

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Industri adalah suatu usaha atau kegiatan yang mengubah bahan mentah atau produk setengah jadi untuk dijadikan produk jadi untuk memberikan nilai tambah guna memperoleh keuntungan. Barang-barang hasil produksi disediakan tidak hanya berbentuk barang, namun juga dapat berbentuk jasa. Secara umum, sebuah industri dapat didefinisikan sebagai kelompok perusahaan tertentu dengan teknologi dan model yang sama dalam menghasilkan keuntungan. Industri didefinisikan sebagai kegiatan ekonomi yang menggunakan fasilitas dan peralatan (mesin) untuk memproses bahan atau barang untuk menghasilkan barang dan jasa.

Manufaktur berasal dari kata “*manufacturing*” yang memiliki arti manual (dikerjakan dengan tangan) atau peralatan manufaktur untuk menghasilkan produk. Dalam proses manufaktur, bahan baku diubah menjadi komoditas yang dapat digunakan atau dikonsumsi oleh manusia. Secara umum, manufaktur merupakan suatu kegiatan yang mengubah produk atau beberapa material untuk dijadikan produk lain dengan nilai tambah lebih tinggi, atau suatu kegiatan yang mengubah suatu *input* menjadi *output*.

2.1 Kualitas

Mutu atau kualitas merupakan tolak ukur untuk menilai apakah sebuah produk ataupun jasa dapat mencukupi kebutuhan para konsumen yang memiliki standar tersendiri. Kualitas adalah salah satu standar yang dimana perusahaan dapat

bersaing sangat ketat di dunia industri manufaktur dan jasa. Dapat ditarik kesimpulan bahwasanya kualitas ialah ukuran yang digunakan oleh calon konsumen atau konsumen sebagai alat untuk menggunakan produk ataupun jasa. Para konsumen akan meninjau kualitas produk ataupun jasa ketika memenuhi kebutuhan, keinginan dan harapannya.

Kualitas merupakan faktor yang paling mendasar bagi kepuasan pelanggan. Ketika suatu perusahaan menghasilkan suatu produk tentunya harus memperhatikan kualitas agar tercapai keinginan perusahaan untuk memuaskan pelanggan. Untuk menghasilkan produk yang berkualitas dari bahan bakunya, proses produksinya hingga jadi produk sesungguhnya, kualitas produk menjadi salah satu tujuan utama perusahaan. Dalam perkembangan saat ini, perusahaan harus selalu memiliki inovasi untuk meningkatkan efisiensi, efektivitas, dan kinerjanya agar mampu bersaing dengan yang lain (Andespa, 2020).

Tentunya perusahaan yang memproduksi produk tersebut harus memperhatikan kualitas produk serta memenuhi kriteria dan aturan untuk menetapkan apakah suatu produk yang nantinya diproduksi dalam kategori baik atau produk tersebut tidak memenuhi syarat / cacat / *non-conforming*. Produk cacat mengacu pada produk yang tidak optimal dalam proses pembuatannya atau tidak memenuhi kualitas standar perusahaan. Produk yang cacat dapat diperbaiki secara ekonomis dengan menambahkan biaya tertentu, yang akan menyebabkan perusahaan menanggung biaya dan kerugian yang lebih besar karena produk cacat yang tidak terkendali (Andespa, 2020).

2.1.1 Peranan kualitas

Peran kualitas sangatlah penting bagi sebuah perusahaan. Dikarenakan apabila produk itu diproduksi harus mendapat jaminan untuk mendapatkan kualitas yang terbaik supaya perusahaan tidak berkurang konsumennya. Namun, jika perusahaan tersebut tidak memperhatikan mutu produk yang dihasilkannya, maka daya tarik produk dari pasar ke konsumen akan semakin sedikit (Andespa, 2020).

Kualitas juga memiliki peranan penting yaitu :

1. Reputasi perusahaan akan baik.
2. Meminimalkan biaya.
3. Pangsa pasar meningkat.
4. Memiliki dampak secara internasional.
5. Jaminan pertanggung jawaban produk.
6. Untuk mencerminkan penampilan dan kualitas suatu produk berdasarkan tingkat kepentingannya.

Berdasarkan uraian di atas, peran kualitas dapat juga digunakan untuk menganalisis karakteristik kualitas sebuah produk. Hal ini memungkinkan perusahaan untuk dengan mudah mengidentifikasi juga mengkaji karakteristik mutu produk mereka.

2.1.2 Perspektif Kualitas

Persepsi kualitas ialah sebuah pendekatan yang diambil untuk mencapai mutu suatu produk maupun jasa. Menurut Rusydah dan Yuana (2019) terdapat lima perspektif terhadap kualitas produk :

1. Pendekatan *Trancedent*

Kualitas dalam pendekatan ini digunakan untuk menunjukkan kualitas produk seni.

2. Pendekatan *Product-Based*

Dalam pendekatan ini, mutu atau kualitas adalah karakteristik/properti yang mampu diukur.

3. Pendekatan *User-Based*

Berdasarkan pemikiran, pendekatan ini menjelaskan bahwasanya kualitas bergantung kepada orang yang melihatnya, akhirnya produk memiliki kualitas tinggi yakni produk yang paling sesuai dengan preferensi pribadi atau kepuasan terpenuhi.

4. Pendekatan *Manufacturing-Based*

Pendekatan ini mendasar pada pasokan, terutama berfokus pada praktik manufaktur dan rekayasa, juga mendefinisikan kualitas sebagai syarat yang harus dipenuhi.

5. Pendekatan *Value-Based*

Pendekatan ini dilihat berdasarkan kualitas dalam hal harga dan nilai. Mempertimbangkan pertukaran antara harga dan kinerja. Dalam hal ini, kualitas itu relatif, jadi produk yang berkualitas baik belum tentu produk yang paling berharga.

Semakin baik reaksi dari konsumen maka bisa dikatakan semakin baik kualitas produk. Tetapi kemungkinan juga dapat terjadi apabila perusahaan secara tidak langsung membuat produk yang tak sama atau cacat. Oleh karena itu,

perusahaan sangat butuh integritas manajemen yang baik dalam menyerahkan dan menyalurkan penilaian konsumen serta pengendalian akan kualitas (Sari, 2018).

2.2 Pengendalian Kualitas

Pengendalian mutu atau kualitas adalah sebuah sistem yang memverifikasi dan memelihara atau mempertahankan tingkatan ataupun derajat mutu/kualitas produk serta proses yang dipersyaratkan melalui perencanaan dengan tepat, pemakaian peralatan yang benar, pemeriksaan secara kontinyu dan tindakan perbaikan bila dibutuhkan. Oleh sebab itu, pengendalian kualitas lebih dari sekedar kegiatan inspeksi atau penentuan kualitas produk apakah diterima (*accept*) atau ditolak (*reject*) (Manik, 2020).

Pengendalian kualitas dimulai dengan proses menginput bahan baku atau informasi oleh pemasar dan pembeli, sampai bahan baku itu diproses di pabrik (tahap konversi) dan kemudian dikirim ke konsumen (Kuswardani et al, 2020). Pengendalian kualitas memerlukan pengertian dan perlu dilaksanakan oleh perancang, bagian inspeksi, bagian produksi sampai pendistribusian produk ke konsumen (Hutabarat, 2017).

2.2.1 Tujuan Pengendalian Kualitas

Jika suatu perusahaan ingin memberikan hasil produk yang memiliki kualitas tinggi, maka perlu melakukan kontrol kualitas, namun pertama-tama, perusahaan harus menetapkan standar kualitas yang wajib dipenuhi produk tersebut. Kegiatan pengendalian mutu atau kualitas adalah salah satu fungsi paling penting bagi perusahaan, sebab melalui pengendalian mutu atau kualitas, produk yang

diproduksi memiliki kualitas yang sesuai dan memenuhi rencana. Perusahaan menerapkan kontrol kualitas untuk menetapkan spesifikasi standar yang sudah ditetapkan untuk produk maupun hasil akhir.

Tujuan terpenting dari pengendalian mutu atau kualitas yakni untuk mencari tahu sejauh manakah proses dan hasil suatu produk maupun jasa memenuhi standar yang telah ditentukan oleh perusahaan. Berikut tujuan dari pengendalian kualitas (Walujo et al, 2020) adalah:

- a. Menjaga agar kualitas produk selalu tetap (konstan).
- b. Menjaga agar bahan-bahan yang dipakai selalu tetap.
- c. Menjaga agar pengolahan bahan (proses) selalu menurut rencana (standar) yang telah ditetapkan.
- d. Menjaga agar kerusakan pemakaian bahan dapat dikendalikan.
- e. Menjaga agar kerusakan produk dapat dikendalikan.
- f. Menjaga agar kondisi mesin selalu stabil.
- g. Menjaga agar *schedule* atau jadwal mesin sesuai dengan rencana.

