

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kualitas

Kualitas adalah gabungan dari semua sifat yang dimiliki produk yang mencerminkan kapasitasnya dalam memenuhi persyaratan yang telah ditentukan. Kualitas dari sebuah produk adalah ciri-ciri yang memungkinkan produk itu untuk memenuhi kebutuhan tertentu yang sudah ditetapkan sebelumnya dan bersifat laten (Rahayu P., 2020). Sebuah produk dianggap memenuhi kualitas yang diharapkan ketika ia mematuhi standar yang telah ditetapkan. Standar ini mencakup segala sesuatu mulai dari bahan mentah, proses pembuatan, hingga hasil akhir. Ini sering kali diistilahkan sebagai *zero defect*. Kualitas juga didefinisikan sebagai standar spesifik yang memungkinkan evaluasi terhadap kapabilitas, efektivitas, kepercayaan, kemudahan dalam perawatan, serta aspek lain dari suatu produk. Terdapat berbagai dimensi kualitas yang perlu diperhatikan, termasuk efisiensi (*performance*), atribut (*features*), kepercayaan (*reliability*), kesesuaian (*conformance*), ketahanan (*durability*), kemudahan servis (*serviceability*), estetika (*aesthetic*), serta persepsi kualitas (*perceived quality*). (Alkatiri, Adianto dan Novirani, 2015).

Perusahaan untuk mencapai hasil produk yang diinginkan oleh pelanggan perlu menjalankan serangkaian proses yang memastikan tidak ada kekurangan pada nilai produk. Kualitas menjadi faktor penentu dalam keberhasilan bisnis. Kepercayaan konsumen lebih condong kepada testimoni pengguna lain daripada iklan media. Oleh karena itu, kualitas saat ini menjadi taktik utama untuk mendominasi pasar yang penuh dengan produk serupa. Kualitas yang tinggi diharapkan menjadi penanda keberhasilan perusahaan dan mengurangi keragaman produk. Dengan menjaga kualitas, perusahaan dapat meningkatkan keuntungan, menghindari insiden (*zero accident*), mencegah kerusakan (*zero defect*), dan mengurangi keluhan (*zero complaint*) (Ekawati dan Rachman, 2017).

Dalam konteks *Total Quality Management* (TQM), kualitas diinterpretasikan sebagai hasil dari keseluruhan proses manajerial yang mencakup penetapan dan penerapan standar kualitas, termasuk perencanaan, pengendalian kualitas, penjaminan, serta peningkatan kualitas. Kualitas juga merujuk pada sejauh mana suatu produk atau layanan dapat dianggap baik atau tidak, yang dinilai berdasarkan keberhasilan dalam memenuhi ekspektasi customer. Produk yang sesuai dengan harapan konsumen dianggap berkualitas tinggi, sedangkan produk yang gagal memenuhi harapan tersebut dianggap memiliki kualitas yang kurang (Jenifer Paulin, Ahmad, 2022).

2.2 Pengendalian Kualitas

Pengendalian kualitas adalah serangkaian prosedur teknis dan manajemen yang bertujuan untuk menilai atribut kualitas dari suatu produk atau layanan. Ini melibatkan perbandingan antara hasil pengukuran dengan spesifikasi produk yang diharapkan dan menginisiasi langkah-langkah perbaikan jika terdapat ketidaksesuaian antara hasil aktual dan standar yang telah ditetapkan. Pengendalian kualitas produksi dapat dilakukan dengan berbagai cara, meliputi pemilihan bahan berkualitas tinggi, pengoperasian mesin dan peralatan yang sesuai, tenaga kerja yang memiliki keahlian, serta penerapan proses produksi yang akurat. Menurut Assauri (2008), pengendalian kualitas adalah upaya yang dilakukan untuk memastikan bahwa kualitas barang yang diproduksi tetap konsisten dengan spesifikasi produk yang ditentukan oleh kebijakan perusahaan (Shiyamy, Rohmat dan Sopian, 2021).

Pengendalian kualitas dilakukan untuk memastikan bahwa produk atau jasa yang dihasilkan telah memenuhi standar yang diharapkan dan direncanakan, serta meningkatkan kualitas produk yang belum sesuai dengan standar yang ditetapkan dan menjaga kualitas produk agar tetap terjaga. Perusahaan perlu menerapkan metode yang efektif untuk mencapai kualitas produk yang baik dan menjaga konsistensinya, agar selaras dengan tuntutan pasar, yaitu dengan mengimplementasikan sistem manajemen pengendalian kualitas yang berdasarkan aktivitas proses yang dilakukan (Ratnadi dan Suprianto, 2016). Faktor-faktor yang mempengaruhi pengendalian kualitas meliputi efektivitas proses yang berjalan,

standar yang berlaku, tingkat ketidaksesuaian yang diizinkan, dan biaya yang terkait dengan kualitas. Tujuan dari pengendalian kualitas adalah untuk cepat mengidentifikasi dan menangani penyebab dugaan atau perubahan dalam proses, agar penyelidikan dan perbaikan dapat dilakukan sebelum terjadi produksi unit yang tidak memenuhi standar secara berlebihan. Selanjutnya, menurut Sofian Assauri (1978), tujuan dari pengendalian kualitas dibagi menjadi beberapa bagian penting, yaitu (Haryanto, 2019):

1. Memastikan bahwa hasil produksi sesuai dengan standar kualitas yang ditargetkan.
2. Menekan biaya inspeksi hingga nilai minimal.
3. Menjamin biaya desain produk dan proses produksi berada pada tingkat terendah, dengan mempertahankan kualitas tertentu.
4. Menargetkan pengurangan biaya produksi ke level paling rendah.

Melalui proses pengendalian kualitas, kita dapat mengidentifikasi dan menentukan faktor-faktor yang menyebabkan produk tidak memenuhi standar, yang kemudian dijadikan dasar untuk meningkatkan kualitas produk. Pengendalian kualitas mengharuskan adanya peningkatan melalui seleksi produk yang sesuai dengan spesifikasi atau standar yang telah ditentukan. Dengan bertambahnya jumlah perusahaan yang tumbuh di Indonesia, pentingnya kualitas produk semakin meningkat. Pengendalian kualitas dianggap berhasil apabila mampu meminimalisir keberadaan produk yang cacat (*defect*) sesuai dengan rencana awal (Arianto B., 2013).

2.3 Six Sigma

Six sigma adalah sistem yang menyeluruh dan adaptif yang dirancang untuk menggapai, menjaga, dan mengoptimalkan keberhasilan perusahaan. *Six sigma* juga diartikan sebagai strategi untuk memperbaiki proses bisnis dengan tujuan mengidentifikasi dan mengeliminasi sumber-sumber kesalahan dan kecacatan, memangkas durasi siklus dan biaya operasional, meningkatkan efisiensi, serta lebih efektif dalam memenuhi kebutuhan konsumen. Prinsip *six sigma* menekankan bahwa tingkat cacat pada produk harus tidak lebih dari 3,4 per satu juta unit yang diproduksi untuk menjamin kepuasan pelanggan (Tambunan,

Sumartono dan Moektiwibowo, 2020). Istilah *sigma* merujuk pada standar deviasi dalam proses tertentu. Standar deviasi merupakan alat ukur yang menunjukkan seberapa besar variasi atau sebaran data dari rata-ratanya. Nilai *sigma* mengindikasikan seberapa sering cacat mungkin terjadi. Nilai *sigma* yang lebih tinggi menandakan toleransi cacat yang lebih rendah dalam suatu kegiatan, yang pada gilirannya meningkatkan kapabilitas proses. Artinya, nilai *sigma* yang lebih tinggi pada perusahaan menandakan performa yang lebih unggul. Metode *six sigma* diadopsi untuk mencapai kondisi yang hampir tidak memiliki cacat (*zero defect*) (Amalia Yunia Rahmawati, 2020).

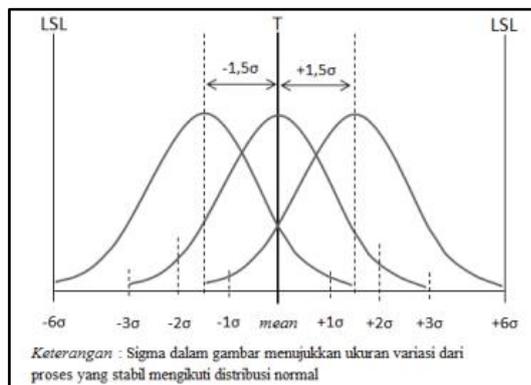
Six sigma diadopsi sebagai metode pengukuran yang memanfaatkan *Defect per Million Opportunities* (DPMO). DPMO adalah indikator yang efektif untuk menilai kualitas produk atau proses karena secara langsung berkaitan dengan cacat, biaya, dan waktu yang terbuang. DPMO bertujuan untuk memprediksi jumlah kegagalan yang mungkin terjadi dalam satu juta kesempatan. Untuk referensi lebih detail, tabel konversi nilai sigma disediakan pada Tabel 3.

