

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Dalam industri manufaktur, khususnya pada sektor fabrikasi dan pengelasan pipa baja, kualitas produk menjadi faktor penting yang menentukan keberhasilan perusahaan dalam memenuhi standar proyek serta kepuasan klien. Perusahaan dituntut untuk mampu menjalankan proses produksi secara efektif dan efisien agar dapat bersaing dan mempertahankan reputasi di tengah meningkatnya tuntutan proyek yang mengharuskan hasil kerja berkualitas tinggi. Salah satu strategi yang sangat berpengaruh terhadap keberlangsungan perusahaan adalah penerapan pengendalian kualitas yang konsisten di setiap tahapan proses.

Apabila proses fabrikasi dan pengelasan dijalankan dengan metode yang tepat, penggunaan peralatan yang sesuai, serta mengikuti parameter standar, maka potensi terjadinya cacat dapat ditekan. Produk pipa yang memenuhi spesifikasi teknis tidak hanya meningkatkan keandalan konstruksi, tetapi juga mengurangi biaya proyek akibat *rework*, penolakan (*reject*), ataupun keterlambatan pengiriman. Dengan demikian, pengendalian kualitas memiliki peran penting dalam mengurangi tingkat *defect* dan menciptakan kondisi produksi yang lebih stabil serta efisien.

Dalam penyusunan tinjauan pustaka ini, penulis melakukan penelusuran literatur menggunakan sumber-sumber ilmiah melalui *Google Scholar* dengan kata kunci seperti *welding defect*, *pipe fabrication*, *quality control*, dan *welding procedure*. Pencarian literatur difokuskan pada penulisan lima tahun terakhir yang membahas penyebab cacat pengelasan, teknik inspeksi, metode perbaikan kualitas, serta penerapan SOP atau *Welding Procedure Specification* (WPS) dalam konteks industri. Ringkasan penulisan terdahulu kemudian diuraikan ke dalam beberapa paragraf meliputi masalah, metode yang digunakan, solusi perbaikan, dan hasil penulisan.

Setelah dilakukan filter, maka penulis mendapatkan 10 pustaka yang dijadikan sebagai acuan dalam menemukan solusi mengenai kecacatan produk, secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 2.1. tinjauan pustaka terdahulu terkait dengan proyek penulisan.

Tabel 2.1 Ringkasan tinjauan pustaka

Penulis	Objek Penulisan	Permasalahan	Metode	Hasil penulisan
(Susetyo et al., 2019)	PT Barata Indonesia (produksi baja <i>penstock</i>)	Masih tingginya produk cacat <i>non-visual</i> , meskipun tingkat sigma mendekati standar industri. Cacat disebabkan oleh material basah, mesin las jarang dikalibrasi, operator tidak teliti	<i>Six Sigma</i> dan <i>Seven Tools</i>	Penulisan ini untuk proyek Titab dan Rotiklot, hasil inspeksi menggunakan sinar X menemukan cacat <i>non-visual</i> yaitu <i>porosity</i> (lubang gas), <i>slag inclusion</i> (terak terjebak dalam las), <i>root concavity</i> (cekungan akar las)
(Khatammi dan Wasiur, 2022)	UD Las Mandiri (produksi pagar, kanopi, tralis, dan <i>rolling door</i>)	<i>Undercut</i> , <i>spatter</i> , dan <i>welding crack</i>	Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)	Menganalisis kecacatan produk hasil pengelasan, membuat rancangan untuk meningkatkan kualitas produk, dan menentukan prioritas penyebab kecacatan produk menggunakan metode FMEA
(Sandi et al., 2017)	PT XYZ (produksi pipa baja spiral)	Tingginya jumlah kecacatan produk pipa, yang berdampak pada waktu produksi, biaya rework, dan ketidakpuasan konsumen	<i>Six Sigma DMAIC</i>	Terdapat 131 kecacatan dalam proses produksi pengelasan. Jenis cacat paling dominan yaitu permukaan las tidak rata, dan penyebab utamanya yaitu mesin yang usang
(Cahaya Mulia dan Rochmoeljati, 2021)	PT PAL Indonesia (produksi kapal)	<i>Incomplete penetration</i> , <i>incomplete fusion</i> , <i>slag inclusion</i> , dan <i>porosity</i>	<i>Statistical Quality Control</i> (SQC) dan <i>Failure Mode Effect Analysis</i> (FMEA)	Untuk mengetahui persentase kecacatan yang paling dominan dan faktor penyebab cacat serta memberikan usulan tindakan perbaikan kualitas pengelasan
(Prasetyo et al., 2023)	PT PPW (produksi pipa stainless steel)	Cacat melebihi standar toleransi perusahaan, proses produksi sempat tidak terkendali, belum adanya sistem monitoring material pengkilap yang efektif	<i>Statistical Process Control</i> (SPC) dan <i>Failure Mode and Effect Analysis</i> (FMEA)	Ditemukan cacat yang cukup tinggi dalam proses pengelasan (<i>welding</i>) dan pengkilapan (<i>polishing</i>). Cacat paling kritis yaitu las tidak sempurna dan pengkilapan tidak sempurna yang disebabkan oleh kesalahan dalam mengatur mesin