2.3 *Statistical Quality Control (SQC)*

Statistik adalah alat untuk membuat keputusan pada proses dan menganalisis informasi yang terdapat dalam sebuah sampel. Pada metode statistik ini, memainkan peran penting terhadap jaminan suatu kualitas. Pada manajemen operasi, metode pengawasan kualitas yang memakai metode statistik disebut *Statistical Quality Control* yang merupakan sistem dengan mempertahankan

standar kualitas pada proses produksi dengan biaya seminimum mungkin, mengumpulkan data, dan menganalisis data menggunakan metode statistik.

Tujuan pokok pada pengendalian statistik yakni untuk menganalisis data masa lalu dan masa depan untuk mengidentifikasi adanya penyebab khusus jika terjadi penyimpangan atau kesalahan proses. Artinya, tergantung data yang ada, cari penyebab kerusakan atau cacat produk. *Statistical Quality Control (SQC)* telah diakui secara luas sebagai pendekatan yang efektif untuk memantau proses pembuatan dan layanan sehubungan dengan penggunaan variabel atau bagan atribut dalam proses tertentu (Saka et al, 2019).

Kelebihan dari metode SQC adalah bekerja didasarkan pada data/fakta objektif, bukan opini subjektif. Manajemen SQC dapat melacak metrik kualitas proses manufaktur terintegrasi mulai dari hulu/pemasok/bahan baku hingga hilir/pelanggan/produk jadi sehingga keputusan manajemen benar-benar akurat berdasarkan analisis dan pemrosesan berbagai data yang ada. SQC memiliki kemampuan untuk memperhitungkan anomali dalam proses dan memeriksa apakah proses tumbuh/menurun sehingga tindakan korektif dan pencegahan dapat diambil sebelum masalah benar-benar terjadi. SQC bekerja secara efektif di area di mana proses manufaktur berlangsung segera, memungkinkan penyimpangan produk dapat dihindari sedini mungkin (Manik, 2020).

Berikut maksud serta tujuan penerapan alat-alat tersebut:

1. Masalah diketahui.
2. Masalah dipersempit.
3. Pencarian faktor yang diyakini sebagai penyebabnya.

4. Mengidentifikasi faktor yang diduga menjadi penyebabnya.
5. Pencegahan dalam membuat kesalahan karena ceroboh.
6. Menampilkan dampak perbaikan.
7. Memberi tahu hasil yang berbeda dengan hasil yang lain.

2.3.1 Alat bantu *Statistical Quality Control* (SQC)

7 tools merupakan tujuh alat pokok yang dipergunakan untuk pemecahan masalah yang dihadapi pada proses produksi terutama bagian yang kaitannya dengan mutu atau kualitas. Ketujuh alat utama kontrol kualitas ini pertama kalinya ditunjukkan oleh Kaoru Ishikawa yakni tahun 1968. Ketujuh *tools* tersebut ialah *check sheet* (lembar periksa), *stratification*, *histogram*, diagram *pareto*, diagram *scatter*, *control chart* (peta kontrol), dan juga *fishbone* diagram (Tang, 2022).

Langkah pertama adalah data penelitian dituliskan ke lembar periksa untuk memastikan kesesuaian dan konsistensi data. Data tersebut kemudian dikelompokkan menurut jenis dan jumlah cacat yang terdeteksi. Urutan cacat yang ditemukan dilihat pada histogram yang divisualisasikan bersama dengan nilai kumulatif setiap kegagalan dilihat pada diagram pareto dan penyebaran data dilihat pada *scatter* diagram. Lalu analisis terhadap faktor yang menyebabkan kecacatan dengan memakai diagram sebab akibat.

Ketujuh alat kontrol kualitas tersebut yakni:

1. Lembar Periksa (*Check Sheet*)

Defect	Hour								Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	
A	II	III III	III	IIII	II	II			23
B	III	IIII	II	IIII	I	I	III	I	19
C	II	I	III	III II	II	IIII	II	III	24
D						II			2
E	I	II					II	III	9
Total	8	15	10	15	5	9	7	8	77

Gambar 2. 1 Contoh *Check Sheet*

Sumber : (Rosyidi, 2021)

Check Sheet atau disebut lembar pemeriksaan ialah alat yang digunakan untuk mengumpulkan serta menganalisis data berbentuk tabel. Tujuan penggunaan lembar periksa adalah untuk menyederhanakan proses saat mengumpulkan dan menganalisis data, mengidentifikasi area masalah sesuai sifat atau frekuensi penyebab, dan memutuskan apakah akan diperbaiki. Implementasi dilakukan dengan melakukan pencatatan frekuensi kemunculan karakteristik yang berkaitan dengan kualitas produk. Data itu berfungsi sebagai landasan untuk melakukan analisis permasalahan mengenai kualitas.

Menurut Akbar (2018) manfaat menggunakan lembar periksa dalam pengendalian kualitas adalah :

- Mempermudah saat proses mengumpulkan data, terutama untuk mengetahui seberapa sering hal itu terjadi. Karena kemudahan ini mempengaruhi efisiensi saat pengumpulan data.
- Mempermudah mengurutkan data kedalam berbagai kategori, misalnya penyebabnya, masalahnya, dan lainnya.

- Memudahkan penyusunan data otomatis untuk mempermudah penggunaan.
- Mempermudah dalam pemisahan antara fakta dengan opini.

Lembar periksa yang mudah digunakan dapat menghemat waktu dan biaya ketika mengumpulkan data. Selain itu, dengan cepat data dapat terkumpul, diuraikan, juga terpercaya, sehingga dapat dianalisis secara detail untuk membuat keputusan kontrol kualitas yang akurat.

2. Stratifikasi (*Stratification*)

Kode Cacat	Kondisi	Jumlah
A	Kotor bagian belakang	3
B	Tidak rapih bagian belakang	4
C	Terdapat getaran bagian depan	3
D	Sobek bagian depan	2
E	Tidak rapi busanya	1
F	Tidak rapi jahitan jaringnya	2
JUMLAH		15

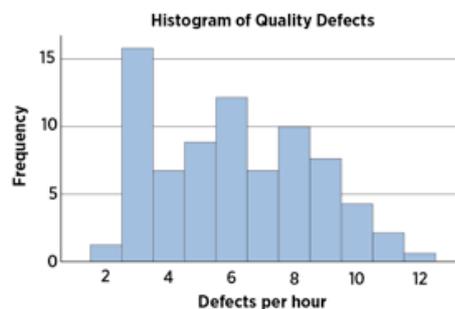
Gambar 2. 2 Contoh Stratifikasi

Sumber : (Akbar, 2018)

Setelah memasukkan data ke dalam *check sheet*, dilakukan proses pengklasifikasian data ke dalam sub kelompok berdasarkan kategori dan karakteristik dengan tujuan mempermudah pengolahan data untuk tahapan selanjutnya. Stratifikasi membantu menganalisis data menjadi kategori atau klasifikasi yang bermakna untuk fokus pada tindakan korektif. Stratifikasi juga dapat menggunakan metode pengelompokan data untuk mengelompokkan data ke dalam kategori tertentu sehingga data menjelaskan masalah dengan jelas dan memudahkan penarikan kesimpulan. Kategori yang dibentuk antara lain data bahan baku, sumber daya yang digunakan, lingkungan, mesin yang dipakai saat proses, dan lainnya (Manik, 2020).

Kegunaan dari stratifikasi ialah:

- a. Memudahkan menemukan penyebab pokok mutu atau kualitas.
 - b. Membantu dalam pembuatan diagram sebar (*scatter*).
 - c. Mempelajari permasalahan yang sedang dihadapi dengan seksama.
3. Histogram



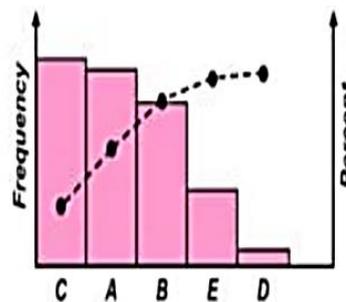
Gambar 2. 3 Contoh Histogram

Sumber: (Akbar, 2018)

Setelah data di lembar periksa di klasifikasikan sesuai kategori, data tersebut dapat diolah dengan membuat histogram. Tujuannya adalah untuk menentukan distribusi dan bentuk pola data dari proses. Histogram ialah suatu alat yang berguna untuk penentuan variabilitas proses. Dengan bentuk diagram batang yang memperlihatkan tabel data yang diurutkan berdasarkan ukuran. Tabel data tersebut biasa disebut distribusi frekuensi. Histogram memperlihatkan sifat-sifat data yang diklasifikasikan dalam beberapa kelas. Histogram bisa “normal” atau berbentuk lonceng. Hal ini menunjukkan ada sejumlah besar data rata-rata. Bentuk sebuah histogram yang terdistorsi atau asimetris menunjukkan bahwasanya sebagian besar data tidak sesuai dengan *mean*, namun sebagian besar data berada pada batas bawah atau atas (Akbar, 2018).