Tabel 3. Konversi Sigma

Sigma Level	DPMO (Defect Per Million Opportunities)	Rata-rata Kelas	COPQ (Cost of Poor Quality)
1 <i>sigma</i>	690.000	Sangat tidak kompetitif	Tidak dapat diperhitungkan
2 <i>sigma</i>	308.537	Industri Indonesia	Tidak dapat diperhitungkan
3 <i>sigma</i>	66.807	Industri Indonesia	25-40% dari penjualan
4 <i>sigma</i>	6.210	Industri USA	15-25% dari penjualan
5 <i>sigma</i>	233	Industri Jepang	5-15% dari penjualan
6 <i>sigma</i>	3,4	Industri kelas dunia	< 1% dari penjualan

(Sumber : Gaspersz, 2002)

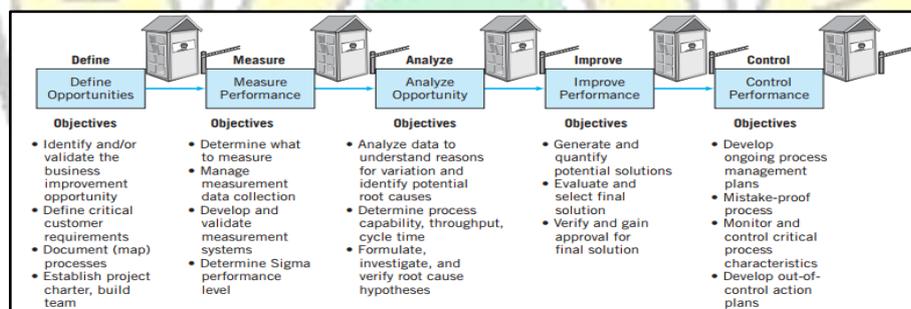
Rancangan pengendalian proses *six sigma* Motorola (*Motorola's Six Sigma process control*) memfasilitasi kemungkinan adanya deviasi pada nilai rata-rata (mean) untuk setiap elemen CTQ (*Critical to Quality*) dalam proses manufaktur hingga batas $\pm 1,5$ sigma dari target spesifikasi (T), yang berkontribusi pada pencapaian tingkat 3,4 DPMO (*Defects per Million Opportunities*) (Arifin dan Leondana, 2021).



Gambar 1. Konsep Six Sigma Motorola
(Sumber : Arifin dan Leondana, 2021)

2.3.1 Tahapan-Tahapan Six Sigma

Metode *six sigma* menawarkan berbagai keuntungan bagi perusahaan, seperti penurunan biaya, peningkatan efisiensi, ekspansi pasar, pemangkasan durasi proses, peningkatan kepuasan konsumen, minimisasi cacat, transformasi budaya organisasi, serta inovasi produk dan layanan. Six sigma mengimplementasikan lima langkah strategis, yang dikenal sebagai DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*), untuk meningkatkan performa bisnis industri. Detail dari setiap fase DMAIC diilustrasikan dalam .Gambar 2.



Gambar 2. Tahapan DMAIC Six Sigma
(Sumber : Montgomery D.C., 2012)

Berdasarkan Gambar 2 terlihat bahwa proses six sigma meliputi langkah-langkah *Define, Measure, Analyze, Improve, dan Control*. Proses DMAIC ini dijalankan dengan metode yang sistematis, berlandaskan pada prinsip-prinsip ilmiah dan fakta. Berikut adalah uraian dari setiap fase dalam siklus DMAIC beserta serangkaian tindakan yang perlu diimplementasikan dalam masing-masing fase tersebut. (Wahyani, Chobir dan Rahmanto, 2010).

2.3.1.1 Define

Tahap *define* adalah langkah awal dalam proses peningkatan kualitas yang dijalankan melalui program *six sigma*. Pada tahap ini, dilakukan penelitian untuk mengidentifikasi elemen-elemen kritis di dalam perusahaan yang berpotensi menimbulkan kecacatan pada produk, yang dikenal sebagai *Critical to Quality* (CTQ). CTQ adalah komponen penting dari produk yang memiliki hubungan langsung dengan spesifikasi yang dibutuhkan oleh konsumen. Alat-alat yang digunakan dalam fase *define* adalah sebagai berikut:

1. Project Charter

Project Charter adalah dokumen yang menguraikan sasaran serta batasan proyek yang hendak diraih. Dokumen ini juga berfungsi untuk menggambarkan secara ringkas mengenai dasar permasalahan yang sedang ditelaah serta memahami *timeline* untuk penuntasan proyek yang dijelaskan dalam *Project Charter*.

<i>Project Charter</i>	
Pengendalian Kualitas Untuk Mengurangi <i>Defect</i> pada Produksi <i>Hijab Print</i> PT Vulpes Fashion Indonesia	
Ruang Lingkup	Ruang lingkup pada proyek ini adalah pada perbaikan kualitas di bagian produksi <i>hijab print</i> PT Vulpes Fashion Indonesia dengan data awal pada produksi periode Oktober 2021 hingga Mei 2022.
Pernyataan Masalah	Pada proses produksi <i>hijab print</i> periode Oktober 2021 hingga Mei 2022 ditemukan <i>defect product</i> dengan rata – rata persentase <i>defect product</i> terhadap total produksi sebesar 12,11%.
Pernyataan Tujuan	Tujuan dari proyek ini adalah untuk mengurangi <i>defect product</i> yang terjadi pada proses produksi <i>hijab print</i> yaitu pada kondisi awal sebesar 12,11% dengan cara menurunkan nilai DPMO dan meningkatkan nilai sigma.

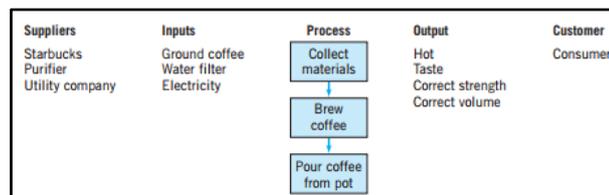
Gambar 3. Project Charter
(Sumber : Rohmadi dan Junaedi, 2023)

2. Diagram SIPOC

Diagram SIPOC memberikan representasi dasar yang mudah dipahami dari suatu proses, yang bermanfaat untuk memahami dan menggambarkan komponen-komponen utama dari supplier sampai ke konsumen (Montgomery, 2012). SIPOC adalah singkatan yang merujuk pada lima komponen kunci dalam manajemen mutu, meliputi *suppliers*, *input*, *process*, *output*, dan *customer*.

- 1) Pemasok (*Suppliers*) bertindak sebagai penyedia informasi, bahan, atau produk yang diperlukan untuk menjalankan proses terkait.
- 2) Input merupakan informasi atau bahan yang masuk untuk diproses..
- 3) Proses merupakan urutan tindakan yang diambil untuk melaksanakan suatu tugas.

- 4) *Output* adalah hasil akhir berupa produk, layanan, atau data yang disampaikan kepada konsumen.
- 5) Pelanggan adalah individu yang memperoleh, menguji, dan memanfaatkan produk tersebut.



Gambar 4. Diagram SIPOC
(Sumber : Montgomery, D.C., 2012)

2.3.1.2 *Measure*

Tahap *measure* adalah prosedur operasional yang berada pada urutan kedua dalam program *Six Sigma* untuk peningkatan kualitas. Pada tahap ini, terjadi proses validasi masalah, serta pengukuran dan analisis masalah berdasarkan data yang tersedia. Data dihimpun selama tahap *measure* untuk menilai atribut kualitas proses, bertujuan untuk mengidentifikasi tindakan yang diperlukan bagi pembenahan dan peningkatan yang lebih jauh. Pengukuran dalam tahap *measure* ini melibatkan penggunaan peta kendali p, kalkulasi DPMO, dan perhitungan nilai sigma. Alat-alat yang digunakan dalam tahap *measure* diuraikan di bawah ini:

1. Peta Kendali p

Peta kendali adalah bagian dari seven tools yang diimplementasikan untuk mengawasi dan mengevaluasi apakah proses tertentu tetap berada dalam batasan kontrol statistik kualitas untuk mengatasi permasalahan dan memperbaiki kualitas (Cahaya Mulia dan Rochmoeljati, 2021). Peta kendali terbagi menjadi dua bagian yakni peta kendali variabel dan peta kendali atribut. Peta kendali variabel merupakan alat statistik yang digunakan untuk memonitor dan mengontrol variasi dalam suatu proses produksi yang menghasilkan *output* dapat diukur secara kontinu, seperti berat, panjang, waktu, suhu, dan lain-lain. Peta kendali ini terbagi menjadi tiga bagian, yaitu peta kendali $\bar{X} - S$, peta kendali $\bar{X} - R$, dan peta kendali $I - MR$. Peta kendali atribut merupakan alat bantu statistik yang digunakan untuk memonitor dan mengendalikan karakteristik atribut dalam suatu proses produksi, dimana karakteristik yang diamati seperti cacat atau tidak, lulus atau gagal, baik

atau buruk, dan lain-lain. Peta kendali ini terbagi menjadi 4 bagian, yaitu peta kendali p, peta kendali np, peta kendali c, dan peta kendali u (Khamaludin, 2020).

Peta kendali p adalah sebuah alat bantu dalam statistik yang termasuk ke dalam peta kendali atribut dengan menunjukkan proporsi cacat keseluruhan pada suatu produk (*defective*). Penggunaan peta kendali p disaat pengambilan sampel untuk setiap kalinya melakukan observasi jumlahnya selalu berubah-ubah atau n bervariasi (Trenggonowati dan Arafiany, 2018). Pada peta kendali biasanya terdapat batas-batas kendali yang menjadi batasan nilai, seperti batas kendali atas, nilai tengah, dan batas kendali bawah. Batas kendali bawah (LCL) untuk peta kendali p dinyatakan selalu positif, tidak boleh negatif. Apabila nilai batas kendali bawah (LCL) negatif ($LCL < 0$), maka nilai LCL ditetapkan sebesar nol (Rahayu P., 2020). Adapun rumus untuk pengolahan peta kendali p sebagai berikut (Montgomery D.C, 2012):

$$\hat{p}_i = \frac{D_i}{n} \quad (1)$$

$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^m D_i}{mn} \quad (2)$$

$$\text{Center line} = \bar{p} \quad (3)$$

$$UCL = \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad (4)$$

$$LCL = \bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad (5)$$

Keterangan:

- D_i = unit yang tidak sesuai dalam sampel
- n = jumlah ukuran sampel yang diperiksa
- m = jumlah sampel yang diperiksa
- \bar{p} = rata-rata ketidaksesuaian

2. Defect per Million Opportunities (DPMO) dan Sigma

Perhitungan nilai *Defect per Million Opportunities* (DPMO) dan *sigma* dilakukan untuk mengetahui kondisi proses sebelum perbaikan. Mengukur kinerja permasalahan dapat dilakukan dengan perhitungan *Defect per Million Opportunities* (DPMO). DPMO merupakan ukuran yang mengindikasikan kegagalan produk dalam setiap sejuta kesempatan peluang produksi (Gaspersz,

