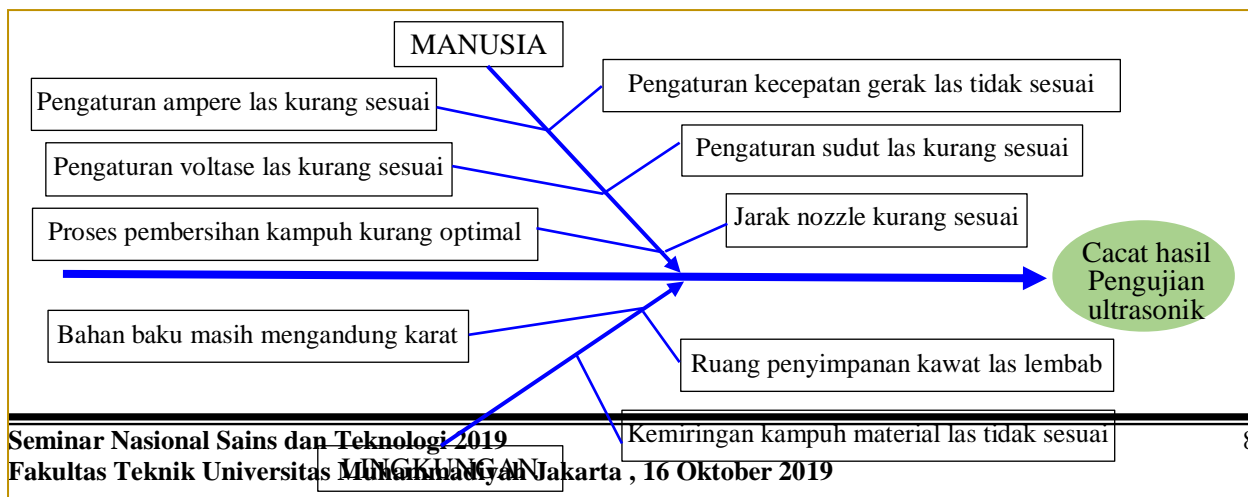
No	Jenis pengujian	Jumlah (pcs)	Persentase (%)
1	Uji ultrasonik	404	99,26
2	Uji tekanan	2	0,49
3	Uji kerataan	1	0,25

Data pada tabel 4, mendapatkan data produk cacat dari hasil uji ultrasonik sebesar 99,26 %, sehingga hal ini dapat ditetapkan sebagai permasalahan utama yang perlu dilakukan tindakan perbaikan. Hasil pengujian ultrasonik dapat dikategori pada tabel berikut :

Tabel 5. Kategori cacat hasil pengujian ultrasonik

No	Kategori cacat	Jumlah (pcs)	Persentase (%)
1	Porositas	139	34,41
2	Slag inclusion	127	31,44
3	Tungsten inclusion	91	22,52
4	Penetrasi	47	11,63

Untuk melakukan identifikasi faktor penyebab yang memiliki hubungan keterkaitan sebab akibat terhadap cacat hasil uji ultrasonik berdasarkan jenis cacat porositas, *slag inclusion*, *tungsten inclusion* dan penetrasi, maka dilakukan analisa dengan menggunakan diagram sebab akibat pada gambar berikut :



Gambar 4. Diagram sebab akibat cacat hasil pengujian ultrasonik

Faktor penyebab meliputi (1) cacat porositas berupa lubang kecil yang terdapat pada bagian dalam kampuh las dibawah permukaan dipengaruhi oleh faktor manusia yaitu dalam proses pengelasan pengaturan ampere mesin las masih kurang tinggi dan pengaturan kecepatan pengelasan yang terlalu rendah, sehingga busur pengelasan masih terlalu rendah, sedangkan dari faktor material yaitu penggunaan logam pengisi tidak kering sempurna atau masih mengandung uap air dan bahan baku material yang akan dilas masih belum dibersihkan dari karat. (2) cacat *slag inclusion* yang ada pada bagian dalam daerah pengelasan berupa cairan fluk pada titik awal dan titik akhir tahapan pengelasan dipengaruhi oleh faktor manusia yaitu kampuh pengelasan masih belum dibersihkan dengan benar, sehingga masih mengandung terak pengelasan material yang masih menempel pada area kampuh, dalam proses pengelasan pengaturan ampere mesin las masih kurang tinggi dan pengaturan sudut pengelasan masih kurang tepat dapat mempengaruhi busur pengelasan masih terlalu rendah, sedangkan dari faktor material yaitu persiapan material untuk area logam pengisi, sudut kemiringan kampuhnya masih kurang lebar, sehingga dapat mempengaruhi besarnya cairan logam pengisi pada material.

