

## BAB II LANDASAN TEORI

### 2.1 Kualitas

Suatu produk dinilai berkualitas apabila mampu memenuhi kebutuhan konsumen. Kualitas sendiri diartikan sebagai tingkat kesesuaian produk terhadap spesifikasi yang diharapkan pengguna, sehingga menimbulkan kepuasan. Menurut Putro (2014) kualitas produk umumnya diukur berdasarkan karakteristik produk, karena karakteristik tersebut mencerminkan keinginan dan harapan konsumen. Kualitas produk juga berkaitan erat dengan tingkat kerugian yang dialami konsumen akibat penggunaan produk seiring waktu. Produk berkualitas tinggi akan mengurangi kerugian tersebut, sementara produk dengan kualitas rendah justru memperbesar kerugian dan dapat menurunkan kepercayaan konsumen.

*Taguchi* (dalam Robert, 1990) mengelompokkan karakteristik kualitas terukur menjadi tiga kategori, yaitu:

- ***Nominal is the Best***, yaitu karakteristik yang idealnya mencapai nilai target tertentu, seperti berat, panjang, kerapatan, ketebalan, dan waktu.
- ***Smaller is Better***, yaitu karakteristik di mana nilai yang lebih kecil lebih baik, misalnya pemborosan, kebisingan, dan kerusakan.
- ***Larger is Better***, yaitu karakteristik di mana nilai yang lebih besar lebih baik, seperti kekuatan tarik, efisiensi, dan ketahanan terhadap korosi.

### 2.2 Pengendalian Kualitas

Pengendalian mutu merupakan serangkaian kegiatan untuk mengawasi dan mengevaluasi proses produksi, dengan cara mengukur berbagai aspek kualitas produk, membandingkannya dengan standar atau spesifikasi, dan mengambil tindakan korektif yang tepat bila ditemukan perbedaan antara hasil nyata dan standar yang telah ditetapkan.

Motivasi utama pengendalian kualitas adalah menjadikan kualitas yang terukur sebagai aset bernilai. Dengan ini, perusahaan dapat meminimalkan biaya,

mengurangi return produk, dan memperbaiki hasil dalam proses perakitan. Pemahaman mendalam tentang mutu sangat penting dan seharusnya melibatkan seluruh pihak, mulai dari perancang produk, tim inspeksi, hingga bagian produksi dan distribusi menuju konsumen.

Komponen utama dalam proses pengendalian mutu mencakup:

1. Observasi kinerja produk atau proses secara langsung.
2. Perbandingan hasil observasi dengan standar yang berlaku.
3. Pengambilan tindakan koreksi ketika terjadi penyimpangan signifikan dari standar.

Kini, sebagian besar perusahaan telah menerapkan *Statistical Quality Control* (SQC) secara ekstensif. Metode ini terbukti efektif dalam menurunkan angka cacat, meningkatkan konsistensi produk, dan memperkuat layanan. Nama-nama besar seperti General Electric, General Motors, dan Ford termasuk di antara pelopor penerapan kontrol kualitas semacam ini.

### **2.3 Alat Bantu Pengendalian Kualitas**

Pengendalian kualitas secara aktual melibatkan tujuh alat utama, yang biasa dipakai untuk memantau dan meningkatkan mutu. Ketujuh alat tersebut adalah:

Lembar Periksa (Check Sheet), Histogram, Diagram Pareto, Diagram Tulang Ikan (Fishbone/Ishikawa Diagram), Diagram Sebar (Scatter Diagram), Grafik Kendali (Control Chart), Diagram Alur Proses (Flowchart atau Stratification/Run Chart)

#### **1. Check Sheet**

Check sheet adalah sebuah alat untuk mengumpulkan dan menganalisis data, disusun dalam bentuk tabel yang mencatat jumlah barang yang diproduksi serta jenis ketidaksesuaian dan jumlah yang terjadi. Tujuan penggunaannya yaitu untuk mempermudah proses pengumpulan data dan analisis, sekaligus mengidentifikasi area permasalahan berdasarkan frekuensi jenis atau penyebab ketidaksesuaian,

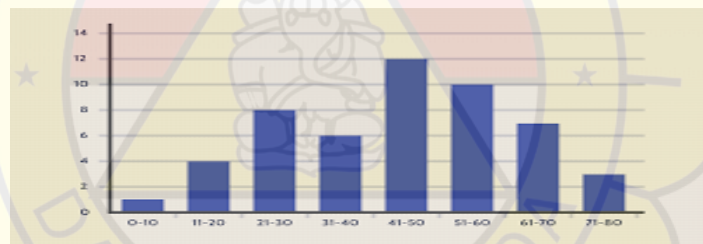
sehingga dapat diambil keputusan apakah perlu dilakukan tindakan perbaikan atau tidak

Kejadian	Hari							Total
	Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat	Sabtu	Minggu	
Gagal memasang infus	II	I	III I	I		I	I	12
Phlebitis	I	I			I			3
Pasien jatuh	II		III		I	I	III	12
ISK karena chateter		I		I				2
Decubitus		I		I		I		3
Obat tidak tepat waktu			III		II			5
<b>Total</b>	5	4	12	3	4	3	6	37

**Gambar 2.1** Contoh check sheet

## 2. Diagram Histogram

Diagram histogram adalah sebuah alat visual yang digunakan untuk memahami seberapa besar variasi dalam suatu proses. Bentuknya berupa diagram batang, di mana batang-batang tersebut menyajikan tabulasi data yang telah diurutkan berdasarkan ukuran nilai. Tabulasi ini dikenal sebagai distribusi frekuensi, yang memperlihatkan seberapa sering nilai-nilai muncul dalam interval tertentu.