2002). Perhitungan DPMO dan nilai *sigma* dilakukan berdasarkan penentuan CTQ (*Critical to Quality*). Berikut merupakan perhitungan nilai DPMO dan tingkat kemampuan *sigma* sebagai berikut (Dorothea wahyu Ariani, 2021):

$$DPU = \frac{\text{Total Kerusakan}}{\text{Total Produksi}} \quad (6)$$

$$DPO = \frac{DPU}{CTQ} \quad (7)$$

$$DPMO = DPO \times 1.000.000 \quad (8)$$

$$\text{Tingkat Sigma} = \text{NORMSINV}\left(1 - \left(\frac{DPMO}{1000000}\right)\right) + 1,5 \quad (9)$$

Keterangan:

DPU = *Defect per Unit*

DPO = *Defect per Opportunities*

DPMO = *Defect per Million Opportunities*

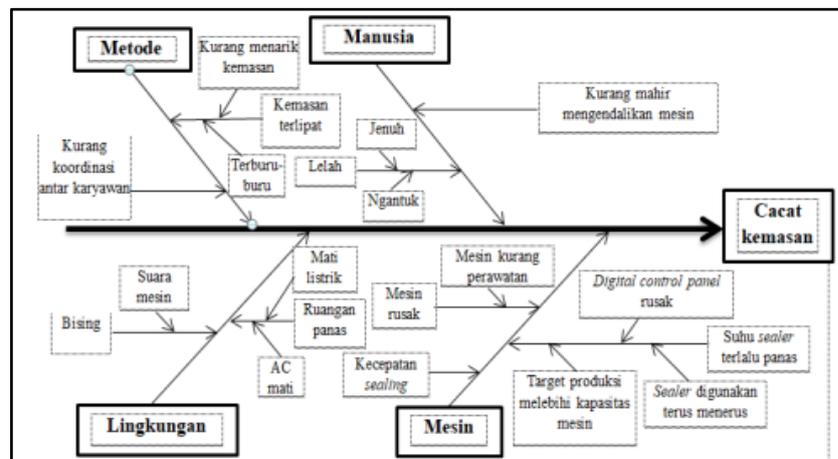
CTQ = *Critical to Quality*

2.3.1.3 Analyze

Tahap analyze merupakan langkah ketiga yang bersifat operasional dalam metodologi Six Sigma untuk peningkatan kualitas. Tujuan utama dari tahap analyze adalah untuk menggali dan menelaah penyebab utama (*root cause*) yang mengakibatkan adanya variasi dalam sistem atau proses yang berisiko menimbulkan cacat. Dalam proses analisis ini, alat yang digunakan antara lain diagram tulang ikan dan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA).

1. Diagram Tulang Ikan (*Fishbone Diagram*)

Diagram Tulang Ikan (*Fishbone Diagram*) atau diagram sebab akibat adalah representasi grafis yang memetakan hubungan antara berbagai faktor penyebab terhadap suatu masalah spesifik, yang berguna dalam mengarahkan tindakan korektif yang perlu diambil (Sakti, W dan Zuhroh, 2020). Diagram Tulang Ikan juga berfungsi untuk mengevaluasi elemen-elemen yang menjadi sumber dan karakteristik dari kegagalan yang paling kritis. Struktur diagram ini dibagi menjadi bagian kepala, yang biasanya ditempatkan di sisi kanan, di mana insiden yang terpengaruh oleh berbagai penyebab akan dicatat. Sementara itu, tulang-tulang yang menjorok dari garis utama diagram mencatat kategori-kategori yang memiliki potensi mempengaruhi insiden tersebut.



Gambar 5. Diagram Fishbone

(Sumber : Ahadya Silka Fajaranie dan Khairi, 2022)

Berdasarkan Gambar 5 menunjukkan kategori-kategori yang biasanya tercakup dalam diagram *fish bone*, meliputi: (1) Orang (*Man*), yang mencakup setiap individu yang berpartisipasi dalam proses, (2) Metode (*Method*), yang merujuk pada cara pelaksanaan proses termasuk prosedur dan regulasi yang diperlukan, (3) Material, yang melibatkan segala bahan yang diperlukan untuk proses, termasuk bahan baku, (4) Mesin (*Machine*), yang mencakup semua peralatan dan komputer yang digunakan dalam pekerjaan, (5) Pengukuran (*Measurement*), yang berkaitan dengan metode pengambilan data untuk mengevaluasi kualitas proses, dan (6) Lingkungan (*Environment*), yang menggambarkan kondisi sekitar tempat kerja seperti suhu dan tingkat kebisingan (N. Hairiyah *et al.*, 2019).

2. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) adalah pendekatan yang sistematis untuk mendeteksi dan meniadakan kemungkinan kegagalan, kesalahan, serta hambatan dalam suatu sistem, rancangan, proses, atau layanan, dengan tujuan mencegahnya mencapai pelanggan (Puspitasari dan Martanto, 2019). Prinsip dasar dari FMEA terletak pada evaluasi tingkat keparahan (*severity*), frekuensi terjadinya (*occurrence*), serta kemampuan mendeteksi (*detection*) suatu penyebab kegagalan. Hal ini bertujuan untuk menghitung *Risk Priority Number* (RPN), yang nantinya akan dijadikan acuan dalam menetapkan urutan prioritas tindakan perbaikan yang harus dilakukan.

. Potensi risiko kegagalan dikategorikan berdasarkan pengaruhnya dampak yang diberikan terhadap keberhasilan suatu sistem. Penerapan prosedur FMEA dengan tepat dapat menurunkan risiko kegagalan proses dan mengurangi kegagalan total. Berikut merupakan tahapan dalam menerapkan metode FMEA, yaitu (Danriyani dan Rumita, 2017):

- 1) Melakukan pengamatan secara detail pada proses yang berlangsung dan mengidentifikasi kemungkinan terjadinya kegagalan.
- 2) Mengidentifikasi dampak yang mungkin muncul akibat mode kegagalan yang potensial.
- 3) Menetapkan skala tingkat keparahan (*severity*) untuk setiap potensi kegagalan.
- 4) Mengidentifikasi faktor-faktor yang menjadi penyebab munculnya mode kegagalan.
- 5) Menetapkan skor untuk frekuensi kejadian (*occurrence*) dari kegagalan tersebut.
- 6) Mengidentifikasi setiap langkah dalam proses dan jalur produksi yang dijalankan.
- 7) Menetapkan skor untuk kemungkinan deteksi (*detection*) dari kegagalan tersebut.
- 8) Menghitung nilai *Risk Priority Number* (RPN) yang menunjukkan prioritas nilai paling tinggi dari potensial kegagalan.
- 9) Memberikan usulan perbaikan terhadap perusahaan.

Proses pengisian tabel FMEA melibatkan penilaian dan pemberian skor untuk mengukur tingkat keparahan (*severity*), frekuensi kejadian (*occurrence*), dan efektivitas pendeteksian (*detection*). Penentuan hasil akhir FMEA bergantung pada nilai *Risk Priority Number* (RPN) yang paling tinggi. Skor untuk masing-masing kriteria ini diperlukan dalam proses pengisian tabel FMEA.:

- a) Tingkat keparahan (*Severity*)

Tingkat keparahan (*severity*) mengukur dampak negatif yang mungkin dihasilkan oleh suatu kegagalan. Ada korelasi langsung antara konsekuensi dan tingkat *severity* ini. Misalnya, jika konsekuensi dari kegagalan tersebut sangat serius dan dapat menimbulkan kerusakan besar, maka skor untuk *severity* akan tinggi. Namun, jika konsekuensi kegagalannya tidak serius, maka skor *severity* akan relatif lebih rendah (Puspitasari dan Martanto, 2019). *Severity* menunjukkan derajat keparahan dari sebuah kegagalan dalam sistem, dengan angka yang berkisar antara 1 hingga 10. Angka 1 merepresentasikan tingkat keparahan minimal, sedangkan angka 10 menandakan tingkat keparahan maksimal (Situngkir, 2019). Kriteria penentuan *severity* dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Penentuan Nilai Tingkat Keparahannya (*Severity*)

<i>Ranking</i>	<i>Severity</i>	Deskripsi
10	Berbahaya tanpa peringatan	Ketika kegagalan sistem terjadi, dampak yang diakibatkannya bisa sangat merugikan dan membahayakan.
9	Berbahaya dengan peringatan	Kegagalan sistem dapat menimbulkan konsekuensi yang membahayakan dan merugikan.
8	Sangat tinggi	Sistem tersebut mengalami keadaan di mana tidak dapat menjalankan fungsinya.
7	Tinggi	Sistem berada dalam kondisi aktif namun tidak mampu berfungsi dengan optimal.
6	Sedang	Sistem berfungsi dan terjaga keamanannya, namun terdapat penurunan dalam kinerja yang berdampak pada <i>output</i> .
5	Rendah	Mengalami penurunan efisiensi kerja yang terjadi secara perlahan.
4	Sangat rendah	Dampak minim terhadap efisiensi sistem yang beroperasi.
3	Kecil	Sedikit berpengaruh pada kinerja sistem
2	Sangat Kecil	Efek yang diabaikan pada kinerja sistem
1	Tidak ada efek	Tidak ada pengaruh

(Sumber : McDermott, 2008)

b) Tingkat kejadian (*Occurrence*)

Tingkat kejadian (*Occurrence*) mengacu pada frekuensi munculnya defek atau kegagalan produk selama periode penggunaannya. *Occurrence* dikaitkan dengan perkiraan total kegagalan yang dapat terjadi karena penyebab spesifik dalam suatu insiden. Skala penilaian diatur berdasarkan frekuensi estimasi dari nilai 1 sampai 10, di mana nilai *occurrence* yang

lebih tinggi menandakan probabilitas yang lebih besar akan terjadinya kegagalan dalam proses tersebut, dan sebaliknya (Puspitasari dan Martanto, 2019). Nilai *rating* tingkat kejadian (*occurrence*) dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Penentuan Nilai Tingkat Kejadian (*Occurrence*)