Faktor penyebab (3) cacat *tungsten inclusion* berupa lubang pada bagian dalam daerah pengelasan yang terbentuk dari hasil proses peleburan logam pengisi dan bahan material, dipengaruhi oleh faktor manusia yaitu pengaturan ampere mesin las masih kurang tinggi dan penyeteran jarak nozzle busur las dan material terlalu pendek, sedangkan dari faktor material yaitu material tungsten yang digunakan sudut ketajamannya tidak sesuai standar sehingga mempengaruhi kelancaran dalam proses peleburan logam pengisi pengelasan. (4) cacat penetrasi las yang tidak sempurna dari proses peleburan logam pengisi yang tidak dapat mencapai pada bagian akar area pengelasan dipengaruhi oleh faktor manusia yaitu pengaturan jarak kampuh las masih kurang kecil, dan pengaturan ampere masih rendah dan sudut elektroda yang belum sesuai sehingga pengaturan parameter kecepatan pengelasan masih terlalu cepat yang mengakibatkan proses peleburan logam pengisi tidak sempurna menembus bagian akar pengelasan.

Hasil identifikasi faktor penyebab dengan analisis diagram sebab akibat, dilakukan analisis lebih mendalam untuk menentukan tindakan perbaikan dan mengembangkan solusi untuk menurunkan tingkat cacat dengan analisis metode 5W+1H pada tabel berikut :

Tabel 6. Analisis metode 5W+1H

Faktor	What	Who	Where	When	Why	How
Manusia	Human error	Operator	Proses pengelasan	data tabel 3	Kurang teliti dan berhati-hati	Mensosialisasikan budaya kerja disiplin
	Kemampuan belum merata	Operator	Proses pengelasan	data tabel 3	Tingkat fleksibilitas operator masih rendah	Mengadakan pelatihan secara rutin untuk operator lama dan baru
	Kelelahan berlebihan	Operator	Proses pengelasan	data tabel 3	Ruang kerja panas dan banyak asap	Memperbaiki sistem ventilasi udara di area kerja
	Motivasi kerja rendah	Operator	Proses pengelasan	data tabel 3	Tidak ada tindakan perbaikan kualitas	Memberikan <i>reward</i> untuk gagasan metode kerja baru
Mesin	Pemeliharaan mesin masih belum baik	Bag. Pemeliharaan	Proses pengelasan	data tabel 3	Belum konsisten melakukan kegiatan pemeliharaan mesin	Melakukan kegiatan pemeliharaan mesin las secara teratur dan terjadwal
	Umur pakai komponen	Bag. Pemeliharaan	Proses pengelasan	data tabel 3	Penggantian komponen mesin	Menetapkan penggantian komponen mesin secara