Dari suatu histogram, dapat memprediksi hal-hal:

- a. Jika histogram bentuknya simetris di kanan dan kiri kelas atas, maka dapat diharapkan bahwa prosesnya konsisten, yaitu semua elemen dalam proses yang memenuhi persyaratan yang ditentukan.
 - b. Jika histogram bentuknya sisir, mungkin ada ketidakakuratan saat mengukur atau membulatkan nilai data yang mempengaruhi penentuan batas kelas.
 - c. Jika distribusi data melebihi batas spesifikasi, berarti terdapat bagian yang tidak memenuhi spesifikasi mutu. Disisi lain, jika distribusi data berada dalam batas spesifikasi, produk memenuhi spesifikasi kualitas yang ditentukan.
4. Pareto Diagram



Gambar 2. 4 Contoh Diagram Pareto

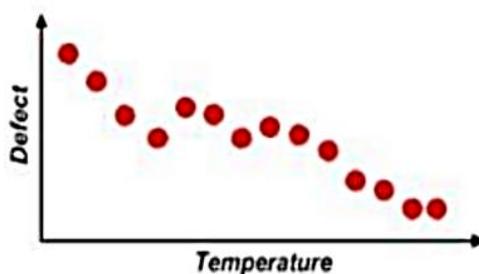
Sumber: (Rosyidi, 2021)

Setelah data diklasifikasikan, pembuatan diagram pareto bertujuan untuk mengurutkan klasifikasi data menurut urutan ranking tertinggi hingga terendah, sehingga dapat membantu menemukan masalah yang paling penting dan menyelesaikannya dengan segera. Untuk pertama kalinya, Alfredo Pareto memperkenalkan diagram pareto dan pertama kalinya juga Joseph Jurang yang menggunakan. Pengertian diagram pareto ialah grafik batang atau sebuah baris yang menunjukkan bagaimana setiap jenis data dibandingkan dengan keseluruhan.

Diagram pareto dapat dipergunakan untuk mengidentifikasi permasalahan mana yang mendominasi dan untuk mengetahui prioritas pemecahan masalah (Akbar, 2018). Diagram pareto dapat juga dipergunakan untuk menemukan 20% cacat yang membentuk 80% cacat di seluruh proses manufaktur (Hairiyah et al, 2019).

Fungsi dari diagram pareto ialah untuk mengidentifikasi serta memilih masalah pokok peningkatan mutu atau kualitas dari maksimum ke minimum. Mengenai kegunaan diagram pareto adalah untuk menunjukkan masalah pokok. Diagram pareto membantu untuk fokus pada masalah yang umum untuk semua produk. Cara kerja diagram pareto adalah menunjukkan masalah mana yang lebih menguntungkan ketika tindakan korektif diambil. Terlebih dahulu data dimasukkan ke dalam tabel lalu diubah dijadikan diagram pareto (Hairiyah et al, 2019).

5. Diagram Pencar (*Scatter* Diagram)



Gambar 2. 5 Contoh *Scatter* Diagram

Sumber : (Rosyidi, 2021)

Penggunaan diagram *scatter* dapat menganalisis data yang sudah ada atau telah diproses sebelumnya sebagai analisis tindak lanjut untuk menentukan apakah penyebab yang ada memberikan dampak kepada karakteristik kualitas. *Scatter* diagram atau diagram sebar adalah suatu metode yang dipergunakan untuk menentukan bagaimana hubungan antar dua variabel. Perlu diketahui, *scatter*

diagram sangat bermanfaat ketika memodelkan regresi (Andri, 2018). *Scatter Diagram* digunakan untuk menentukan korelasi (hubungan) antara karakteristik kinerja dan faktor penyebab yang berkesinambungan. Secara umum, ketika berbicara mengenai hubungan antara dua tipe data, sebenarnya berbicara mengenai:

- a. Sebab dan akibatnya.
- b. Hubungan antara satu penyebab terhadap penyebab lainnya.
- c. Hubungan diantara satu penyebab terhadap dua penyebab lainnya.

Dengan merepresentasikan dalam diagram sebar, selanjutnya dilakukan analisa yang lebih mendalam, untuk mengetahui faktor y dan x berkorelasi, dalam keadaan ini dinyatakan menjadi nilai r (rho), merupakan skala yang memperlihatkan seberapa dekat hubungan kedua faktor. Pada kedua faktor tersebut, dikatakan sangat erat hubungannya jika nilai rho mendekati nilai angka +1. Selain itu, juga menyimpulkan bahwa ada tren ke arah korelasi (negatif maupun positif).

Rumus untuk koefisien korelasi (r) antara dua variabel adalah :

$$r = \frac{n\sum X_i Y_i - (\sum X_i)(\sum Y_i)}{\sqrt{[n\sum X_i^2 - (\sum X_i)^2][n\sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2]}} \dots\dots\dots (2.1)$$

Range nilai koefisien terhadap korelasi (r) dapat diperhatikan pada tabel.

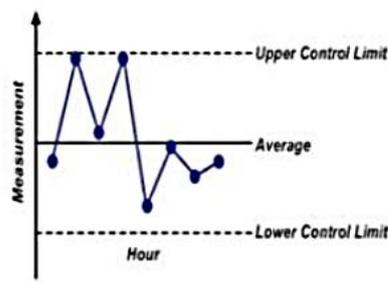
Tabel 2. 1 Rentang Nilai Koefisien Korelasi r

Koefisien	Deskripsi
0,7 atau lebih tinggi	Hubungannya terlalu kuat
0,5 – 0,69	Hubungannya kuat
0,3 – 0,49	Hubungannya sedang
0,10 – 0,29	Hubungannya lemah
0,00 – 0,09	Tidak ada hubungan atau diabaikan

Sumber : (Arif, 2016)

Korelasi cenderung positif jika setiap kenaikan faktor x memicu peningkatan faktor y, begitupun sebaliknya cenderung negatif jika setiap peningkatan memicu penurunan faktor y (Arif, 2016).

6. Peta Kontrol (*Control Charts*)



Gambar 2. 6 Contoh Peta Kontrol

Sumber : (Rosyidi, 2021)

Peta kontrol sangat penting dalam metode ini dikarenakan dari peta kontrol kita dapat menilai apakah suatu proses berada di bawah kendali kualitas statistik sehingga dapat memecahkan masalah dan menghasilkan perbaikan kualitas. Peta kontrol atau biasa disebut *control charts* ialah sebuah grafik yang dipergunakan untuk memutuskan apakah sistem berada pada kondisi yang konstan atau tidak. Jika semua datanya berada pada batas kendali, maka sistem dapat dinyatakan stabil (berada pada batas kendali). Pada bagan ini memperlihatkan data yang berubah secara kontinyu tetapi tidak menampilkan penyebab penyimpangannya, meskipun setiap penyimpangan terpampang pada bagan kendali (Manik, 2020).

Dari penjelasan diatas disimpulkan bahwa peta kendali adalah suatu produk yang cacat yang berhubungan dengan produksi dan bahwa cacat tersebut dapat diterima atau tingkat kecacatannya tidak dapat diterima. Peta kendali juga dipergunakan untuk mengawasi kualitas atau mutu produk saat proses produksi.

Secara garis besar, peta kendali dibagi menjadi 2 macam:

a. Peta Kendali Variabel

Ialah peta kendali guna mengukur data *variable*. Data variabel dihasilkan dari hasil mengukur dimensi sebagaimana tebal, panjang, berat, dan sebagainya. Peta kendali dalam variabel ini adalah:

- *\bar{x} -Chart*

Digunakan untuk menentukan rata-rata dari sampel sebuah lot data (dibagi menjadi kelompok) dari proses kerja. Pengelompokan data ini dapat didasarkan pada:

- a. Hari atau satuan waktu lain dimana sampel tersebut diambil.
- b. Kelompok atau grup pekerja dengan pekerjaan yang sejenis.

Pembuatan peta kendali \bar{x} dapat menggunakan rumus dibawah ini :

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\Sigma \bar{x}}{n} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$UCL = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$LCL = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R} \dots\dots\dots (2.4)$$

- *R-Chart*

Dipergunakan untuk menentukan nilai *range* atau selisih diantara nilai ukuran yang paling besar dan dalam alur kerja. Pembuatan peta kendali R dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\bar{R} = \frac{\Sigma R}{n} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$UCL = D_4 \bar{R} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$LCL = D_3 \bar{R} \dots\dots\dots (2.7)$$

- *s-Chart*

Pada peta ini menunjukkan perubahan standar deviasi tentang sampel sebuah lot data yang diperoleh dari alur kerja. Pembuatan peta kendali s dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$UCL = B_4\bar{S} \dots\dots\dots(2.8)$$

$$LCL = B_3\bar{S} \dots\dots\dots(2.9)$$

b. Peta Kendali Atribut

Ialah peta kendali yang dipergunakan untuk karakteristik mutu atau kualitas yang tidak mudah diukur. Umumnya, setiap item inspeksi dikelompokkan kedalam sesuai atau tidak sesuai terhadap spesifikasinya. Misalnya, pemeriksaan visual untuk mengidentifikasi karat, goresan, cacat warna, dan lain-lain. Peta Kendali untuk atribut ini terdiri dari:

- *p-Chart*

Dipergunakan untuk melakukan analisis jumlah item yang ditolak dimana ditemukan dalam satu inspeksi atau serangkaian inspeksi dari seluruh item yang diinspeksi. Pembuatan peta kendali p dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\bar{p} = \frac{\Sigma p}{n} \dots\dots\dots(2.10)$$

$$UCL = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \dots\dots\dots(2.11)$$

$$LCL = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \dots\dots\dots(2.12)$$

Catatan: LCL dianggap bernilai = 0, apabila $LCL < 0$

Keterangan:

\bar{p} = proporsi produk cacat (sampel atau sub grup).

n = jumlah semua grup atau sampel.