<i>Ranking</i>	<i>Occurrence</i>	Deskripsi
10 - 9	Sangat tinggi	Sering gagal
8 - 7	Tinggi	Kegagalan yang berulang
6 - 4	Sedang	Jarang terjadi kegagalan
3 - 2	Rendah	Sangat kecil terjadi kegagalan
1	Tidak ada efek	Hampir tidak ada kegagalan

(Sumber : McDermott, 2008)

c) Tingkat deteksi (*Detection*)

Tingkat deteksi (*Detection*) mencerminkan probabilitas bahwa penyebab kegagalan akan teridentifikasi sebelum memulai proses produksi. Skor ini diberikan kepada mekanisme kontrol yang ada, yang mengevaluasi kemampuannya dalam mengenali berbagai mode kegagalan. Skala penilaian untuk tingkat deteksi berkisar antara 1 hingga 10, dimana angka yang lebih tinggi menunjukkan kemampuan deteksi yang lebih rendah terhadap kegagalan proses. Nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Penentuan Nilai Tingkat Deteksi (*Detection*)

<i>Ranking</i>	<i>Detection</i>	Deskripsi
10	Tidak pasti	Proses pengecekan tidak selalu efektif dalam mengidentifikasi penyebab potensial, mekanisme, atau berbagai mode kegagalan.
9	Sangat kecil	Kemungkinan pengecekan untuk mampu menemukan penyebab, mekanisme, atau jenis kegagalan yang mungkin terjadi adalah sangat kecil.
8	Kecil	Pengecekan memiliki kemungkinan kecil untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
7	Sangat rendah	Pengecekan memiliki kemungkinan sangat rendah untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
6	Rendah	Pengecekan memiliki kemungkinan rendah untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
5	Sedang	Pengecekan memiliki kemungkinan sedang untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
4	Menengah ke atas	Pengecekan memiliki kemungkinan menengah ke atas untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan

3	Tinggi	Pengecekan memiliki kemungkinan tinggi untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
2	Sangat tinggi	Pengecekan memiliki kemungkinan sangat tinggi untuk mampu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan
1	Hampir pasti	Pengecekan akan selalu mendeteksi penyebab potensial atau mekanisme kegagalan dan mode kegagalan

(Sumber : McDermott, 2008)

d) *Risk Priority Number* (RPN)

Risk Priority Number (RPN) adalah diperoleh dengan perkalian antara skala keparahan (*severity*), tingkat kejadian (*occurrence*), dan tingkat deteksi (*detection*). Skor yang dihasilkan ini digunakan untuk menetapkan langkah-langkah perbaikan yang sesuai dengan jenis kegagalan yang dialami oleh sistem..

$$RPN = Severity \times Occurrence \times Detection \quad (10)$$

Perhitungan RPN memberikan gambaran mengenai seriusnya ancaman kegagalan yang mungkin terjadi. Ini berarti, semakin besar nilai risiko RPN, semakin signifikan pula permasalahan yang ada pada sistem, dan begitu pula sebaliknya. Nilai RPN yang tertinggi adalah 1000, menandakan risiko yang paling krusial, sedangkan nilai terkecilnya adalah 1, yang menunjukkan risiko yang paling minim (Rinoza dan Ahmad Kurniawan, 2021).

2.3.1.4 *Improve*

Tahap improve adalah prosedur keempat dalam rangkaian peningkatan kualitas metode *six sigma*. Setelah mengidentifikasi faktor-faktor dan penyebab utama dari isu-isu kualitas, langkah selanjutnya adalah merancang dan menerapkan rencana aksi untuk memajukan kualitas menggunakan metode *six sigma*. Untuk mengatasi penyebab-penyebab kecacatan produk, khususnya pada genteng, dapat diadopsi berbagai alat seperti perencanaan aksi yang berorientasi pada risiko kegagalan sesuai dengan analisis FMEA dan metode Taguchi. Secara umum, rencana aksi ini akan menjelaskan tentang distribusi sumber daya yang ada serta

menetapkan prioritas dan opsi alternatif untuk implementasi rencana tersebut (Gaspersz, 2002).

2.3.1.5 Control

Tahap *control* adalah proses final dalam metodologi peningkatan kualitas *six sigma*. Tahap ini bertujuan untuk terus menerus meninjau dan mengawasi efektivitas dari langkah-langkah yang telah diimplementasikan sebelumnya. Dalam tahap ini, peneliti memberikan rekomendasi kepada industri genteng mengenai metode pengawasan dan kontrol atas produksi genteng dengan membandingkan kondisi sebelum dan setelah perbaikan dilakukan. Analisis ini melibatkan perhitungan persentase rata-rata kecacatan produk, nilai *sigma*, nilai *Defect per Million Opportunities* (DPMO), serta biaya yang timbul akibat kegagalan produk setiap kali produksi. Sebagai bagian dari penilaian kualitas, analisis *Cost of Poor Quality* (COPQ) dilakukan untuk mengidentifikasi biaya yang dikeluarkan untuk memperbaiki produk cacat. Penerapan prosedur kontrol kualitas yang efektif dapat menurunkan COPQ, yang pada gilirannya akan mengurangi frekuensi kecacatan produk, sehingga menghindari kerugian bagi UMKM. Formula untuk menghitung *Cost of Poor Quality* (COPQ) berdasarkan nilai DPMO adalah sebagai berikut (Casban dan Zulfikar, 2022).

$$\text{COPQ} = \text{Jumlah Produk Cacat} \times \text{Harga Jual per Produk} \quad (11)$$

$$\text{Rata-rata COPQ} = \sum \frac{\text{Total Kerugian}}{n} \quad (12)$$

2.4 Design of Experiment (DoE)

Design of Experiment (DoE) adalah serangkaian serangkaian prosedur yang sistematis selama pelaksanaan eksperimen, yang mencakup berbagai tahap mulai dari perencanaan hingga analisis interpretatif dari data yang diperoleh. Konsep DoE yang diperkenalkan oleh Sir Ronald A. Fisher pada tahun 1930 telah berevolusi dengan adanya teknik-teknik baru seperti orthogonal array dan robust design yang diusulkan oleh Taguchi pada tahun 1960. Sebagai teknik statistikal, DoE digunakan dalam penelitian eksperimental untuk meningkatkan kualitas produk dan proses. DoE memungkinkan penelusuran hubungan kausal antara hasil (variabel dependen) dan elemen-elemen yang mempengaruhinya. Dalam DoE,

terdapat dua kategori variabel primer: variabel independen dan variabel dependen. Setiap variabel independen yang diuji memiliki beberapa tingkatan. Perlakuan dalam DoE merujuk pada gabungan tingkatan dari semua variabel independen yang diuji. Replikasi adalah jumlah pengulangan eksperimen untuk setiap perlakuan yang sama (Muttaqin, 2019).

Kegiatan eksperimen muncul dari keingintahuan alami manusia terhadap berbagai aspek sistem. Dengan melaksanakan percobaan atau eksperimen, manusia dapat secara bertahap menjawab berbagai pertanyaan-pertanyaan tersebut. Penggunaan DoE pada tahun 1920 untuk mengetahui apakah ada efek atau pengaruh dari berbagai faktor. Secara umum, terdapat tujuan dari desain eksperimen antara lain (Montgomery, D. C., 2012):

1. Menentukan faktor yang secara signifikan mempengaruhi keluaran.
2. Menentukan tingkat optimal dari faktor dominan agar variabel respon mencapai performa ideal.
3. Menentukan tingkat optimal dari faktor dominan untuk meminimalkan nilai variabel respon.
4. Menentukan tingkat faktor yang berpengaruh untuk meminimalisir efek dari variabel pengganggu.

Design of Experiment (DoE) menggunakan pendekatan faktorial dalam eksperimen untuk mengkategorikan faktor-faktor yang mempengaruhi proses dan tingkatan variasinya. Hal ini dilakukan dengan tujuan menciptakan kualitas yang maksimal dan menetapkan jumlah eksperimen yang paling efisien untuk memperoleh data lengkap tentang semua faktor-faktor yang mempengaruhi parameter yang relevan (Ahsan *et al.*, 2023). Terdapat lima prinsip fundamental dalam melakukan proses DoE, yaitu pengacakan (*randomitation*), pengulangan/replikasi (*replication*), pemblokiran (*blocking*), ortogonalitas (*orthogonality*), dan eksperimen faktorial (*factorial experiment*). Adapun langkah-langkah dalam melakukan prosedur *Design of Experiment* (DoE) sebagai berikut:

1. Menyusun kerangka dan tujuan dari eksperimen.
2. Menentukan variabel-variabel yang akan dipantau.
3. Menentukan pola eksperimen yang akan diikuti.

4. Melakukan proses eksperimental dan pengumpulan data.
5. Melihat atau menguji konsistensi data dengan teori eksperimen.
6. Menganalisis dan menguraikan temuan dari eksperimen..

Design of Experiment (DoE) merupakan aktivitas yang melibatkan pemberian intervensi atau tindakan khusus terhadap suatu subjek penelitian untuk mengevaluasi dampak dari intervensi tersebut terhadap elemen lain dalam situasi yang terkontrol (Maulidia, Adriantantri dan Budiharti, 2020). Menurut Sudjana (1995), terdapat sejumlah hasil penting yang harus diberikan perhatian dalam proses desain eksperimen adalah sebagai berikut (Winarso dan Alfaris, 2016):

1. Unit Eksperimen
Nilai-nilai terukur dari variabel terikat (dependen).
2. Pengacakan (Randomisasi)
Proses pengacakan adalah tindakan yang dilakukan untuk memastikan beberapa asumsi dalam eksperimen terpenuhi. Pengacakan bertujuan untuk menciptakan kondisi independensi dan meminimalisir keterkaitan antara satu pengamatan dengan pengamatan lainnya.
3. Pengulangan (Replikasi)
Melakukan pengulangan dalam eksperimen dimaksudkan untuk memperoleh estimasi yang lebih tepat mengenai dampak umum dari suatu variabel atau untuk meminimalisir kesalahan dalam percobaan.
4. Kekeliruan eksperimen
Ketidaksesuaian hasil antara dua eksperimen yang identik meskipun telah diterapkan perlakuan yang sama menandakan adanya kekeliruan dalam proses eksperimental.
5. Perlakuan (*Treatment*)
Perlakuan pada subjek penelitian adalah rangkaian kondisi yang ditetapkan untuk diterapkan pada unit eksperimental dalam batasan area tertentu. Perlakuan ini merupakan gabungan dari berbagai tingkatan faktor yang akan dievaluasi selama penelitian.

