BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

Dalam melakukan penelitian diperlukan dasar-dasar teori dan argumen yang berhubungan dengan konsep-konsep permasalahan penelitian dan akan dipakai dalam menganalisis. Tinjauan pustaka berisikan pustaka-pustaka atau teori-teori yang digunakan untuk membantu pengerjaan penelitian sebagai pondasi atau acuan dasar penelitian. Tinjauan pustaka bersumber dari buku, jurnal ilmiah, internet, penelitian dan sumber-sumber yang lainnya.

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu merupakan penelitian serupa yang pernah dilaksananakan sebelumnya yang digunakan sebagai dasaran dalam melaksanakan penelitian ini. Berikut merupakan *resume* dari penelitian terdahulu:

1. Setiawan, Hayati dan Yohanes (2012) dengan penelitian yang berjudul " *Setting* Parameter Proses Pemasangan *Lid Cup* Air Minum Dalam Kemasan (AMDK) Dengan Metode Taguchi". Permasalahan pada penelitian ini adalah banyaknya cacat produk pada AMDK *cup* 240 ml yang berupa cacat pemasangan *lid cup* AMDK 240 ml. Penyelesaian permasalah tersebut menggunakan desai eksperimen taguchi. Penggunaan metode taguchi didasarkan untuk meminimalkan biaya dan waktu eksperimen. Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk menentukan level faktor yang signifikan terhadap jumlah produk cacat *lid cup* AMDK 240 ml dan mendapatkan kombinasi level faktor *setting* parameter mesin *lid cup* 240 ml yang dapat meminimalkan jumlah produk cacat. Dari hasil eksperimen dan analisis didapatkan bahwa kombinasi level faktor setting parameter usulan adalah faktor suhu *heather* dengan level 180^0C (A1), ketebalan matras alumunium dengan level 2,5 cm (B1), dan kecepatan mesin dengan level 84 *cup* per menit (C2). *Setting* parameter usulan ini dapat menurunkan fungsi kerugian sebesar 52,16% untuk setiap satu dus produk AMDK *cup* 240 ml.
2. Iswanto, Rambe dan Ginting (2013) dalam penelitian yang berjudul " Aplikasi Metode Taguchi *Analysis* dan *Failure Mode And Effect Analysis* (FMEA) Untuk Perbaikan Kualitas Produk Di PT. XYZ" Permasalah pada penelitian ini adalah Produk *lolly*

yang dihasilkan oleh perusahaan ini sering mengalami kecacatan dan tidak sesuai dengan standar yang telah ditetapkan, bahkan jumlah produk cacat melebihi toleransi yang diberikan oleh perusahaan. Metode yang digunakan adalah Metode Taguchi *Analysis* dan Metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk memberikan rekomendasi tindakan perbaikan yang tepat. Hasil analisa taguchi diolah dengan menggunakan S/N Ratio dan analisis varians. Hasil penelitian menunjukan faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap kualitas produk *lolly* adalah suhu pendingin produk pada level 1 dengan suhu 140^0C, kecepatan injeksi angin pada level 2 dengan kecepatan 25 m/s dan suhu injeksi bahan baku ke dalam cetakan pada level 1 dengan kecepatan 220 m/s. Hasil penerapan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) diperoleh faktor yang paling berpengaruh dan paling besar penyebab kegagalan proses produksi yaitu suhu pendingin produk yang terlalu tinggi dengan nilai RPN terbesar 192.

3. Sigalingging, Tama dan Riawati (2014) dalam penelitiannya yang berjudul " Penerapan *Lean Manufacture* Untuk Mereduksi *Waste* Pada Produksi Filter Rokok Dengan WAM Dan Metode Taguchi". Permasalahan yang terjadi di perusahaan ini adalah masih ditemukan beberapa *waste* pada proses produksi filter ACM502205. Untuk itu dilakukan identifikasi *waste* dengan menggunakan salah satu *tools* dalam pendekatan *lean manufacturing*, yaitu *waste assessment model* (WAM) yang bertujuan untuk mengidentifikasi *waste* yang paling dominan dan membutuhkan perbaikan dengan segera pada produksi filter ACM502205. Dari hasil identifikasi *waste* menggunakan *waste assessment* model, diketahui *waste* yang paling dominan dan membutuhkan perbaikan dengan segera adalah *defect waste*. Selanjutnya dilakukan identifikasi akar penyebab permasalahan yang ada adalah *hardness filter* yang rendah. Usulan rekomendasi perbaikan yang diberikan terkait adanya *defect waste* pada proses pembuatan filter ACM502205 di PT. Essentra adalah dengan menerapkan *setting* level optimal yang didapatkan dengan perhitungan menggunakan metode Taguchi, yaitu: faktor A level 2 (filter di oven selama 4 menit dengan suhu 110°C), faktor B level 2 (set circum 16,85 mm), faktor C level 2 (set *roundness* 95%), faktor D level 2 (set PZ 9%), faktor E level 2 (set PD 445 mmWg), faktor F level 1 (set *weight* 0,416 gr), dan faktor G level 1 (set *menthol* 119,8 mg). *Setting* level optimal ini didapat dari perhitungan dengan menggunakan metode Taguchi dan telah terbukti dapat meningkatkan *hardness* dan mengurangi *defect* filter.