- *np-Chart*

Dapat diketahui, peta np sedikit mirip seperti peta p dan keduanya dipakai untuk menghitung persentase cacat produk. Akan tetapi, pengaplikasian kedua peta ini tidak serupa. Peta np lebih sederhana digunakan oleh operator dibandingkan peta p, dikarenakan hasil inspeksinya dimasukkan ke peta tersebut tanpa memerlukan perhitungan tambahan. Perbedaan lain adalah bahwa peta np hanya bisa digunakan untuk jumlah subgrup tetap, berbeda dengan peta p juga dapat dipergunakan untuk jumlah subgrup yang tidak tetap. Pembuatan peta kendali np dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$n\bar{p} = \frac{\sum np}{n} \dots\dots\dots (2.13)$$

$$UCL = n\bar{p} + \sqrt[3]{n\bar{p}(1 - \frac{n\bar{p}}{n})} \dots\dots\dots (2.14)$$

$$LCL = n\bar{p} - \sqrt[3]{n\bar{p}(1 - \frac{n\bar{p}}{n})} \dots\dots\dots (2.15)$$

- *u-Chart*

Secara matematis, peta u hampir identik dengan peta p. Akan tetapi, peta u baru digunakan untuk memantau cacat yang terdapat pada setiap bagian produk. Tidak seperti peta c hanya dapat dipergunakan untuk ukuran subgrup tertentu, peta u dapat juga dipergunakan untuk ukuran subgrup lainnya. Pembuatan peta kendali u dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\bar{u} = \frac{\sum u}{n} \dots\dots\dots (2.16)$$

$$UCL = \bar{u} + \sqrt[3]{\frac{u}{n}} \dots\dots\dots (2.17)$$

$$LCL = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{u}{n}} \dots\dots\dots(2.18)$$

- *c-Chart*

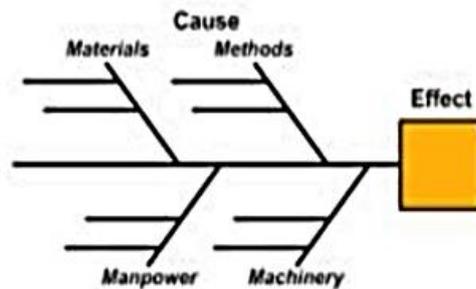
Cacat yang ada pada seluruh produk diamati dengan menggunakan peta kendali c. Produk cacat memiliki paling satu atau lebih cacat. Namun, peta c bisa dipakai untuk menghitung cacat hanya jika total subgrupnya tetap. Pembuatan peta kendali c dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\bar{c} = \frac{\Sigma c}{n} \dots\dots\dots(2.19)$$

$$UCL = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}} \dots\dots\dots(2.20)$$

$$LCL = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}} \dots\dots\dots(2.21)$$

7. Diagram Sebab-Akibat (*Cause-Effect* Diagram)



Gambar 2. 7 *Cause and Effect* Diagram

Sumber: (Rosyidi, 2021)

Setelah memahami masalah utama kerusakan produk dalam histogram, maka dapat menganalisis penyebab kerusakan suatu produk dengan diagram sebab-akibat, sehingga memungkinkan untuk menelaah apa saja faktor penyebab kerusakan pada produk (Setiabudi et al, 2020). Diagram sebab-akibat juga dipergunakan untuk menggambarkan secara grafis penyebab suatu masalah secara

grafis atau untuk menemukan hubungan sebab-akibat dari suatu masalah untuk mengambil tindakan korektif lebih lanjut (Setiawan, 2018).

Pada diagram ini, ditunjukkan kejadian yang dipengaruhi oleh suatu sebab yang selanjutnya akan ditulis di bagian tulang ikan. Pada kejadian ini biasanya menjadi isu atau topik yang nantinya diteliti untuk mencari penyebabnya. Pada komponen tulang ikan, terdapat kategori yang berpengaruh. Kategori paling umum yang digunakan yakni:

- 1) Orang (*man*), yaitu dalam semua proses yang terlibat adalah semua orang.
- 2) Metode (*method*), yaitu bagaimana dilaksanakan proses tersebut, kebutuhan khusus dari proses tersebut, semacam prosedur, aturan, dan sejenisnya.
- 3) Material, yaitu semua bahan yang dibutuhkan untuk melakukan proses seperti bahan dasar dan sejenisnya.
- 4) Mesin (*machine*), barang yang diperlukan untuk pelaksanaan pekerjaan, khususnya semua peralatan, komputer, mesin, dan semacamnya.
- 5) Pengukuran (*measurement*), adalah metode proses pengumpulan data yang digunakan untuk menetapkan kualitas proses.
- 6) Lingkungan (*environment*), ialah kondisi di sekitar tempat kerja semacam tingkat kebisingan, suhu udara, dan semacamnya (Setiawan dan Ida, 2018).

2.4 Failure Mode Effect Analysis (FMEA)

FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) ialah strategi perbaikan yang dipergunakan dalam pengidentifikasian, penilaian risiko, dan penentuan prioritas risiko yang harus ditangani. Metode ini dapat digunakan secara efektif menentukan

kemungkinan kegagalan dan kesalahan elemen dari suatu proses, sistem, atau struktur desain. Tujuan utama menggunakan FMEA adalah untuk mengidentifikasi mode kegagalan potensial dalam unit sistem, mengevaluasi efek selanjutnya pada kinerja sistem, dan akibatnya merekomendasikan strategi untuk menghilangkan atau mengurangi kemungkinan terjadinya atau keparahan dan meningkatkan deteksi mode kegagalan tertentu (Lo et al, 2018).

Kegagalan yang dimaksud dalam FMEA adalah segala sesuatu yang menyebabkan cacat dan kegagalan seperti cacat hasil kerja, cacat produk atau kegagalan mesin, sehingga keluaran atau produk akhir yang dihasilkan tidak memenuhi standar atau spesifikasi yang ditentukan. Secara umum, ada dua tipe FMEA, yakni proses FMEA dan desain FMEA. Dalam desain FMEA, pengamatan fokus pada desain produk. Sedangkan dengan proses FMEA, pengamatan fokus pada proses produksi (Suwandi et al, 2020).

FMEA dipakai guna menentukan karakteristik sebuah proses ataupun desain kritis yang membutuhkan pengawasan khusus guna menahan atau mengetahui *failure mode*.

Kegunaan dari FMEA ialah:

- a) Meningkatkan keandalan, kualitas, dan keamanan produk.
- b) Meningkatkan citra perusahaan.
- c) Meningkatkan kadar kepuasan pelanggan (*customer satisfaction*).
- d) Mengurangi biaya untuk pengembangan produk dan waktu.
- e) Menyiapkan dokumen tindakan yang akan diambil agar mengurangi risiko.

- f) Setelah produk sampai ke tangan konsumen, kegagalan dan garansi berkurang.

2.4.1 Tahapan – tahapan FMEA

Proses FMEA terdiri dari sepuluh tahapan berikut (Manik, 2020):

- 1) Meninjau prosesnya.
- 2) Menetapkan kemungkinan mode kegagalan suatu proses.
- 3) Membuat daftar terhadap dampak potensial dari setiap mode kegagalan.
- 4) Menetapkan nilai rating keparahan pada setiap kesalahan yang terjadi.
- 5) Menetapkan nilai rating kejadian pada setiap mode kegagalan.
- 6) Menetapkan nilai rating deteksi pada setiap konsekuensi yang dihasilkan atau mode kegagalan.
- 7) Mengkalkulasi nilai RPN (*Risk Priority Number*) untuk setiap kesalahan.
- 8) Memprioritaskan kegagalan berdasar nilai RPN guna melakukan tindakan korektif.
- 9) Melaksanakan sebuah tindakan guna menghilangkan ataupun meminimalkan kegagalan yang sering terjadi.
- 10) Menghitung hasil perhitungan RPN.