Tabel 2.1 Lanjutan

Penulis	Objek Penulisan	Permasalahan	Metode	Hasil penulisan
(Malik et al., 2023)	PLTA Peusangan Aceh Tengah (fabrikasi pipa baja penstock)	Cacat las <i>lack of root penetration</i> ditemukan di area sambungan pipa yang disebabkan oleh faktor <i>gap root</i> yang terlalu kecil, amper <i>root</i> terlalu rendah, elektroda terlalu besar, sudut elektroda yang tidak sesuai	<i>Visual Welding Test</i> dan <i>Radiography Test</i>	Hasil pengujian melalui uji radiografi ditemukan cacat berupa <i>lack of root penetration</i> pada dua <i>joint</i> pipa (panjang cacat 32 mm pada <i>joint</i> 82 dan 46 mm pada <i>joint</i> 83).
(Syarifuddin dan Akbar, 2024)	PT. Lontar Papyrus Pulp & Paper Industry (produksi kertas)	Cacat las disebabkan oleh kontaminasi (debu, percikan, partikel asing), proses pengelasan yang tidak bersih dan tidak sesuai prosedur mengakibatkan porositas klaster, fusion tidak sempurna	<i>Phase Array Ultrasonic Testing</i> (PAUT)	Pengujian 28 dari 700 <i>joint</i> pipa boiler ditemukan tiga jenis cacat yaitu <i>incomplete penetration</i> dan <i>lack of side wall fusion</i> . Perbaikan las berhasil menghilangkan semua cacat.
(Saidatuningtyas dan Rizal, 2023)	PT XYZ (fabrikasi baja)	Tingginya produk cacat menyebabkan penundaan jadwal proyek, overload ruang kerja, ketidakpuasan dan kehilangan kepercayaan konsumen	<i>Six Sigma DMAIC</i>	Terdapat tiga jenis cacat produk baja yaitu, gap, visual las, dan visual produk. Dengan penerapan metode <i>six sigma</i> menunjukkan cacat visual produk merupakan jenis cacat tertinggi (56,25%), diikuti gap (35%) dan visual las (9%).
(Adiasa et al., 2024)	Terminal Bandara Internasional Lombok	Produk cacat menimbulkan biaya besar dan risiko keruntuhan bangunan, cacat muncul	<i>Six Sigma DMAIC</i>	Dari 232 unit komponen struktur, ditemukan 31 unit cacat (sambungan las retak, cat terkelupas dan kotor) yang disebabkan oleh pipa baja terinjak pekerja elektrik saat instalasi, pelaksanaan tidak sesuai tujuan, QC tidak ketat.

Tabel 2.1 Lanjutan

Penulis	Objek Penulisan	Permasalahan	Metode	Hasil penulisan
(Merjani dan Kamil, 2021)	PT XX Batam (pengelasan pipa)	<i>Incomplete Penetration, Clustered Porosity, Inclusion, Like Crack</i>	<i>Seven Tools</i> dan <i>Plan Do Check Action</i> (PDCA)	Perusahaan yang memproduksi sistem injeksi kimia untuk industri minyak dan gas yang terdiri dari rangkaian pipa baja yang melalui proses pengelasan, dari 213 sambungan las (joint), ditemukan 96 cacat las (45%) saat uji <i>Radiography Test</i> .
(Nasir dan Ansorry, 2023)	PT Sorini Agro Asia Corporindo Tbk (industri kimia)	Meskipun berbagai program kontrol kualitas, perusahaan masih mengalami masalah kualitas produk, termasuk kemasan yang rusak dan bahan baku yang tidak sempurna	Penelitian kuantitatif pada pelatihan kerja dan kontrol kualitas, program SPSS dengan data 100 responden	Kontrol kualitas adalah faktor paling dominan yang mempengaruhi kerusakan produk, menunjukkan dampak yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan pelatihan kerja
(Rosyidi et al., 2023)	PT Dunia Express Transindo (layanan logistik)	Penyebab utama pengembalian barang oleh pelanggan karena kerusakan pada kemasan luar dan perbedaan jumlah pesanan	5W+1H untuk merumuskan rekomendasi, seperti menambahkan SOP spesifik	Pembuatan SOP yang lebih spesifik untuk bongkar muat, terutama untuk barang yang sensitif seperti susu, makanan ringan, dan minyak