Penelitian-penelitian terdahulu digunakan sebagai dasaran penelitian ini dikarenakan memiliki kesamaan metode yaitu menggunakan metode *Failure Modes and Effect Analysis* (FMEA) dan metode. Dimana metode *Failure Modes and Effect Analysis* (FMEA) mampu menganalisis akibat, sebab dan kontrol pada penyebab cacat *lid* yang ada. Sehingga nantinya dapat mengurangi jumlah cacat *lid* dengan menentukan level faktor yang sesuai dengan menggunakan metode Taguchi. Penelitian ini memiliki objek yang sama dengan penelitian yang dilakukan Setiawan, hayati dan Yohanes, yaitu cacat *lid* pada air minum dalam kemasan *cup.* Selain itu, penelitian terdahulu tersebut berkaitan erat dengan peningkatan kualitas produk dengan cara mengurangi jumlah cacat yang terjadi. Adapun perbandingan penelitian terdahulu yang digunakan dengan penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

Karakteristik penelitian	**Penelitian**			
	Setiawan, hayati dan Yohanes (2012)	**Iswanto, Rambe, dan Ginting (2013)**	**Sigalingging, Tama dan Riawati (2014)**	**Penelitian ini**
Judul penelitian	*Setting* Parameter Proses Pemasangan *Lid Cup* Air Minum Dalam Kemasan (AMDK) Dengan Metode Taguchi	Aplikasi Metode Taguchi *Analysis* Dan *Failure Mode And Effect Analysis* (FMEA) Untuk Perbaikan Kualitas Produk Di PT. XYZ	Penerapan *Lean Manufacturing* Untuk Mereduksi *Waste* Pada Produksi Filter Rokok Dengan *WAM* Dan Metode Taguchi	Desain Eksperimen Taguchi Pada Proses *Packaging* Air Minum Dalam Kemasan (AMDK) Untuk Meningkatkan Kualitas Produk
Objek penelitian	Air Minum Dalam Kemasan (*Cup*)	*Lolly* dan *Cup* Plastik	Filter Rokok	Air Minum Dalam Kemasan (*Cup*)
Parameter yang diamati	Persentase cacat	Persentase Cacat	*Waste* (*defect*)	Jumlah Cacat Pengemasan
Metode yang digunakan	Metode Taguchi	Metode Taguchi *Analysis* dan *Failure Mode And Effect Analysis*	*Lean Manufacture* Dengan Pendekatan Metode *Waste Assessment Model* (WAM) dan Metode Taguchi	Penerapan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dan Metode Taguchi

2.2 Pengertian Kualitas

Kinerja suatu perusahaan dapat dilihat kualitas barang dan jasa yang dihasilkan. Produk dan jasa yang berkualitas adalah produk dan jasa yang sesuai atau melebihi apa yang konsumen inginkan. Berikut beberapa definisi Kualitas menurut para ahli, yaitu :

1. Taguchi (1949) dikutip dari Soejanto (2009:3): "kualitas adalah kerugian yang diterima oleh masyarakat sejak produk tersebut dikirimkan. Kerugian tersebut akan menjadi biaya ketiakpuasan konsumen yang merugikan reputasi perusahaan".
2. Juran (1962) dikutip dari Ariani (2004:4): "Kualitas adalah kesesuaian dengan tujuan atau manfaatnya."
3. Crosby (1979) dikutip dari Ariani (2004:4): "Kualitas adalah kesesuaian dengan kebutuhan yang meliputi *availability, delivery, reliability, maintainability, dan cost effectiveness.*"
4. Deming (1982) dikutip dari Ariani (2004:4): "Kualitas harus bertujuan memenuhi kebutuhan pelanggan sekarang dan di masa mendatang."
5. Feigenbaum (1991) dikutip dari Ariani (2004:4): "Kualitas merupakan keseluruhan karakteristik produk dan jasa yang meliputi *marketing, engineering, manufacture,* dan *maintenance,* dalam mana produk dan jasa tersebut dalam pemakai-annya akan sesuai dengan kebutuhan dan harapan pelanggan."
6. Scherkenbach (1991) dikutip dari Ariani (2004:4): "Kualitas ditentukan oleh pelanggan; pelanggan menginginkan produk dan jasa yang sesuai dengan kebutuhan dan harapannya pada suatu tingkat harga tertentu yang menunjukkan nilai produk tersebut."
7. Elliot (1993) dikutip dari Ariani (2004:4): "Kualitas adalah sesuatu yang berbeda untuk orang yang berbeda dan tergantung pada waktu dan tempat, atau dikatakan sesuai dengan tujuan."
8. Goetch dan Davis (1995) dikutip dari Ariani (2004:4): "Kualitas adalah suatu kondisi dinamis yang berkaitan dengan produk, pelayanan, orang, proses, dan lingkungan yang memenuhi atau melebihi apa yang diharapkan."
9. Perbendaharaan istilah ISO 8402 dan dari Standar Nasional Indonesia (SNI 19-8402-1991), Kualitas adalah keseluruhan ciri dan karakteristik produk atau jasa yang kemampuannya dapat memuaskan kebutuhan, baik yang dinyatakan secara tegas maupun tersamar. Istilah kebutuhan diartikan sebagai spesifikasi yang tercantum dalam kontrak maupun kriteria-kriteria yang harus didefinisikan terlebih dahulu.