**Gambar 2. 2** Contoh Diagram Histogram

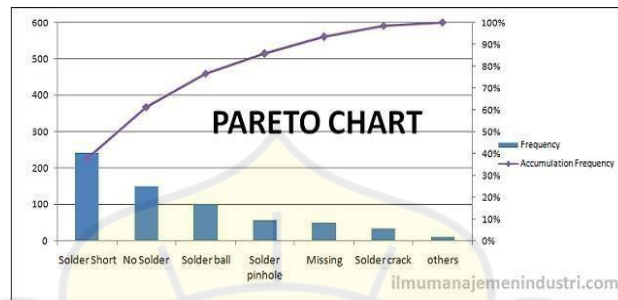
## 3. Diagram pareto

Diagram Pareto pertama kali diperkenalkan oleh Alfredo Pareto dan kemudian diterapkan dalam manajemen kualitas oleh Joseph Juran Diagram ini memadukan grafik batang dan grafik garis untuk menunjukkan perbandingan setiap kategori data dengan total keseluruhan. Dengan diagram Pareto, kita bisa mengidentifikasi masalah yang paling dominan dan menentukan prioritas solusi secara lebih efektif

Manfaat utama Diagram Pareto meliputi:

- a) Menampilkan berbagai masalah secara visual

- b) Menunjukkan seberapa besar kontribusi masing-masing masalah terhadap total masalah
- c) Mengukur dampak perbaikan setelah tindakan korektif fokus pada area tertentu
- d) Membandingkan kondisi sebelum dan sesudah tindakan perbaikan dilakukan



**Gambar 2. 3** Contoh Diagram Pareto

#### 4. Diagram Tulang Ikan ( *fishbone Diagram* )

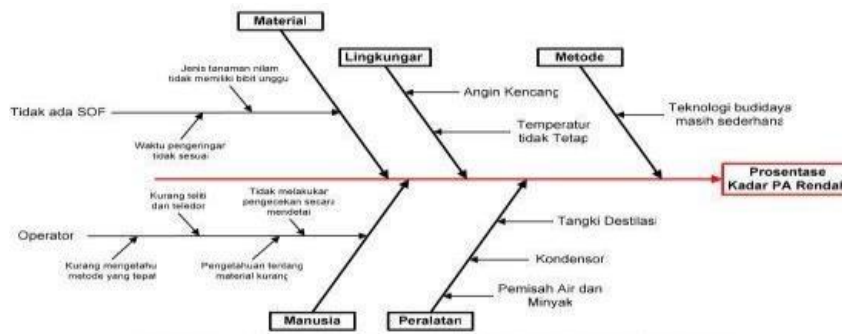
Diagram tulang ikan digunakan untuk menggambarkan berbagai faktor utama yang mempengaruhi kualitas suatu proses dan menimbulkan masalah yang sedang dianalisis. Diagram ini juga memungkinkan kita menelusuri lebih dalam ke faktor-faktor turunan yang memengaruhi faktor utama tersebut

Metode ini pertama kali diperkenalkan oleh pakar mutu asal Jepang, Dr. Kaoru Ishikawa, pada tahun 1950-an hingga 1960-an, sebagai bagian dari pengembangan metode grafis untuk mengidentifikasi sumber penyimpangan dalam proses industri

Secara umum, dalam diagram ini faktor penyebab utama (kategori “tulang besar”) biasanya dikelompokkan :

- 1) Material (Bahan baku)
- 2) Machine (Mesin atau peralatan)
- 3) Man (Tenaga kerja / sumber daya manusia)
- 4) Method (Metode atau prosedur)

a) Environment (Lingkungan kerja atau eksternal)



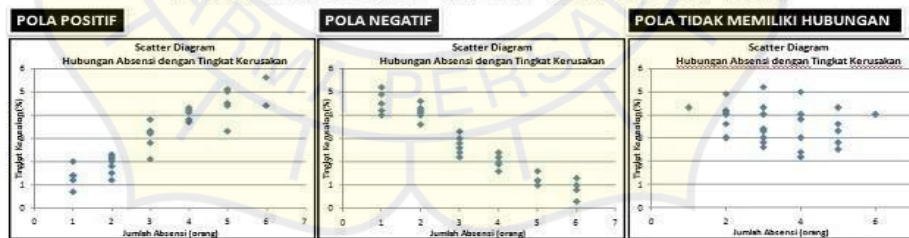
Gambar 3. Diagram Sebab Akibat Prosentase Kadar PA Rendah

Gambar 2.4 Contoh Diagram Fishbone

## 5. Scatter Diagram

*Scatter diagram*, yang juga dikenal sebagai peta korelasi atau scatter diagram, adalah grafik yang menggambarkan hubungan antara dua variabel. Grafik ini menunjukkan seberapa kuat hubungan antara kedua variabel tersebut, misalnya apakah faktor pada proses memiliki pengaruh atau tidak. Diagram sebar digunakan sebagai alat untuk menginterpretasi data, mengukur intensitas hubungan antara dua variabel, serta menentukan apakah hubungan itu positif, negatif, atau tidak ada sama sekali.

## POLA SCATTER DIAGRAM



ilmumanajemenindustri.com

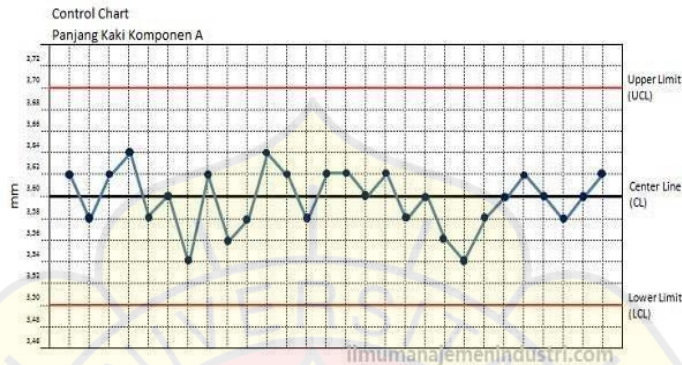
Gambar 2.5 Contoh Scatter Diagram

## 6. Control Chart

*Control chart* Kontrol chart (atau peta kendali) adalah alat grafis yang digunakan untuk memantau dan menilai apakah suatu aktivitas atau proses berada dalam

kendali kualitas secara statistik. Dengan menggunakan grafik tersebut, kita bisa mengidentifikasi apakah suatu proses stabil atau tidak, sehingga memungkinkan pemecahan masalah dan peningkatan mutu secara berkesinambungan