Beberapa penelitian menggunakan metode *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) untuk mengidentifikasi dan memprioritaskan penyebab kecacatan pada proses pengelasan. **(Khatammi & Wasiur, 2022)** menetapkan FMEA pada produk pagar dan konstruksi baja untuk menganalisis cacat seperti *undercut*, *spatter*, dan *welding crack*, sehingga diperoleh prioritas penyebab cacat yang paling kritis. **(Cahaya Mulia & Rochmoeljati, 2021)** juga menggunakan FMEA pada proses pengelasan kapal di PT PAL Indonesia untuk menganalisis cacat *incomplete penetration*, *incomplete fusion*, *slag inclusion*, dan *porosity*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa FMEA efektif dalam menentukan penyebab utama kecacatan dan menjadi dasar dalam penyusunan usulan perbaikan kualitas pengelasan.

Pendekatan *Six Sigma* dengan tahapan *Define-Measure-Analyze-Improve-Control* (DMAIC) banyak digunakan untuk menurunkan tingkat kecacatan produk hasil pengelasan. (Susetyo et al., 2019) menerapkan *Six Sigma* pada produksi pipa baja *penstock* dan menemukan cacat *non-visual* seperti *porosity* dan *slag inclusion* meskipun tingkat sigma mendekati standar industri. Penelitian oleh (Sandi et al., 2017) serta **(Saidatuningtyas & Rizal, 2023)** juga menunjukkan bahwa *Six Sigma* DMAIC mampu mengidentifikasi jenis cacat dominan dan faktor penyebab utama, seperti mesin las usang dan ketidakterkendalian proses, yang berdampak pada keterlambatan produksi dan ketidakpuasan konsumen. (Adiasa et al., 2024) menggunakan *Six Sigma* DMAIC dalam proyek untuk memperluas Terminal Bandara Internasional Lombok. Salah satu masalah yang dihadapi adalah produk yang rusak, seperti sambungan las yang retak dan cat baja yang terkelupas. Ini adalah hasil dari pelaksanaan pekerjaan yang tidak sesuai dengan prosedur operasional standar (SOP) dan kurangnya pengawasan.

Penggunaan *Statistical Process Control* (SPC) dan *Seven Tools Quality* bertujuan untuk memantau kestabilan proses pengelasan dan mengidentifikasi pola kecacatan. (Prasetyo et al., 2023) menggunakan SPC untuk menganalisis kecacatan pada produksi pipa *stainless steel* dan menemukan bahwa proses belum sepenuhnya terkendali akibat kesalahan pengaturan mesin. (Susetyo et al., 2019) juga memanfaatkan *Seven Tools* untuk mendukung analisis *Six Sigma*, sehingga mampu mengidentifikasi cacat dominan secara kuantitatif dan sistematis.

Beberapa penelitian berfokus pada metode pengujian tidak merusak (*Non-Destructive Test*) untuk mendeteksi cacat pengelasan yang tidak terlihat secara visual. (Malik et al., 2023) menggunakan *Visual Welding* dan *Radiography Test* untuk mengidentifikasi cacat *lack of root penetration* pada sambungan pipa baja. (Syarifuddin & Akbar, 2024) menerapkan *Phase Array Ultrasonic Testing* (PAUT) dan berhasil mendeteksi cacat *incomplete penetration* dan *lack of side wall fusion* pada sambungan pipa *boiler*, serta menunjukkan bahwa perbaikan proses pengelasan dapat menghilangkan cacat tersebut.

Metode *Plan-Do-Check-Action* (PDCA) yang dikombinasikan dengan *Seven Tools* digunakan untuk perbaikan berkelanjutan pada proses pengelasan. (Merjani & Kamil, 2021) menerapkan metode ini pada pengelasan pipa di PT XX Batam dan menemukan bahwa hampir 45% sambungan las mengalami cacat saat uji radiografi. Melalui penerapan PDCA, penelitian tersebut menekankan pentingnya pengendalian proses, standar kerja, dan evaluasi berkelanjutan untuk menurunkan tingkat kecacatan.

