

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengelasan

Pengelasan adalah penyambungan lokal beberapa batang logam menggunakan energi panas. Dalam dunia industri, pengelasan memegang peranan penting. Menurut DIN (*Deutsche Industrie Norman*) pengelasan merupakan ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dikerjakan dalam keadaan lumer atau cair (Julian, 2019). Penyambungan bisa dengan atau tanpa bahan tambah (*filler metal*) yang sama atau berbeda titik cair maupun strukturnya. Mengelas bukan hanya memanaskan dua bagian benda sampai mencair dan membiarkan membeku kembali, tetapi membuat lasan yang utuh dengan cara memberikan bahan tambah atau elektroda pada waktu dipanaskan sehingga mempunyai kekuatan seperti yang dikehendaki. Kekuatan sambungan las dipengaruhi beberapa faktor antara lain: prosedur pengelasan, bahan, elektroda dan jenis kampuh yang digunakan.

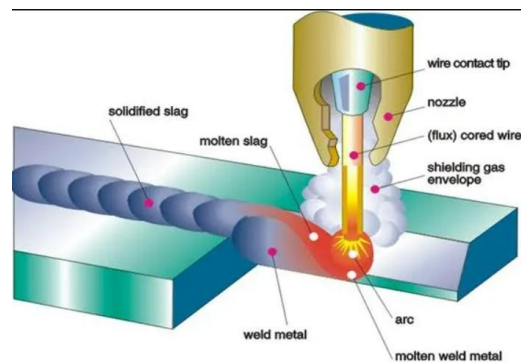
Proses pengelasan memiliki peran penting dalam rekayasa material logam, hampir setiap proses produksi yang melibatkan logam selalu hadir unsur pengelasan. Makin tinggi arus listrik yang digunakan dalam pengelasan, makin tinggi pula penembusan (penetrasi) serta kecepatan pencairan. Arus listrik yang besar juga dapat memperkecil percikan butiran dan meningkatkan penguatan manik. Tetapi dengan tingginya arus listrik maka akan memperlebar daerah HAZ. Besar arus pada pengelasan mempengaruhi hasil las bila arus terlalu rendah maka perpindahan cairan dari ujung

elektroda yang digunakan sangat sulit dan busur listrik yang terjadi tidak stabil (Fakri, 2019). Untuk ruang lingkup penerapan teknologi pengelasan untuk konstruksi sangat luas termasuk kapal, jembatan, struktur baja, kendaraan, bejana tekan, jaringan pipa, rel dan lainnya (Seno, 2022).

2.1.1 Macam-Macam Pengelasan

Ada beberapa pengelasan yang digunakan dalam dunia industri diantaranya yakni ada pengelasan FCAW, SMAW, GTAW, GMAW dan SAW. Berikut ini adalah penjelasan mengenai macam-macam pengelasan tersebut:

a. *Flux-Cored Arc Welding (FCAW)*



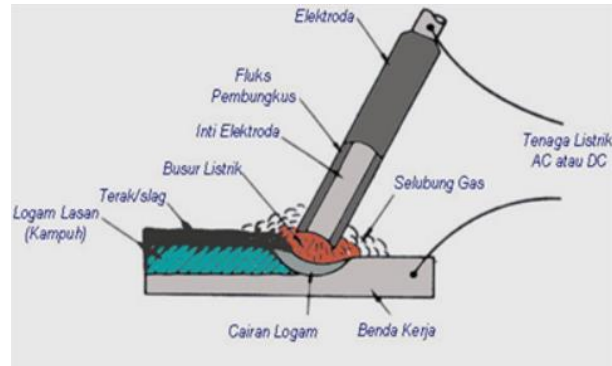
Gambar 2.1 Skematik Las FCAW

Sumber : (Pratama et al, 2019)

Flux cored arc welding (FCAW) ialah pengelasan busur listrik fluks pusat. FCAW merupakan campuran antara proses GMAW, SAW dan SMAW. Jenis gas pelindung yang digunakan yakni karbondioksida atau CO_2 . Tenaga las adalah penggunaan arus listrik bolak-balik (AC) atau searah (DC) oleh pembangkit listrik atau trafo. Pengelasan FCAW merupakan salah satu jenis las listrik yang memasukkan

elektroda pengisi ke dalam busur listrik yang terbentuk diantara ujung elektroda pengisi dan logam induk.

b. *Shielded Metal Arc Welding (SMAW)*



Gambar 2.2 Skematik las Shielded Metal Arc Welding

Sumber : (Azwinur dan Muhazir, 2019)

Las SMAW adalah suatu proses pengelasan busur listrik yang mana penggabungan atau perpaduan logam yang dihasilkan oleh panas dari busur listrik yang dikeluarkan diantara ujung elektroda terbungkus dan permukaan logam dasar yang dilas dengan menggunakan arus listrik sebagai sumber tenaga. Jenis arus listrik yang digunakan ada 2 yaitu arus searah (DC) dan arus bolak-balik (AC). Pengelasan dengan arus searah pemasangan kabel pada mesin las ada 2 macam yaitu polaritas lurus (DC-) dan polaritas terbalik (DC+). Pada polaritas terbalik (DC+) panas yang diberikan mesin las $\frac{1}{3}$ untuk memanaskan benda dan $\frac{2}{3}$ untuk memanaskan elektroda.

Logam induk dalam pengelasan ini mengalami pencairan akibat pemanasan dari busur listrik yang timbul antara ujung elektroda dan permukaan benda kerja. Busur listrik dibangkitkan dari suatu mesin las. Elektroda yang digunakan berupa kawat yang dibungkus pelindung berupa fluks. Elektroda ini selama pengelasan akan mengalami

pencairan bersama dengan logam induk dan membeku bersama menjadi bagian kumpuh las.

Pengelasan dengan menggunakan las SMAW DC polaritas terbalik besarnya arus bermacam-macam sesuai dengan jenis elektroda. Penyetelan arus pengelasan akan berpengaruh pada panas yang ditimbulkan dalam pencairan logam dan penetrasi logam cair tersebut. Berikut ini merupakan kelebihan dan kekurangan pengelasan menggunakan SMAW menurut Azwinur dan Muhazir (2019):

- Kelebihan
 1. Pengelasan ini dapat digunakan dimana saja
 2. Las pada posisi apapun
 3. Elektroda tersedia dalam berbagai diameter dan ukuran
 4. Penggunaan peralatan yang sederhana, harga murah dan mudah dibawa.
 5. Tingkat kebisingan rendah
 6. Tidak *sensitive* terhadap lemak, minyak dan korosi
- Kekurangan
 1. Pengelasan terbatas pada panjang elektroda saja dan perlu dilakukan penyambungan
 2. Slag harus dibersihkan ketika akan melakukan pengelasan
 3. Tidak cocok untuk pengelasan baja nonfero
 4. Efisiensi simpanan rendah

c. GTAW

GTAW kepanjangan dari *Gas Tungsten Arc Welding*. GTAW adalah jenis pengelasan dengan menggunakan busur nyala dengan tungsten atau electrode yang terbuat dari *wolfram*. Terdapat bahan penambah yang digunakan yakni bahan yang sama atau sejenis dengan material induknya (Agus, 2019). Dalam jenis alat las busur listrik berpelindung gas ini adalah metode pengelasan yang mana gas ditiupkan ke area las guna melindungi logam cair dan busur dari udara sekitar atau disebut oksidasi. Pelindung gas yakni gas helium (He), gas karbon dioksida (CO₂), gas argon (Ar) atau campuran oleh gas – gas tersebut.

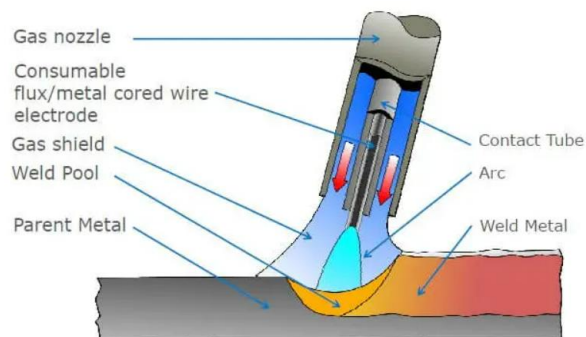
- Kelebihan GTAW

1. Hasil pengelasan lebih kuat dikarenakan mampu menembus lebih dalam dan lebih tahan terhadap korosi.
2. Sangat bersih hasil pengelasan yang dihasilkan.
3. Proses saat pengelasan bisa diamati secara mudah, tidak banyak asap yang ditimbulkan.
4. Tidak perlu membersihkan hasil pengelasan karena tidak dihasilkan slag.
5. Aliran gas membuat area disekitar cairan logam menjadi pengap untuk menghindari kontaminasi dengan nitrogen dan oksigen, sehingga dapat menyebabkan oksidasi.
6. Deformasi sangat jarang terjadi karena pusat panas sangat kecil.
7. Tidak menyebabkan bunga api las atau percikan las, membuat hasil las lebih bersih.