Kualitas adalah faktor kunci yang membawa keberhasilan bisnis, pertumbuhan dan peningkatan posisi bersaing. Kualitas suatu produk diartikan sebagai derajat atau tingkatan dimana produk atau jasa tersebut mampu memuaskan keinginan dari konsumen (*fitness for use*). Kualitas menjadi faktor dasar keputusan konsumen untuk mendapatkan suatu produk, karena konsumen akan memutuskan untuk membeli suatu produk dari perusahaan tertentu yang lebih berkualitas.

2.3 Diagram Tulang Ikan (*Fishbone diagram*)

Diagram tulang ikan atau *fishbone* adalah salah satu metode/*tool* di dalam meningkatkan kualitas. Sering juga diagram ini disebut dengan diagram Sebab-Akibat atau *cause effect diagram*. Penemunya adalah seorang ilmuwan jepang pada tahun 60-an. Bernama Dr. Kaoru Ishikawa, ilmuwan kelahiran 1915 di Tokyo Jepang yang juga alumni teknik kimia Universitas Tokyo. Sehingga sering juga disebut dengan diagram ishikawa. Metode tersebut awalnya lebih banyak digunakan untuk manajemen kualitas.

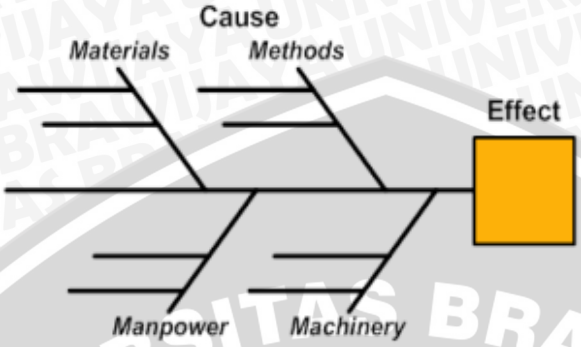
Dikatakan *Diagram Fishbone* (Tulang Ikan) karena memang berbentuk mirip dengan tulang ikan yang moncong kepalanya menghadap ke kanan. Diagram ini akan menunjukkan sebuah dampak atau akibat dari sebuah permasalahan, dengan berbagai penyebabnya. Efek atau akibat dituliskan sebagai moncong kepala. Sedangkan tulang ikan diisi oleh sebab-sebab sesuai dengan pendekatan permasalahannya. Dikatakan *diagram Cause and Effect (*Sebab dan Akibat) karena diagram tersebut menunjukkan hubungan antara sebab dan akibat. Berkaitan dengan pengendalian proses statistikal, diagram sebab-akibat dipergunakan untuk untuk menunjukkan faktor-faktor penyebab (sebab) dan karakteristik kualitas (akibat) yang disebabkan oleh faktor-faktor penyebab itu.

Fungsi dasar *Fishbone Diagram* (Tulang Ikan) adalah untuk mengidentifikasi dan mengorganisasi penyebab-penyebab yang mungkin timbul dari suatu efek spesifik dan kemudian memisahkan akar penyebabnya (Ariani, 2004:24). Sering dijumpai orang mengatakan “penyebab yang mungkin” dan dalam kebanyakan kasus harus menguji apakah penyebab untuk hipotesa adalah nyata, dan apakah memperbesar atau menguranginya akan memberikan hasil yang diinginkan. Dengan adanya diagram *Fishbone* ini sebenarnya memberi banyak sekali keuntungan bagi dunia bisnis. Pada dasarnya *Fishbone Diagram* dapat dipergunakan untuk kebutuhan-kebutuhan berikut:

1. Membantu mengidentifikasi akar penyebab dari suatu masalah
2. Membantu membangkitkan ide-ide untuk solusi suatu masalah
3. Membantu dalam penyelidikan atau pencarian fakta lebih lanjut

4. Mengidentifikasi tindakan (bagaimana) untuk menciptakan hasil yang diinginkan
5. Membahas issue secara lengkap dan rapi
6. Menghasilkan pemikiran baru

Berikut merupakan contoh diagram sebab-akibat yang ditampilkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Diagram Sebab-Akibat

2.4 *Failure Mode And Effect Analysis* (FMEA)

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) pada awalnya dibuat oleh *Aerospace Industry* pada tahun 1960-an. Pada tahun 1980-an mulai digunakan oleh ford, *Automotive Industry Action Group* (AIAG), dan *America Society For Quality Control* (ASQC) menetapkannya sebagai standar pada tahun 1993. Saat ini FMEA merupakan salah satu *core tools* dalam ISO/TS 16949:2002.

FMEA merupakan pendekatan yang sistematis yang bertujuan untuk mengetahui dan mengevaluasi kegagalan potensial dari sebuah proses atau produk dan efek dari kegagalan tersebut, mengidentifikasi kegiatan yang dapat mengeliminasi atau mengurai peluang dari kegagalan potensial terjadi. FMEA digunakan untuk menentuan akar permasalahan resiko, memungkinkan pemilihan cara untuk mendeteksi terjadinya kegagalan tertentu dan atau untuk menentukan pencegahan dari dampak kegagalan tertentu (Iswanto, 2013:17). Pada FMEA terdapat tabel yang berfungsi untuk memberikan pembobotan pada nilai *severity*, *occurrene*, dan *detection* berdasarkan potensial efek kegagalan, penyebab kegagalan dan proses kontrol sehingga menghasilkan nilai *Risk Priority Number* (RPN).