	singkat	haraan			belum konsisten	berkala sesuai <i>running hour</i>
	Indikator mesin tidak berfungsi	Bag. Pemeliharaan	Proses pengelasan	data tabel 3	Peralatan sudah tidak layak digunakan	Pemeriksaan kondisi fisik dan aspek fungsional mesin dan peralatan
	Perubahan penyetingan	Pemeliharaan	Proses pengelasan	data tabel 3	Kegiatan kalibrasi belum konsisten	Membuat jadwal kalibrasi mesin dan peralatan
Metode	Parameter penyetingan	Mgr. prod.	Proses pengelasan	data tabel 3	Belum ada standar yang ditetapkan	Menetapkan standar parameter penyetingan
	Pemeriksaan dalam proses	Opr dan M.prod	Proses pengelasan	data tabel 3	Belum ada petunjuk kerja yang baku	Membuat petunjuk kerja inspeksi dalam proses
	Pengawasan kualitas	Mgr. prod	Proses pengelasan	data tabel 3	Pengawasan belum optimal	Kegiatan <i>supervise</i> dilakukan dengan ketat dan teratur
	Peraturan disiplin kerja	Mgr. prod	Proses pengelasan	data tabel 3	Penerapan peraturan belum konsisten	Pemberian sanksi yang tegas terhadap pelanggaran
Material	Material kawat las	Mgr. prod	Proses pengelasan	data tabel 3	Penggunaan kawat las tidak sesuai	Kawat las sesuai dengan spesifikasi bahan baku
	Parameter kawat las	Mgr. prod	Proses pengelasan	data tabel 3	Pengapian kawat las agak susah	Parameter <i>setting</i> kawat las sesuai dengan bahan baku
	Persiapan kampuh las	Operator	Proses pengelasan	data tabel 3	Kampuh las belum bersih sempurna	Memperbaiki teknik dan metode kerja dalam membersihkan kampuh las
	sudut kampuh las	Operator	Proses pengelasan	data tabel 3	Kemiringan sudut kampuh belum pas	Penyetingan ulang parameter mesin pembuatan kampuh
Lingkungan	Sirkulasi udara belum baik	Mgr. prod	Proses pengelasan	data tabel 3	Filter udara banyak mengandung debu	Melakukan perbaikan sistem ventilasi udara di area kerja
	Mesin dan Peralatan masih berantakan	Opr dan Mgr. prod	Proses pengelasan	data tabel 3	Pergerakan material dan bahan baku belum lancar	Membuat perancangan tata letak mesin dan fasilitas sesuai dengan aliran proses
	Peralatan kerja belum sesuai	Mgr. prod	Proses pengelasan	data tabel 3	Peralatan kerja kurang nyaman	Merancang peralatan kerja yang ergonomis
	Kebisingan tinggi	Mgr. prod	Proses pengelasan	data tabel 3	Tingkat kebisingan melebihi batas	Alat pelindung diri sesuai potensi bahaya

Hasil identifikasi masalah yang dilakukan dengan menggunakan analisis metode 5W+1H, dapat ditetapkan menjadi solusi yang efektif untuk menurunkan tingkat cacat produk dengan menyusun strategi perancangan kegiatan pengendalian kualitas berdasarkan pertimbangan dari faktor manusia dapat ditetapkan sebagai akar penyebab kesalahan yang paling tinggi, karena operator akan terlibat langsung dengan rangkaian proses produksi, sehingga kesalahan yang dilakukan oleh operator akan berdampak terhadap kualitas produk. Upaya tindakan perbaikan untuk mengurangi kesalahan dari faktor manusia dilakukan dengan langkah yaitu (1) Mensosialisasikan budaya kerja disiplin

dalam melakukan tahapan proses pekerjaan, untuk menjaga sikap kerja operator yang selalu fokus terhadap pekerjaan dan selalu berhati-hati dalam bekerja. (2) Memberikan pelatihan bagi operator lama dan baru, untuk menambah dan mengembangkan keterampilan, pengetahuan dan wawasan yang dimiliki oleh operator sehingga dapat memiliki tingkat kompetensi yang sama dan dapat menjaga tingkat fleksibilitas dalam pembagian tugas dan tanggung jawab pekerjaan menjadi lebih mudah. (3) Memberikan *reward* untuk gagasan metode kerja baru, hal ini dilakukan untuk meningkatkan motivasi dan semangat kerja operator yang terlibat langsung dalam kegiatan

produksi dengan mengembangkan pengetahuan untuk menciptakan metode kerja yang lebih efektif dan dapat mengurangi tingkat kesalahan.

Akar penyebab kesalahan yang memiliki pengaruh besar terhadap cacat produk berasal faktor mesin, karena pengaruh dari mesin akan berhubungan secara langsung dengan produk yang dihasilkan. Upaya tindakan perbaikan untuk mengurangi kesalahan dari faktor mesin dapat dilakukan dengan langkah yaitu (1) Melakukan kegiatan pemeliharaan mesin las secara teratur dan terjadwal dengan baik, untuk menjaga mesin dapat berfungsi secara normal. (2) Menetapkan penggantian komponen mesin secara berkala sesuai *running hour*, untuk menjamin tingkat kehandalan mesin dapat dioperasikan secara terus menerus tanpa mengalami kerusakan. (3) Pemeriksaan kondisi fisik dan aspek fungsional dari mesin dan peralatan produksi untuk mencegah potensi kerusakan mesin yang dapat diketahui lebih awal (4) Membuat jadwal kalibrasi penyetingan parameter untuk menjamin fungsi mesin dan peralatan dapat digunakan secara normal.