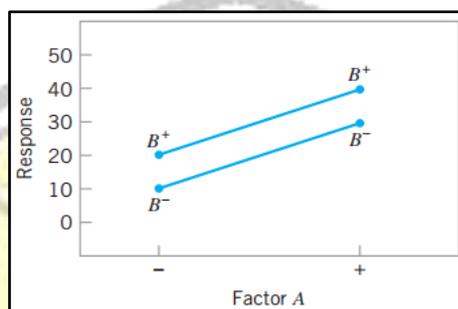
2.5 *Factorial Experiment*

Eksperimen faktorial pendekatan penelitian yang memungkinkan penaksiran dampak individual dan gabungan dari berbagai faktor serta interaksinya. Dari perspektif geometris, konsep desain faktorial dikembangkan dengan memasukkan semua faktor yang relevan secara bersamaan dan ortogonal (Telford, 2007). Eksperimen faktorial digunakan jumlah faktor yang diuji lebih dari satu. Eksperimen faktorial melibatkan kombinasi semua level dari setiap faktor dengan level dari faktor lainnya. Secara umum, terdapat tiga cara untuk mendapatkan data eksperimen, seperti menguji satu faktor dalam satu waktu, menggunakan desain faktorial penuh, atau menerapkan desain faktorial pecahan. Dari ketiganya, desain faktorial pecahan merupakan pendekatan yang paling efektif. Desain yang paling efisien adalah desain faktorial pecahan (Del Vecchio, 2007). Beberapa kelebihan dari percobaan faktorial, yaitu lebih efisien dalam menggunakan sumber-sumber yang ada, informasi yang diperoleh lebih komprehensif, dan hasil percobaan dapat diterapkan dalam suatu kondisi yang lebih luas karena kita mempelajari kombinasi dari berbagai faktor. Dalam eksperimen faktorial, elemen-elemen yang diuji disebutkan sebagai berpotongan (*crossed*). Dampak dari elemen tertentu ditentukan sebagai reaksi yang muncul karena perubahan pada level elemen itu. Tidak hanya pengaruh primer, tetapi juga ada pengaruh interaktif, yaitu variasi dari dampak suatu elemen pada tingkatan yang lain dari elemen berbeda. Biasanya, rancangan faktorial memiliki tiga tujuan pokok sebagai berikut (Laricha Salomon, Kosasih dan Oscar Angkasa, 2015):

1. Mengukur dampak yang ditimbulkan oleh variabel terhadap hasil yang dicapai.
2. Menentukan variabel mana yang memberikan kontribusi signifikan terhadap hasil eksperimen.
3. Mengukur interaksi antarvariabel dan bagaimana hal tersebut mempengaruhi hasil akhir.

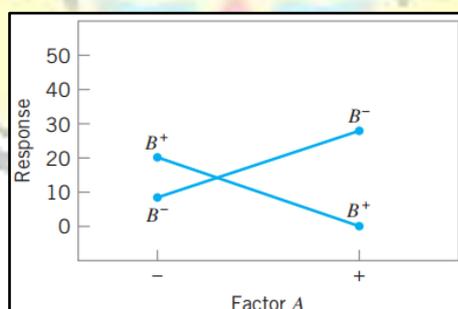
Eksperimen adalah sebuah penelitian ilmiah dimana peneliti memanipulasi dan mengendalikan satu atau lebih variabel bebas dan mengamati variabel-variabel terikat untuk melihat perubahan yang terjadi seiring dengan

variabel bebas tersebut (Ulfah, Ekawati dan Ferdinant, 2018). Banyak eksperimen yang melibatkan dua atau lebih faktor dilakukan dengan menyelidiki setiap kombinasi level dari semua faktor tersebut. Eksperimen faktorial dapat ditinjau apakah terdapat interaksi atau tidak antar faktor yaitu efek utama (*main effect*) dan efek interaksi (*interaction effect*) dari variabel bebas terhadap variabel respon. Berikut merupakan eksperimen faktorial tanpa interaksi dan menggunakan interaksi antar faktor dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Faktorial Eksperimen Tanpa Interaksi
(Sumber : Montgomery D.C., 2012)

Grafik *main effect plot* merupakan grafik yang menunjukkan hubungan analisis variansi dan desain eksperimen untuk menguji perbedaan antara tingkat satu atau lebih faktor. Sebuah plot efek utama grafik respon rata-rata untuk setiap level faktor yang dihubungkan dengan garis. Satu garis plot efek utama yang membentuk garis *horizontal* (sejajar dengan sumbu x), maka dapat diartikan bahwa tidak ada efek utama yang mempengaruhi variabel respon atau tidak ada interaksi antara variabel (Wiyono, Saefullah dan Mutaqien, 2017).



Gambar 7. Faktorial Eksperimen Dengan Interaksi
(Sumber : Montgomery D.C., 2012)

Berdasarkan Gambar 7 dapat diketahui bahwa garis B⁻ dan B⁺ membentuk garis *horizontal* (sejajar dengan sumbu x) yang menunjukkan tidak adanya interaksi antara faktor A dan B. Selain itu, pada Gambar 7 diketahui bahwa garis B⁻ dan B⁺

saling bersilangan atau tidak sejajar yang menunjukkan adanya interaksi antara faktor A dan B. Grafik interaksi antar faktor seringkali digunakan untuk menginterpretasikan hasil eksperimen oleh para peneliti. Oleh karena itu, interaksi antar faktor dapat diketahui melalui grafik *main effect plot* (Montgomery D.C., 2012)

Eksperimen faktorial sering diberi nama dengan menambahkan perkalian antara banyak taraf faktor yang satu dengan banyak taraf faktor lainnya. Menurut Sudjana (1995), eksperimen faktorial 3^k adalah suatu metode eksperimen faktorial yang melibatkan tiga faktor, di mana setiap faktor memiliki tiga tingkatan. Dalam rancangan eksperimen faktorial 3^k ini, model yang dipilih adalah rancangan acak lengkap, sementara faktor-faktor yang dianalisis merupakan faktor dengan tingkatan yang konstan. Untuk eksperimen faktorial 3^k yang dilakukan dengan replikasi, model matematis yang digunakan adalah sebagai berikut (Derry *et al.*, 2014):

$$Y_{ijkl} = \mu + A_i + B_j + C_k + AC_{ik} + BC_{jk} + ABC_{ijk} + \epsilon_{ijk} \quad (13)$$

Keterangan:

μ = rata-rata jumlah kuadrat

A = faktor A

B = faktor B

C = faktor C

ϵ = *error* (kesalahan)

2.6 Metode Taguchi

Metode Taguchi diadopsi sebagai pendekatan dalam *off line quality control* selama tahap perancangan produksi. Berdasarkan studi W. E. Deming, konsep ini mengungkapkan bahwa proses manufaktur adalah penyebab utama, sekitar 85%, dari rendahnya kualitas, sementara faktor tenaga kerja hanya berkontribusi 15%. Berdasarkan dari temuan tersebut, ia mengembangkan sebuah sistem manufaktur yang kuat yang minim dipengaruhi oleh perubahan lingkungan sehari-hari, kondisi musiman, dan berbagai pengaruh eksternal lainnya (Ramayanti *et al.*, 2019). Metode Taguchi dirancang untuk mengoptimalkan proses manufaktur

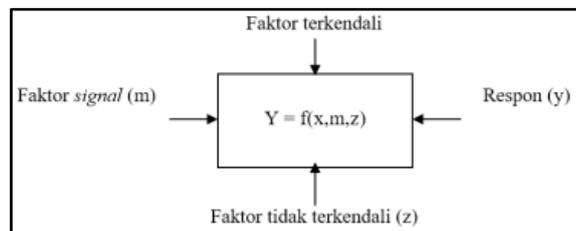
dengan mengurangi variabilitas yang tidak diinginkan dalam produksi. Keempat konsep Taguchi adalah sebagai berikut:

1. Produk harus dibuat dengan pendekatan yang mengutamakan kualitas sejak awal desain, bukan semata-mata melalui proses pengecekan.
2. Standar kualitas yang optimal tercapai ketika kita berhasil mengecilkan gap antara hasil dan target yang diharapkan (mengeliminasi kecacatan).
3. Desain produk perlu memperhitungkan ketahanan terhadap faktor lingkungan yang tidak bisa dikendalikan.
4. Biaya kualitas harus dikalkulasi berdasarkan standar deviasi yang telah ditetapkan, dengan cara ini, total kerugian dapat diestimasi dalam skala sistem yang lebih luas.

Metode Taguchi juga merupakan prosedur desain dan analisis untuk melaksanakan percobaan (eksperimen) multifaktor yang akan memberikan kontribusi kesuksesan secara signifikan, yaitu mengembangkan proses spesifikasi produk secara konsisten mencapai spesifikasi target. Berikut adalah tiga metode pendekatan dalam perancangan kualitas (Yusuf M., Purwanti A., 2022).

1. *System design*, System design merujuk pada fase awal pengembangan produk atau inovasi proses yang melibatkan pemikiran konseptual.
2. *Parameter design* merupakan tahapan di mana kita menentukan konfigurasi atau proses produk dan parameter yang sensitif terhadap variasi untuk meminimalisirnya dalam perancangan.
3. *Tolerance design* adalah proses peningkatan kualitas produk dengan menetapkan batas toleransi yang lebih ketat pada proses atau parameter produk, yang pada gilirannya mengurangi variasi dan meningkatkan kualitas, meskipun ini mungkin memerlukan investasi biaya yang signifikan.