- Kekurangan GTAW
 1. Untuk pengelasan GTAW tingkat efisiensinya rendah.
 2. *Burnback* dapat terjadi selama pengelasan.
 3. Cacat lubang-lubang kecil atau porositas sering terjadi apabila gas pelindung permukaan saat mengelas tidak mampu melindungi secara optimal.
 4. *Tungsten inclusion* dapat terjadi.

d. GMAW

GMAW atau *Gas Metal Arch Welding* merupakan jenis pengelasan dengan gas nyala yang dihasilkan berasal dari busur nyala listrik dan dipakai sebagai pencair metal yang dilas dan metal penambah. GMAW ini terdiri dari MIG (*Metal Active Gas*) dan MAG (*Metal Inert Gas*). Dimana MIG digunakan untuk mengelas besi atau baja. Sedangkan gas pelindungnya menggunakan *Carbondioxide* (CO_2). TIG digunakan untuk mengelas logam non besi dan gas pelindungnya menggunakan *Helium* (He) dan atau *Argon* (Ar).

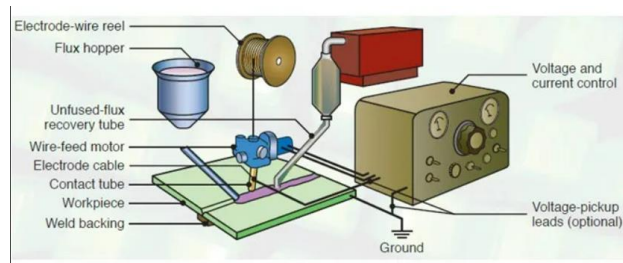


Gambar 2.3 Skematik las Gas Metal Arch Welding

Sumber : (Agus dan Suranto, 2019)

Gas pelindung yang biasa digunakan adalah berupa gas mulia, yaitu 97% argon untuk pelat tipis dan 100% helium untuk pelat tebal. Selama proses pengelasan, elektrode akan meleleh kemudian menjadi deposit logam las dan membentuk butiran las. Gas pelindung digunakan untuk mencegah terjadinya oksidasi dan melindungi hasil las selama masa pembekuan (Agus dan Suranto, 2019).

e. SAW



Gambar 2.4 Skematik las Submerged Arc Welding

Sumber: (Perdana et al, 2020)

SAW atau disebut *Submerged Arc Welding* merupakan las busur yang terbenam atau pengelasan dengan busur nyala api listrik. Untuk mencegah oksidasi cairan metal induk dan material tambahan, maka dapat digunakan butiran-butiran *fluks* sehingga busur nyala akan terpendam di dalam ukuran-ukuran *fluks* tersebut (Agus, 2019).

2.1.2 Prosedur Pengelasan

Dalam *welding procedure* memerinci pada tahap-tahap pengelasan atau penyambungan. Dimana akan ditentukan nilai-nilai atau batasan nilai untuk semua variabel yang bisa dikontrol selama proses pengelasan dan bahan yang digunakan. Prosedur pengelasan (WPS) merupakan rencana perlakuan las yang meliputi bagaimana melakukan konstruksi dalam lasan sesuai dengan rencana dan spesifikasi

serta menentukan segala hal yang dibutuhkan dalam pelaksanaannya. Kode WPS atau standar proses pengelasan yang umum digunakan di Indonesia adalah *American Standard* (ASME, AWS dan API). Akan tetapi, yang paling umum digunakan sebagai panduan guna pembuatan prosedur pengelasan ASME *Code Sect IX (Boiler, Pressure Vessel, Heat Exchanger, Storage Tank)*, API Std 1104 (*Pipeline*) dan AWS (*Structure dan Plat Form*). Berikut ini merupakan langkah-langkah produksi prosedur pengelasan (WPS):

1. Menyiapkan rancangan atau prosedur pengelasan awal
2. Las benda uji sesuai dengan parameter las yang tertulis pada rancangan prosedur
3. Membuat benda uji dan melakukan uji specimen dengan uji destruktif
4. Gunakan standar atau kode yang digunakan untuk mengevaluasi hasil uji destruktif
5. Mencatat dan mengesahkan hasil pengujian pada formulir Prosedur Kualifikasi *Record* (PQR).

2.1.3 Standar Kriteria Penilaian (*Acceptance Criteria*)

Proses pemeriksaan dari segi proses dan hasil pengelasan wajib dilakukan untuk memastikan bahwa proses pengelasan berjalan sesuai dan memastikan kualitas hasil pengelasan telah memenuhi standar yang dipakai.

Tabel 2.1 Standar Kriteria Penilaian

No	Cacat Las	Kriteria Hasil Las
1	Retak	Tidak ditemukan retak (0 mm ²)

2	Lubang pada akhir jalur las	Tidak ada lubang di ujung garis las
3	Terak terperangkap	Ketika panjang pengelasan 200 mm, tidak melebihi lebih dari 2 terak yang luasnya 2 mm ²
4	Tidak sama ukuran kaki las	Kaki las = ketebalan material dengan toleransi 2 mm
5	Jalur las terbuka lebar	Pada sambungan tumpul, lebar jalur las tidak boleh melebihi 3 mm dari tepi las
6	<i>Overlap</i>	Tidak ada tumpang tindih
7	<i>Undercut</i>	Kedalaman undercut kurang dari 1 mm, dan panjang maksimum adalah 10% dari panjang pengelasan 200 mm
8	Cekungan pada akar las	Kedalaman maksimum cekungan akar lasan adalah 1 mm, dan panjang cekungan maksimum 10% dari panjang pengelasan 200 mm
9	Pengisian jalur kurang	Tinggi pengisian minimum sama dengan permukaan bahan yang di las/pengisian jalur tanpa rongga
10	Keropos	Tidak ada lubang/pori pada logam las
11	Kurang penetrasi	Untuk panjang pengelasan 200 mm, kedalam penetrasi maksimum kurang dari 15 mm
12	Kelebihan penetrasi	Tinggi penetrasi maksimum atau lebih dari 2 mm
13	Bentuk jalur las tidak simetris	Permukaan jalur las berbentuk teratur atau simetris, dan sudutnya tidak kurang dari 135°

Sumber: (Wahyu, 2018)

2.1.4 Cacat Pengelasan

Produk hasil pengelasan dapat dikatakan cacat apabila hasil lasan tidak memenuhi standar pemeriksaan. Cacat pengelasan bisa terjadi karena prosedur las yang

tidak benar, persiapan yang kurang, peralatan atau bahan habis pakai yang tidak memenuhi standar ketentuan. Pada produk Kereta UGL *type* 50FT bagian *headstock arrangement* di PT. INKA Multi Solusi terdapat beberapa cacat yang terjadi di antaranya yaitu cacat *porosity* (porositas), *undercut* (cerukan), *overlap* (kelebihan elektroda) dan *unequal leg length* (kaki las tidak sama).

Terdapat beberapa jenis cacat las dalam pengelasan, yaitu cacat las internal (ada pada dalam hasil pengelasan) dan cacat las visual (terlihat dengan mata telanjang). Apabila ingin memahami cacat pengelasan internal, diperlukan peralatan pengujian seperti inspeksi *ultrasonic* (UT) dan inspeksi sinar-X (RT) untuk pengujian non destruktif. Sedangkan untuk pengujian destruktif dapat memakai uji lentur atau uji makro. Pada cacat las visual atau permukaan, dapat memakai pengujian penetrasi (PT), pengujian magnetik (MT) atau kaca pembesar. Berikut penjelasan mengenai jenis cacat pengelasan pada bagian *headstock arrangement* produk Kereta UGL *type* 50FT disertai penyebab dan solusinya:

A. *Porosity* (Porositas)



Gambar 2.5 Cacat Pengelasan Porositas (*Porosity*)

Sumber : Dokumentasi PT. INKA Multi Solusi

Cacat porositas merupakan cacat berupa sebuah lubang-lubang kecil pada logam las yang terjadi pada permukaan maupun di dalam permukaan. Beberapa tipe *porosity* yakni *cluster porosity*, *blow hole* dan *gas pore*. Berikut beberapa penyebab terjadinya cacat *porosity* (porositas):

- (1) Travel *speed* terlalu tinggi
- (2) Elektroda yang digunakan masih lembab atau terkena air
- (3) Arus pengelasan terlalu rendah
- (4) Adanya zat pengotor pada benda kerja (karat, minyak, air dll)
- (5) Gas hidrogen tercipta karena panas las
- (6) Busur terlalu panjang

Cara mengatasi cacat *porosity* (porositas) adalah sebagai berikut:

- (1) Atur tinggi busur kurang lebih 1,5 x diameter kawat las
- (2) Persiapan pengelasan yang benar, memastikan tidak ada pengotor dalam benda kerja
- (3) Ampere disesuaikan dengan prosedur atau rekomendasi dari produsen elektroda
- (4) Untuk material tertentu panas tidak boleh terlalu tinggi sehingga perlu perlakuan panas
- (5) Pastikan elektroda yang digunakan sudah dioven (jika diisyaratkan) tidak boleh sampai kawat las terkena air atau lembab.