Akar penyebab kesalahan yang memiliki pengaruh terhadap cacat produk berasal faktor metode yang mencakup teknik, standar, pedoman dan instruksi kerja yang digunakan sebagai landasan dalam melakukan pekerjaan, faktor metode ini akan memberikan dampak terhadap produk yang dihasilkan, karena proses produksi yang dilakukan dengan menggunakan metode yang kurang tepat maka tahapan proses kerjanya akan terjadi kesalahan dan berpotensi menimbulkan terjadinya cacat. Upaya tindakan pencegahan untuk mengurangi tingkat kesalahan dari faktor metode dapat dilakukan dengan langkah yaitu (1) Menetapkan standar parameter penyetingan yang menjadi kerangka kerja operator dalam mengoperasikan mesin, sehingga dapat menjaga konsistensi kualitas produk yang dihasilkan. (2) Membuat petunjuk kerja inspeksi dalam proses yang dilakukan oleh operator untuk menumbuhkan rasa kepedulian dan kesadaran terhadap kualitas (*built in quality*) untuk selalu melakukan kegiatan pemeriksaan kualitas terhadap produk yang sudah dikerjakan. (3) Kegiatan *supervise* dilakukan dengan ketat dan teratur sebagai langkah pencegahan untuk mengawasi kegiatan produksi dapat berjalan secara normal tanpa mengalami adanya hambatan kualitas dengan mendeteksi sejak dini

berbagai kemungkinan yang dapat menimbulkan terjadinya kesalahan. (4) Pemberian sanksi yang tegas terhadap setiap jenis pelanggaran yang dilakukan oleh operator sebagai langkah untuk menegakkan kedisiplinan kerja sehingga semua pekerja dapat memiliki tanggungjawab secara penuh terhadap pengendalian kualitas.

Akar penyebab kesalahan yang memiliki keterkaitan terhadap cacat produk berasal faktor material yang digunakan untuk pembuatan produk. Upaya tindakan pencegahan untuk menurunkan tingkat cacat produk dari faktor material dengan melakukan perbaikan melalui yaitu (1) Pemilihan jenis material kawat las sesuai dengan spesifikasi bahan baku untuk menghasilkan kualitas sambungan proses pengelasan yang kuat. (2) Parameter penyetingan kawat las sesuai dengan bahan baku untuk memudahkan proses peleburan logam cair pada material dasar. (3) Memperbaiki teknik kerja dalam membersihkan kampuh las untuk memastikan bahan baku yang sudah dibersihkan dengan sempurna. (4) Penyetingan ulang parameter mesin pembuatan kampuh untuk membentuk sudut kemiringan yang tepat dan sesuai standar pengelasan.

Akar penyebab kesalahan yang memiliki keterkaitan secara tidak langsung terhadap cacat produk berasal dari faktor lingkungan yang digunakan untuk tempat bekerja. Upaya tindakan perbaikan untuk menurunkan tingkat cacat produk dapat dilakukan dengan langkah yaitu (1) Melakukan perbaikan sistem ventilasi udara di area kerja untuk menjaga temperatur ruangan tempat kerja tidak panas, bersih dari debu dan asap proses pengelasan, sehingga dapat mengurangi tingkat kelelahan operator selama bekerja dan menjaga konsentrasi untuk tetap fokus terhadap pekerjaan. (2) Membuat perancangan dan pengaturan tata letak mesin dan fasilitas untuk mendapatkan proses produksi yang optimal sehingga pergerakan pekerja dan pemindahan material dapat berjalan secara lancar dan dapat mengurangi jarak antar tempat kerja. (3) Merancang peralatan kerja yang ergonomis untuk menjaga proses produksi dapat dilakukan secara efektif dengan peralatan kerja yang tersedia secara lengkap sesuai dengan fungsi dan penggunaan peralatan yang dipakai dapat memberikan rasa nyaman terhadap operator sehingga dapat mengurangi tingkat kelelahan yang berlebihan. (4) Menyediakan alat pelindung

diri berdasarkan besarnya resiko bahaya untuk mengurangi sumber potensi bahaya yang dapat mengakibatkan kecelakaan dan memberikan perlindungan rasa aman kepada operator dari dampak penyakit akibat kerja.