2.4.1 *Severity*

Severity (S), adalah suatu perkiraan subjektif atau estimasi tentang seberapa seriusnya dampak akibat dari kegagalan. Dampak ini ditentukan berdasarkan tingkat cedera yang dialami personal, tingkat kerusakan peralatan, akibat pada produksi dan lama *downtime* yang terjadi. Tingkat efek ini dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Nilai *Severity*

Rating	Deskripsi	Kriteria
1	*None*	Tidak disadari oleh pelanggan dan tidak berpengaruh pada produk atau proses
2	*Very Minor*	Kegagalan kemungkinan dapat menyebabkan konsekuensi secara minor, namun kemungkinan hal tersebut untuk terjadi sangat kecil
3	*Minor*	Kegagalan merupakan gangguan kecil namun tidak menyebabkan penurunan peforma
4	*Very low*	Kegagalan dapat menimbulkan *minor performance loss*
5	*Low*	Kegagalan mempengaruhi performa produk/proses sehingga dapat menyebabkan adanya komplain
6	*Moderate*	Kegagalan dapat menyebabkan kerusakan parsial pada produk/proses
7	*High*	Kegagalan dapat menyebabkan ketidakpuasan konsumen secara signifikan
8	*Very High*	Kegagalan menyebabkan produk/proses tidak dapat dioperasikan atau diperbaiki
9	*Extremly High*	Kegagalan dapat menyebabkan pelanggaran peraturan pemerintah
10	*Dangerously High*	Kegagalan dapat menyebabkan cidera fisik bagi pengguna atau pekerja

Sumber: JP Russell & Associates (2010)

2.4.2 *Occurrene*

Occurrene adalah kemungkinan penyebab tersebut akan terjadi dan menghasilkan bentuk kegagalan selama masa penggunaan produk. Nilai *occurrene* dapat dilihat dari frekuensi terjadinya kegagalan. Nilai *occurene* dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Nilai *Occurrene*

Degree	Berdasarkan frekuensi kejadian	Rating
Romate	0,01 per 1000 item	1
Low	0,1 per 1000 item	2
	0,5 per 1000 item	3
Moderate	1 per 1000 item	4
	2 per 1000 item	5
	5 per 1000 item	6
High	10 per 1000 item	7
	20 per 1000 item	8
Very High	50 per 1000 item	9
	100 per 1000 item	10

Sumber: Gasperz (2011)

2.4.3 *Detection*

Detection merupakan pengukuran terhadap kemampuan pengendalian kegagalan yang terjadi. Nilai *detection* dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Nilai *Detection*

Detection	Kriteria	*Ranking*
Hampir tidak mungkin	Tidak ada alat pengontrol yang mampu mendeteksi	10
Sangat jarang	Alat pengontrol saat ini sangat sulit untuk mendeteksi bentuk dan penyebab kegagalan	9
Jarang	Alat pengontrol saat ini sulit untuk mendeteksi bentuk dan penyebab kegagalan	8
Sangat rendah	Kemampuan alat kontrol untuk mendeteksi bentuk dan penyebab sangat rendah	7
Rendah	Kemampuan alat kontrol untuk mendeteksi bentuk dan penyebab rendah	6
Sedang	Kemampuan alat kontrol untuk mendeteksi bentuk dan penyebab sedang	5
Lumayan tinggi	Kemampuan alat kontrol untuk mendeteksi bentuk dan penyebab sedang sampai tinggi	4
Tinggi	Kemampuan alat kontrol untuk mendeteksi bentuk dan penyebab tinggi	3
Sangat tinggi	Kemampuan alat kontrol untuk mendeteksi bentuk dan penyebab sangat tinggi	2
Hampir pasti	Kemampuan alat kontrol untuk mendeteksi bentuk dan penyebab hampir pasti	1

Sumber: Hansen (2011)

2.4.4 *Risk Priority Number* (RPN)

Risk Priority Number (RPN) merupakan nilai yang didapat dari pengkalian antara nilai *severity*, *occurrene* dan *detection*. Hasil dari RPN menunjukan tingkatan prioritas yang dianggap beresiko tinggi sebagai petunjuk kearah tindakan perbaikan.

$$RPN = S \times O \times D \quad (2\text{-}1)$$

dengan :

S = *Severity*

O = *Occurrene*

D = *Detection*

2.5 Metode Taguchi

2.5.1 Pengertian Metode Taguchi

Metode Taguchi dikembangkan oleh Dr. Genichi Taguchi pada tahun 1949 dalam upaya memperbaiki penerapan *Total Quality Control* di Jepang. Metode Taguchi merupakan suatu metodologi baru dalam bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses dalam waktu bersamaan menekan biaya dan sumber daya seminimal mungkin (Soejanto, 2009:16). Metode taguchi menjadikan produk atau proses bersifat *robust* terhadap faktor *noise*, karena metode ini disebut juga sebagai *robust design*.