B. *Undercut* (Cerukan)



Gambar 2.6 Cacat Pengelasan *Undercut* (Cerukan)

Sumber : Dokumentasi PT. INKA Multi Solusi

Cacat *undercut* (cerukan) adalah sebuah cacat las yang berada dibagian permukaan atau akar dengan bentuk seperti cerukan yang terjadi pada logam induk. Jenis cacat ini dapat terjadi pada sambungan las *fillet*, *lap*, *corner* dan *edge joint*. Penyebab terjadinya cacat las *undercut* (cerukan) diantaranya sebagai berikut:

- (1) Arus pengelasan terlalu besar
- (2) Kecepatan las terlalu tinggi
- (3) Posisi elektroda kurang tepat
- (4) Panjang busur las terlalu tinggi
- (5) Ayunan tangan kurang merata, waktu ayunan pada saat disamping terlalu cepat

Pencegahan cacat *undercut* (cerukan) yakni:

- (1) Menyesuaikan arus pengelasan
- (2) Penurunan kecepatan las
- (3) Panjang busur diperpendek atau setinggi 1,5 x diameter elektroda
- (4) Penetapan sudut kemiringan 70-0 derajat (menyesuaikan posisi)

- (5) Mengupayakan ayunan elektroda secara teratur
 - (6) Kampuh ulang
 - (7) *Gouging* hingga akar
- C. *Overlap* (Kelebihan Elektroda)



Gambar 2.7 Cacat Pengelasan *Overlap* (Kelebihan Elektroda)

Sumber : Dokumentasi PT. INKA Multi Solusi

Cacat *overlap* (kelebihan elektroda) atau sering disebut juga dengan *cold lap* merupakan kondisi ketika didalam pengelasan logam pengisi (filler atau elektroda) tidak melebur sempurna pada logam dasar. Penyebab terjadinya cacat ini yaitu karena gerakan pengelasan yang salah (terlalu melebar) dan *skill welder* masih kurang. Cara mengatasinya adalah dengan melakukan pelatihan untuk mengasah dan meningkatkan kemampuan *welder*.

D. *Unequal Leg Length* (Panjang Kaki Las Tidak Sama)



Gambar 2.8 Cacat Pengelasan *unequal leg length* (panjang kaki las tidak sama)

Sumber : Dokumentasi PT. INKA Multi Solusi

Cacat *unequal leg length* (panjang kaki las tidak sama) terjadi pada akar las yang tidak sama atau berbeda. Hal ini disebabkan karena persiapan pengelasan yang tidak tepat dan perbedaan kecepatan lasan. Untuk mengatasinya maka *welder* perlu diberikan pelatihan agar ketika melakukan pengelasan ukurannya sama. Selain itu, material juga bisa dipotong dan dipersiapkan kembali secara benar apabila tidak diperbolehkan maka daerah lasan digerinda sampai habis dan pelat akan dilakukan *setting* ulang (Ariyanto, 2022).

2.1.5 Metode Pengujian Area Las

Metode pengujian di zona pengelasan dapat secara kasar dibagi menjadi pengujian destruktif (DT) atau merusak dan pengujian *non-destruktif* (NDT) atau tidak merusak. Pada pengujian secara destruktif, sampel dipotong dari area lasan atau model yang berukuran penuh pada area las yang akan diuji dilakukan perubahan bentuk guna menguji tampilan area las dan sifat mekanik. Pada pengujian secara non-destruktif,

lasan diperiksa bebas dari kerusakan cacat las dan cacat internal. Tujuan dilakukan pengujian dan pemeriksaan adalah untuk memberikan jaminan kualitas dan memberikan kepercayaan terhadap kualitas konstruksi yang dilas. Berikut pengelompokkan metode inspeksi pada area pengelasan:

1) Pengujian DT (Destruktif)

a. Uji dengan mekanis:

➤ Pengujian Tarik

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik, kelenturan las, perpanjangan dan reduksi material las. Benda uji dipegang diujungnya dengan lem mesin uji dan ditarik oleh beban tarik.

➤ Pengujian Lengkung

Pengujian lengkung dilakukan untuk memverifikasi integritas mekanik pipa dan material yang akan dilas. Terdapat dua tipe pengujian lengkung yakni uji lengkung gulungan dan uji lengkung kendali. Untuk setiap jenis uji lengkung, benda uji dengan ukuran dan bentuk yang sudah ditentukan dilengkungkan dengan diameter dalam juga sudut tekuk tertentu, lalu diperiksa kerusakan dan retaknya.

➤ Pengujian Hentakan

Pengujian hentakan dilakukan untuk mengetahui kekuatan bahan las. JIS secara terkhusus menetapkan uji *impak Izod* dan uji *impak*

Charpy sebagai metode uji impak yang digunakan di bidang industri.

b. Uji dengan struktur:

Pengujian struktur memeriksa struktur bahan logam. Teruntuk pengujian, bahan logam dipotong, selanjutnya potongan diletakkan di lantai kemudian dikikis menggunakan pengikis yang sesuai. Untuk uji struktur ini dilakukan baik secara makroskopis maupun mikroskopis. Pada pengujian makroskopik, permukaan sampel diperiksa secara visual atau bisa melalui kaca pembesar untuk mengerti kondisi penetrasi, cakupan termal, dan kerusakan. Dalam pemeriksaan mikroskopik, metalurgi digunakan untuk memeriksa permukaan sampel untuk menentukan tipe struktur dan proporsi pada komponennya guna menentukan sifat material.

Jenis-jenisnya adalah:

- Pengujian permukaan pecahan
- Pengujian makroskopik
- Pengujian mikroskopik

c. Uji kimia

- Pengujian analitis
- Pengujian kekaratan
- Pengujian penentuan kadar air

2) Pengujian (NDT) *Non-destruktif*

Pengujian untuk *non-destruktif* dikerjakan dengan mengamati hasil las tanpa merugikan produk yang sedang dilas.

a. Pengujian kerusakan pada permukaan

- Pengujian Visual (VT)

Pengujian visual sangat penting dan sering digunakan karena pengujian ini tidak memerlukan peralatan khusus, relative murah, cepat dan mudah dilakukan.

- Pengujian partikel magnetik (MT)

Metode ini paling efektif dan mudah diterapkan untuk mendeteksi visual cacat kecil yang tidak terbaca pada permukaan logam. Metode ini mampu menangkap cacat seperti retak dan porositas yang berasal bentuk garis medan magnet.

- Pengujian Penetrasi (PT)

Pengujian ini dilakukan secara manual dengan mengandalkan keahlian pemeriksa yang melakukan.

- Pengujian putaran untuk arus listrik

b. Uji kerusakan untuk bagian dalam:

- Pemeriksaan Radiografik (RT)

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan sinar-X atau sinar gamma yang mampu menampilkan cacat pengelasan seperti retak,

pelelehan yang tidak sempurna, porositas dan terak. Pengujian ini wajib dilakukan oleh juru radiografi yang bersertifikat.

- Pemeriksaan Ultrasonik (UT)

Pengujian ini menggunakan gelombang suara frekuensi tinggi yang dipantulkan ke benda kerja untuk mendeteksi cacat permukaan dan bagian dalam lasan.

2.2 Kualitas

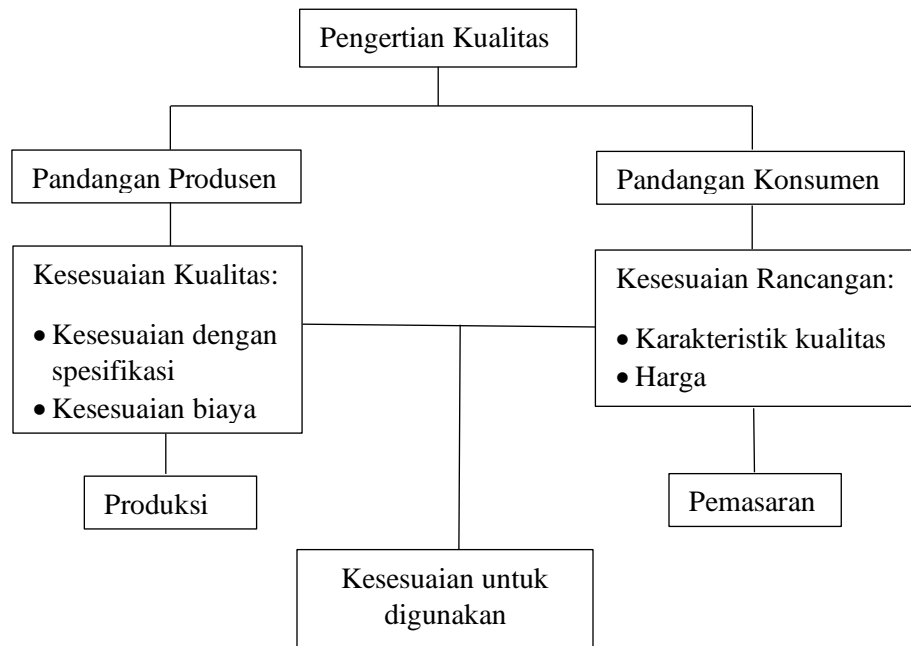
Kualitas adalah segala sesuatu dari suatu produk atau jasa yang memiliki kondisi dinamis sehingga dapat memberikan kepuasan dan memenuhi kebutuhan pelanggan. Kualitas merupakan salah satu aspek terpenting bagi pelanggan dalam memilih produk atau layanan sehingga perusahaan perlu mengenal konsumen dan mengetahui kebutuhannya serta peningkatan kualitas menjadi aspek penting dalam kesuksesan, pertumbuhan dan daya saing bisnis perusahaan (Montgomery, 2014). Menurut Lesmana (2021), konsep kualitas dipahami sebagai ukuran relatif untuk mengevaluasi kualitas suatu produk atau jasa, termasuk kualitas desain dan kualitas kesesuaian. Salah satu hal yang perlu menjadi fokus perhatian dalam mencapai sasaran peluang pasar adalah dengan menumbuhkan kepuasan konsumen atas nilai guna produk, karena masyarakat zaman sekarang menuntut untuk mendapatkan kualitas produk yang tinggi sehingga perusahaan harus bisa memberikan produk-produk dengan kualitas yang lebih baik dengan cara menjaga, melindungi dan meningkatkan kualitas produk yang ada. Salah satu langkah untuk menciptakan produk berkualitas