2.2 Dasar Teori

Teori yang dipilih dari tinjauan pustaka sebelumnya mengenai proyek dapat digunakan sebagai dasar dalam penulisan yang membahas penerapan metode untuk mengurangi tingkat kecacatan pada produk. Berikut dasar teori yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini.

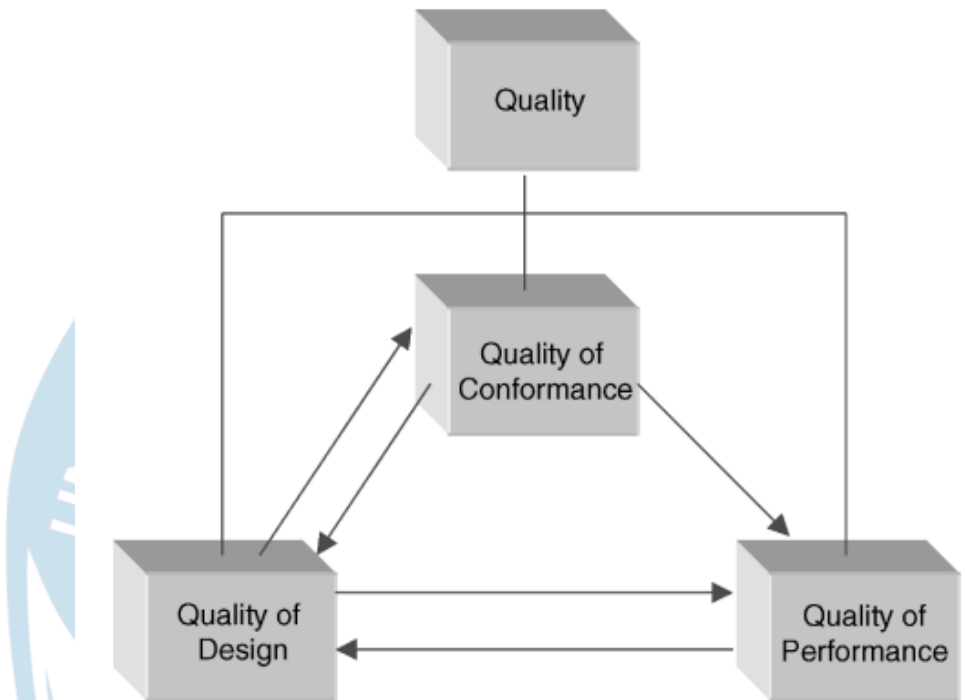
2.2.1 Kualitas

Kualitas memiliki berbagai macam konsep atau pengertian, tergantung pada sudut pandang individu yang menentukan kualitas. Kualitas dapat dibagi menjadi tiga komponen yang berhubungan satu sama lain yaitu konsumen, produk, dan proses. Ketika datang ke kualitas barang, ketiga orientasi tersebut mudah untuk dibedakan karena memiliki output yang nyata. Sebaliknya, ketika datang ke kualitas layanan atau jasa, sulit untuk membedakan ketiga orientasi tersebut karena proses yang digunakan untuk menghasilkan produk tersebut merupakan kualitasnya sendiri.

Kualitas dapat didefinisikan sebagai kesesuaian produk atau layanan tersebut untuk memenuhi atau melampaui penggunaan yang diinginkan oleh pelanggan. Pemahaman mengenai pengertian kualitas dapat diperoleh dari berbagai sumber, salah satunya terdapat pada buku (Mitra, 2021), terdapat beberapa pengertian kualitas menurut para ahli:

- a. Menurut Crosby (1979) kualitas adalah kesesuaian dengan persyaratan atau spesifikasi.
- b. Menurut Juran (1974) kualitas adalah kesesuaian untuk digunakan.

Tiga aspek kualitas dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Tiga aspek kualitas (Mitra, 2021)

Gambar 2.1 menunjukkan bagaimana kualitas desain, kesesuaian, dan kinerja saling berkaitan dalam menentukan kualitas suatu produk atau layanan. Kualitas desain akan mempengaruhi seberapa baik produk bisa dibuat sesuai spesifikasi. Intinya, harus memastikan bahwa apa yang sudah dirancang memang bisa diproduksi.