Kesepuluh tahapan diatas dimasukkan ke dalam lembaran kerja FMEA yang dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Kriteria *Severity* (S)

Efek	Kriteria	Ranking
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

Efek	Kriteria	Ranking
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	Sebagian besar dapat di- <i>rework</i> dan sisanya sudah baik Kemungkinan produk dikembalikan oleh konsumen	4
Kecil	Hanya sebagian kecil yang di- <i>rework</i> dan sisanya sudah baik Rata-rata pelanggan complain	3
Sangat kecil	Complain hanya diberikan oleh pelanggan tertentu	2
Tidak ada	Tidak ada efek apa-apa untuk konsumen	1

Sumber: (Siagian, 2021)

Dalam proses FMEA, hal yang diidentifikasi yaitu:

a. *Process function requirement*

Menjelaskan proses yang sedang dianalisis. Tujuan dari proses ini harus ditetapkan sejas dan sedetail mungkin. Apabila proses yang dianalisis berisi lebih dari satu tugas, setiap tugas harus ditampilkan dengan tersendiri disertai deskripsi.

b. *Potential failure mode*

Jenis kesalahan harus disebutkan ialah termasuk proses FMEA. Untuk yang pertama dan yang terpenting adalah bagaimana proses bisa gagal. Mengenai bentuk yang lain termasuk dalam bentuk kesalahan potensial dari tugas seterusnya dan dampak yang terkait dengan potensi kesalahan tugas sebelumnya.

c. *Potential effect of failure*

Mirip dengan desain FMEA, efek kesalahan potensial ialah dampak konsumen. Dampak dari kesalahan tersebut harus dipertanggungjawabkan dari segi apa yang dialami konsumen. Dampak potensial dari kegagalan juga harus menunjukkan apakah aspek keselamatan berpengaruh terhadap keselamatan manusia atau termasuk melanggar peraturan produk tertentu.

d. *Keparahan (Severity)*

Untuk nilai tingkat keparahan proses selanjutnya dengan kerugian tidak langsung dan beratnya konsekuensi bagi konsumen. Nilai *severity* rating 1-10.

e. *Klasifikasi (class)*

Untuk klasifikasi dipergunakan untuk mengkategorikan sebagian karakteristik suatu produk tertentu guna sub sistem, komponen atau sistem yang bisa jadi membutuhkan kontrol pada proses tambahan.

f. *Potential cause*

Potensi penyebab kesalahan didefinisikan dalam cara terjadinya dan dijelaskan berdasarkan apapun yang dapat diperbaiki atau dikendalikan. Untuk semua kesalahan, semua kemungkinan penyebab kegagalan harus selengkap dan sedetail mungkin.

g. *Occurance*

Menunjukkan sesering apa kemungkinan menunjukkan penyebab kegagalan terjadi. Rating nilai untuk *occurance* diberikan pada setiap pemicu terjadinya kegagalan yang berskala 1-10. Tabel 2.3 menunjukkan kriteria dari tiap skala rating

occurrence. Sehingga semakin sering terjadinya penyebab kegagalan, maka semakin tinggi pula skala rating yang diberikan.

Tabel 2. 3 Rating *Occurance* (O)

Peluang Terjadinya Penyebab Kegagalan	Tingkat Kemungkinan Kegagalan	Ranking
Sangat Tinggi	1 dalam 2	10
	1 dalam 3	9
Tinggi	1 dalam 8	8
	1 dalam 20	7
Sedang	1 dalam 80	6
	1 dalam 400	5
	1 dalam 2.000	4
Rendah	1 dalam 15.000	3
	1 dalam 150.000	2
Sangat Kecil	1 dalam 1.500.000	1

Sumber: (Prakasa, 2020)

h. *Current process control*

Pengertian *current process control* adalah deskripsi kontrol yang secara signifikan mampu menghambat terjadinya kegagalan dan mengenali jenis kegagalan yang telah terjadi.

i. *Detection*

Menunjukkan seberapa dalam penyebab kegagalan tersebut mampu terjadi. Penilaian dimulai dari skala 1-10. Tabel 2.4 menunjukkan kriteria untuk tiap skala *rating detection*. Apabila penyebab kegagalan semakin sering terjadi, maka semakin tinggi pula skala ratingnya.

Tabel 2. 4 Kriteria *Detection* (D)

Keterangan	Ranking
Tidak ada alat kendali yang mampu mendeteksi	10
Alat kendali saat ini sangat sulit mendeteksi bentuk atau penyebab kegagalan	9
Alat kendali saat ini sulit mendeteksi bentuk atau penyebab kegagalan	8
Kemampuan alat kendali untuk mendeteksi bentuk dan penyebab kegagalan sangat rendah	7

Keterangan	Ranking
Kemampuan alat kendali untuk mendeteksi bentuk dan penyebab kegagalan rendah	6
Kemampuan alat kendali untuk mendeteksi bentuk dan penyebab kegagalan sedang	5
Kemampuan alat kendali untuk mendeteksi bentuk dan penyebab kegagalan sedang sampai tinggi	4
Kemampuan alat kendali untuk mendeteksi bentuk dan penyebab kegagalan tinggi	3
Kemampuan alat kendali untuk mendeteksi bentuk dan penyebab kegagalan sangat tinggi	2
Kemampuan alat kendali untuk mendeteksi bentuk dan penyebab kegagalan sangat tinggi sekali	1

Sumber: (Prakasa, 2020)

j. RPN

Pengertian RPN (*risk priority number*) ialah sebuah sistem matematis yang mengartikan serangkaian efek pada tingkat keparahan (*severity*), sehingga mampu membuat suatu kegagalan yang kaitannya dengan efek-efek (*occurance*), serta memiliki keahlian guna menemukan gagal (*detection*) sebelum disampaikan kepada konsumen. RPN diperoleh dari perkalian antara rating *occurance* (O), *severity* (S) dan *detection* (D).

$$RPN = S \times O \times D \dots\dots\dots(2.22)$$

Nilai RPN memiliki nilai mulai 1 sampai 1000, dengan 1 sebagai kemungkinan risiko paling terkecil. Kegunaan nilai RPN juga dapat dipergunakan sebagai panduan guna mendapati masalah paling serius dengan indikasi angka tertinggi diperlukan prioritas penyelesaian yang sangat serius.

Tabel 2. 5 Penentuan Kategori Resiko

Nilai Risk Priority Number (RPN)	Kategori	Perlakuan
192 - 1000	Tinggi	Lakukan perbaikan saat ini
65 - 191	Sedang	Upaya untuk melakukan perbaikan
0 - 64	Rendah	Resiko dapat diabaikan

Sumber: (Prakasa, 2020)

k. *Reccomended Action*

Tindakan yang direkomendasikan adalah mengurangi satu atau lebih tolak ukur yang membentuk RPN. Mengevaluasi pada tingkat validasi desain menurunkan tingkat *detection*. Penurunan versi hanya dapat dilakukan dengan menghapus atau menghilangkan satu atau lebih jenis penyebab/kesalahan dengan memodifikasi proyek. Dan hanya dapat menurunkan tingkat keparahan (*severity*) dengan mendesain ulang desain.

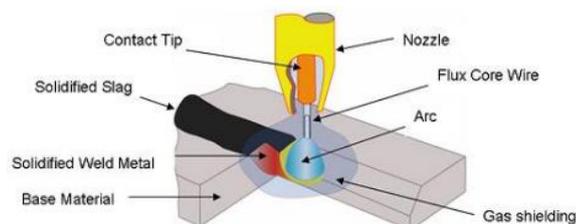
2.5 Pengelasan

Penyambungan logam adalah suatu proses yang dilakukan untuk menyambung 2 (dua) bagian logam atau lebih baik logam yang sejenis maupun tidak sejenis (Aditia et al, 2019). Seperti yang didefinisikan oleh AWS (*American Welding Society*), pengelasan ialah penyambungan metalurgi dari logam atau paduan yang dibuat ketika keadaan cair atau lumer. Berdasarkan definisi tersebut dapat dijelaskan bahwa pengelasan adalah penyambungan sejumlah batang logam melalui energi panas (Nugroho dan Eko, 2018). Menurut DIN (*Deutsch Industrie Norman*) pengelasan ialah penyambungan metalurgi dari logam maupun paduan logam yang dibuat sewaktu keadaan cair. Untuk ruang lingkup penerapan teknologi pengelasan untuk konstruksi sangat luas termasuk kapal, jembatan, struktur baja, kendaraan, bejana tekan, jaringan pipa, rel dan lainnya.

2.5.1 Jenis Pengelasan

Terdapat beberapa pengelasan yang dipakai di dunia industri antara lain las FCAW, SMAW, GTAW, GMAW, dan SAW. Berikut penjelasannya:

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

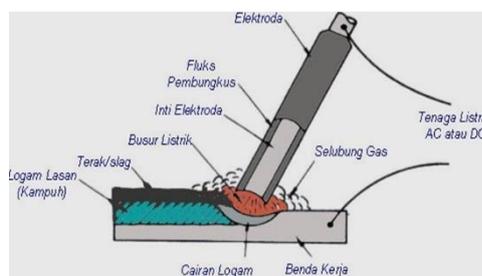


Gambar 2. 8 Skematik las *Flux-Cored Arc Welding*

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. 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. Gas pelindungnya karbon dioksida (CO_2).

b. *Shielded Metal Arc Welding (SMAW)*



Gambar 2. 9 Skematik las *Shielded Metal Arc Welding*

Sumber: (Azwinur dan Muhazir, 2019)

Pengelasan busur adalah jenis pengelasan fusi dimana panas busur digunakan untuk mengikat logam. Busur terbentuk antara elektroda pelindung dan logam dasar dan ujung elektroda meleleh dan mengeras bersama. Las ini menggunakan kawat elektroda logam yang dilapisi dengan fluks.