yang memenuhi standar adalah dengan menerapkan sistem manajemen mutu yang tepat, memiliki tujuan dan tahapan yang jelas, menerapkan inisiatif untuk mencegah dan memecahkan masalah yang dihadapi perusahaan (Yamin, 2013).

Istilah Kualitas memang tidak terlepas dari manajemen kualitas yang mempelajari setiap bidang dalam manajemen operasi mulai dari perencanaan lini produk dan fasilitas, sampai penjadwalan dan memonitor hasil. Suatu produk atau jasa dianggap baik apabila dapat memenuhi ekspektasi konsumen tentang nilai produk tersebut dengan ciri-ciri produk memiliki daya tahan simpan, mampu meningkatkan citra konsumen, tidak mudah rusak, kualitas bagus dan beretika dalam penggunaan. Kualitas memerlukan suatu proses perbaikan terus menerus (*continuous improvement process*) dan terukur. Semua lingkup perusahaan harus memiliki orientasi kepada kepuasan pelanggan dan tanggung jawab dalam melakukan perbaikan ini karena pada dasarnya konsep kualitas bersifat menyeluruh baik produk maupun prosesnya.

2.2.1 Perspektif Terhadap Kualitas

Kualitas memiliki dua perspektif yaitu perspektif produsen dan perspektif konsumen. Untuk memperoleh kesesuaian untuk digunakan oleh konsumen maka kedua hal tersebut dapat disatukan. Dengan hal itu akan membentuk standar yang disetujui bersama dan bisa memenuhi kebutuhan dan ekspektasi kedua belah pihak (Ariani, 2021).



Gambar 2.9 Dua perspektif kualitas

Sumber: (Rusydah & Yuana, 2019)

Menurut Rusydah dan Yuana (2019) ada lima perspektif terhadap kualitas yakni sebagai berikut:

1. *Transcedent Approach*

Dalam pendekatan ini kualitas dapat dirasakan atau diketahui tetapi sukar didefinisikan. Perspektif ini biasanya diterapkan dalam dunia seni.

2. *Product-Based Approach*

Kualitas dalam pendekatan ini dianggap sebagai karakteristik atau atribut yang bisa diukur. Pandangan ini sangat objektif sehingga tidak bisa memaparkan perbedaan dalam selera, kebutuhan dan preferensi individu.

3. *User Based Approach*

Pandangan ini merupakan pandangan subjektif dimana kualitas tergantung ***orang yang melihat dan produk yang memiliki kualitas paling tinggi adalah*** yang bisa memberikan kepuasan konsumen dan sesuai dengan preferensi individual.

4. *Manufacturing Based Approach*

Perspektif ini bersifat pasokan dan memperhatikan praktik rekayasa dan manufaktur. Pendekatan ini fokus pada penyesuaian spesifikasi internal yang dikembangkan dan penentuan kualitas berdasarkan standar perusahaan.

5. *Value Based Approach*

Kualitas dalam perspektif ini dipandang dari segi nilai dan harga. Kualitas bersifat relatif dimana yang paling mempunyai nilai ialah barang atau jasa yang paling tepat dibeli bukan yang hanya memiliki kualitas paling tinggi saja.

2.2.2 Peranan Kualitas

Peran kualitas dalam suatu perusahaan sangat penting karena dengan adanya kualitas dari produk atau jasa yang baik maka perusahaan akan memiliki pelanggan yang banyak dan citra perusahaan akan selalu meningkat sehingga tidak kalah saing dengan perusahaan lain. Terdapat tujuh peranan penting dari kualitas yaitu:

a) Meningkatkan reputasi perusahaan

Perusahaan yang memiliki kualitas produk baik akan dikenal oleh masyarakat dan memperoleh tempat dan nilai tinggi di mata masyarakat. Dengan hal itu maka perusahaan akan dipercaya oleh masyarakat.

b) Menurunkan biaya

Untuk dapat menghasilkan produk atau jasa yang berkualitas tanpa mengeluarkan biaya yang tinggi, perusahaan dapat melakukan orientasi pada *customer satisfaction* atau dengan mendasarkan jenis, tipe, waktu dan jumlah produk yang dihasilkan sesuai dengan kebutuhan dan harapan pelanggan.

c) Meningkatkan pangsa pasar

Pangsa pasar akan meningkat bila minimasi biaya tercapai, karena organisasi atau perusahaan dapat menekan harga, walaupun kualitas tetap menjadi yang terutama.

d) Dampak internasional

Dalam menciptakan dan menawarkan produk atau jasa yang berkualitas maka selain dikenal di pasar lokal, produk atau jasa yang ditawarkan juga harus siap untuk dikenal dan diterima di pasar internasional

e) Adanya pertanggungjawaban produk

Semakin meningkatnya persaingan kualitas produk atau jasa yang dihasilkan maka organisasi atau perusahaan akan dituntut untuk semakin bertanggung jawab terhadap desain, proses, dan pendistribusian produk tersebut untuk memenuhi kebutuhan dan harapan pelanggan.

f) Penampilan produk atau jasa

Penampilan produk atau jasa yang menarik akan membuat lebih mudah dikenal oleh masyarakat dan akan membuat perusahaan yang memproduksi dikenal serta dipercaya oleh konsumen.

g) Kualitas yang dirasakan

Dalam memilih suatu produk konsumen tidak akan membeli produk dengan kualitas tinggi saja melainkan kualitas secara menyeluruh dalam hal pemenuhan kebutuhan dan harapan pelanggan.

2.3 Pengendalian Kualitas

Menurut Vincent Gasperz (2005) pengendalian kualitas adalah alat penting manajemen untuk perbaikan kualitas suatu produk, mempertahankan dan mengurangi jumlah produk yang rusak sehingga dapat memberikan manfaat dan memberikan kepuasan kepada pelanggan (Ahmad, 2019). Pengendalian kualitas merupakan salah satu teknik yang perlu dilakukan dari sebelum proses produksi berjalan, saat proses produksi hingga proses produksi berakhir dengan menghasilkan produk akhir. Kegiatan ini dilakukan untuk dapat menghasilkan produk berupa barang atau jasa sesuai dengan standar yang telah direncanakan dari awal serta melakukan perbaikan kualitas produk yang belum sesuai dengan ketentuan yang dibuat agar kualitas tetap bertahan dan sesuai.

Pengendalian produksi merupakan bagian dari pengendalian kualitas dan tidak dapat dipisahkan. Keduanya saling memiliki peranan penting dalam mengendalikan kegiatan produksi agar memperoleh hasil yang sesuai dengan rencana dan menjamin barang tersebut dapat dipertanggungjawabkan (Supriyadi, 2021). Pengendalian kualitas dapat dikatakan efektif jika dapat menekan sampai batas minimal penyimpangan yang terjadi terhadap rencana yang sudah ditetapkan. Dalam kegiatannya, terdapat alat bantu untuk mengendalikan kualitas yakni *check sheet*,

histogram, *control chart*, diagram pareto, diagram sebab akibat, *scatter diagram*, dan diagram proses (Fadilah, 2019).