Penggunaan metode Taguchi membantu perusahaan dalam meningkatkan kualitas suatu produk karena perusahaan akan dapat memperoleh informasi statistik tentang kualitas suatu produk dengan menjalankan sejumlah eksperimen yang bertujuan untuk membuat desain proses dan produk dalam membuat suatu produk serta mengembangkan teknologi yang fleksibel untuk mendesain dan menghasilkan produk yang berkualitas tinggi (*off line quality control*). Penerapan kegiatan pengendalian kualitas dengan menggunakan *off line quality control* pada perusahaan manufaktur dilakukan untuk membuat suatu perencanaan produk dan proses agar dapat mengurangi timbulnya variansi pada produk akibat adanya gangguan dari faktor-faktor yang tidak terkendali dan untuk membuat cara-cara meminimalkan penyimpangan karakteristik kualitas dari nilai targetnya. Hal tersebut dapat dilakukan dengan melalui identifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas dengan cara mengubah *level-level* dari faktor-faktor yang sesuai sehingga penyimpangannya dapat dibuat sekecil mungkin dan karakteristik kualitas dapat mencapai target.

Daur hidup produk mempunyai 4 tahap yaitu *product design, production process design, manufacturing* dan *customer usage*. Kegiatan pengendalian kualitas dilakukan pada tiap tahapnya. Aktifitas pengendalian kualitas dalam proses dan perancangan produk sebelum produk dibuat disebut *off-line quality control*. *Off-line quality control* adalah suatu metode yang berprinsip pada peningkatan mutu dengan meminimalkan pengaruh dari penyebab-penyebab perubahan tanpa menghilangkan penyebab-penyebab itu sendiri. Tiga tahap penting dalam perancangan proses *off-line quality control* (Belavendram, 1995:47), yaitu:

1. *System Design*

   Tahap ini merupakan pembentukan konsep dan metode baru untuk perbaikan produk atau pengembangan produk baru bagi konsumen. Tahap ini merupakan tahap perencanaan desain produk yang diinginkan oleh konsumen.

2. *Parameter Design*

   Tahap ini mencakup penentuan nilai parameter optimal untuk meminimalisasi pengaruh faktor tak terkendali yang merupakan penyebab timbulnya variansi. Tahap ini bertujuan untuk mengurangi biaya dan meningkatkan kualitas produk.

3. *Tolerance Design*

   Tahap ini bertujuan untuk menambah kualitas produk dengan mempersempit nilai toleransi dari parameter proses atau produk untuk mengurangi variansi. Pada *tolerance desaign*, faktor-faktor tidak terkendali akan dikendalikan dengan penyempitan nilai toleransi, sehingga ketika toleransi dipersempit, variansi dapat dikurangi untuk meningkatkan kualitas. Perencanaan toleransi ini dilakukan dengan menggunakan matriks ortogonal, fungsi kerugian, dan analisis variansi untuk menyeimbangkan biaya dan mutu dari suatu produk (Soejanto, 2009:7).

Karakteristik kualitas dari produk tidak akan mencapai nilai target karena faktor *noise* tidak dapat dihilangkan. Prinsip kekokohan berusaha untuk mengurangi kerugian dengan melakukan pengendalian faktor terhadap faktor *noise*, sehingga spesifikasi produk dapat diidentifikasi dan membuat karakteristik kualitas tidak sensitif terhadap *noise*.

2.5.2 Orthogonal Array

Matrik eksperimen adalah matrik yang memuat sekelompok eksperimen dimana faktor dan *level* dapat ditukar sesama matrik. Melakukan eksperimen dengan menggunakan bentuk matrik khusus (*orthogonal array*) bertujuan agar dapat dilakukan pengujian terhadap pengaruh beberapa parameter secara efisien dan merupakan teknik penting dalam *robust design*.

Menurut Soejanto (2009:50), matriks ortogonal merupakan suatu metriks yang elemennya disusun menurut baris dan kolom. Berikut merupakan prosedur dalam penentuan matriks ortogonal yang sesuai dengan eksperimen (Soejanto, 2009:51):

1. Definisikan Jumlah Faktor dan Levelnya.

   Pada tahap ini tim (bagian penelitian dan pengembang) melakukan pengamatan terhadap parameter yang terdapat dalam suatu proses produksi atau suatu mesin proses

produksi. Dari parameter-parameter yang diketahui, dilakukan penentuan level pengamatan utuk setiap faktor sehingga memudahkan dalam melakukan pengamatan.

2. Tentukan Derajad Kebebasan.

Derajad kebebasan merupakan sebuah konsep yang mendiskripsikan seberapa besar eksperimen yang mesti dilakukan dan seberapa banyak informasi yang didapatkan dari eksperime tersebut. Derajad kebebasan dalam *orthogonal array* (V_{OA}), dalam menentukan jumlah eksperimen yang akan diamati adalah sebagai berikut:

$$V_{OA} = Bayaknya\ eksperimen - 1 \quad (2\text{-}2)$$

(Soejanto, 2009:52)

Derajat kebebasan faktor dan level, (V_{fl}) untuk menghitung jumlah level yang harus diuji atau diadakan pengamatan pada sebuah faktor, bentuk persamaannya adalah sebagai berikut:

$$V_{fl} = Banyaknya\ level - 1 \quad (2\text{-}3)$$

(Soejanto, 2009:52)

Dan persamaan derajad kebebasan untuk mengetahui derajad kebebasan matriks eksperimen atau total derajad kebebasan adalah:

$$Total\ V_{lf} = (Banyaknya\ faktor) \times (V_{fl}) \quad (2\text{-}4)$$

(Soejanto, 2009:52)

Derajad kebebasan merupakan suatu konsep yang sangat tepat dalam menentukan banyaknya faktor dan levelnya dan sangat membantu dalam menentukan desain *ortogonal*.