Dalam sektor manufaktur, pengendalian kualitas mencakup seluruh proses mulai dari pengadaan bahan baku hingga pengiriman produk jadi. Secara umum, pengendalian ini dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu pencegahan cacat, pendeteksian cacat, serta analisis dan perbaikan cacat. Pencegahan cacat fokus pada upaya menghindari terjadinya cacat sejak awal, biasanya dengan menggunakan teknik seperti pengendalian proses secara statistik. Pendeteksian cacat dilakukan melalui inspeksi, pengujian, dan analisis data dari proses produksi. Jika cacat ditemukan, langkah selanjutnya adalah menyelidiki penyebabnya dan mengambil tindakan perbaikan untuk mencegah masalah serupa terjadi lagi.

2.2.2 Pengendalian Kualitas

Menurut Juran (1974) mengukur kinerja aktual pada tahap pengendalian mutu berfokus pada mengukur hasil nyata dari suatu proses. Pengukuran dilakukan terhadap karakteristik mutu yang sebelumnya sudah ditentukan. Hasil dari pengukuran ini akan memberikan gambaran tentang seberapa baik proses tersebut berjalan dalam prakteknya.

Pada buku (Montgomery, 2009), pengendalian kualitas adalah aktivitas teknik dan manajemen yang mengukur karakteristik kualitas dari produk, membandingkannya dengan spesifikasi, dan mengambil tindakan perbaikan yang sesuai apabila ada perbedaan antara penampilan yang sebenarnya dengan standar.

Berikut merupakan beberapa pengertian pengendalian kualitas menurut para ahli:

- a. Menurut (Gaspersz, 2001) pengendalian kualitas merupakan suatu teknik untuk mempertahankan, mencapai, dan meningkatkan kualitas suatu produk untuk mencapai kepuasan konsumen.
- b. Menurut (Heizer, J., Render, 2006) pengendalian kualitas adalah serangkaian aktivitas yang digunakan untuk memastikan bahwa produk dan jasa memenuhi standar desain dan kinerja yang telah ditetapkan.

2.2.3 Kecacatan Produk

Kecacatan atau cacat produk merupakan kondisi ketika sebuah produk tidak sesuai dengan apa yang seharusnya atau tidak memenuhi standar. Misalnya, bentuknya tidak sesuai dengan desain, fungsinya tidak berfungsi dengan baik, atau kualitasnya tidak memenuhi standar. Cacat ini dapat disebabkan oleh banyak hal, seperti kesalahan bahan baku, ketidaktepatan selama proses produksi, penggunaan mesin yang tidak tepat, atau bahkan faktor manusia, seperti ketidakmampuan karyawan. Singkatnya, produk cacat adalah bagian yang rusak, salah ukuran, tidak rapi, atau tidak dapat digunakan sebagaimana mestinya. Cacat ini sangat penting untuk diperhatikan karena dapat menyebabkan kerugian besar bagi perusahaan, reputasinya, dan kepuasan pelanggan.

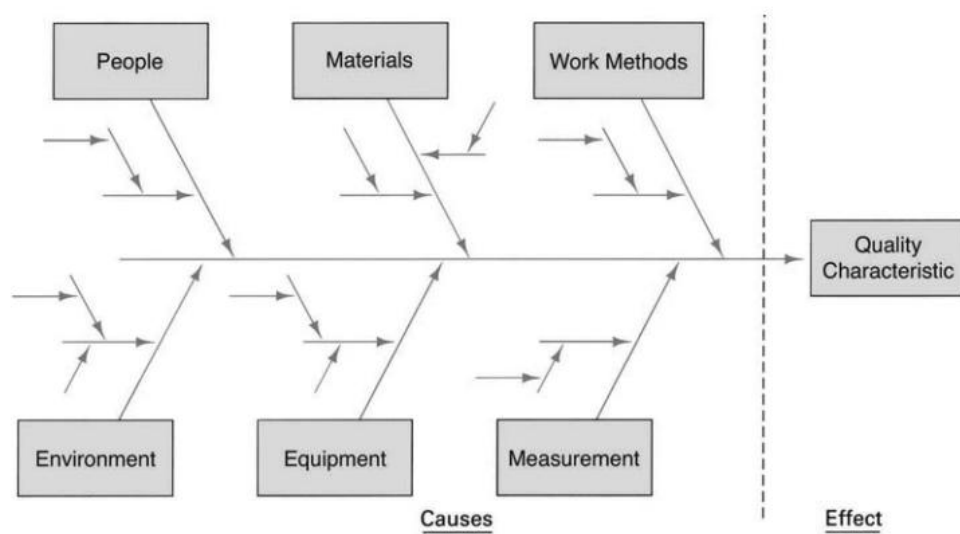
(Evans, J. R., Lindsay, 2011) menyatakan ketidaksesuaian fitur produk dengan persyaratan atau harapan pelanggan dikenal sebagai cacat produk. Sementara itu, (Juran, 1992) menyatakan bahwa setiap kondisi produk yang tidak memenuhi spesifikasi atau harapan, menyebabkan ketidakpuasan atau kegagalan saat digunakan disebut cacat.