Pelaksanaan perancangan kualitas diperlukan informasi mendetail mengenai proses produksi dan elemen-elemen yang mempengaruhinya, sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Faktor Perancangan Kualitas

(Sumber : Yusuf M., Purwanti A., 2010)

Berdasarkan Gambar 8 dapat diketahui perancangan kualitas erat kaitannya dengan proses pembuatan produk serta faktor-faktor yang mempengaruhi. Hal ini penting dalam merumuskan rancangan pelaksanaan eksperimen yang mengungkapkan interaksi antara faktor yang dapat dikontrol, faktor yang tidak dapat dikontrol, faktor *signal*, dan reaksi yang berdampak pada atribut kualitas produk. Dalam menetapkan faktor-faktor yang berdampak pada eksperimen dan *setting* level, ada beberapa aspek penting yang perlu diperhatikan:

- a. *Factor Level* Factor Level adalah kumpulan tingkatan atau karakteristik yang ditetapkan oleh faktor yang berpengaruh dalam eksperimen.
- b. *Number of Factor Level* menunjukkan bahwa dalam setiap eksperimen, faktor kualitatif selalu diuji, sementara faktor kuantitatif juga sering diuji meskipun menentukannya sulit.
- c. *Range of Factor Level* menandakan bahwa semakin besar rentang yang digunakan dalam eksperimen, semakin akurat pula penemuan efek faktor terhadap penentuan karakteristik kualitas.
- d. *Feasibility of Factor Level* mengacu pada kebutuhan untuk memastikan bahwa tingkatan yang dipilih untuk setiap faktor adalah praktis dan dapat diimplementasikan dalam kombinasi eksperimen.

Dalam konteks perancangan kualitas, Taguchi menekankan pentingnya karakteristik *Signal Noise to Ratio* dengan cara berikut: (Ahsan *et al.*, 2023):

- a. *Nominal the Best* merupakan karakteristik kualitas yang dapat diukur dengan target yang spesifik. Nilai dari target tersebut dapat berupa bilangan positif maupun negatif. Contohnya adalah penyinaran lampu LED pada kendaraan bermotor tidak terlalu terang, tidak terlalu redup.

- b. *Smaller the Better* adalah karakteristik kualitas yang ditentukan oleh nilai target yang spesifik, yang bisa bernilai positif atau negatif. Contohnya, intensitas cahaya dari lampu LED pada kendaraan sebaiknya tidak berlebihan maupun kurang.
- c. *Smaller the Better* menandakan karakteristik kualitas yang diukur dengan target mendekati nol atau positif. Contohnya, tingkat keausan pada ban yang lebih rendah menunjukkan kualitas yang lebih tinggi.
- d. *Larger the Better* mengacu pada karakteristik kualitas yang diukur dengan nilai target yang sangat besar atau tak terbatas dan positif. Contohnya, kapasitas daya tahan chasis mobil pickup yang lebih besar dalam menopang beban berarti kualitas yang lebih baik.

Secara umum, desain eksperimen Taguchi terstruktur dalam tiga fase penting yang meliputi totalitas eksperimen. Berikut ini adalah rangkuman dari langkah-langkah dalam metode eksperimen Taguchi:

1. Tahap perencanaan
2. Tahap Pelaksanaan
3. Tahap Analisa

2.6.1 Tahap Perencanaan Eksperimen

Perencanaan eksperimen mencakup serangkaian langkah yang dimulai dengan definisi masalah (perumusan masalah), penentuan tujuan eksperimen, pemilihan variabel terikat, identifikasi faktor-faktor (variabel bebas), klasifikasi faktor kontrol dan faktor pengganggu, penetapan tingkatan faktor, penempatan kolom interaksi, kalkulasi derajat kebebasan, serta seleksi matriks ortogonal.

1. Merumuskan permasalahan, tahap awal di mana peneliti menetapkan dan mengklarifikasi masalah yang akan ditelaah melalui eksperimen.
2. Menentukan tujuan eksperimen, tahap di mana peneliti menjabarkan tujuan yang harus sejalan dengan masalah yang telah didefinisikan sebelumnya.
3. Menentukan variabel terikat, tahap pemilihan variabel yang nilai perubahannya dipengaruhi oleh variabel lain. Dalam metode Taguchi, variabel terikat dikategorikan menjadi tiga jenis:

- a. Karakteristik yang dapat diukur merujuk pada hasil eksperimen yang nilai akhirnya dapat ditentukan dengan angka-angka pasti, seperti suhu, massa, atau tekanan.
 - b. Karakteristik atribut berkaitan dengan hasil eksperimen yang tidak diukur secara numerik, melainkan melalui kualitas seperti cacat, penampilan, atau kondisi.
 - c. Karakteristik dinamik adalah representasi dari proses yang diobservasi, di mana proses tersebut diinterpretasikan sebagai sinyal dan respons yang dihasilkan sebagai efek dari sinyal itu. Sebagai contoh, pada sistem transmisi otomatis, *input* berupa kecepatan mesin dan *output* nya adalah variasi getaran..
4. Mengidentifikasi faktor-faktor (Variabel Bebas) mengacu pada proses pemilihan variabel yang tidak dipengaruhi oleh variabel lain dalam eksperimen. Tidak semua faktor yang diduga berpengaruh perlu diuji, karena ini akan menambah kompleksitas eksperimen. Untuk menentukan faktor mana yang akan diteliti, beberapa metode seperti *brainstorming*, diagram alir, dan diagram sebab-akibat, dan diagram *fishbone* dapat digunakan.
 5. Memisahkan faktor kontrol dan faktor tidak terkendali (*Noise*) dilakukan dengan *brainstorming*. Faktor-faktor yang dianalisis dibedakan menjadi faktor kontrol, yang dapat kita atur nilai atau pengaruhnya, dan faktor gangguan, yang merupakan faktor-faktor yang tidak dapat kita kendalikan. Meskipun ada kemungkinan untuk mengatur faktor gangguan ini, tindakan tersebut dapat mengakibatkan peningkatan biaya yang signifikan.
 6. Menentukan jumlah level dan level faktor berarti menetapkan berapa banyak tingkatan yang akan diuji, yang mempengaruhi presisi hasil dan biaya eksperimen. Jumlah level yang lebih besar menghasilkan data yang lebih detail dan hasil yang lebih akurat. Level faktor dapat ditentukan berdasarkan observasi dan wawancara.
 7. Menentukan *Degree of Freedom* (Derajat Kebebasan), berkaitan dengan menetapkan jumlah minimum eksperimen yang harus dilakukan. Rumus

untuk menghitung derajat kebebasan untuk level faktor dan array ortogonal adalah sebagai berikut (Irwan S., 2019):

$$\text{Total } V_{fl} = \text{jumlah faktor} \times (\text{jumlah level} - 1) \quad (14)$$

$$V_{OA} = \text{jumlah eksperimen} - 1 \quad (15)$$

$$V_{fl} = \text{jumlah level} - 1 \quad (16)$$

Keterangan:

V_{fl} = derajat kebebasan faktor dan level

V_{OA} = derajat kebebasan *orthogonal array*

8. Memilih *orthogonal array* (OA), *Orthogonal Array* (OA) merupakan sebuah matriks diagonal untuk merancang eksperimen sehingga kita dapat menentukan jumlah minimal percobaan yang diperlukan. Matriks ini terdiri dari baris dan kolom; kolom merepresentasikan faktor atau kondisi yang variatif dalam eksperimen, sementara baris menunjukkan kondisi spesifik dari faktor tersebut. Kriteria untuk memilih matriks ini adalah jumlah total percobaan harus setidaknya sama dengan jumlah derajat kebebasan dalam penelitian. Rumus untuk Orthogonal Array (OA) adalah sebagai berikut (Ahsan *et al.*, 2023):

$$L_a(b^c) \quad (17)$$

Keterangan:

L = rancangan bujursangkar latin

a = banyak baris/eksperimen

b = banyak level

c = banyak kolom/faktor

9. Pengisian kolom untuk faktor dan interaksinya ke dalam matriks ortogonal. Taguchi mengembangkan grafik linier dan Tabel Triangular untuk setiap matriks ortogonal agar proses ini lebih sederhana. Grafik linier memvisualisasikan hubungan antar faktor dalam matriks percobaan dengan titik-titik yang mewakili faktor utama dan garis-garis yang menunjukkan interaksi antara dua faktor utama. Sementara itu, Tabel Triangular menyediakan gambaran komprehensif tentang kolom interaksi yang ada di

setiap matriks ortogonal. Adapun contoh Tabel Triangular efek desain faktorial eksperimen 3^4 .

Tabel 7. Matriks Ortogonal $L_9(3^4)$

Eksperimen	$L_9(3^4)$			
	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	2
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

(Sumber : Irwan S, 2019)

2.6.2 Tahap Pelaksanaan Eksperimen

Tahapan pelaksanaan eksperimen diinisiasi ketika semua data pengujian sudah tersedia, memudahkan analisis yang akan mengungkapkan faktor-faktor penting dan tingkat optimalnya. Langkah ini termasuk menetapkan frekuensi pengulangan randomisasi dan eksperimen.

1. proses pengulangan perlakuan yang sama pada eksperimen di bawah kondisi yang tidak berubah, guna mencapai tingkat akurasi yang lebih baik. Replikasi dalam eksperimen bertujuan untuk:
 - a. Data yang dianalisis akan mencapai keakuratan yang lebih tinggi melalui eksperimen.
 - b. Mengurangi kesalahan yang mungkin terjadi selama proses eksperimen.
 - c. Memperoleh harga tafsiran kesalahan yang presisi memungkinkan untuk melakukan uji signifikansi terhadap temuan eksperimen.
2. Randomisasi, pengujian eksperimen menilai pengaruh faktor-faktor yang memengaruhi variabel lain atau yang tidak dapat dikontrol, seperti kelelahan operator atau perubahan kinerja mesin. Dengan mengimplementasikan randomisasi pada urutan percobaan, kita bisa meminimalisir dampak dari faktor-faktor tersebut. Tujuan utama randomisasi adalah untuk menyebarkan secara adil pengaruh dari variabel yang tidak terkontrol ke semua unit percobaan. Replikasi diarahkan untuk

menguji signifikansi, sedangkan randomisasi diarahkan untuk memvalidasi uji tersebut dengan menghilangkan sifat bias.