3. Memilih Matriks *Ortogonal.*

Dalam memilih matrik ortogonal yang sesuai, diperlukan suatu persamaan dari matriks ortogonal yang mempresentasikan jumlah faktor, jumlah level dan jumlah pengamatanyang akan dilakukan (Soejanto, 2009: 53) bentuk umum dari matriks ortogonal adalah:

$$La\ (b^c) \quad (2\text{-}5)$$

(Soejanto, 2009:53)

dengan :

L = Rancangan bujursangkar latin

a = banyaknya baris/eksperimen

b = banyaknya level

c = banyaknya kolom/faktor

Standar *orthogonal array* dari Taguchi dijelaskan pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Bentuk Standar *Orthogonal Array* dari Taguchi

2 Level	3 Level	4 Level	5 Level	Level Gabungan
$L_4(2^3)$	$L_9(3^4)$	$L_{16}(4^5)$	$L_{23}(5^6)$	$L_{18}(2^1x3^7)$
$L_8(2^7)$	$L_{27}(3^{13})$	$L_{64}(4^{21})$	-	$L_{32}(2^1x4^9)$
$L_{12}(2^{11})$	$L_{81}(3^{40})$	-	-	$L_{36}(2^{11}x3^{12})$
$L_{16}(2^{15})$	-	-	-	$L_{36}(2^3x3^{13})$
$L_{32}(2^{31})$	-	-	-	$L_{54}(2^1x3^{25})$

Sumber: Belavendram (1995: 90)

2.5.3 Klasifikasi Karakteristik Kualitas

Karakteristik kualitas (*variable respons*) adalah objek yang menarik dari produk atau proses, karakter kualitas dapat dikelompokan menurut nilai targetnya (Belavendram, 1995:58). Berikut merupakan pengelompokannya:

1. *Nominal the best*, adalah karakteristik kualitas terukur dengan nilai target yang ditentukan secara spesifik.
2. *Smaller the better*, adalah karakteristik kualitas terukur dengan nilai non-negatif dan targetnya merupakan nilai sekecil-kecilnya.
3. *Larger the better*, adalah karakteristik terukur dengan nilai non-negatif yang memiliki kondisi ideal dan nilai tagetnya merupakan nilai sebesar-besarnya.
4. *Signed-target*, adalah karakteristik kualitas terukur dengan nilai target sama dengan nol (*zero*).
5. *Classified attribute*, adalah karakteristik kualitas yang bukan merupakan variabel kontinu, tetapi dapat diklasifikasikan menjadi skala diskrit.

Klasifikasi karakteristik beserta contohnya dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Klasifikasi Karakter Kualitas

Karakter Kualitas	Target	Contoh
Nominal the best	Terpusat pada nilai tertentu	Voltase TV
Smaller the better	Sekecil mungkin	Keausan alat, kekasaran permukaan
Large the better	Sebesar mungkin	Bahan bakar ekonomis, kekuatan las
Signed target	Nol	*Residual carrant*
Classified attribute	-	Rendah, menengah, tinggi, baik, jelek

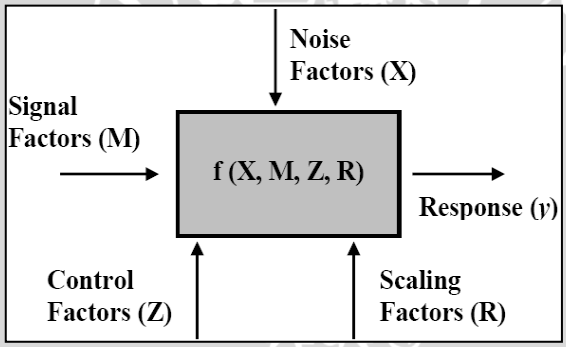
Sumber: Beleverdam (1995:58)

2.5.4 Klasifikasi Parameter (Faktor)

Banyak faktor yang dapat mempengaruhi karakteristik kualitas dari suatu produk. Berikut merupakan beberapa faktor yang dapat mempengaruhi karakteristik kualitas (Belavendram, 1995:60):

1. Faktor *noise*, merupakan suatu parameter yang menyebabkan penyimpangan karakteristik kualitas dari nilai targetnya. Faktor *noise* dapat mempengaruhi karakteristik kualitas secara tidak terkendali dan sulit diprediksi. Faktor *noise* biasanya sulit dan tidak menjadi sasaran pengendalian. Tetapi untuk tujuan eksperimen, faktor *noise* perlu dikendalikan dalam skala kecil.
2. Faktor *control* (terkendali), merupakan parameter yang nilai-nilainya ditentukan oleh ahli teknik. Pada akhir eksperimen, level yang sesuai dalam faktor terkendali akan dipilih. Salah satu aspek dari perancangan *robush* adalah mencari kondisi level optimal untuk faktor terkendali sehingga karakteristik kualitas tidak sensitif terhadap *noise*.
3. Faktor *signal*, merupakan faktor-faktor yang mengubah nilai-nilai karakteristik kualitas yang akan diukur. Jika faktor *signal* dapat mengambil banyak nilai, maka karakteristik mempunyai sifat dinamik. Faktor *signal* tidak ditentukan oleh ahli teknik, tetapi oleh konsumen berdasarkan hasil yang diinginkan.
4. Faktor *scaling*, faktor yang digunakan untuk mengubah rata-rata level karakteristik kualitas untuk mencapai hubungan fungsional yang diperlukan antara faktor *signal* dengan karakteristik kualitas. Faktor skala disebut juga faktor penyesuaian.