Sementara itu, peta kendali menggambarkan perubahan data dari waktu ke waktu, namun tidak secara langsung menjelaskan penyebab penyimpangan, meski penyimpangan tersebut tampak jelas pada grafik kendali






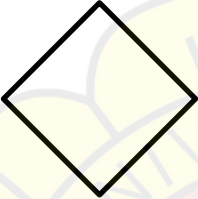


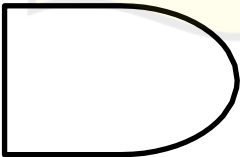
**Gambar 2.6** Contoh Control Chart

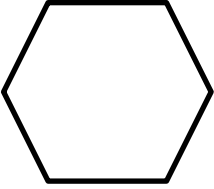

## 7. Proses Flow Chart

*Proses flow Chart* menampilkan proses atau sistem dalam bentuk grafis menggunakan kotak dan garis yang saling terhubung. Meskipun diagram ini sederhana, namun sangat efektif untuk memahami atau menjelaskan urutan langkah dalam sebuah proses.

**Tabel 2.1** Contoh Entitas Diagram

SIMBOL	KETERANGAN
	<p><b>Simbol terminator:</b> simbol yang menyatakan awal atau akhir suatu proses</p>

	<p><b>Simbol aktivitas (proses):</b> Melambangkan langkah kerja atau tindakan tertentu dalam suatu proses. Digunakan untuk menggambarkan aktivitas yang dilakukan</p>
	<p><b>Simbol dokumen:</b> Menyimbolkan dokumen tertulis atau laporan—yaitu informasi yang dicetak atau ditransfer sebagai bagian dari proses</p>
	<p><b>Simbol titik keputusan (<i>decision point</i>):</b> Biasanya berbentuk belah ketupat dan menunjukkan titik di mana proses bercabang, dengan pilihan seperti “ya/tidak” atau “benar/salah”</p>
	<p><b>Simbol flow line (<i>garis alir</i>):</b> Anak panah yang menghubungkan simbol-simbol, menandakan arah dan urutan proses</p>
	<p><b>Simbol penghubung (<i>connector</i>):</b> Digunakan untuk menandai kelanjutan proses di bagian berbeda diagram, baik dalam halaman yang sama (<i>on-page</i>) maupun antar halaman (<i>off-page</i>)</p>
	<p><b>Simbol delay (<i>penundaan</i>):</b> Mengindikasikan adanya jeda atau waktu tunggu dalam proses, misalnya saat menanti hasil produksi atau langkah berikutnya</p>

	<p><b>Simbol persiapan (preparation):</b> Melambangkan langkah persiapan, seperti menyiapkan ruang penyimpanan atau inisialisasi sebelum tindakan utama dilakukan</p>
	<p><b>Simbol input-output (keluar-masuk):</b> Menunjukkan proses penerimaan input atau pengeluaran output, seperti penerimaan data atau pengiriman laporan—tidak tergantung jenis perangkat</p>

## 2.4 Metode *Taguchi* / Robust Design

Metode *Taguchi* pertama kali dikembangkan oleh Dr. Genichi *Taguchi* pada tahun 1949 ketika ia bertugas memperbaiki sistem komunikasi di Jepang. Dengan latar belakang di bidang teknik serta pengetahuan mendalam dalam statistika dan matematika, *Taguchi* mampu menggabungkan pendekatan statistik dengan prinsip rekayasa dalam perbaikan kualitas. Ia memperkenalkan metode eksperimen baru yang memiliki tingkat kepercayaan setara dengan *Statistical Process Control* (SPC), namun dengan efisiensi yang lebih tinggi dari segi waktu dan biaya (Yulianti, 2017). Metode *Taguchi* dikategorikan sebagai bagian dari *offline quality control*, yaitu pendekatan pengendalian kualitas yang dilakukan pada tahap perancangan produk atau proses, bukan pada tahap produksi. Metode ini memungkinkan identifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas melalui eksperimen sistematis, serta mengarahkan peneliti untuk merancang produk dan proses yang tahan terhadap variasi akibat gangguan dari faktor-faktor luar yang tidak terkontrol (Belavendram, 1995 dalam Yulianti, 2017).

Tujuan utama pendekatan ini adalah meminimalkan penyimpangan produk dari spesifikasi yang telah ditetapkan, sehingga produk yang dihasilkan lebih konsisten dan sesuai dengan kebutuhan konsumen. Hal ini dilakukan dengan menyesuaikan parameter proses pada level optimal berdasarkan hasil eksperimen. Dalam pelaksanaannya, metode *Taguchi* memanfaatkan konsep *orthogonal array* dan

analisis rasio *Signal to Noise* (S/N) untuk mengevaluasi pengaruh tiap faktor terhadap kualitas produk.

Konsep dasar dari metode *Taguchi* mencakup tiga prinsip utama (Belavendram, 1995):

1. Kualitas harus dibangun sejak tahap perancangan, bukan diperiksa di akhir.
2. Penyimpangan dari target harus diminimalkan agar produk tahan terhadap gangguan lingkungan.
3. Biaya kualitas dihitung berdasarkan penyimpangan dari nilai target, dan kerugian tersebut perlu diperhitungkan secara sistemik.

Kelebihan metode *Taguchi* antara lain:

- Mengurangi jumlah eksperimen dibandingkan metode faktorial penuh, sehingga lebih hemat waktu dan biaya.
- Mampu mengoptimalkan rata-rata dan variasi kualitas secara bersamaan.
- Menyediakan cara sistematis untuk mengidentifikasi faktor-faktor dominan terhadap kualitas melalui analisis rata-rata dan rasio S/N.