2.2.4 Business Process Mapping (BPM)

Business Process Mapping merupakan metode yang digunakan untuk menggambarkan alur suatu proses kerja secara sistematis dari awal hingga akhir. Melalui BPM, setiap tahapan aktivitas, hubungan antar proses, serta pihak yang terlibat dapat divisualisasikan dengan jelas dalam bentuk diagram alir. Dengan adanya pemetaan ini, perusahaan dapat lebih mudah memahami bagaimana suatu proses berjalan, mengidentifikasi potensi permasalahan, serta menemukan aktivitas yang tidak efisien. Dalam konteks proses fabrikasi pipa, BPM sangat membantu dalam menelusuri tahapan produksi, khususnya pada proses pengelasan yang berpotensi menimbulkan cacat. Oleh karena itu, metode ini dapat dijadikan sebagai dasar dalam penyusunan *Standard Operating Procedure* (SOP) yang lebih terstruktur dan efektif untuk meningkatkan kualitas produk. (Harrington, 1991; Damelio, 2011).

2.2.5 Fishbone Diagram

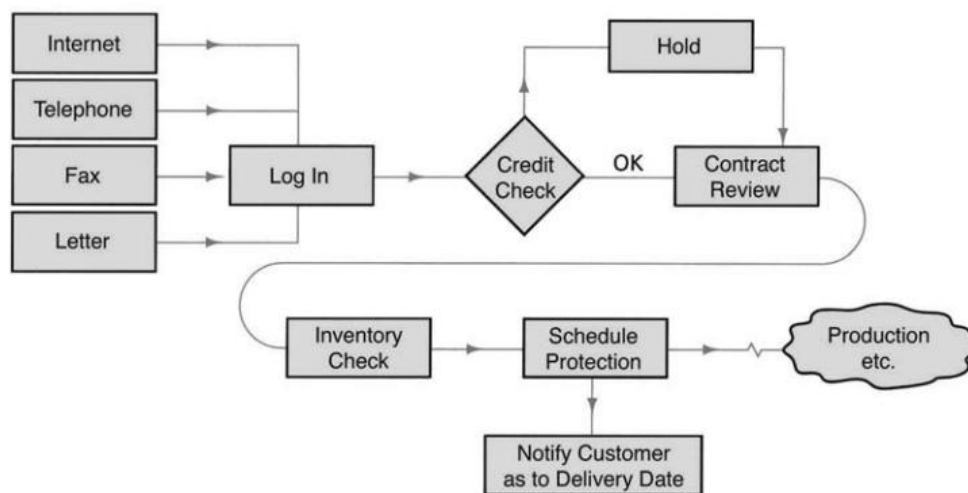
Fishbone diagram juga dikenal sebagai *cause and effect diagram* atau diagram ishikawa, adalah salah satu alat dalam *seven tools of quality* yang digunakan untuk mengidentifikasi, mengelompokkan, dan menganalisis berbagai kemungkinan penyebab dari suatu masalah atau cacat kualitas. Menurut (Ishikawa, 1985), diagram ini dinamakan *fishbone* karena bentuk visualnya menyerupai tulang ikan, di mana “kepala ikan” mewakili masalah utama (efek), dan “tulang-tulangannya” mewakili kategori penyebab seperti Manusia (*Man*), Mesin (*Machine*), Metode (*Method*), Material, Lingkungan (*Environment*), dan Pengukuran (*Measurement*). *Fishbone diagram* membantu tim untuk berpikir secara sistematis dan menyeluruh dalam mengidentifikasi akar penyebab masalah, sehingga sangat berguna dalam proses pemecahan masalah dan perbaikan kualitas. (Montgomery, 2009) juga menyebutkan bahwa *fishbone diagram* sangat efektif dalam sesi *brainstorming*, karena mampu menyusun ide-ide menjadi struktur yang terorganisir dan memudahkan dalam mengevaluasi faktor-faktor penyebab yang paling signifikan. *Fishbone diagram* dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Fishbone diagram (Besterfield, 2013)