Faktor yang dapat mempengaruhi karakteristik kualitas dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Faktor yang Mempengaruhi Karakteristik Kualitas
Sumber: Belavendram (1995:60)

2.5.5 *Signal To Noise Ratio* (S/N *Ratio*)

Rasio S/N (*signal to noise ratio*) digunakan untuk memilih faktor yang memiliki kontribusi pada pengurangan variansi suatu respon (Belavendram, 1995:144). Rasio S/N merupakan rancangan untuk transformasi pengulangan data ke suatu nilai yang merupakan ukuran variasi yang timbul. Penggunaan Rasio S/N untuk mengetahui level faktor mana yang berpengaruh pada hasil esperimen. Rasio S/N mempunyai keuntungan dibandingkan dengan simpangan kuadrat rata-rata, jika nilai targetnya berubah, maka kondisi optimal yang diperoleh dengan memaksimalkan rasio S/N akan tetap *valid* (Soejanto,2009:144).

Pada penelitian ini karakteristik dari *signal to noise ratio* yang digunakan yaitu *fraction defection*.

SNR-*fraction defection* digunakan ketika karakteristik kualitas adalah proporsi, seperti presentase cacat. Jika Presentase produk cacat adalah p maka $1/(1-p)$ unit produk harus diproduksi dengan baik. Jika untuk tiap produk yang baik, terdapat fungsi kerugian kualitas yang ekuivalen dengan biaya proses:

$$Loss = k \frac{p}{(1-p)} \quad (2\text{-}6)$$

(Belavendram, 1995:152)

dengan :

k = Biaya produksi untuk 1 unit

p = Rata-rata persentase cacat produk

Tujuan dan fungsi kerugian kualitas (*qualiy loss function*) adalah untuk mengevaluasi kerugian kualitas secara kuantitatif yang disebabkan oleh adanya variasi. Nilai SNR untuk *fraction defective* yaitu:

$$n = -10log10\left(\frac{1}{p} - 1\right) \quad (2\text{-}7)$$

(Belavendram, 1995:152)

Nilai dari SNR untuk *fraction defective* sering disebut transformasi omega (Ω). Hubungan antara proporsi (ρ) dengan SNR (n) menjelaskan bahwa *range* dengan nilai ρ yang mungkin antara 0 dan 1, tetapi nilai *range* dari n adalah -∞ sampai +∞. Hal ini dikarenakan sifat aditif dari pengaruh faktor lebih baik untuk n daripada ρ.

2.5.6 *Analysis Of Variance* (ANOVA) Data Atribut

Analisis variansi merupakan suatu metode pengambilan keputusan berdasarkan informasi statistik untuk mengetahui perbedaan hasil dari suatu perlakuan (Soejanto, 2009:164). Analisis variansi membagi variansi menjadi sumber-sumber variansi dengan mempertimbangkan derajat keberbasan sumber-sumber variansi tersebut dalam eksperimen. Sehingga tujuan perhitungan analisis variansi pada metode perencanaan taguchi adalah untuk mencari faktor-faktor yang mempengaruhi performansi nilai respon. Jenis data atribut presentase cacat dapat dianalisis dengan menggunakan *Analysis of Variance for Attribute Data*. Berikut merupakan perhitungan analisis variansi untuk data atribut dengan metode taguchi (Belavendram, 1995:294):

1. Membuat tabel data atribut

Tabel 2.7 Contoh Tabel Data Atribut

Eksperimen	A	B	. . .	Tidak Cacat	Cacat	Total
1						
2						
K						

2. Menghitung Frekuensi Kumulatif

   Tidak cacat = 1, cacat = 2

3. Menghitung Total Frekuensi Kumulatif Pada Setiap Kelas

4. Menghitung *Fraction Defective* Pada Setiap Kelas

$$p_I = \frac{f_I}{f_I + f_{II}} = \frac{f_I}{f_{(II)}} \quad (2\text{-}8)$$

$$p_{III} = \frac{f_{II}}{f_I + f_{II}} = \frac{f_{II}}{f_{(II)}} \quad (2\text{-}9)$$

5. Menghitung *Weight* Setiap Kelas

$$W_I = \frac{{f_{II}}^2}{f_1 \times (f_{II} - f_I)} \quad (2\text{-}10)$$

6. Menghitung *Sum of Squares*

$$S_T = \left(f_I - \frac{{f_I}^2}{f_{II}}\right) \quad (2\text{-}11)$$

   Atau

$$S_T = (Total\ number\ of\ measurement\ ) \times (Number\ of\ Class - 1) \quad (2\text{-}12)$$