Namun, metode ini juga memiliki kekurangan, khususnya ketika digunakan dalam eksperimen dengan banyak faktor dan interaksi. Dalam kondisi tersebut, beberapa interaksi antar faktor bisa bercampur (aliasing) dengan efek faktor utama, yang dapat mengurangi akurasi hasil jika interaksi tersebut sebenarnya signifikan (Karuniawan et al., 2022).

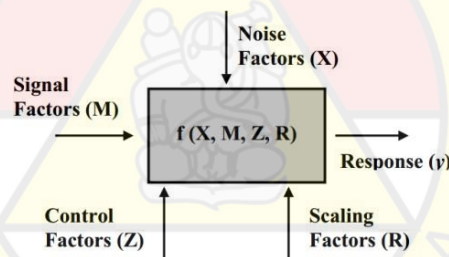
Menurut Robert (1990), filosofi *Taguchi* dapat dirangkum dalam tujuh poin utama:

1. Kualitas diukur dari kerugian total yang ditanggung konsumen.
2. Peningkatan kualitas dan pengurangan biaya adalah kunci keberlangsungan bisnis.
3. Kualitas ditingkatkan dengan mengurangi variasi dari nilai target.
4. Kerugian konsumen sebanding dengan kuadrat penyimpangan dari target.
5. Desain awal sangat menentukan kualitas akhir dan biaya proses.
6. Variasi dapat dikurangi dengan mengeksplorasi efek non-linear parameter.
7. Desain eksperimen statistik digunakan untuk menemukan pengaturan parameter optimal.

Karakteristik kualitas menurut *Taguchi* adalah sejauh mana produk memenuhi fungsinya, biasanya diukur dengan parameter kuantitatif (seperti berat, waktu, panjang), namun dalam beberapa kasus juga bersifat kualitatif atau subjektif (seperti “baik” atau “buruk”).

Dalam pendekatan *Taguchi*, proses desain produk dibagi menjadi tiga tahap utama:

- a. System Design: Tahap awal konseptualisasi produk berdasarkan pengetahuan teknik atau eksperimen sebelumnya.
- b. Tolerance Design: Penentuan toleransi parameter yang berdampak pada kerugian akibat variasi produk.
- c. Parameter Design: Identifikasi dan pengaturan parameter optimal dengan eksperimen statistik, untuk mencapai performa rata-rata yang sesuai target dan mengurangi efek
- d. *noise*. Parameter diklasifikasikan menjadi *noise factor*, control factor, *signal factor*, dan scaling factor.



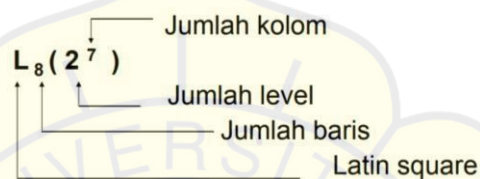
**Gambar 2.7** Faktor – faktor yang mempengaruhi karakteristik kualitas

#### 2.4.1 Orthogonal Array

Menurut: Montgomery, D. C. (2013) Orthogonal array merupakan sebuah matriks yang tersusun secara sistematis dalam baris dan kolom, di mana setiap kolom mewakili faktor yang dapat diatur dalam eksperimen, sedangkan baris merepresentasikan kondisi atau kombinasi dari faktor-faktor tersebut. Matriks ini bersifat seimbang antara faktor dan levelnya, sehingga memungkinkan pengaruh masing-masing faktor dapat dianalisis tanpa tercampur (confounded) dengan pengaruh faktor lainnya. Penggunaan orthogonal array dalam eksperimen bertujuan untuk menguji pengaruh beberapa parameter secara efisien dan

sistematis, menjadikannya salah satu teknik utama dalam metode perancangan eksperimen, khususnya dalam pendekatan *Taguchi*. Melalui orthogonal array, dimungkinkan untuk memperoleh informasi yang maksimal dari jumlah percobaan yang minimal, dengan tetap mempertahankan keakuratan analisis.

Dalam konteks metode *Taguchi*, orthogonal array digunakan untuk menentukan kombinasi level variabel input yang optimal, sehingga proses eksperimen dapat dilakukan secara efektif tanpa harus mencoba semua kemungkinan. Misalnya, notasi  $L_8(2^7)$  menunjukkan bahwa eksperimen dilakukan sebanyak 8 kali dengan melibatkan 7 faktor, masing-masing pada 2 level.



**Gambar 2.8** Notasi Orthogonal Array

1. Notasi L ( latin square ) merupakan penyusunan *square* matriks dengan pemisahan faktor-faktor yang berpengaruh, sehingga notasi L menggambarkan informasi *orthogonal array*.
2. Notasi 8 (jumlah baris ) merupakan jumlah eksperimen atau percobaan yang dibutuhkan pada saat menggunakan *orthogonal array*.
3. Notasi 2 ( jumlah level) merupakan jumlah level dari faktor faktor yang digunakan dalam eksperimen.
4. Notasi pangkat 7 (jumlah kolom) merupakan jumlah faktor yang dapat dipelajari dalam *orthogonal array* yang dipilih.

**Tabel 2.2** Bentuk standar orthogonal array dari *Taguchi*

Campuran	2 level	3 level	4 level	5 level
L18( $2^1 \times 3^7$ )	L4( $2^3$ )	L9( $3^4$ )	L16( $4^5$ )	L25( $5^8$ )
L32( $2^1 \times 4^9$ )	L8( $2^7$ )	L27( $3^1$ )	L64( $4^2$ )	-
L36( $2^{11} \times 3^{12}$ )	L12( $2^1$ )	L81( $3^4$ )	-	-
L36( $2^3 \times 3^{13}$ )	L16( $2^1$ )	-	-	-
L54( $2^1 \times 3^{25}$ )	L32( $2^3$ )	-	-	-

**Tabel 2.3** Orthogonal Array L4 (  $2^2$  )

Percobaan	Faktor	
	A	B
1	1	1
2	1	2
3	2	1
4	2	2

Menyatakan *orthogonal array* tersebut terdapat empat kali percobaan eksperimen yang terdiri dari dua faktor dengan jumlah level masing-masing dua.