2.3.1 Tujuan Pengendalian Kualitas

Aktivitas pengendalian kualitas adalah salah satu fungsi penting dari suatu perusahaan karena dengan adanya pengendalian kualitas, produk yang dihasilkan akan memiliki kualitas yang baik dan sesuai dengan apa yang telah direncanakan. Pengendalian kualitas memiliki tujuan utama yaitu untuk memperoleh jaminan bahwa kualitas produk atau jasa yang dihasilkan sesuai dengan standar kualitas yang ditetapkan dengan mengeluarkan biaya yang serendah mungkin. Menurut Sofjan Assauri (1978:228) tujuan dari pengendalian kualitas adalah:

- A) Agar barang hasil produksi dapat mencapai standar mutu yang telah ditetapkan
- B) Mengusahakan agar biaya inspeksi dapat ditekan
- C) Mengusahakan agar biaya desain dari produk dan proses dengan menggunakan mutu produksi dapat menjadi lebih efisien
- D) Mengusahakan agar biaya produksi dapat menjadi rendah

(Supriyadi, 2021)

2.3.2 Faktor-Faktor yang mempengaruhi Pengendalian Kualitas

Faktor-faktor yang mempengaruhi pengendalian kualitas dalam suatu perusahaan adalah sebagai berikut:

- a. Kemampuan proses

Dalam membuat batasan batasan yang ingin dicapai harus disesuaikan dengan kemampuan proses yang ada dan tidak melebihi kemampuan maupun kesanggupan yang dimiliki.

b. Spesifikasi yang berlaku

Spesifikasi hasil produksi yang ingin dicapai harus dapat berlaku jika ditinjau dari segi kemampuan proses dan keinginan atau kebutuhan konsumen yang ingin dicapai dari hasil produksi tersebut.

c. Tingkat ketidaksesuaian yang dapat diterima

Tingkat pengendalian yang dilakukan tergantung pada banyaknya produk yang masih belum memenuhi standar keberterimaan. Mengingat tujuan dari dilakukannya pengendalian suatu proses sendiri adalah untuk dapat mengurangi produk yang masih memiliki kualitas dibawah standar yang ada.

d. Biaya kualitas

Biaya kualitas memiliki pengaruh tinggi pada tingkat pengendalian kualitas dalam menghasilkan suatu produk dimana biaya kualitas memiliki hubungan positif dengan terbentuknya produk yang berkualitas. Artinya semakin tinggi biaya kualitas yang dikeluarkan maka barang yang dihasilkan juga akan memiliki kualitas yang baik (Supriyadi, 2021).

2.4 *Six Sigma*

Six sigma berasal dari huruf Yunani σ yang digunakan sebagai bentuk besaran deviasi standar atau simpangan baku. *Six sigma* merupakan suatu metodologi terstruktur yang digunakan untuk memperbaiki proses yang difokuskan pada usaha pengurangan *defect* produk dengan menggunakan pendekatan statistik dan *problem solving tools* secara intensif untuk memperoleh peningkatan efisiensi operasional yang menimbulkan meningkatnya *value* perusahaan. Fokus *six sigma* adalah pada

pengurangan *cycle time*, pengurangan jumlah produk cacat dan memperoleh kepuasan pelanggan. Semakin besar nilai sigma yang diperoleh maka semakin besar juga keragaman sampelnya. *Six Sigma* sebagai sistem pengukuran menggunakan *Defect Per Million Opportunities* (DPMO) sebagai suatu pengukuran. DPMO merupakan suatu ukuran yang baik bagi kualitas suatu produk maupun proses, sebab DPMO berkorelasi langsung dengan cacat, biaya dan waktu yang terbuang. Dengan menggunakan tabel konversi DPMO, maka kita akan dengan mudah mengetahui tingkat sigma dan DPMO (Tambunan, 2020).

Prinsip dasar *Six Sigma* adalah memperbaiki produk dengan melakukan perbaikan proses untuk menciptakan produk yang sempurna. Metode ini bertujuan untuk kinerja jangka panjang melalui peningkatan kualitas untuk mengurangi jumlah cacat yang bertujuan untuk mencapai *zero defect* pada kapasitas proses sama atau lebih besar dari tingkat 6 sigma dengan standar deviasi 99,99997% dari nilai target yang diinginkan bahwa kemungkinan terjadi penyimpangan atau cacat produk adalah hanya 3,4 cacat dari 1 juta kemungkinan (Soemohadiwidjojo, 2017). Penerapan *six sigma* diharapkan dapat memuaskan pelanggan, meningkatkan keuntungan perusahaan atau menekan biaya produksi, serta menambah nilai bagi perusahaan dan bisnisnya (Wulansari et al., 2019).

Menurut Montgomery (2009) awalnya terdapat dua jenis *six sigma* yang digunakan dalam dunia industri yakni *Six Sigma* program Motorola dan *Six Sigma* program kualitas. Program *Six Sigma* Motorola dikembangkan oleh Motorola pada 1980-1n menggunakan *six sigma* yang diperoleh dari kurva distribusi normal berpusat pada target atau nilai rata-rata. Sedangkan *six sigma* program kualitas menggunakan

kurva distribusi normal. Berikut ini terdapat tabel konversi *six sigma* untuk mengetahui tingkat pencapaian *six sigma* dan nilai DPMO:

Tabel 2. 2 Tabel Konversi *Six Sigma*

Tingkat pencapaian sigma	Persentase	DPMO (<i>Defects Per Million Opportunities</i>)
± 1 -sigma	30.23%	691.462 (sangat tidak kompetitif)
± 2 -sigma	69.13%	308.538 (rata-rata industri di Indonesia)
± 3 -sigma	93.32%	66.807
± 4 -sigma	99.379%	6.210 (rata-rata industri USA)
± 5 -sigma	99.97670%	233
± 6 -sigma	99.99966%	3.4 (industri kelas dunia)
Setiap pergeseran atau peningkatan 1-sigma akan memberikan peningkatan keuntungan 10% dari penjualan.		

Sumber: Vincent & Gaspersz (2005)

Dalam menerapkan *six sigma* pada perusahaan manufaktur, menurut Gasperz (2005) terdapat enam aspek yang perlu diperhatikan yakni sebagai berikut:

- 1) Melakukan identifikasi karakter produk yang berpeluang besar dalam memberikan kepuasan kepada pelanggan
- 2) Mengelompokkan semua karakteristik kualitas produk sebagai *Critical Quality Control*
- 3) Menentukan CTQ dapat dikendalikan melalui pengendalian material, mesin, proses kerja, dll.

- 4) Menentukan batas maksimum toleransi penerimaan CTQ sesuai dengan kebutuhan pelanggan (dengan menentukan nilai batas kendali atas dan batas kendali bawah)
- 5) Menentukan maksimum variasi proses untuk setiap CTQ (melampirkan nilai standar deviasi maksimum untuk setiap CTQ)
- 6) Memodifikasi desain produk dan proses dengan sedemikian rupa untuk dapat mencapai nilai target *six sigma*.

2.4.1 Istilah dalam Konsep Six Sigma

Menurut Muis (2011) ada beberapa istilah yang perlu dipahami pada metode *six sigma* diantaranya sebagai berikut:

1) *Defect*

Defect adalah cacat, kesalahan maupun ketidaksesuaian dengan spesifikasi yang telah ditentukan yang menimbulkan turunnya nilai dari suatu produk.

2) *Opportunity*

Adalah ukuran dari setiap kejadian sehingga memberikan harapan supaya sesuai dengan spesifikasi batas dari CTQ.

3) *Critical to Quality (CTQ)*

Adalah alat yang digunakan untuk menganalisa kebutuhan konsumen. CTQ ini merupakan kunci karakteristik yang bisa diukur dari suatu produk atau proses yang harus dapat mencapai standar dari spesifikasi yang telah ditentukan untuk memperoleh kepuasan pelanggan.

4) *Defect Per Opportunity* (DPO)

Merupakan perhitungan yang memberikan rasio antara jumlah cacat dibagi dengan total peluang yang memungkinkan terjadinya cacat. DPO akan memberikan konteks tepat mengenai seberapa sering kesalahan terjadi dan peluang terjadinya kesalahan pada suatu proses yang dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$DPO = \frac{\text{Total defect yang ditemukan}}{\text{Total Produk yang diperiksa} \times CTQ} \dots\dots\dots (2.1)$$

5) *Defect Per Million Opportunities* (DPMO)

Merupakan rasio jumlah cacat yang muncul dalam satu juta peluang. DPMO dapat dihitung dengan rumus:

$$DPMO = DPO \times 1.000.000 \dots\dots\dots (2.2)$$

2.4.2 Tahapan DMAIC dalam *Six Sigma*

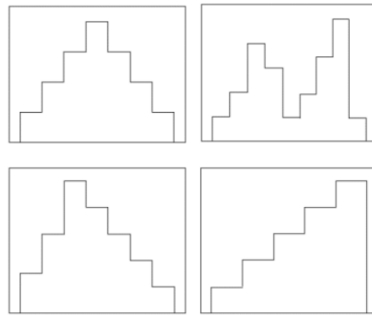
Six Sigma merupakan metode untuk mencari solusi perbaikan yang terbaik untuk permasalahan yang ada dengan menggunakan tahapan-tahapan proses DMAIC. Tahapan DMAIC dimulai dari proses *define* (identifikasi), *measure* (pengukuran), *analyze* (analisa), *improve* (perbaikan), *control* (pengendalian) digunakan untuk melakukan peningkatan atau perbaikan terus menerus agar mencapai target *six sigma* (Ibrahim, 2020).