2.6.3 Tahap Analisa

Pada tahapan analisa pengujian eksperimen dilakukan secara statistik yang menghasilkan apakah eksperimen akan memperoleh hasil yang positif. Tahapan analisa meliputi pengumpulan data, pengaturan data, perhitungan serta penyajian data dalam suatu *layout* tertentu sesuai dengan desain yang dipilih untuk suatu eksperimen.

1. Analisis hasil eksperimen menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA). Data atribut dalam ANOVA digunakan untuk mendapatkan faktor-faktor yang mempengaruhi nilai respon. ANOVA rata-rata digunakan untuk mengidentifikasi apakah faktor-faktor kontrol tersebut berpengaruh secara signifikan atau sebaliknya. Analisis variansi untuk suatu matriks ortogonal dilakukan berdasarkan perhitungan jumlah kuadrat untuk masing-masing kolom. Adapun tahapan-tahapan untuk perhitungan eksperimen dengan *Analysis of Variance* (ANOVA) sebagai berikut:

- a) Menghitung rata-rata untuk mengetahui rata-rata hasil eksperimen. Berikut ini merupakan rumus yang digunakan untuk menghitung rata-rata (Trenggonowati *et al.*, 2020).

$$\bar{y}_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^r y_i \quad (18)$$

Keterangan:

- \bar{y}_i = rata-rata hasil eksperimen ke-i
 - n = jumlah percobaan
 - y_i = data eksperimen ke-i
- b) Membuat tabel respon. Tabel respon digunakan untuk mengidentifikasi *ranking* atau level yang terbaik dari faktor-faktor kontrol tersebut. Tahapan rumusan yang digunakan untuk menghitung tabel respon sebagai berikut (Trenggonowati *et al.*, 2020).
 - a. Hitung rata-rata setiap faktor dan level, misal faktor $\overline{A1}$.

$$\bar{A1} = \frac{1}{n_{A1}} \sum_{i=1}^r A1 \quad (19)$$

Keterangan:

$\bar{A1}$ = rata-rata faktor A level 1

A1 = nilai level ke 1 faktor A

n_{A1} = jumlah percobaan level ke 1 faktor A

b. Selisih

$$Diff = \text{Max. Faktor A} - \text{Min. Faktor A} \quad (20)$$

Keterangan:

Diff = selisih nilai maksimum dan minimum pada faktor A

c) Membuat grafik respon untuk setiap faktor, grafik ini digunakan untuk pengaruh level terhadap rata-rata dari setiap faktornya.

d) Menghitung ANOVA rata-rata. Dari perhitungan ANOVA rata-rata selanjutnya dapat diketahui faktor-faktor kontrol mana yang secara lebih signifikan dapat memberikan pengaruh terhadap jumlah cacat (*defect*). Adapun tabel ANOVA rata-rata dapat dilihat pada

e) Tabel 8.

Tabel 8. Analysis of Variance Faktorial 2 Faktor Dengan Interaksi

Source of Variation	Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F-Ratio	% Ratio
Factor A	SS_A	$a - 1$	$MS_A = \frac{SS_A}{(a - 1)}$	$F_o = \frac{MS_A}{MSE}$	$\rho \% = \frac{SS_A}{SST} \times 100\%$
Factor B	SS_B	$b - 1$	$MS_B = \frac{SS_B}{(b - 1)}$	$F_o = \frac{MS_B}{MSE}$	$\rho \% = \frac{SS_B}{SST} \times 100\%$
Interaction	SS_{AB}	$(a - 1)(b - 1)$	$MS_{AB} = \frac{SS_{AB}}{(a - 1)(b - 1)}$	$F_o = \frac{MS_{AB}}{MSE}$	$\rho \% = \frac{SS_{AB}}{SST} \times 100\%$
Error	SS_E	$ab(n - 1)$	$MSE = \frac{SSE}{ab(n - 1)}$		$\rho \% = \frac{SSE}{SST} \times 100\%$
Total	SS_T	$abn - 1$			

(Sumber : Montgomery D.C., 2012)

Berdasarkan

Tabel 8 dapat dilakukan perhitungan ANOVA rata-rata dengan rumus sebagai berikut (Trenggonowati *et al.*, 2020).

a. Jumlah kuadrat total (SS_{total})

$$SS_{\text{total}} = \sum_{i=1}^N y^2 \quad (21)$$

Di mana:

N = jumlah percobaan

y = data yang diperoleh dari percobaan

b. Jumlah rata-rata kuadrat (SS_{mean})

$$SS_{mean} = n \times \bar{y}^2 \quad (22)$$

c. Jumlah kuadrat faktor (*Sum of Square*)

$$SS_x = \frac{\sum x_1^2}{n \times 1} + \frac{\sum x_2^2}{n \times 2} + \frac{\sum x_3^2}{n \times 3} - \frac{\sum \bar{y}^2}{n} \quad (23)$$

d. Jumlah kuadrat masing-masing faktor (SS_A dan SS_B)

$$SS_A = ((\bar{A1})^2 \times n_1) + ((\bar{A2})^2 \times n_1) - SS_{mean} \quad (24)$$

$$SS_B = ((\bar{B1})^2 \times n_1) + ((\bar{B2})^2 \times n_1) - SS_{mean} \quad (25)$$

Di mana:

A_i = level ke-i faktor A

n_{A_i} = jumlah percobaan level ke-i faktor A

SS_{mean} = jumlah rata-rata kuadrat

e. Jumlah kuadrat error (SS_{error})

$$SS_{error} = SS_{total} - SS_{mean} - SS_A - SS_B \quad (26)$$

f. Derajat kebebasan faktor (D_f)

$$D_f A = (\text{Number of Level} - 1) \quad (27)$$

g. Derajat kebebasan total ($D_f T$)

$$D_f SS_t = (\text{Number of Experiment} - 1) \quad (28)$$

h. Rata-rata jumlah kuadrat (MS)

$$MS_A = \frac{SS_A}{Df_A} \quad (29)$$

i. *Ratio* (F_{ratio})

$$F_{ratio A} = \frac{MS_A}{MS_{error}} \quad (30)$$

j. *Pure Sum of Square* faktor (SS')

$$SS'_{faktor} = SS_{faktor} - (Df_{faktor} \times MS_{error}) \quad (31)$$

$$SS'_{error} = SS_T - (SS'_A + SS'_B) \quad (32)$$

k. Persentase *ratio* akhir masing-masing faktor ($\rho\%$)

$$\rho\% = \frac{SS'_A}{SS_T} \times 100\% \quad (33)$$

2. Melakukan pengujian F, uji ini dilakukan dengan membandingkan variansi tiap faktor dan variansi *error*. Variansi *error* adalah variansi setiap individu dalam pengamatan yang timbul karena faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan. Berikut merupakan rumus uji F pada perlakuan suatu eksperimen.

$$F_{\text{sumber}} = \frac{\text{variansi karena perlakuan} + \text{variansi karena error}}{\text{variansi karena error}} \quad (34)$$

Nilai F_{sumber} tersebut dibandingkan dengan nilai F dari tabel pada nilai *alpha* tertentu dengan derajat kebebasan. Pada uji F juga harus menentukan hipotesa pengujian dalam suatu percobaan. Adapun kriteria hipotesa pada suatu percobaan sebagai berikut:

H_0 : tidak ada pengaruh perlakuan, sehingga $\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_n$

H_1 : ada pengaruh perlakuan, sehingga sedikit ada satu μ_1 yang tidak sama

Kesimpulan hipotesa pengujian F yaitu apabila nilai F_{hitung} lebih kecil dari nilai F_{tabel} ($F_{\text{hitung}} < F_{\text{tabel}}$), maka hipotesa (H_0) diterima atau tidak ada pengaruh perlakuan terhadap faktor-faktor. Namun jika nilai F_{hitung} lebih besar dari nilai F_{tabel} ($F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$), maka hipotesa (H_0) ditolak dan berarti ada perbedaan perlakuan terhadap faktor.

3. Melakukan strategi *pooling up*. Jika berdasarkan perhitungan ANOVA terdapat faktor yang tidak berpengaruh signifikan secara statistik maka perlu dilakukan *pooling up*. *Pooling up* untuk memastikan bahwa faktor (x) memiliki pengaruh terhadap kualitas produk (meskipun nilai kontribusinya kecil). Adapun rumus yang digunakan untuk strategi *pooling up* sebagai berikut:

- a. Jumlah kuadrat *pooled e*

$$SS(\text{pooled } e) = SS_{\text{error}} + SS_B \quad (35)$$

- b. *Degree of freedom pooled e*

$$D_f(\text{pooled } e) = D_{f_{\text{error}}} + D_{f_B} \quad (36)$$

- c. Rata-rata jumlah kuadrat *pooled e*

$$MS_{\text{pooled } e} = \frac{SS_{\text{pooled } e}}{D_{f_{\text{pooled } e}}} \quad (37)$$

f) Menghitung *Signal Noise to Ratio* (SNR), menentukan faktor-faktor yang berkontribusi pada penurunan variasi dalam suatu hasil pengukuran. Nilai dari rasio S/N yang dipilih akan bervariasi sesuai dengan tipe karakteristik kualitas yang ditargetkan dalam penelitian. Adapun rumus rasio S/N untuk tiap karakteristik kualitas sebagai berikut:

a. *Smaller the Better*

$$L(y) = k[\sigma^2 + \bar{y}^2] = k[\text{MSD}] \quad (38)$$

$$\eta = -10 \log_{10} [\sigma^2 + \bar{y}^2] \quad (39)$$

b. *Larger the Better*

$$L(y) = k \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] = k[\text{MSD}] \quad (40)$$

$$\eta = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \quad (41)$$

c. *Nominal the Best*

$$\eta = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \mu)^2 \right] \quad (42)$$

g) Menentukan *setting* level optimal, guna meningkatkan kualitas yaitu dengan mencari kombinasi pengaturan level agar produk sesuai dengan spesifikasi yang telah diterapkan (menentukan kombinasi level yang optimal).