**Tabel 2.4** Orthogonal Array L9 (  $3^4$  )

Percobaan	Faktor			
	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3

9	3	3	2	1
---	---	---	---	---

Menyatakan *orthogonal array* tersebut terdapat sembilan kali percobaan eksperimen yang terdiri dari empat faktor dengan jumlah level masing-masing tiga.

**Tabel 2.5** Orthogonal Array L8 ( $2^7$  )

Percobaan	Faktor						
	A	B	C	D	E	F	G
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

Menyatakan *orthogonal array* tersebut terdapat delapan kali percobaan eksperimen yang terdiri dari tujuh faktor dengan jumlah level masing-masing dua.

#### 2.4.2 Signal to Noise Rasio ( S/N Ratio )

Menurut Ross, P. J. (1996) *Signal to Noise Ratio* atau rasio S/N merupakan bentuk logaritmik dari fungsi kerugian kuadratik yang digunakan untuk menilai tingkat kualitas suatu produk. Semakin tinggi nilai rasio S/N, maka semakin baik kinerja produk tersebut, karena menunjukkan bahwa kerugian akibat variasi semakin kecil. Rasio ini menggambarkan perbandingan antara sinyal (*signal*), yaitu nilai yang diinginkan, dengan gangguan (*noise*), yaitu variasi yang tidak diinginkan. Tujuan dari pendekatan ini adalah untuk memaksimalkan nilai performa, yang dicapai ketika sinyal kuat dan *noise* minimal. Oleh karena itu, dalam penerapannya, karakteristik kualitas harus terlebih dahulu diklasifikasikan secara tepat agar interpretasi hasil eksperimen menjadi konsisten dan akurat.

Dalam perancangan kualitas *Taguchi* merekomendasikan karakteristik dari *Signal to Noise Ratio* sebagai berikut :

**1. *Smaller the better*** (lebih kecil lebih baik)

Memiliki karakteristik kualitas yang konstan dan tidak negatif yang mempunyai nilai dari 0 sampai dimana nilai *defect* yang diinginkan adalah 0 ( nilai semakin kecil semakin baik ). Digunakan untuk kasus di mana nilai output yang lebih kecil lebih

$$SN_{STB} = - 10 \text{ Log } \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right]$$

Dimana :

$n$  = Jumlah pengulangan eksperimen

$y_i$  = Data pengamatan ke-  $i$  (  $i = 1,2,3,4,5, \dots, n$  )

diinginkan, misalnya jumlah cacat, waktu kegagalan, atau emisi. Sehingga dapat dihitung dengan rumus

**2. *Larger the better*** (lebih besar lebih baik)

Memiliki karakteristik kualitas yang kontinyu dan tidak negatif yang mempunyai nilai dari 0 sampai dimana nilai target yang diinginkan adalah 0 ( nilai semakin besar semakin baik ). Digunakan ketika nilai output yang lebih besar lebih baik, seperti kekuatan bahan, hasil produksi, atau kecepatan. Sehingga dapat dihitung dengan rumus :

$$SN_{LTB} = - 10 \text{ Log } \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right]$$

Dimana :

$n$  = Jumlah pengulangan eksperimen

$y_i$  = Data pengamatan ke-  $i$  (  $i = 1,2,3,4,5, \dots, n$  )

### 3. Nominal the best

(nominal adalah terbaik) Memiliki karakteristik kualitas yang kontinu dan tidak negatif yang mempunyai nilai dari 0 sampai dimana nilai target yang diinginkan adalah 0. Nilai yang diukur berdasarkan nilai target yang telah ditetapkan, jadi nilai yang mendekati target yang telah ditetapkan maka kualitas semakin baik. Sehingga dapat dihitung dengan rumus:

$$SN_{NTB} = 10 \text{ Log }_{10} \left[ \frac{1}{\sigma^2} \right]$$

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \mu)^2$$

Dimana :

$n$  = Jumlah pengulangan eksperimen

$y_i$  = Data pengamatan ke-  $i$  ( $i = 1, 2, 3, 4, 5, \dots, n$ )

$\mu$  = rata-rata

$\sigma$  = standar deviasi

### 4. Signed Target

Memiliki karakteristik kualitas yang dapat digunakan, baik bernilai positif maupun negatif meskipun target nilai dari karakteristik kualitasnya adalah 0. Sehingga dapat dihitung dengan rumus :

$$SN_{ST} = - 10 \text{ Log }_{10} \sigma^2$$

### 5. Fraction Defection

Memiliki karakteristik kualitas yang sebanding dan dinyatakan dalam nilai pecahan anatar 0 sampai 1. Sehingga dapat dihitung dengan rumus:

$$SN_{FD} = - 10 \text{ Log }_{10} \frac{1}{p} - 1$$

Dimana :

$p$  = nilai kecacatan produk dalam pecahan

### 2.4.3 *Annova* ( Analisis Variasi )

ANOVA, singkatan dari *Analysis of Variance*, merupakan metode statistik yang digunakan untuk menguji apakah terdapat perbedaan rata-rata di antara beberapa kelompok atau perlakuan. Teknik ini pertama kali dikembangkan oleh ahli statistik terkemuka, Sir Ronald Fisher. Salah satu keunggulan ANOVA adalah kemampuannya untuk menganalisis perbedaan antara lebih dari dua kelompok sekaligus, berbeda dengan *independent sample t-test* yang hanya dapat membandingkan dua kelompok (Raharjo, 2012). Dalam konteks penelitian, ANOVA digunakan untuk menguji hipotesis dengan menilai apakah terdapat perbedaan signifikan pada rata-rata antar kelompok. Hasil dari analisis ini berupa nilai *F hitung*, yang kemudian dibandingkan dengan nilai *F tabel*. Apabila nilai *F hitung* melebihi nilai pada *F tabel*, maka hipotesis alternatif ( $H_1$ ) diterima dan hipotesis nol ( $H_0$ ) ditolak. Metode ini sangat umum diterapkan dalam penelitian eksperimental, terutama ketika terdapat lebih dari dua jenis perlakuan yang ingin diuji pengaruhnya.