1) *Define* (Identifikasi)

Tahap identifikasi merupakan tahap awal yang sangat penting dalam peningkatan *six sigma*. Dalam tahap ini tujuan dan sasaran atau fokus objek atau permasalahan serta parameter-parameter yang digunakan harus telah dirancang dengan

jelas dan benar (Hidayat, 2007). Bass (2007) mengatakan bahwa tujuan tahap ini ialah untuk mendefinisikan proses atau masalah suatu produk.

Pada tahap ini akan digambarkan distribusi data yang dibuat dalam bentuk histogram untuk memudahkan analisis kecenderungan kelompok data lalu dilakukan perhitungan statistik dan memasukkan data dalam histogram.



Gambar 2.10 Histogram

Sumber: (Saefuddin, 2018)

2) *Measure* (Pengukuran)

Tahap pengukuran ini merupakan langkah pengukuran pada permasalahan yang sudah didefinisikan. Dalam tahap ini dilakukan pengambilan data lalu pengukuran karakteristik dan kapabilitas dari proses yang ada untuk menentukan langkah perbaikan dan peningkatan yang akan dilakukan. Menurut Fauzi (2021) ada tiga hal pokok yang harus dilakukan pada tahap *Measure* yakni:

- a. Menentukan *Critical to Quality* produk dan membentuk rencana pengumpulan data dari parameter karakteristik kualitas produk.

Penetapan *Critical to Quality* harus diikuti dengan pengukuran yang nantinya bisa dihitung dalam angka-angka supaya tidak menimbulkan perbedaan pemahaman untuk setiap orang dan menyebabkan kesulitan

dalam pengukuran karakteristik kualitas keandalan. Untuk mengukur karakteristik kualitas juga perlu diperhatikan aspek internal (tingkat cacat produk, biaya yang dikeluarkan karena memiliki kualitas tidak baik) dan aspek eksternal seperti kepuasan pelanggan, pangsa pasar, dll.

- b. Melakukan pengembangan rencana pengumpulan data melalui pengukuran pada tingkat proses, tingkat *output*, dan tingkat *outcome*.
- c. Melakukan pengukuran pada *current performance* tingkat proses *output* dan *outcomes* yakni perhitungan diagram pareto, *p-chart*, level *sigma* dan *Defect Per Million Opportunities* (DPMO).

- Diagram Pareto

Pareto chart adalah bagan yang menampilkan urutan data dengan frekuensi terbesar hingga terkecil. Prinsip pareto chart sesuai dengan hukum Pareto yang menyatakan bahwa sebuah grup selalu memiliki persentase terkecil (20%) yang bernilai atau memiliki dampak terbesar (80%) (Erdhianto, 2021). Ada enam langkah proses penyusunan diagram pareto menurut Besterfield yang dikutip oleh Mardiansyah dan Ikhwan (2013) diantaranya sebagai berikut:

- Menentukan metode atau arti dari pengklasifikasian data, misalnya berdasarkan masalah, penyebab, jenis ketidaksesuaian, dan sebagainya.
- Menentukan satuan yang digunakan untuk membuat urutan karakteristik-karakteristik tersebut, misalnya rupiah, frekuensi, unit, dan sebagainya.
- Mengumpulkan data sesuai dengan interval waktu yang telah ditentukan.

- Merangkum data dan membuat rangking kategori data tersebut dari yang terbesar hingga yang terkecil.
- Menghitung frekuensi kumulatif atau persentasi kumulatif yang digunakan.
- Menggambarkan diagram batang, menunjukkan tingkat kepentingan relative masing-masing masalah. Mengidentifikasi beberapa hal yang penting untuk mendapat perhatian.
- Mengukur kinerja sekarang (*current performance*) pada tingkat proses, *output*, dan/atau *outcome* untuk ditetapkan sebagai baseline kinerja (*performance baseline*) pada awal produk *Six Sigma*
- Peta Kendali P

Peta kendali P menurut (Resmalani, 2020) adalah perbandingan jumlah produk yang tidak sesuai dalam suatu subgrup. Peta kendali p dikembangkan berdasarkan peta kendali *Shewhart* sehingga dibutuhkan mean dan standar deviasi dari p untuk membentuknya. Nilai p adalah rasio antara jumlah unit yang tertolak dengan seluruh unit yang diperiksa. Peta kendali memiliki garis atas (*Upper Line*) untuk Batas Kontrol Tertinggi (*Upper Control Line*), Garis bawah (*Lower Line*) untuk garis tengah (*Central Line*) untuk Rata-rata (*Average*). Peta kendali-p digunakan untuk mengendalikan proses melalui perhitungan proporsi produk yang ditolak karena cacat setiap pengambilan sampel (Kuswadi, 2004). Berikut ini merupakan langkah-langkah dalam pembuatan peta kendali-p:

A. Menghitung persentase kecacatan

$$p = \frac{np}{n} \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan:

p = persentase kerusakan

np = Jumlah gagal dalam sub grup

n = Jumlah produk yang diperiksa dalam sub grup

B. Menghitung garis pusat atau *central line* (CL)

Garis ini merupakan rata-rata kerusakan pada produk

$$CL = \bar{p} = \frac{\sum np}{\sum n} \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan:

 $\sum np$ = Jumlah total yang cacat $\sum p$ = Jumlah total yang diperiksaC. Menghitung batas kendali atas atau *Upper Control Limit* (UCL)

Untuk menghitung batas kendali atas dilakukan dengan rumus sebagai berikut:

$$UCL = \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan:

 \bar{p} = rata-rata kecacatan produk

n = total sampel/grup

D. Menghitung batas kendali bawah atau *Lower Control Limit* (LCL)

Untuk menghitung batas kendali bawah dilakukan dengan rumus sebagai berikut:

$$LCL = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan:

n = jumlah produksi

- Menghitung nilai DPMO dan Level Sigma

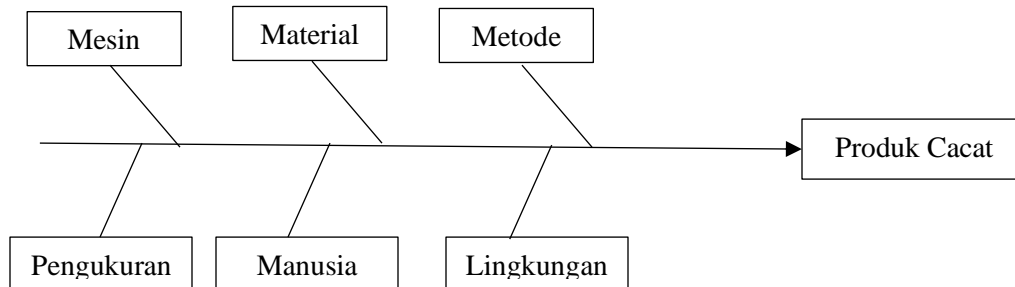
Dalam tahap ini digunakan peta kendali untuk menghitung stabilitas proses, identifikasi parameter diluar spesifikasi, menghitung DPMO untuk data variabel, menghitung nilai sigma yang diperoleh dari tabel konversi nilai DPMO ke tingkat sigma dan pengukuran kapabilitas proses.

$$DPMO = \frac{\text{jumlah produk cacat}}{\text{jumlah total produksi} \times CTQ} \times 1.000.000 \dots\dots\dots (2.7)$$

3) *Analyze* (Analisa)

Tahap analisa merupakan tahap ketiga dimana dilakukan analisis dan identifikasi mengenai faktor penyebab dan akar penyebab cacat produk dan memberikan priotitas cacat yang memiliki kontribusi secara signifikan pada penurunan kualitas produk sehingga dapat dilakukan tindakan perbaikan untuk mengatasinya (Rumana, 2014). Tahap ini akan dibuat peta kendali dan diagram sebab akibat untuk menganalisis akar penyebab terjadinya masalah yang melebihi spesifikasi. Diagram Ishikawa atau disebut juga dengan diagram *fishbone* adalah diagram yang menunjukkan hubungan antara sebab dan akibat untuk mengklasifikasikan faktor-

faktor penyebab (sebab) dan karakteristik kualitas (akibat) yang disebabkan oleh faktor-faktor penyebab itu.



Gambar 2.11 Diagram Sebab Akibat

Sumber : (Sukirno, 2021)

Profesor Kaoru Ishikawa 1953 merupakan orang yang pertama kali mengembangkan diagram sebab akibat. Secara umum, terdapat beberapa kategori dalam *fishbone diagram* diantaranya sebagai berikut:

- *Man* (manusia): sumber daya manusia atau pekerja yang terlibat dalam proses produksi
- *Material* : bahan mentah, bahan baku, dan bahan lain yang digunakan sebagai *input* pada proses produksi
- *Method* (metode): bagaimana proses produksi dilaksanakan dan persyaratan yang dibutuhkan dalam berjalannya proses produksi
- *Machine* (mesin): peralatan yang digunakan pada proses produksi
- *Measurement* (pengukuran):inspeksi manual atau otomatis termasuk pengukuran fisik (jarak, volume, suhu, dll) dimana perhitungannya tidak konsisten dan kurang akurat

- *Environment* (lingkungan): kondisi sekitar seperti lokasi, waktu dan suhu ketika proses produksi berlangsung.