7. Menghitung Derajad Kebebasan

$$v_T = (Total\ number\ of\ measurement - 1\ ) \times (Number\ of\ Class - 1) \quad (2\text{-}13)$$

8. Menghitung *Sum of Squares Due To The Mean*

$$S_m = \frac{{f_I}^2}{f_{II}} w_I \quad (2\text{-}14)$$

9. Menghitung *Sum of Squares Due To The Factor*

   Membuat tabel respon sebagai berikut:

Tabel 2.8 Contoh Tabel Respon

Class		A	B	C	N
(I)	Level 1				
	Level 2				
	Level k				

$$SA = Sum\ of\ squares\ due\ to\ factor\ A$$

$$SA = \left(\frac{{f_{IAI}}^2}{n_{IAI}} + \frac{{f_{IA2}}^2}{n_{IA2}} + \frac{{f_{IA3}}^2}{n_{IA3}}\right) W_I + \left(\frac{{f_{IIAI}}^2}{n_{IIAI}} + \frac{{f_{IIA2}}^2}{n_{IIA2}} + \frac{{f_{IIA3}}^2}{n_{IIA3}}\right) W_I \quad (2\text{-}15)$$

10. Menghitung *Degrees Of Freedom to The Factor*

$$v_A = (Number\ of\ Class - 1) \times (Number\ of\ levels - 1) \quad (2\text{-}16)$$

11. Menghitung *The Error Sum Of Squares*

$$S_e = S_T - (S_A + S_B + \ldots + S_n) \quad (2\text{-}17)$$

$$V_e = S_T - (v_A + v_B + \ldots + v_n) \quad (2\text{-}18)$$

12. Menghitung Tabel *Analysis of Variance*

2.5.7 Prediksi Kondisi Optimum

Untuk menguji kebenaran pendukung terhadap level faktor yang berpengaruh, maka dilakukan uji analisis variansi data atribut untuk memprediksi proses nilai rata-ratanya menggunakan *omega transformation* (Ω) (Belavendram, 1995:174). Rata-rata persentase cacat optimal (terkecil) diperoleh dari prediksi persentase cacat yang melibatkan faktor yang mempuyai pengaruh kuat.

$$\Omega_{predicted} = \overline{\Omega} + (\Omega_{x1} - \overline{\Omega_1}) + (\Omega_{y1} - \overline{\Omega_1}) + (\Omega_{z1} - \overline{\Omega_1}) \quad (2\text{-}19)$$

(Belavendram, 1995:176)

Kemudian nilai transformasi omega ditransformasikan kembali menjadi presentase cacat. Prediksi kondisi optimum:

$$\mu = \frac{1}{1+10^{\frac{\Omega}{-10}}} \quad (2\text{-}20)$$

(Belavendram, 1995:176)

2.5.8 Interval Kepercayaan

Interval kepercayaan merupan nilai maksimum dan minimum dimana diharapkan nilai rata-rata sebenarnya akan tercakup dengan beberapa presentase kepercayaan (Soejanto, 2009:199). Berikut ini interval kepercayaan untuk data atribut dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$CL1 = \sqrt{F_{\alpha,v1,v2} \times V_e \times \mu \times \frac{1}{n}} \quad (2\text{-}21)$$

$$Neff = \frac{Total\ number\ of\ degrees\ of\ freedom}{sum\ of\ degrees\ of\ freedom\ used\ in\ estimate\ of\ mean} \quad (2\text{-}22)$$

(Belavendram, 1995:275)

dimana:

$F_{\propto,v1,v2}$ = Tabel F *rasio*

α = Level kepercayaan

$v1$ = Derajat bebas untuk rata-rata dan nilainya selalu 1 interval kepercayaan

$v2$ = Derajat bebas untuk *pooled error variance*

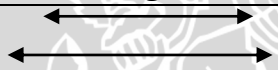
V_e = Variansi kesalahan gabungan (*pooled error variance*)

n = Jumlah pengamatan

2.5.9 Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi merupakan eksperimen yang menggunakan kombinasi tertentu dari faktor-faktor dan level-level hasil evaluasi sebelumnya. Tujuan eksperimen konfirmasi adalah untuk melakukan validasi terhadap kesimpulan yang diperoleh selama tahap analisa (Seojanto, 2009:196). Eksperimen konfirmasi juga bertujuan melakukan pengujian kombinasi level faktor dan level lain. Jika hasil eksperimen konfirmasi membuktikan performansi yang diramalkan, maka kondisi optimum dapat diterapkan dalam proses. Jika sebaliknya, maka desain eksperimen seharusnya dievaluasi lagi dan eksperimen tambahan yang diperlukan. Keputusan kondisi optimal dapat diterima atau tidak yaitu dengan membandingkan rata-rata nilai estimasi dan rata-rata hasil eksperimen konfirmasi dengan masing-masing level kepercayaan. Penjelasan lebih lanjut diuraikan pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9 Level Kepercayaan Eksperimen Konfirmasi

Kondisi	Perbandingan	Keterangan	Keputusan
A		Optimal Konfirmasi	Diterima
B		Optimal Konfirmasi	Diterima
C		Optimal Konfirmasi	Ditolak

Sumber: Belavendram (1995:280)

Halaman ini sengaja dikosongkan