Hasil analisis diagram sebab akibat dan metode 5W+1H berdasarkan hasil identifikasi berbagai faktor penyebab kesalahan yang menimbulkan cacat produk dapat ditentukan bahwa sumber penyebab kesalahan yang paling besar berasal dari faktor manusia dan mesin. Faktor manusia yang disebabkan karena *human error*, tingkat kemampuan yang belum merata, dan kurangnya motivasi untuk mengembangkan metode kerja baru, sehingga upaya tindakan perbaikan dengan menerapkan kebiasaan sikap kerja disiplin, mengadakan pelatihan secara rutin dan memberikan penghargaan secara khusus untuk setiap gagasan metode kerja baru. Faktor mesin memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap terjadinya kesalahan, sehingga langkah perbaikan dengan melakukan kegiatan pemeliharaan mesin secara teratur dengan menetapkan jadwal waktu penggantian komponen mesin secara berkala sesuai dengan batasan *running hour* dengan melakukan pemeriksaan kondisi fisik dan aspek fungsional indikator mesin secara menyeluruh.

Sedangkan faktor metode, material dan lingkungan memiliki hubungan keterkaitan dengan penyebab terjadinya kesalahan namun tingkat pengaruh tidak besar. Faktor metode yang menjadi penyebab terjadinya kesalahan dapat dicegah dengan membuat petunjuk kerja inspeksi dalam proses dan kegiatan *supervise* dilakukan dengan ketat dengan memberikan sanksi yang tegas terhadap pelanggaran. Faktor material memberikan pengaruh terhadap terjadinya kesalahan dapat diperbaiki dengan melakukan pemilihan jenis material kawat las yang sesuai dengan bahan baku dan melakukan penyetingan parameter proses pengelasan. Faktor lingkungan dapat diperbaiki dengan membuat perancangan tata letak fasilitas dan peralatan kerja yang ergonomis serta menyediakan alat pelindung diri untuk mengurangi resiko kecelakaan kerja.

KESIMPULAN

Hasil analisis dengan diagram sebab akibat dan metode 5W+1H, mendapatkan kesimpulan bahwa akar masalah penyebab cacat

produk yang paling besar berasal dari faktor manusia karena *human error*, tingkat keahlian belum merata dan motivasi kerja yang masih kurang sedangkan dari faktor mesin karena adanya kerusakan mesin yang dipengaruhi umur pakai komponen yang singkat. Sedangkan dari faktor material, metode dan lingkungan memiliki hubungan keterkaitan sebagai faktor penyebab terjadinya kesalahan namun tidak berpengaruh secara signifikan.

Upaya tindakan perbaikan untuk menurunkan tingkat cacat produk dari faktor manusia dapat dilakukan dengan meningkatkan kompetensi yang dimiliki oleh operator melalui kegiatan pelatihan yang dilakukan secara rutin untuk mengembangkan kemampuan dan pengetahuan, sedangkan dari faktor mesin dapat dilakukan dengan melakukan kegiatan pemeliharaan mesin secara teratur dengan melakukan pemeriksaan fisik dan aspek fungsional mesin untuk memberikan kepastian mesin dapat dioperasikan secara normal.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih dan penghargaan dipersembahkan untuk Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta yang sudah banyak membantu dan memberikan dukungan untuk mempublikasikan hasil penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhi Mei Susanto dan Haryono (2016). Analisis Pengendalian Kualitas Statistika Pada proses Produksi Pipa *Electric Resistance welded* (ERW) di PT.X. Jurnal Sains dan Seni ITS. Vol. 5, No.2, hal.E-83-90.
- Annisa Indah P dan Yusuf Ari W. (2018). Pengendalian Kualitas Untuk Meminimasi *Reject Start* di Mesin Extruder Menggunakan Metode PDCA di PT Wahana Duta Jaya Rucika. Industry Xplore – Vol. 3 No. 01, hal.1-15.
- Arga Adyatama dan Naniek Utami Handayani (2018). Perbaikan Kualitas Menggunakan Prinsip Kaizen dan 5 *Why Analysis* : Studi Kasus Pada Painting Shop Karawang Plant 1, PT. TMMI. Jurnal Teknik Industri Undip, Vol. 13, No. 3, h.169-176.
- Bella Azis Dewanti Putri, dkk (2019). Analisis Pengendalian Kualitas Produk Lampu Hias Menggunakan Metode *Six Sigma*