### 2.5 Tahapan Perencanaan Eksperimen Dr. Genichi Taguchi

#### 1. Perancangan Sistem

Perancangan sistem adalah proses mengembangkan kerangka kerja yang mencakup pembuatan ide, strategi baru, dan inovasi lainnya demi meningkatkan nilai produk atau layanan bagi pelanggan. Dengan pendekatan ini, organisasi berusaha untuk terus tumbuh, berinovasi, dan menciptakan keunggulan kompetitif melalui perbaikan berkelanjutan.

#### 2. Perancangan parameter

Perancangan parameter fokus pada menjaga konsistensi produk dengan menetapkan batasan atau parameter khusus. Tujuannya untuk mencegah perubahan besar yang dapat membuat produk tidak efisien atau bahkan tidak layak digunakan karena ketidakstabilan. Proses ini melibatkan eksplorasi untuk merumuskan kondisi-kondisi stabil dan andal yang meminimalkan potensi perubahan karakteristik produk.

### 3. Perancangan Toleransi

Perancangan toleransi bertujuan memperkuat kualitas produk dengan menetapkan toleransi batas yang tepat. Ini dilakukan untuk mengurangi variabilitas performa produk dan memastikan setiap komponen tetap berada dalam batas nilai yang dapat diterima demi menjaga konsistensi kinerja keseluruhan.

## 2.6 Langkah - Langkah Tahap Percobaan Metode *Taguchi*

Untuk menerapkan metode *Taguchi*, langkah penelitian perlu dilakukan sebagai berikut:

### 2.6.1 Penentuan Variabel Tak Bebas

Variabel tak bebas adalah variabel respons yang nilainya dipengaruhi oleh faktor faktor lain. Dalam analisis awal eksperimen, peneliti perlu secara tegas memilih dan mendefinisikan variabel tak bebas yang akan dianalisis. Semua data hasil pengamatan yang digunakan sebaiknya terukur pada skala kontinu.

#### 1. Karakteristik yang Dapat Diukur

Ini merujuk pada hasil observasi yang bisa diukur secara numerik dan kontinu, seperti berat, panjang, tekanan, dan sebagainya.

#### 2. Karakteristik Atribut (*Attribute Characteristic*)

Jika hasil akhir tidak bisa diukur dengan skala kontinu, maka dapat dikategorikan berdasarkan kelompok tertentu, seperti ukuran kecil/menengah/besar atau status berhasil/gagal yang disebut karakteristik atribut.

#### 3. Karakteristik Dinamik (*Dynamic Characteristic*)

Karakteristik ini menggambarkan hubungan fungsional dalam proses yang dipelajari. Proses diekspresikan sebagai sinyal input, dan hasil/output-nya ditunjukkan sebagai sinyal respons.

### 2.6.2 Identifikasi Faktor-Faktor ( Variabel Bebas )

Variabel bebas merupakan variabel yang perubahan nilainya tidak dipengaruhi oleh variabel lain. Pada tahapan ini, kita memilih berbagai elemen yang akan diuji efeknya terhadap variabel terikat.

Berikut beberapa metode yang dapat dijadikan acuan dalam menentukan faktor-faktor penelitian:

1. Brainstorming

Brainstorming merupakan teknik berpikir kreatif dalam menemukan solusi tanpa mempertimbangkan dulu apakah ide tersebut masuk akal. Teknik ini menjadi lebih efektif jika dilakukan dalam kelompok diskusi untuk mendapatkan gambaran yang lebih luas tentang masalah yang sedang dihadapi.

2. Flowchart

Metode ini melibatkan pembuatan diagram alir yang menggambarkan proses pembuatan suatu objek yang diamati. Pada setiap langkah dalam flowchart, ditentukan faktor-faktor yang berpotensi memberikan dampak signifikan.

3. Diagram Fishbone

Teknik ini populer digunakan untuk mengidentifikasi penyebab utama. Diawali dengan menuliskan masalah utama, lalu secara sistematis mencatat semua kemungkinan penyebab variabel bebas yang relevan untuk diperhatikan.

### 2.6.3 Pemisahan Faktor Kontrol Dan Faktor Gangguan

Dalam metodologi *Taguchi*, penting untuk membedakan secara jelas antara faktor kontrol dan faktor gangguan karena pengaruhnya terhadap hasil eksperimen bersifat berbeda dan unik.

- **Faktor kontrol** adalah variabel yang nilainya dapat diatur, dikendalikan, atau ingin dikendalikan oleh peneliti. Contohnya termasuk suhu proses, tekanan, atau material yang digunakan dalam produksi

- **Faktor gangguan (*noise*)**, di sisi lain, adalah variabel yang nilainya tidak dapat diukur atau dikendalikan secara langsung—biasanya karena terlalu sulit, mahal, atau tidak praktis untuk dilakukan selama proses produksi atau operasi normal

Karena pengaruh kedua jenis faktor ini berbeda, dalam eksperimen *Taguchi* keduanya perlu diidentifikasi dan dipelajari secara terpisah untuk menemukan setting parameter yang optimal dan membuat sistem menjadi robust terhadap variasi yang tidak terkontrol.

#### **2.6.4 Penentuan Jumlah Level Dan Nilai Level Faktor**

Menentukan jumlah level pada suatu faktor sangat berperan penting dalam ketepatan hasil eksperimen serta efisiensi biaya pelaksanaannya. Semakin banyak level yang digunakan dalam penelitian, umumnya akan menghasilkan data yang lebih akurat. Namun, hal ini juga berdampak pada meningkatnya jumlah pengamatan yang dibutuhkan, sehingga biaya eksperimen pun ikut bertambah.