4) *Improve* (Perbaikan)

Menurut (Gaspersz, 2007) tahap *improve* berisi usaha untuk mengoptimalkan proses menggunakan analisis seperti *Design of Experiments* (DOE), dll untuk mengetahui dan mengendalikan kondisi optimum proses. Tahap ini bertujuan untuk mencoba dan menerapkan solusi yang diperoleh dari tahap analisis sehingga dapat meminimalkan penyebab-penyebab kecacatan yang ada. Metode yang biasanya digunakan yakni teknik *brainstorming*, diagram kontrol, diagram alir, dan dianalisis menggunakan metode 5W+1H untuk mengembangkan rencana tindakan kelanjutannya (Gaspersz, 2002).

Dalam melakukan peningkatan kualitas dengan meminimasi kegagalan pada perusahaan dapat dilakukan dengan memberikan usulan perbaikan menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk mencegah sebanyak mungkin risiko yang berkontribusi terhadap kegagalan melalui pendekatan *top-down*. FMEA adalah alat yang efektif untuk mengelola potensi kegagalan (*failure mode*), efek yang muncul dari kondisi kegagalan. dan tingkat kekritisan efek dari *failure mode* sistem suatu produk. Dengan metode ini akan dapat didefinisikan, diidentifikasi, dan dieliminasi kesalahan dan masalah dalam proses produksi serta masalah yang diketahui bahkan potensial dari sistem (Wicaksono, 2022).

Menurut Husein (2021) *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) merupakan pendekatan sistematis yang menggunakan tabel untuk membantu dalam pengidentifikasian mode potensial dari proses berpikir untuk kesalahan dan

konsekuensinya. FMEA digunakan untuk menetapkan pengaruh dari semua kegagalan yang terjadi lalu memberikan prioritas upaya pencegahan dan perbaikan untuk menetapkan bahwa hasil produk pada proses produksi selanjutnya dapat berjalan dengan baik dan sesuai dengan keinginan pelanggan (Suseno, 2022). Secara umum menurut Suwandi et al (2020), FMEA memiliki dua tipe yaitu proses FMEA dan desain FMEA. Dalam desain FMEA pengamatan fokus pada desain produk. Sedangkan pada proses FMEA, pengamatan fokus pada proses produksi. *Design* dan proses FMEA menurut McDermott dkk (2009) memakai sepuluh tahapan pada tabel berikut:

Tabel 2.3 Tahapan FMEA

Langkah 1	Mempelajari proses atau produk
Langkah 2	<i>Brainstorming</i> tentang mode kegagalan potensial
Langkah 3	Mendaftar dampak potensial dari setiap mode kegagalan
Langkah 4	Menetapkan Peringkat Keparahan (<i>Severity</i>) untuk setiap dampak yang terjadi
Langkah 5	Menetapkan Peringkat Kejadian (<i>Occurrence</i>) untuk setiap dampak yang terjadi
Langkah 6	Menetapkan Peringkat Deteksi (<i>Detection</i>) untuk setiap dampak yang terjadi
Langkah 7	Menghitung <i>Risk Priority Number</i> untuk setiap dampak yang terjadi
Langkah 8	Memprioritaskan kegagalan yang akan ditindaklanjuti
Langkah 9	Mengambil tindakan untuk menghilangkan atau meminimasi kegagalan yang beresiko tinggi
Langkah 10	Menghitung hasil <i>Risk Priority Number</i> setelah kegagalan dikurangi atau dihilangkan.

Sumber : McDermott (2009)

Tabel tahapan diatas dapat memudahkan peneliti dalam menggunakan FMEA dikarenakan prosedur pengisian *worksheet* berdasarkan sepuluh langkah tersebut. Untuk penjelasan mengenai langkah-langkah diatas adalah sebagai berikut:

a. Langkah 1: Mempelajari proses atau produk

Pada langkah pertama ini yang akan menjadi kerangka proses. Apabila mengenai desain FMEA diperlukan penyusunan produk. Namun apabila terkait proses FMEA, diperlukan diagram alur dari setiap operasi.

b. Langkah 2: *Brainstorming* tentang Jenis Kegagalan Potensial

Langkah ini menganalisis dan menemukan letak potensi atau peluang kegagalan pada tiap proses. Pelaksanaan *brainstorming* dilakukan oleh anggota dim dengan menuliskan masing-masing ide baru.

c. Langkah 3: Mendaftar Dampak Potensial Potensial dari setiap mode kegagalan

Jika dalam worksheet FMEA memiliki catatan mode kegagalan, tim FMEA harus meninjau setiap mode kegagalan dan mengidentifikasi dampak potensial dari kegagalan yang terjadi. Informasi tentang dampak potensial akan membantu tim untuk mempertimbangkannya dengan cermat, sehingga langkah ini harus dilakukan seperti konsekuensi adanya kegagalan dalam produk.

d. Langkah 4: Menetapkan Peringkat Keparahan (*Severity*) untuk setiap dampak yang terjadi

Untuk nilai tingkat keparahan proses selanjutnya dengan kerugian tidak langsung dan beratnya konsekuensi bagi konsumen. Nilai *severity* rating 1-10. *Severity* sendiri adalah estimasi tingkat keparahan dari dampak terjadinya kegagalan.

Tabel 2.4 Kriteria *Severity* (S)

Efek	Kriteria	Rangking
Berbahaya tanpa ada peringatan	Dapat membahayakan konsumen Tidak sesuai dengan peraturan pemerintah Tidak ada peringatan	10
Berbahaya dan ada peringatan	Dapat membahayakan konsumen Tidak sesuai dengan peraturan pemerintah Ada peringatan	9
Sangat tinggi	Mengganggu kelancaran lini produksi 100% <i>scrap</i> Pelanggan sangat tidak puas	8
Tinggi	Sedikit mengganggu kelancaran lini produksi Pelanggan tidak puas Sebagian besar menjadi <i>scrap</i> , sisanya dapat disortir	7
Sedang	Sebagian kecil menjadi <i>scrap</i> , sisanya tidak perlu disortir sudah baik Pelanggan tidak puas	6
Rendah	100% produk dapat di- <i>rework</i> Produk pasti dikembalikan oleh konsumen	5
Sangat rendah	100% produk dapat di- <i>rework</i> Produk pasti dikembalikan oleh konsumen	4
Kecil	100% produk dapat di- <i>rework</i> Produk pasti dikembalikan oleh konsumen	3
Sangat kecil	Komplain hanya diberikan oleh pelanggan tertentu	2
Tidak ada	Tidak ada efek apa-apa untuk konsumen	1

Sumber : (McDermott, 2009)

- e. Langkah 5: Menetapkan Peringkat Kejadian (*Occurance*) untuk setiap dampak yang terjadi

Tahap ini menunjukkan seberapa banyak penyebab kegagalan terjadi. Rating nilai *occurrence* kegagalan 1-10 untuk menentukan kemungkinan terendah hingga paling tinggi. Semakin sering terjadi penyebab kegagalan maka akan semakin tinggi juga skala ratingnya.

Tabel 2.5 Rating *Occurance*

Tingkat kegagalan	Kriteria	Rating
1 dalam 1.500.000 kejadian	Hampir tidak ada kegagalan terjadi	1
1 dalam 150.000 kejadian	Kegagalan akan terjadi	2
1 dalam 15.000 kejadian		3
1 dalam 2000 kejadian	Kegagalan agak mungkin terjadi	4
1 dalam 400 kejadian		5
1 dalam 80 kejadian	Kegagalan sangat mungkin terjadi	6
1 dalam 20 kejadian		7
1 dalam 8 kejadian		8
1 dalam 3 kejadian	Hampir dapat dipastikan kegagalan	9
1 dalam 2 kejadian		10

Sumber : (McDermott, 2009)

- f. Langkah 6: Menetapkan Peringkat Deteksi (*Detection*) untuk setiap dampak yang terjadi

Menunjukkan berapa dalam penyebab kegagalan itu mampu terjadi. *Detection* atau efektivitas ini merupakan ukuran relatif dari penilaian kemampuan desain kontrol untuk mendeteksi potensi penyebab atau modus kegagalan selama sistem operasi. Penilaian *detection* dimulai dari skala 1-10.