Ketika ujung elektroda meleleh dan menciptakan partikel yang terkena arus busur, saat itulah terjadi perpindahan logam dari elektroda. Ketika arus yang digunakan besar, partikel logam cair yang akan diangkut baik-baik saja, sebaliknya partikel logam besar ketika arusnya kecil. Bentuk transmisi fluida dipengaruhi oleh laju aliran dan penggunaan komposisi bahan fluks. Ketika proses pengelasan, pemakaian fluks guna melapisi elektroda meleleh dan menciptakan terak, dan kemudian terak menutupi logam cair dan berkumpul di sambungan, bertindak sebagai penghalang oksidasinya (Azwinur dan Muhazir, 2019).

➤ Kelebihan Pengelasan SMAW

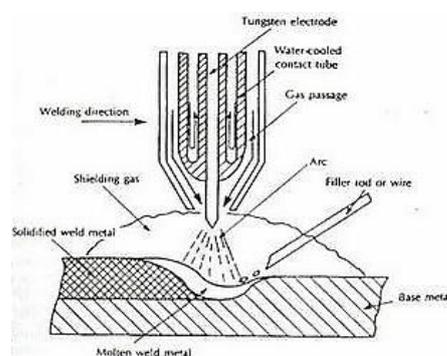
1. Ini dapat digunakan dimana saja di dalam atau di luar air.
2. Las pada posisi apapun.
3. Elektrodanya tersedia dalam berbagai diameter dan ukuran.
4. Penggunaan peralatan yang sederhana, harga murah, dan mudah dibawa.
5. Tingkat kebisingannya rendah.
6. Tidak sensitif terhadap lemak, minyak, dan korosi.

➤ Kekurangan Pengelasan SMAW

1. Pengelasan terbatas pada panjang elektroda saja dan perlu disambung.
2. Slag harus dibersihkan, setiap akan melakukan pengelasan berikutnya.

3. Tidak cocok untuk pengelasan baja nonfero.
4. Efisiensi simpanan rendah.

c. GTAW



Gambar 2. 10 Skematik las Gas *Tungsten Arc Welding*

Sumber: (Guarsa dan Dody, 2021)

GTAW atau biasa dikenal dengan *Tungsten Inert Gas* (TAG) ialah proses pengelasan busur dengan memakai busur antara elektroda tungsten (tidak habis pakai) serta titik pengelasan. Untuk proses ini mempergunakan gas pelindung dan tanpa adanya tekanan. Dalam proses ini, mampu dipergunakan tanpa atau dengan diberi logam pengisi tambahan. GTAW sudah menjadi alat yang sangat dibutuhkan oleh banyak perusahaan industri dikarenakan kualitas hasil lasnya yang tinggi namun dengan biaya peralatan yang rendah.

Pengelasan busur listrik berpelindung gas sering disebut pengelasan GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*) atau TIG (*Tungsten Inert Gas*). 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.

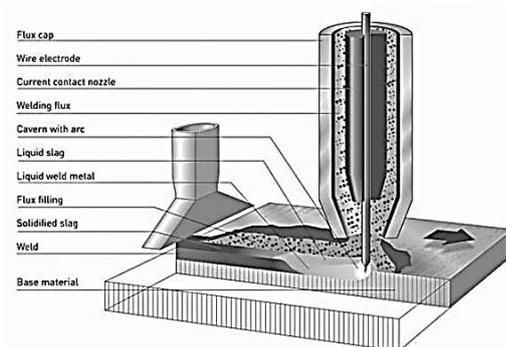
➤ Kelebihan Pengelasan GTAW

1. Tidak perlu membersihkan hasil pengelasan karena tidak dihasilkan slag.
2. Aliran gas membuat area disekitar cairan logam menjadi pengap untuk menghindari kontaminasi dengan nitrogen dan oksigen, sehingga dapat menyebabkan oksidasi.
3. Hasil pengelasan lebih kuat dikarenakan mampu menembus lebih dalam dan lebih tahan terhadap korosi.
4. Sangat bersih hasil pengelasan yang dihasilkan.
5. Proses saat pengelasan bisa diamati secara mudah, tidak banyak asap yang ditimbulkan.
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 Pengelasan 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



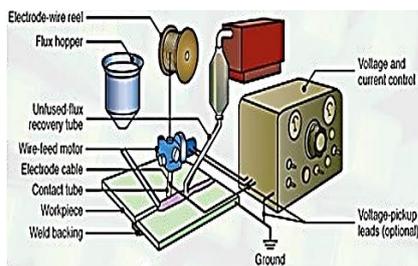
Gambar 2. 11 Proses Las GMAW (*Gas Metal Arc Welding*)

Sumber: (Agus dan Suranto, 2019)

Pengelasan GMAW adalah proses penyambungan dua material logam atau lebih menjadi satu melalui proses pencairan lokal, dengan menggunakan elektrode gulungan (*filler metal*) sama dengan logam dasarnya serta gas pelindung. Gas pelindung yang biasa digunakan adalah berupa gas mulia, yaitu 97% argon untuk pelat tipis dan 100% helium untuk pelat tebal.

Pada proses pengelasan GMAW, panas dihasilkan oleh busur las yang terbentuk di antara elektrode kawat dengan benda kerja. 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. 12 Skematik las *Submerged Arc Welding*

Sumber: (Perdana et al, 2020)

Submerged Arc Welding (SAW) ialah jenis pengelasan listrik melalui proses penggabungan material yang akan dilas menggunakan teknik melebur logam dasar dan elektroda dengan busur listrik yang letaknya diantara logam dasar dan elektroda. Pada arus listrik dan busur logam cair tertutup (diisi) dengan partikel fluks teruntuk area yang nantinya akan dilas.

2.5.2 Prosedur Pengelasan

Prosedur pengelasan (WPS) adalah rencana perlakuan las yang meliputi bagaimana melaksanakan konstruksi dalam lasan sesuai dengan rencana dan spesifikasi, serta menentukan segala hal yang dibutuhkan dalam pelaksanaannya. Oleh karena itu, personel yang menetapkan proses pengelasan harus memiliki pengetahuan tentang teknologi dan bahan teknologi pada pengelasan itu sendiri, dan dapat menggunakan pengetahuan ini untuk efisiensi kegiatan produksi. Kode WPS atau standar proses pengelasan yang umum digunakan di Indonesia adalah *American Standard* (ASME, AWS dan API).

Selain desain *American Standard* dan manufaktur yang sering kita ketahui adalah BS (*British Standard*), DIN (*Germany Standard*), JIS (*Japanese Standard*)

dan ISO. Namun sejauh ini, standar ini 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*). WPS adalah program referensi yang digunakan proses las, termasuk desain detail teknologi pengelasan sesuai spesifikasi yang ditentukan.

Dalam proses pengelasan (WPS) terdapat variabel yang mempengaruhi kualitas hasil las harus ditampilkan. Variabel ini dapat dibagi menjadi tiga kelompok:

1. *Essential Variabel*

Sebuah variabel yang mempengaruhi sifat mekanik hasil pengelasan bila diubah.

2. *Supplement Essential Variabel*

Sebuah variabel apabila diubah akan mempengaruhi nilai impak hasil pengelasan.

3. *Non Essential Variabel*

Sebuah variabel ketika berubah tak mempengaruhi nilai impak dan sifat mekanik las.

Langkah-Langkah produksi prosedur pengelasan (WPS):

- a. Menyiapkan rancangan atau prosedur pengelasan awal.
- b. Las benda uji sesuai dengan parameter las yang tertulis pada rancangan prosedur.
- c. Membuat benda uji dan melakukan uji spesimen dengan uji destruktif.

- d. Gunakan standar atau kode yang digunakan untuk mengevaluasi hasil uji destruktif.
- e. Mencatat dan mengesahkan hasil pengujian pada formulir Prosedur Kualifikasi *Record* (PQR).

Faktor utama yang perlu dipertimbangkan saat menyiapkan WPS:

1. Apa jenis logam dasar (*base metal*)?
2. Proses pengelasan seperti apa yang dipergunakan?
3. Jenis atau tipe kawat las apa yang digunakan?
4. Bagaimana kondisi penggunaan alat yang nantinya akan di las?

Selain empat persyaratan yang tertera diatas, terdapat persyaratan lain, seperti:

1. Kompatibilitas kawat las serta logam dasar (*base metal*).
2. Sifat metalurgi material, terutama kemampuan lasnya.
3. Proses ketik pemanasan.
4. Desain sambungan dan bebannya.
5. Sifat mekanik yang dibutuhkan.
6. Lingkungan kerja pada perangkat.
7. Kemampuan tukang las.
8. Keamanan.

2.5.3 Standar Kriteria Penilaian (*Acceptance Criteria*)

Setiap hasil ketika mengelas wajib diperiksa dari segi proses dan hasil pengelasan, tentunya hal ini guna memastikan proses pengelasan berjalan dengan sesuai, tetapi juga untuk memastikan kualitas hasil pengelasan memenuhi standar yang digunakan. Semua data observasi proses dan hasil pemeriksaan pengelasan

dimasukkan ke dalam formulir yang telah disediakan, setelah data diinput, formulir tersebut diberikan kepada instruktur atau supervisor.