2.2.6 Flowchart

Flowchart atau diagram alir adalah alat dalam *seven tools of quality* yang digunakan untuk memvisualisasikan urutan langkah-langkah dalam suatu proses atau sistem kerja, mulai dari awal hingga akhir. *Flowchart* membantu dalam memahami proses secara keseluruhan, mengidentifikasi titik-titik potensi masalah, serta menjadi dasar untuk peningkatan dan perbaikan proses. Menurut (Wignjosoebroto, 2006), *flowchart* menggambarkan alur kerja dari suatu aktivitas atau proses operasional dalam bentuk simbol-simbol standar, seperti panah, kotak proses, dan keputusan. Ini mempermudah semua pihak untuk melihat dan mengevaluasi tahapan proses dengan cara yang jelas dan terstruktur. (Montgomery, 2009) juga menjelaskan bahwa *flowchart* sangat berguna dalam pengendalian kualitas karena membantu mengidentifikasi di mana suatu cacat atau ketidaksesuaian kemungkinan terjadi, sehingga bisa ditindaklanjuti secara tepat. *Flowchart* biasanya digunakan sebagai langkah awal sebelum penerapan alat lain seperti *checksheet* atau *control chart*, karena memberikan gambaran makro proses yang sedang dianalisis. *Flowchart* dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Flowchart (Besterfield, 2013)

2.2.7 Pengendalian Kualitas (STIN48603)

Mata kuliah pengendalian kualitas membahas konsep, metode, dan alat yang digunakan untuk memastikan bahwa proses produksi mampu menghasilkan produk sesuai dengan standar mutu yang telah ditetapkan. Ruang lingkup mata kuliah ini meliputi pengendalian proses, identifikasi jenis cacat, analisis penyebab kecacatan, serta perancangan tindakan perbaikan untuk menurunkan tingkat cacat produk.

Dalam tugas akhir ini, konsep pengendalian kualitas diterapkan untuk menganalisis kecacatan produk pipa baja yang terjadi pada proses fabrikasi dan pengelasan. Beberapa alat pengendalian kualitas yang digunakan antara lain diagram pareto untuk mengidentifikasi jenis cacat dominan, *control chart* untuk melihat kestabilan proses, serta *interrelationship diagram* untuk menganalisis hubungan sebab-akibat antar faktor penyebab cacat. Penerapan pengendalian kualitas juga dikaitkan dengan standar pengelasan seperti ASME Section IX dan API 1104, yang berfungsi sebagai acuan dalam menilai kesesuaian hasil pengelasan terhadap standar mutu industri.

Dengan demikian, mata kuliah pengendalian kualitas menjadi dasar utama dalam menentukan fokus perbaikan, mengevaluasi tingkat kecacatan, serta merancang sistem pengendalian kualitas pengelasan yang lebih terstruktur dan konsisten.

2.2.8 Rekayasa dan Desain (STIN16302)

Mata kuliah rekayasa dan desain berfokus pada proses perancangan solusi terhadap suatu permasalahan sistem secara sistematis dan terstruktur. Materi yang dipelajari meliputi identifikasi kebutuhan, analisis kondisi eksisting, pengembangan alternatif solusi, evaluasi alternatif, serta perancangan solusi terpilih yang dapat diimplementasikan secara nyata.

Dalam tugas akhir ini, rekayasa dan desain diterapkan melalui pendekatan *design thinking*, yang terdiri dari tahapan *empathize*, *define*, *ideate*, *prototype and test*, serta *implementation*. Pada tahap ini, penulis tidak hanya mengidentifikasi permasalahan kecacatan produk, tetapi juga memahami keterbatasan nyata di lapangan, seperti kondisi mesin las yang sudah berusia tua, keterbatasan biaya penggantian mesin, serta tidak tersedianya SOP dan *manual book* pengelasan.

Hasil dari mata kuliah ini diwujudkan dalam bentuk rancangan SOP pengelasan, instruksi pemakaian mesin las, instruksi perbaikan mesin las tua, serta lembar inspeksi kualitas pengelasan. Seluruh rancangan tersebut disesuaikan dengan kondisi aktual perusahaan sehingga solusi yang dihasilkan bersifat realistis, aplikatif, dan dapat diterapkan tanpa memerlukan investasi besar.