#### **2.6.5 Perhitungan Derajat Kebebasan**

Perhitungan inidijalankan untuk menghitung jumlah minimum eksperimen.

#### **2.6.6 Pemilihan Matriks Ortogonal**

Pemilihan matriks ortogonal harus disesuaikan dengan nilai-nilai faktor, interaksi yang diinginkan, serta jumlah dan level dari masing-masing faktor. Proses penentuan ini juga berpengaruh terhadap total derajat kebebasan, yang memainkan peran penting dalam menentukan jenis matriks ortogonal (Orthogonal Array) yang akan digunakan dalam desain eksperimen.

#### **2.6.7 Menempatkan Kolom Untuk Faktor Dan interaksi Kedalam Matriks Orthogonal.**

Untuk mempermudah penentuan kolom mana yang digunakan untuk interaksi faktor dalam matriks ortogonal, *Taguchi* menyediakan dua alat bantu utama:

1. **Grafik Linier** Menampilkan representasi visual dari interaksi faktor dalam suatu matriks eksperimen.

2. **Tabel Triangular** Menyajikan semua kombinasi interaksi serta kolom terkait, sekaligus menyediakan panduan untuk randomisasi pelaksanaan eksperimen.

## 2.7 Tahap Pelaksanaan Eksperimen

Pelaksanaan eksperimen mencakup beberapa komponen utama, antara lain:

1. Jumlah Replikasi

Replikasi adalah pengulangan penerapan perlakuan yang identik dalam kondisi serupa, bertujuan meningkatkan tingkat ketelitian. Dengan melakukan ulangan minimal dua kali pada unit atau kelompok eksperimen baik yang sama maupun berbeda, peneliti dapat memperbaiki estimasi variabilitas serta meningkatkan validitas internal, memastikan perbedaan hasil disebabkan oleh perlakuan, bukan faktor eksternal. Penentuan jumlah replikasi bergantung pada:

- tingkat ketelitian yang diinginkan (semakin tinggi, semakin banyak ulangan yang diperlukan),
- variasi bahan, alat, media, atau lingkungan eksperimen, serta

2. keterbatasan anggaran Randomisasi

Randomisasi adalah proses pengacakan yang digunakan untuk mendistribusikan potensi pengaruh faktor pengganggu (seperti kelelahan operator, variasi mesin, dan lainnya) secara merata ke seluruh unit percobaan. Tujuannya adalah mengurangi bias sistematis dan memastikan bahwa setiap unit memiliki peluang yang sama untuk menerima perlakuan. Proses ini memungkinkan hasil eksperimen bebas dari interdependensi antar pengukuran dan lebih representatif. Metode randomisasi dapat meliputi penggunaan tabel angka acak, undian, atau perangkat lunak komputer

## 2.8 Tahap Analisa

Pada tahap ini, dilakukan pengumpulan dan pengelolaan data sesuai dengan desain eksperimen yang telah dipilih. Selanjutnya, data dianalisis dan diuji menggunakan metode statistik.

1. Analisis Varians dengan Pendekatan *Taguchi*

Analisis varians (ANOVA) dalam konteks metode *Taguchi* merupakan teknik statistik yang digunakan untuk mengevaluasi hasil eksperimen yang disusun menggunakan rancangan eksperimen. Teknik ini membantu memisahkan dan menjelaskan pengaruh berbagai sumber variasi dalam data percobaan.

Tujuan utama dari pengembangan produk ini adalah meningkatkan kinerja karakteristik produk melalui pengujian yang sistematis dalam fase desain. Dalam desain matriks orthogonal yang digunakan oleh *Taguchi*, analisis varians dilakukan dengan menghitung jumlah kuadrat (sum of squares) dari setiap kolom faktor. Jika eksperimen melibatkan dua faktor atau lebih (analisis varian dua arah atau multi-arah), prosedur ini memungkinkan untuk menilai kontribusi masing-masing faktor terhadap variasi hasil eksperimen.

a.  $ST$  – Jumlah kuadrat total

Jumlah kuadrat total sebagai berikut :

$$SS_T = \sum_{i=1}^N y^2$$

Dimana :

$N$  = Jumlah percobaan

$Y$  = Data yang diperoleh

b.  $S_A$ - Jumlah kuadrat faktor A sebagai Berikut :

$$SS_A = \left[ \sum_{i=1}^{K_A} \left( \frac{A_i^2}{n_{A_i}} \right) \right] - \frac{\tau^2}{N}$$

Dimana faktor A

$A_i$  = level ke I

$n_{A_i}$  = Jumlah percobaan level ke I faktor A

c.  $S_{AKB}$  – Jumlah interaksi Ax B

Dengan cara yang sama, maka jumlah kuadrat interaksi Ax B sebagai berikut :

$$c_{AKB} = \frac{[TotalAxB1]^2}{N1} + \frac{[TotalAxB1]^2}{N2} - \frac{[TotalAxB1]^2}{N1+N2}$$

$SS_e$  – Jumlah kuadrat error

Jumlah kuadrat error sebagai berikut :

$$SS_T = SS_e + SS_{AKB} + SS_e$$

$$SS_e = SS_T - SS_e - SS_{AKB}$$

### 1. Uji F

Ketika analisis varians tidak menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antar perlakuan ataupun pengaruh suatu faktor dalam percobaan, langkah selanjutnya adalah melakukan Uji-F.