Tabel 2. 6 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 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 <i>undercut</i> 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°

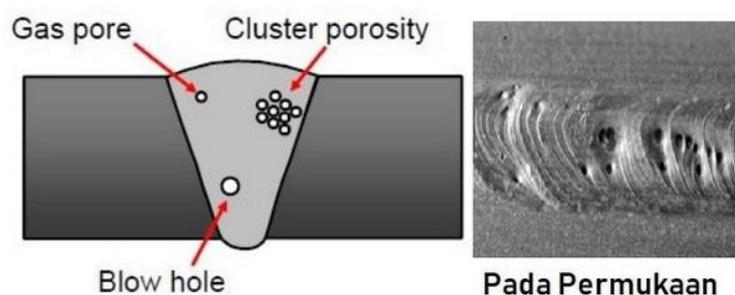
Sumber: (Wahyu, 2018)

2.5.4 Cacat Pengelasan

Pada cacat las mengacu pada hasil lasan yang tidak mencukupi persyaratan penerimaan yang ditentukan oleh standar. Cacat pengelasan dapat disebabkan oleh prosedur las yang salah, tidak memadainya persiapan, atau peralatan dan bahan habis pakai yang tidak memenuhi standar.

Ada 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, penyebab dan solusinya adalah:

a. *Porosity* (Porositas)



Gambar 2. 13 Cacat Las *Porosity*

Sumber: (Wahyu, 2018)

Cacat porositas ialah cacat las berupa lubang-lubang kecil pada logam las yang mungkin terdapat di permukaan atau di dalam. Ada beberapa jenis porositas ini: porositas cluster, *blow hole* dan *gas pore*.

Penyebab cacat porositas las:

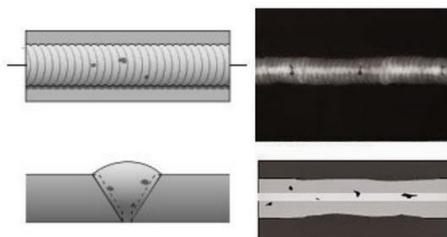
- Elektroda yang dipergunakan masih basah atau terkena air.
- Terlalu panjang busur lasnya.
- Terlalu rendah arus pengelasannya.
- *Travel speed* yang dipakai terlalu tinggi.

- Pada benda kerja ada zat pengotor (minyak, air, karat, dan lain-lain).
- Gas hidrogen dihasilkan karena panas pengelasan.

Cara mengatasi cacat porositas las:

- Memastikan elektroda yang digunakan telah dioven (jika perlu) dan jangan biarkan kawat las lembab atau terkena air.
- Atur tinggi busur menjadi sekitar 1,5 kali diameter kawat las.
- Ampere disesuaikan sesuai dengan rekomendasi atau prosedur dari pabrik elektroda.
- Persiapan tepat untuk pengelasan, tidak ada kontaminasi pada benda kerja.
- Beberapa material memerlukan perlakuan panas karena suhunya tidak boleh terlalu tinggi.

b. *Slag Inclusion*



Gambar 2. 14 Cacat Las *Slag Inclusion*

Sumber: (Wahyu, 2018)

Cacat las inklusi terak ialah cacat yang terjadi di area dalam hasil pengelasan. Cacat ini merupakan slag pada las (fluks mencair) ada dalam lasan, jadi sering terjadi pada area *start* dan *stop* (awal dan akhir proses pengelasan). Pengujian radiografi atau *bending* diperlukan untuk melihat *defect* ini.

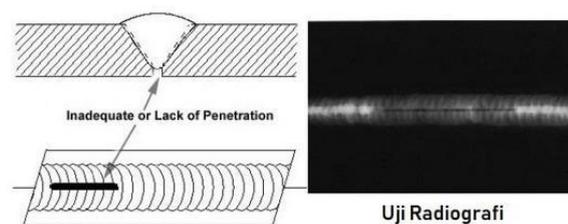
Penyebab cacat las inklusi terak:

- Proses ketika pembersihan terak kurang, sehingga menumpuk di lasan.
- Terlalu rendah arus amperenya.
- Terlalu jauh busur lasnya.
- Sudut pengelasan salah.
- Terlalu kecil sudut kampuhnya.

Cara menghindari cacat inklusi terak:

- Sebelum pengelasan lagi, pastikan lasan benar-benar bebas dari terak.
- Ampere menyesuaikan prosedur.
- Busur las harus sesuai.
- Harus tepat sudut lasnya.
- Lebih ditinggikan sudut kampuhnya ($50-70^\circ$).

c. *Incomplete Penetration (IP)*



Gambar 2. 15 Cacat Las *Incomplete Penetration*

Sumber: (Wahyu, 2018)

Incomplete Penetration (IP) ialah cacat las yang terjadi di daerah akar atau dasar las dan dianggap IP, apabila las akar tidak menembus akar las cekung.

Penyebab cacat *incomplete penetration*:

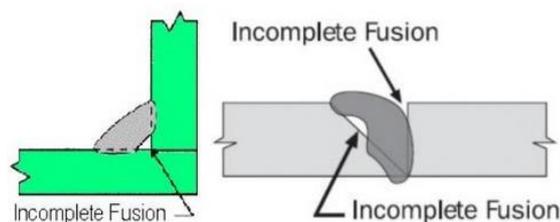
- Terlalu tinggi *travel speed*.

- Terlalu besar jarak gap atau lubang akar.
- Jarak antara elektroda atau busur las terlalu tinggi.
- Salah sudut elektrodanya.
- Arus pengelasan terlalu rendah.

Cara menghindari cacat *incomplete penetration*:

- *Travel speed* diatur dalam WPS.
- Standar gap atau lubang akar 2-4 mm.
- Jarak elektroda standar adalah 1,5 kali diameter elektroda.
- Ampere diatur sesuai dengan prosedur pengelasan.

d. *Incomplete Fusion (IF)*



Gambar 2. 16 Cacat Las *Incomplete Fusion*

Sumber: (Wahyu, 2018)

Cacat *incomplete fusion* ialah hasil lasan yang tidak diinginkan karena sambungan yang tidak sempurna diantara logam las dan logam dasar. Cacat ini biasanya terjadi pada sisi lasan.

Penyebab cacat *incomplete fusion*:

- Salah posisi sudut kawat las.
- Terlalu rendah arusnya.
- Terlalu kecil sudut kampuhnya.

- Pada permukaan kampuh terdapat kotoran.
- Terlalu tinggi *travel speed*.

Cara mengatasi cacat *incomplete fusion*:

- Membenahi posisi sudut elektroda.
- Meningkatkan ampere sesuai dengan rekomendasi atau WPS.
- Sudut kampuh menurut WPS.
- Persiapan yang tepat untuk pengelasan dan membersihkan semua debu atau kotoran.
- *Travel speed* diatur dengan sesuai.

2.5.5 Pengujian dan Pemeriksaan Daerah Las

Secara umum, hasil pengelasan sangat bergantung pada keterampilan tukang las. Cacat permukaan dan cacat internal sukar dideteksi dengan metode pemeriksaan sederhana. Selain itu, dikarenakan struktur bahan las merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari keseluruhan bahan las, maka retakan yang muncul akan cepat menyebar bahkan dapat menyebabkan kecelakaan yang serius. Untuk menghindari kecelakaan tersebut, sangat penting untuk memeriksa kualitas produk atau benda uji, dan tujuan inspeksi ialah untuk mengetahui apakah hasil yang diajukan relatif mampu diterima sesuai standar kualitas tertentu. Tujuan pengujian dan inspeksi ialah untuk memastikan kualitas serta memberikan kepercayaan pada struktur yang dilas. Untuk prosedur pengendalian proses pengelasan, pengujian, dan inspeksi dapat dibagi menjadi tiga kelompok sesuai dengan pengujian dan pemeriksaan yang dilakukan, yaitu sebelum pengelasan, selama pengelasan atau setelah pengelasan.

Sebelum proses pengelasan dilakukan pengujian/pemeriksaan meliputi:

- 1) Peralatan las diperiksa terlebih dahulu.
- 2) Periksa bahan pengelasan yang akan dipakai.
- 3) Uji verifikasi proses pengelasan.
- 4) Tes kualifikasi tukang las.

Pemeriksaan untuk memastikan kepatuhan terhadap acuan pengelasan meliputi pemeriksaan kemiringan baja yang akan dilas dan pemeriksaan jalur pengelasan pada setiap sambungan. Pengujian atau pemeriksaan yang dilakukan selama proses pengelasan meliputi pemeriksaan kemiringan dan kondisi penyimpanan elektroda, pemeriksaan hasil las, pemeriksaan kondisi pengelasan yang paling diantisipasi (tegangan, arus, kecepatan proses pengelasan, urutan proses pengelasan, dll), dan pemeriksaan kondisi sebelum pemanasan dan periksa kondisi retak belakang. Pengujian atau inspeksi pasca-las termasuk memeriksa suhu pemanasan, laju pendinginan setelah proses pemanasan dan kalibrasi, inspeksi visual akurasi dimensi, dan inspeksi kerusakan pada interior dan permukaan las.