2.2.9 Statistika Deskriptif (STIN21302)

Mata kuliah statistika deskriptif mempelajari teknik pengumpulan, pengolahan, penyajian, dan interpretasi data untuk memberikan gambaran kondisi suatu fenomena secara kuantitatif. Materi yang dibahas meliputi distribusi frekuensi, ukuran pemusatan data, ukuran penyebaran, serta visualisasi data dalam bentuk tabel dan grafik.

Dalam tugas akhir ini, statistika deskriptif digunakan untuk mengolah data kecacatan produk pipa baja yang diperoleh dari hasil observasi lapangan selama periode penelitian. Data jumlah produk cacat, jenis cacat, serta frekuensi kemunculan cacat dianalisis secara deskriptif untuk mengetahui pola kecacatan yang terjadi. Hasil analisis ini menjadi dasar dalam penentuan cacat dominan dan prioritas perbaikan.

Selain itu, statistika deskriptif juga digunakan untuk membandingkan kondisi sebelum dan sesudah implementasi usulan perbaikan, sehingga dapat dievaluasi apakah terjadi penurunan jumlah cacat atau peningkatan konsistensi kualitas hasil pengelasan.

2.3 Standar dan Kode Etik

Tugas akhir ini mengacu pada standar yang berlaku di industri fabrikasi pipa baja, yaitu standar pengelasan dan inspeksi visual seperti yang tercantum dalam ASME Section IX, SNI 0039:2013, serta API 1104. Pada ASME Section IX (*Welding and Brazing Qualifications*), khususnya pada bagian QW-100 hingga QW-200, dijelaskan mengenai kualifikasi prosedur pengelasan (*Welding Procedure Specification/WPS*) dan kualifikasi juru las (*welder performance qualification*), yang bertujuan untuk memastikan bahwa proses pengelasan dilakukan secara konsisten dan menghasilkan sambungan yang memenuhi persyaratan teknis. Sementara itu, API 1104 (*Welding of Pipelines and Related Facilities*) pada *Section 6 Acceptance Standards* mengatur batas penerimaan cacat hasil pengelasan, termasuk cacat visual seperti porositas, *undercut*, dan *incomplete fusion*, sehingga dapat digunakan sebagai acuan dalam evaluasi kualitas hasil las.

Selain itu, SNI 0039:2013 tentang prosedur inspeksi sambungan las memberikan pedoman dalam pelaksanaan inspeksi visual, termasuk kriteria penerimaan hasil pengelasan berdasarkan kondisi permukaan dan dimensi sambungan. Dalam pelaksanaannya, pengujian dilakukan secara visual dengan bantuan alat ukur sederhana seperti *welding gauge* untuk mengidentifikasi kecacatan seperti porositas, *undercut*, *spatter*, dan *lack of fusion*. Pada tahap *prototype*, rancangan SOP dan *manual book* pengelasan diuji dengan mengacu pada standar-standar tersebut untuk memastikan bahwa hasil pengelasan memenuhi batas penerimaan yang ditetapkan.

Lebih lanjut, ISO 3834-2:2005 (*Quality Requirement for Fusion Welding of Metallic Materials*) pada bagian *Clause 7* dan *Clause 8* menekankan pentingnya dokumentasi prosedur pengelasan, pengendalian proses, serta inspeksi dan pengujian hasil las sebagai bagian dari sistem manajemen mutu. Sedangkan Permenaker No. 38 Tahun 2016 tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja Pengelasan, mengatur keselamatan dan kesehatan kerja selama proses pengelasan, termasuk kompetensi juru las, serta tindakan pencegahan terhadap bahaya pengelasan. Untuk menjaga konsistensi pemeriksaan dan meminimalkan potensi kesalahan manusia, perusahaan dianjurkan memiliki instruksi kerja tertulis (*work instruction*) di bagian *quality control*, agar proses inspeksi dapat dilakukan secara terstandarisasi dan sesuai dengan prosedur yang berlaku.

Selama proses penulisan tugas akhir berlangsung, pengambilan data dilakukan melalui observasi langsung dan pencatatan aktivitas produksi di area *workshop*. Tugas akhir ini telah memperoleh izin resmi dari perusahaan serta mengikuti prinsip etika penelitian, seperti *informed consent*, *confidentiality*, dan tidak adanya paksaan terhadap pihak terkait. Prinsip-prinsip tersebut mengacu pada Pedoman Nasional Etik Penelitian Kesehatan yang diterbitkan oleh Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, khususnya pada prinsip menghormati partisipan (*respect for persons*) dan menjaga kerahasiaan data penelitian.