Dalam Uji-F, kita membandingkan variasi yang terjadi akibat faktor uji (perlakuan) dengan variasi yang disebabkan oleh error (galat). Error disini merujuk pada variasi antar setiap individu dalam pengamatan, yang muncul karena faktor-faktor di luar kendali dan tidak diteliti secara langsung.

$$F_{\text{sumber}} = \frac{\text{Variasi karena perlakuan} + \text{variasi karena error}}{\text{variasi karena error}}$$

### 1. Perhitungan dan Interpretasi F-statistik

Nilai Fhitung (F-statistic) dihitung sebagai rasio antara variasi antar-level perlakuan dan variasi dalam tiap level (yakni variasi galat). Nilai ini selanjutnya dibandingkan dengan nilai Ftabel yang diambil dari tabel distribusi F, berdasarkan derajat kebebasan:

- $df_1 = K - 1$  untuk variasi antar-perlakuan
- $df_2 = N - K$  untuk variasi dalam perlakuan  
di mana  $K$  menyatakan jumlah level faktor (kelompok) dan  $N$  jumlah total unit perlakuan atau observasi

### 2. Hipotesis yang Diuji

- $H_0$  (Hipotesis nol): tidak ada pengaruh perlakuan — semua rata-rata respons sama.

- $H_1$  (Hipotesis alternatif): ada pengaruh perlakuan — minimal satu rata-rata respons berbeda dari yang lain.

### 3. Kriteria Keputusan

- Jika  $F_{hitung} \leq F_{tabel}$ , maka  $H_0$  gagal ditolak, yang berarti tidak ada perbedaan perlakuan yang bermakna secara statistik.
- Jika  $F_{hitung} > F_{tabel}$ , maka  $H_0$  ditolak, dan dapat disimpulkan bahwa setidaknya satu perlakuan berbeda secara signifikan dari yang lain

### 2. Starting pooling Up

Strategi “pooling up” pada ANOVA dimulai dengan menyatukan (pooling) kolom-kolom efek yang memiliki derajat kebebasan paling kecil atau efek yang tidak menunjukkan signifikansi. Langkah ini bertujuan meningkatkan estimasi varians galat agar lebih andal. Setelah digabung, dilakukan uji rasio F antara hasil pooling itu dan efek pada kolom berikutnya dengan pelebaran derajat kebebasan. Jika masih tidak ditemukan nilai F yang signifikan, langkah pooling lanjutan dilakukan hingga diperoleh kolom dengan rasio F signifikan. Dengan demikian, strategi ini memprioritaskan kolom dengan varian galat terbesar (atau efek terkecil) untuk digabung dulu agar hasil estimasinya lebih akurat

### 3. Rasio S/N

Rasio signal-to-noise (S/N) dalam metode *Taguchi* berfungsi untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang secara nyata memberi kontribusi dalam menurunkan variabilitas (variasi) dari suatu respon eksperimen. Dengan menganalisis nilai S/N pada setiap faktor, kita dapat menyimpulkan pada level faktor mana pengaruhnya paling signifikan terhadap hasil akhir eksperimen. Salah satu versi yang umum digunakan adalah tipe “semakin kecil semakin baik” (smaller-the-better), yang menunjukkan bahwa nilai S/N yang lebih rendah menandakan proses yang lebih konsisten dan mendekati sasaran.

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^r Y_i^2 \right]$$

## 2.9 Interpretasi Hasil Eksperimen

### 1. Persentase Kontribusi

Persentase sumbangan menunjukkan tiap elemen serta interaksi antara elemen yang berdampak signifikan pada keseluruhan yang dapat diukur. Persentase sumbangan adalah jumlah kuadrat dari elemen-elemen tertentu dibandingkan dengan total kuadrat (SSt). Penghitungan ini menghasilkan suatu indikasi kekuatan. Rumus :

$$MSA = \overline{MSA} + Mse$$

$$MS_A = \frac{SSA}{VA}$$

$$\text{Maka : } SSa = SSA - (VA) \cdot (MSe)$$

Persentase kontribusinya adalah :

$$P = \frac{SSA}{SST} \times 100\%$$

Dimana :

$MSA$  = Mean of Square A

$MSA$  = Mean of Square faktor A  $MSe$  = Mean of Square error

$SA$  = Sum of Square A

$SA$  = Sum of Square faktor A

$SST$  = Sum of Square faktor total  $VA = \text{dof A}$

### 2. Perkiraan Hasil Dan Selang Kepercayaan

Dalam Situasi Optimal Untuk meramalkan rentang rata-rata dari faktor yang dipengaruhi oleh perlakuan tertentu. Diperkirakan hanya ada faktor yang berpengaruh secara signifikan.

Perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$u_{A_2B_2} = M + (A_2 - M) + (B_2 - M) = A_2 + B_2 - M$$

$\mu_{Prediksi} \pm ( \text{Faktor yang berpengaruh secara nyata} - M)$

$$CI \sqrt{F(1dof e: a) \times MSe \times \left(\frac{1}{neff}\right)}$$

$$\mu_{Prediksi} \sqrt{F(1dof e: a) \times MSe \times \left(\frac{1}{neff}\right)}$$

Dimana :

M = Rata-rata total dari semua percobaan  $F(1 \text{ dof } e:a) = \text{Rasio } F$

MSe = Rata-rata dari kuadrat kesalahan

Neff = Total replika percobaan yang efektif

Untuk melaksanakan percobaan verifikasi dalam memperkirakan kepercayaan menjadi :

$$CI = \pm \sqrt{F(1dof e: a) \times MSe \times \left[\left(\frac{1}{neff}\right) + \left(\frac{1}{r}\right)\right]}$$

r = Jumlah percobaan konfirmasi

### 3. Pemilihan Kondisi Kombinasi Optimal

Pemilihan dapat dilakukan melalui berbagai metode untuk mencapai hasil optimal, sehingga diperoleh tingkat faktor yang memberikan rata-rata tinggi pada aspek kualitas.

### 4. Percobaan Konfirmasi

Percobaan ini bertujuan untuk mengevaluasi hasil yang diperoleh dari percobaan sebelumnya, di mana faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas diatur pada tingkat optimal mesin, dengan harapan menghasilkan performa yang memuaskan.

### 5. Fungsi Kerugian (*Loss Funcion*)

Fungsi ini umumnya dipakai untuk mengukur seberapa baik performa kualitas dari percobaan dalam mencapai tujuan yang ditetapkan. Semakin kecil fluktuasi yang terlihat, semakin baik pula kualitasnya, dan sebaliknya.