2.5.6 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. Berikut pengelompokkan metode inspeksi pada area pengelasan :

1) Pengujian DT (Destruktif)

a) Uji dengan mekanis:

➤ Pengujian Tarik

Dalam pengujian tarik dilaksanakan guna 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 dampak Izod dan uji dampak Charpy sebagai metode uji dampak 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 dilas.

1. Uji kerusakan pada permukaan:

- Pengujian Visual (VT)

Pengujian visual adalah teknik pemeriksaan yang sangat penting dan sering dipergunakan. Pengujian visual ini tidak membutuhkan peralatan khusus, relatif murah, cepat, dan mudah dilakukan.

- Pengujian partikel magnetic (MT)

Dalam pengujian terhadap partikel magnet adalah metode paling efektif dan juga mudah diterapkan untuk deteksi visual cacat kecil yang tak

terbaca pada atau mendekati permukaan logam. Pada uji partikel magnetik dilaksanakan dengan memeriksa garis gaya pada serbuk kering ataupun suspensi magnetik cair yang dibentuk oleh medan magnet yang diciptakan pada permukaan produk yang dilas. Metode ini mampu menangkap cacat seperti retak dan porositas yang berasal bentuk garis medan magnet.

➤ Pengujian Penetrasi (PT)

Pada pengujian penetran zat warna umumnya dilakukan secara manual, sehingga kemampuan mendeteksi kerusakan sangat bergantung pada keahlian pemeriksa.

➤ Pengujian putaran untuk arus listrik

2. Uji kerusakan untuk bagian dalam:

➤ Pemeriksaan Radiografik (RT)

Pengujian ini dikerjakan dengan menggunakan sinar-X atau sinar gamma. Pengujian radiografik mampu mengungkapkan cacat pengelasan seperti retak, pelelehan tidak sempurna, porositas dan terak. Pada proses ini wajib dikerjakan oleh juru radiografi yang bersertifikat. Batas toleransi untuk kecacatan yang terjadi pada hasil lasan berkaitan dengan kriteria toleransi sambungan hasil las yang akan digunakan.

➤ Pemeriksaan Ultrasonik (UT)

Pada pengujian ultrasonik menggunakan gelombang suara frekuensi tinggi. Gelombang tersebut ditembakkan pada benda kerja guna mendeteksi cacat permukaan dan bagian didalam lasan. Cacat las dapat

dideteksi serta dianalisis berdasarkan gelombang penembakan yang dipantulkan.

2.6 Penelitian Terdahulu

Berikut ini beberapa penelitian terdahulu yang dijadikan acuan oleh peneliti :

1. Penelitian oleh Muhammad Imam Prakasa, 2020. Universitas Sumatera Utara.

“Analisis Perbaikan Kualitas CPO Dengan Metode SQC Dan *Failure Mode And Effect Analysis* (FMEA) Pada PT. Perkebunan Nusantara IV Unit Usaha Gunung Bayu”

Kesimpulan:

- a. Dari hasil identifikasi deviasi CPO menggunakan *check sheet*, terdapat 209 sampel dengan deviasi diantara 1104 sampel CPO, dan jenis cacat dengan jenis cacat tertinggi ialah kadar ALB (99) lalu kadar air (58) dan kadar kotoran (52).
- b. Berdasar pada hasil perhitungan dengan peta kendali \bar{X} -S, masih terdapat data yang letaknya di luar batas kendali statistik untuk kadar ALB. Pada peta kendali \bar{X} -S, data kadar air dan kadar kotoran masih didalam batas kendali statistik, sehingga tidak diperlukan revisi.
- c. Identifikasi dengan menggunakan *fishbone diagram* untuk memberi tahu beberapa penyebab cacat kadar ALB, kadar air dan kadar kotoran. Kemudian untuk jenis cacat pada kadar ALB yakni bahan baku TBS toleran, operator kurang disiplin dan teliti, tidak menerapkan SOP dengan benar, pengaturan

mesin *sterilizer*, serta CST tidak sesuai. Untuk jenis cacat pada kadar air ialah tingkat kematangan TBS, pengaturan mesin *vacum dryer*, dan juga CST tidak tepat, operator kurang waspada dan disiplin, serta tingkat pencemaran masih tinggi. Untuk kadar kotoran TBS banyak mengandung limbah sampah, operator kurang disiplin dan teliti saat menyortir, tidak terjaga kebersihannya kondisi daerah mesin dan produksi, tidak melakukan proses sortasi SOP dengan benar, dan mesin CST tidak dikonfigurasi dengan benar.

- d. Jenis kecacatan yang diprioritaskan untuk diperbaiki ditentukan berdasarkan peringkat nilai RPN yang diperoleh dengan menggunakan pendekatan FMEA. Kategori dengan nilai RPN tertinggi adalah pada kondisi TBS terlalu matang karena TBS persisten dan tumbukan antara TBS dan tanah sebesar 240.
- e. Berdasarkan hasil perhitungan RPN (*Risk Priority Number*), penyebab cacat dengan RPN paling tinggi adalah TBS yang persisten akibat terlampau matang dan terjadinya tumbukan antara TBS dan tanah. Dalam mengatasi hal ini, tindakan perbaikan yang dipilih agar pada mesin produksi yang rusak tidak mengganggu kegiatan saat produksi adalah dengan melakukan penyortiran buah berlandaskan tingkat kematangan TBS, merencanakan perawatan mesin yang tepat melalui overhaul, dan melakukan tindakan pencegahan.

2. Kamal Husein, 2021. Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jatim. “Meminimasi Persentase Cacat Produk Bogie Tipe S2e-9c Menerapkan Metode *Statistical Quality Control* (SQC) dan *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) Pada *Workshop Foundry* PT. Barata Indonesia”.

Kesimpulan:

- a. Berdasarkan hasil pengolahan data, cacat yang paling memiliki pengaruh terhadap kualitas produk bogie adalah *crack* (52,2%), diikuti oleh *pinhole* (28,9%), *sinter* (11,6%), dan *roughness* (7,2%) dari jumlah total cacat sebesar 567 unit yang terjadi.
- b. Terdapat beberapa faktor penyebab kegagalan pada empat jenis kecacatan antara lain pada jenis kecacatan *crack* terdapat pekerja kurang hati-hati saat memotong raser, pekerja terburu-buru membongkar cetakan, setting temperatur penuangan kurang baik, mesin menghasilkan core yang keras, penetapan radius sudut pattern terlalu tajam. Pada jenis kecacatan *pinhole* yaitu scrab yang tidak bersih, pekerja kurang teliti pada saat pengeringan cetakan, dan gas terperangkap di cetakan saat penuangan. Pada jenis kecacatan *sinter* yaitu kualitas pasir sillica kurang bagus, dan temperatur yang terlalu tinggi. Pada jenis kecacatan *roughness* yaitu pemadatan cetakan kurang padat, dan kualitas pasir sillica kurang bagus.
- c. Berdasarkan perhitungan nilai RPN maka ditemukan penyebab kecacatan dengan nilai RPN paling tinggi senilai 392 adalah kurangnya berhati-hati saat pemotongan raser yang terjadi oleh faktor manusia. Untuk mengatasi hal tersebut, pihak perusahaan bisa memberikan suatu pelatihan kepada para

pekerja sehingga memiliki ketrampilan dalam melakukan pekerjaan memotong raser, serta perusahaan dapat menetapkan batas waktu untuk istirahat ketika pemotongan raser agar tidak terjadinya *overheating*.

3. Daniel Hasudungan Siagian, 2021. Universitas Sumatera Utara.

“Perancangan Sistem Perbaikan Mutu Produk Santan Menggunakan Metode *Statistical Quality Control (SQC)* Dan *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* di PT. Eramas Coconut Industries”.

Kesimpulan:

- a. Hasil identifikasi kecacatan produk santan kelapa menunjukkan 3 kecacatan produk antara lain kemasan rusak (56,1%), basi (29,3%), dan kadar air (14,6%).
- b. Terdapat 1 kecacatan produk dominan menurut diagram pareto yaitu kemasan rusak (56,1%) maka dari itu untuk mengurangi jumlah pada produk *defect* sampai dengan tingkat 80% yakni dengan mengendalikan jenis *defect* kemasan rusak. Dengan faktor-faktor cacat yang disebabkan oleh material (bahan baku), manusia, peralatan, mesin, dan metode.
- c. Berdasarkan *Risk Priority Number (RPN)*, faktor metode kerja pada jenis kecacatan kemasan rusak menempati peringkat 1 dengan nilai RPN sebesar 175 dengan permasalahan pada setelan *speed filling machine* kurang tepat.
- d. Penerapan rancangan sistem perbaikan mutu terhadap metode kerja, manusia, mesin dan material diharapkan dapat meminimalisir terjadinya kecacatan pada produk santan kelapa.