- pada Industri Kerajinan Kaca. Seminar Nasional IENACO. hal.228-234.
- Cyrilla Indri Parwati dan Jilker Pranto Sibarani (2016). Analisis Pengendalian Kualitas Produk Steel Pipes dan PT. Tubulars Menggunakan *Metode Failure Mode and Effect Aanalysis* (FMEA) pada PT. Dwi Sumber Arca Waja Batam. Seminar Nasional IENACO, hal.366-373.
- Didi Haryono, dkk (2018). Analisis Pengendalian Kualitas Produksi Dengan Metode Six-Sigma Pada Industri Air Minum PT Asera Tirta Posidonia, Kota Palopo. *Jurnal Sainsmat*, Vol.VII, No.2, hal.163-176.
- Dimas N. D. Seputro dan Wibawati (2014) Pengontrolan Kualitas Diameter Pipa Baja pada Proses *Tube Mill* dengan Menerapkan Diagram Kontrol Kombinasi MEWMA. *Jurnal Sains dan Seni Pomits* Vol. 3, No.2, hal. D-290-295
- Imat S dan Hilmi A (2016). Analisis Identifikasi Pengendalian Kualitas Produk *Rubber Ring* di CV.Mandala Logam. *Jurnal Kalibrasi STT Garut*.Vol.14, No.1, hal.35-45.
- Indra Gumelar dan Tubagus Hendri (2019). Analisa Perbaikan Produk NG Pada Proses Mixing dengan *Metode Fault Tree Analysis* (FTA) dan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). *Jurnal Rekayasa Teknologi dan Sains Terapan*, Vol.2, No.1, hal. 18-30.
- Jens J. Dahlgaard, Kai Kristensen and Gopal K. Kanji, 2007 : “*Fundamentals of Total Quality Management*” : *Process analysis and improvement*, Taylor & Francis Group, London.
- Mochamad Sulaiman dan Suparno (2015). Peningkatan Kualitas Pipa Baja Menggunakan Metode DMAIC dan *Failure Modes & Effect Analysis* (FMEA) Studi Kasus PT.SPII. Prosiding Semnas Manajemen Teknologi-ITS, hal.A-1-1-10
- Multi Nadeak, dkk (2017). Analisa Perbaikan Produk NG pada Proses Mixing dengan Metode FTA dan FMEA di Perusahaan Ban Mobil Indonesia. *Jurnal Trend Tech* Vol.2, No.2, hal.13-21.
- Nasution (2015). *Total Quality Management*, Bogor : Ghalia Indonesia.
- Prima Fithri dan Niffy Eri Yeni (2016). Analisis Pengendalian Kualitas Pada *Engine Boss Drive Face* K44f Dengan Metode *Six Sigma* di PT. Sparta Guna Sentosa. *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, Vol. 15 No. 2, hal.114-127.
- Safrizal dan Muhajir (2016). Pengendalian Kualitas Dengan Metode Six Sigma. *Jurnal Manajemen dan Keuangan*. FE Universitas Samudra Langsa. Vol.5, No.2, hal. 615-626.
- Sandria Sandi, dkk (2017). Usulan Perbaikan Kualitas Produk Pipa Baja Las Spiral Menggunakan Metode Six Sigma Berdasarkan *Design Of Experiment* (DOE) DI PT. XYZ. *Jurnal Teknik Industri* Vol. 5 No. 1, hal.66-79.
- Silvanus Parayu P.W. (2017). Analisis Faktor Penyebab Cacat Pengelasan Pada Pipa (Study Kasus Pada Pipa Distribusi PDAM Kabupaten Kutai Barat). *Jurnal Mekanikal*, Vol. 8, No.2, hal.730-736.
- Sofiyannurriyanti dan Hikmatul Maulida (2018). Pengendalian Kualitas Proses Produksi Kayu Olahan *Turning* Dengan Menggunakan Metode Seven Tools di CV. Gavra Perkasa. *Jurnal Bina Teknika*, Vo.14, No.2, hal.217-223.
- Supriyadi, dkk (2017). Analisis Kualitas Produk dengan Pendekatan Six Sigma. Prosiding SNTI dan Satelit Jurusan Teknik Industri Universitas Brawijaya. hal.D7-13.
- Yamit (2013). *Manajemen Kualitas Produk dan Jasa*. Yogyakarta : FE Universitas Islam Indonesia.