Tabel 2.6 Kriteria *Detection* (D)

Berdasarkan Frekuensi kejadian	Keterangan	Ranking
0.01 per 1000 item	Metode pencegahan sangat efektif Tidak ada kesempatan bahwa penyebab mungkin muncul	1
0.1 per 1000 item	Kemungkinan penyebab terjadinya sangat rendah	2
0.2 0.5 per 1000 item		3
1 per 1000 item	Kemungkinan penyebab terjadinya bersifat sedang. Metode pencegahan kadang memungkinkan penyebab itu terjadi	4
2 per 1000 item		5
5 per 1000 item		6
10 per 1000 item	Kemungkinan penyebab terjadi tinggi. Metode pencegahan kurang efektif, penyebab masih berulang kembali	7
20 per 1000 item		8
50 per 1000 item	Kemungkinan penyebab terjadi kegagalan sangat tinggi. Metode pencegahan tidak efektif, penyebab selalu berulang kembali.	9
100 per 1000 item		10

Sumber : (Prakasa, 2020)

- g. Langkah 7: Menghitung *Risk Priority Number* untuk setiap dampak yang terjadi
Risk Priority Number diperoleh dengan mengalikan *Severity*, *Occurrence*, dan *Detection*. *RPN (risk priority number)* merupakan sebuah sistem matematis yang mengartikan serangkaian efek pada tingkat keparahan (*severity*), sehingga mampu

membuat suatu kegagalan yang kaitannya dengan efek-efek (*occurrence*), serta memiliki keahlian guna menemukan gagal (*detection*) sebelum disampaikan kepada konsumen. RPN digunakan untuk panduan dalam memperoleh masalah paling serius dengan indikasi angka tertinggi dibutuhkan prioritas penyelesaian paling serius. Berikut untuk menghitung RPN:

$$RPN = Severity \times Occurance \times Detection \dots\dots\dots (2.7)$$

Tabel 2.7 Penentuan Kategori Resiko

Nilai <i>Risk Priority Number</i> (RPN)	Kategori	Perlakuan
192-1000	Tinggi	Lakukan perbaikan saat ini
65-191	Sedang	Upaya untuk melakukan perbaikan
1-64	Rendah	Resiko dapat diabaikan

Sumber: (Prakasa, 2020)

h. Langkah 8: Memprioritaskan kegagalan yang akan ditindaklanjuti

Dengan mengetahui nilai RPN akan memberikan informasi mengenai bentuk kegagalan kecelakaan kerja yang mendapat prioritas penanganan. Mode kegagalan diprioritaskan berdasarkan *Risk Priority Number* (RPN) yang tertinggi ke terendah. Seperti halnya peningkatan kualitas, aturan 80/20 mungkin berlaku untuk RPN. Ini bisa berarti bahwa 80% dari total RPN pada FMEA disebabkan oleh 20% dari kemungkinan efek kesalahan.

- i. Langkah 9: Mengambil tindakan untuk menghilangkan atau meminimasi kegagalan yang beresiko tinggi

Digunakan proses pemecahan terorganisir dengan mengidentifikasi masalah dan mengaplikasikan perbaikan yang sesuai dengan menghilangkan mode kesalahan. Pendekatan paling sederhana untuk menggabungkan perbaikan produk atau proses adalah dengan meningkatkan kemampuan Anda untuk mendeteksi cacat. Hal ini dapat mengurangi skor deteksi. Selain itu, penting untuk mengurangi keparahan, terutama dalam situasi di mana kesalahan lain dapat terjadi.

- j. Langkah 10: Menghitung hasil *Risk Priority Number* setelah kegagalan dikurangi atau dihilangkan.

Langkah yang diambil dalam peningkatan produk atau proses perlu dinilai ulang untuk tingkat *Severity*, *Occurance*, *Detection* serta RPN. Tindakan yang diambil untuk meningkatkan mode kegagalan harus bisa secara signifikan mengurangi nilai RPN. Apabila tidak berhasil artinya tindakan korektif yang dilakukan tidak bisa mengurangi *Severity*, *Occurance*, dan *Detection*.

Tabel 2. 8 Lembar Kerja FMEA

<i>Modes of Failure</i>	<i>Effect of Failure</i>	<i>S</i>	<i>Causes of Failure</i>	<i>O</i>	<i>Current Controls</i>	<i>D</i>	<i>RPN</i>	<i>Rank</i>	<i>Recommendation</i>

Sumber : (Park, 2003)

5) *Control* (Pengendalian)

Tahap terakhir pada siklus DMAIC ini adalah tahap *control*. Tahap *control* adalah langkah akhir yang dilakukan dengan melakukan pengendalian proses secara terus-menerus untuk meningkatkan kapabilitas proses menuju target *six sigma*. Tahap *control* ini bertujuan untuk menyerahkan hasil proses perbaikan kepada perusahaan, menetapkan standardisasi bagi perusahaan atas hasil proses perbaikan, serta mempertahankan proses perbaikan yang telah diusulkan untuk perusahaan. Akan tetapi dengan usulan yang diberikan perusahaan belum tentu akan menerima usulan tersebut (Fitriana, 2021).

2.5 Penelitian Terdahulu

Berikut ini merupakan beberapa penelitian terdahulu yang dijadikan sebagai acuan oleh peneliti diantaranya sebagai berikut:

- 1) Penelitian oleh Desi Dwi Ramadhani, 2022. Universitas Sebelas Maret.

“Perbaikan Kualitas Produk KKBW 480 Menggunakan Metode *Six Sigma* di PT. INKA (Persero)”

Seiring berjalannya waktu, persaingan industri di dunia semakin berat dan memaksa perusahaan agar memiliki keunggulan kompetitif dibanding dengan perusahaan pesaing. Keunggulan tersebut dapat diwujudkan dengan menghasilkan keluaran produk yang berkualitas sesuai dengan kebutuhan dan keinginan konsumen. Karena pentingnya kualitas bagi konsumen, maka perusahaan harus memastikan produk akhir yang diterima konsumen dalam keadaan baik tanpa cacat. Namun

realitanya, berbagai jenis kesalahan masih banyak ditemukan saat proses produksi berlangsung yang pada akhirnya menyebabkan produk mengalami kecacatan. Hal seperti ini dapat ditemui di PT INKA (Persero), sehingga untuk mengatasi hal tersebut, perlu dilakukan upaya pengendalian kualitas. Oleh karena itu, dilakukan penelitian ini untuk mencari akar penyebab kecacatan dan memberikan usulan perbaikan dengan mengimplementasikan metode *six sigma* untuk meminimalkan kecacatan pada departemen *finishing* manufaktur kereta KKBW 480. Terdapat 7 jenis *defect*, yaitu warna tidak standard, sambungan kendor, *sagging*, *document defect*, *incomplete part*, *unconnected part*, dan *part* tidak sesuai. Jenis-jenis *defect* tersebut ditemukan berdasarkan hasil rekapitulasi dari data NCR pada akhir 25 Oktober – 31 Desember 2021. Dalam *range* waktu tersebut, terdapat total 180 *defect* dari 4573 total inspeksi, di mana kuantitas *defect* berbeda-beda setiap harinya. Dengan menggunakan data cacat KKBW 480 tanggal 25 Oktober – 31 Desember 2021 diperoleh nilai rata-rata DPMO sebesar 8635,83. Nilai tersebut menunjukkan bahwa dari per satu juta kesempatan hanya terjadi kemungkinan cacat sebanyak 8635,84. Nilai tersebut kemudian dikonversikan ke dalam nilai *sigma* dan didapat nilai sebesar 3,45. Nilai DPMO dan nilai *sigma* tersebut dapat dikatakan sudah berada di atas rata rata industri di Indonesia, namun masih jauh dibawah rata-rata USA dan Jepang.

2. Penelitian oleh Akhmad Wahyu Gondho Purnomo, 2022. Universitas Muhammadiyah Gresik
“Analisis Kecacatan Produk Timbangan SF 400 dengan Metode *Six Sigma* dan *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) di CV. Golden Star”.

CV Golden Star merupakan perusahaan yang bergerak dalam bidang manufaktur dengan memproduksi produk timbangan SF-400. Memperhatikan aspek kualitas produk adalah salah satu kunci sukses suatu perusahaan untuk memenuhi kebutuhan konsumen dalam persaingan industri di era globalisasi. Dalam penelitian ini, metode *Six Sigma* dan *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) digunakan untuk mengendalikan kualitas produk timbangan SF 400 di CV Golden Star guna meminimalisir kecacatan produk yang terjadi. Data yang digunakan dengan jumlah produksi sebanyak 109.2 dengan jumlah cacat 1443 dari 3 CTQ yakni kerusakan *body*, kerusakan mesin dan kerusakan sensor.

Hasil perhitungan dengan metode *Six Sigma* diperoleh kecacatan yang paling dominan adalah kerusakan *body* sebanyak 580 pcs dengan presentase 39% dan diperoleh nilai rata-rata *Defect Per Million Opportunity* (DPMO) pada periode bulan april 2022 sebesar 4405 cacat per 1 juta kesempatan, dengan nilai sigma rata-rata sebesar 2,50. Pada tahap FMEA diperoleh bahwa faktor penyebab yang menjadi prioritas perbaikan pada *defect* kerusakan *body* adalah kualitas bahan dasar *body* yang kurang bagus dengan nilai RPN tertinggi sebesar 150,19. Rekomendasi perbaikan untuk kualitas bahan dasar *body* yang kurang bagus adalah melakukan pengecekan bahan material secara terus menerus terutama ketika tiba di perusahaan, Melakukan pemilihan *supplier* yang lebih selektif, Selalu menjaga kerapian penataan bahan material serta menjaga kondisi udara dalam ruangan gudang penyimpanan.