2.7 *Analysis of Variance* (ANOVA)

Analysis of Variance (ANOVA) adalah teknik dalam statistika yang digunakan untuk uji hipotesis parametrik. *Analysis of Variance* (ANOVA) merupakan teknik statistik yang berfungsi untuk menguji perbedaan antara rata-rata beberapa kelompok atau populasi yang tidak tergantung satu sama lain (Sudri, Widiandy dan Ferndana, 2020). Teknik ANOVA ini dikembangkan oleh Ronalds A. Fisher dengan memanfaatkan distribusi F. sering diaplikasikan dalam studi penelitian, terutama yang berkaitan dengan desain eksperimental yang berdampak pada keputusan adopsi teknologi terbaru.

Analysis of Variance (ANOVA) terbagi menjadi dua macam, yaitu ANOVA satu arah dan ANOVA dua arah. Analisis varians satu arah merupakan pengujian data yang diperoleh dari percobaan dengan lebih dari dua tingkat faktor dan hanya menyelidiki salah satu faktor. Tujuan pengujian *one way* ANOVA untuk mengidentifikasi satu variabel bebas dan bagaimana variabel tersebut dapat mempengaruhi variabel respons (Fajrin, Pathurahman dan Pratama, 2016). *Two way* ANOVA merupakan pengujian statistik yang digunakan untuk menguji perbedaan kelompok-kelompok data hasil pengamatan ulang yang berasal dari dua variabel bebas. Tujuan pengujian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh dari variabel dan berbagai kriteria yang diujikan pada hasil yang diharapkan (Khoiri, 2021). Uji ANOVA termasuk uji parametrik, sehingga perlu memastikan terlebih dahulu bahwa sampel data telah memenuhi asumsi-asumsi yang diperlukan untuk uji tersebut. Adapun asumsi-asumsi yang terkait dengan uji *Analysis of Variance* (ANOVA) seperti dibawah ini (Rachman *et al.*, 2019):

1. Uji kenormalan, distribusi gejala yang dianalisis dalam setiap populasi bersifat normal. Apabila belum diketahui apakah sampel telah mengikuti distribusi normal atau tidak, dapat dilakukan pengetesan normalitas (*test of normality*).
2. Kesamaan variansi, variansi dari setiap populasi tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Jika belum diketahui, variansi harus dihitung terlebih dahulu dengan uji variansi (*test of variance*).
3. Sampel bersifat independen, dalam hal ini sampel hendaknya diambil secara acak (*random*), sehingga setiap pengamatan merupakan informasi yang bebas.

Apabila sampel tidak memenuhi asumsi seperti di atas, maka sebaiknya tidak melakukan uji ANOVA melainkan uji non-parametrik yaitu uji Kruskal-Wallis. Salah satu ciri analisis ini yaitu model ini terparameterisasikan secara berlebih, artinya model ini mengandung lebih banyak parameter daripada yang dibutuhkan untuk mempresentasikan pengaruh-pengaruh yang diinginkan. Adapun langkah-langkah perhitungan *Analysis of Variance* (ANOVA) sebagai berikut (Sudri, Widianty dan Ferndana, 2020):

1. Menghitung rata-rata (*mean*) dari tiap-tiap kelompok (M_k) kemudian menghitung rata-rata (*mean*) total (M_{tot}).

2. Menghitung deviasi dengan rumus berikut.

- Deviasi kuadrat dalam kelompok (DK_{tot})

$$DK_{tot} = \sum X_{tot}^2 - \frac{(\sum X_{tot})^2}{N} \quad (43)$$

- Deviasi kuadrat antar kelompok (DK_{ant})

$$DK_{ant} = \frac{(\sum X_1)^2}{n_1} + \frac{(\sum X_2)^2}{n_2} + \frac{(\sum X_3)^2}{n_3} + \dots + \frac{(\sum X_m)^2}{n_m} - \frac{(\sum X_{tot})^2}{N} \quad (44)$$

- Deviasi kuadrat dalam kelompok (DK_{dal})

$$DK_{dal} = DK_{tot} - DK_{ant} \quad (45)$$

3. Menghitung rata-rata kuadrat dengan rumus berikut.

- Rata-rata kuadrat antar kelompok

$$MK_{ant} = \frac{DK_{ant}}{db_{ant}} \quad (46)$$

- Rata-rata kuadrat dalam kelompok

$$MK_{dal} = \frac{DK_{dal}}{db_{dal}} \quad (47)$$

4. Menghitung *F-ratio* dengan rumus berikut.

$$F = \frac{MK_{ant}}{MK_{dal}} \quad (48)$$

Setelah perhitungan dilakukan, kemudian membandingkan hasil *F*-hitung dengan *F*-tabel biasanya dengan menggunakan taraf signifikan sebesar 5% dan 1%. Adapun kriteria penentuan pembandingannya sebagai berikut.

- Jika *F*-hitung > *F*-tabel, maka H_0 ditolak dan H_1 gagal ditolak, artinya bahwa terdapat perbedaan antara rata-rata kelompok.
- Jika *F*-hitung < *F*-tabel, maka H_0 gagal ditolak dan H_1 ditolak, artinya tidak ada perbedaan antara rata-rata kelompok.

5. Membuat tabel ringkasan ANOVA.

6. Menguji hipotesis dengan kriteria keputusan berikut.

- $H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_n$, tidak terdapat perbedaan atau pengaruh.
- $H_1 = \mu_1 \neq \mu_2$, setidaknya terdapat satu pasangan.

2.8 Interval Kepercayaan (*Confidence Interval*)

Nilai maksimum dan minimum yang diharapkan dari nilai rata-rata sebenarnya akan tercakup dengan tingkat kepercayaan tertentu disebut interval kepercayaan. Pelaku eksperimen menginginkan untuk memiliki rentang nilai di mana nilai rata-rata sebenarnya akan berada di dalam rentang nilai dengan tingkat kepercayaan tertentu. Memilih tingkat kepercayaan yang tinggi untuk mengurangi risiko, tetapi memilih interval kepercayaan yang lebar akan mengurangi peluang untuk nilai ini. Jenis interval kepercayaan berdasarkan sasaran estimasi adalah sebagai berikut (Irwan S, 2019):

1. Interval kepercayaan untuk level faktor

$$CI = \sqrt{F_{\alpha, V1, V2} \times Ve \times \left(\frac{1}{n}\right)} \quad (49)$$

Keterangan:

$F_{\alpha, V1, V2}$ = nilai *F-ratio* dari tabel

α = risiko, level kepercayaan = 1 – risiko

$V1$ = derajat kebebasan untuk pembilang yang berhubungan dengan rata-rata dan selalu sama dengan 1 untuk suatu interval kepercayaan

$V2$ = derajat kebebasan untuk penyebut yang berhubungan dengan derajat kebebasan dari variansi *pooled error*

Ve = variansi *pooled error*

n = jumlah pengamatan yang digunakan untuk menghitung rata-rata

2. Interval kepercayaan untuk perkiraan rata-rata

$$CI = \sqrt{F_{\alpha, V1, V2} \times Ve \times \left(\frac{1}{n_{\text{eff}}}\right)} \quad (50)$$

Di mana n_{eff} adalah jumlah pengamatan efektif,

$$n_{\text{eff}} = \frac{\text{Jumlah total eksperimen}}{1 + \text{Jumlah derajat kebebasan dalam perkiraan rata-rata}}$$

(51)

3. Interval kepercayaan untuk eksperimen konfirmasi

$$CI = \sqrt{F_{\alpha, V1, V2} \times Ve \times \left(\frac{1}{n_{\text{eff}}} + \frac{1}{r}\right)} \quad (52)$$

Keterangan:

r = ukuran sampel yang digunakan (jumlah replikasi) untuk eksperimen konfirmasi (r tidak sama dengan 0).

2.9 Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi merupakan metode dalam penelitian ilmiah yang bertujuan untuk menguji kebenaran dari hasil analisis dan perhitungan yang telah dilakukan. Eksperimen ini dilaksanakan dengan memanfaatkan desain atau gabungan dari *setting* level optimal yang telah dirancang berdasarkan hasil kalkulasi yang telah ada sebelumnya (Halimah dan Ekawati, 2020). Apabila hasil dari eksperimen konfirmasi berhasil memvalidasi prediksi yang telah dibuat, maka dapat disimpulkan bahwa pengaturan tingkat yang telah ditetapkan untuk kondisi optimal telah sesuai dengan kriteria yang diperlukan dalam eksperimen tersebut. Selain itu, tujuan dari eksperimen konfirmasi juga mencakup pengujian terhadap berbagai kombinasi antara faktor dan tingkatannya. Berikut ini adalah urutan langkah dalam melaksanakan eksperimen konfirmasi (Irwan S, 2019):

1. Memilih kombinasi optimal dari level faktor dan interaksi yang memiliki pengaruh yang berarti.
2. Menetapkan level untuk faktor-faktor yang tidak memberikan dampak signifikan.
3. Melakukan perhitungan untuk mendapatkan perkiraan nilai rata-rata dari kombinasi level faktor dan interaksi yang penting.
4. Mengestimasi nilai deviasi standar dari gabungan faktor dan interaksi yang berpengaruh.
5. Menentukan jumlah sampel yang dibutuhkan untuk eksperimen konfirmasi.
6. Melakukan perhitungan untuk menemukan nilai dari interval kepercayaan.
7. Menghitung rentang interval kepercayaan yang akan mencakup nilai rata-rata yang sebenarnya berdasarkan estimasi yang ada.
8. Melaksanakan pengujian sesuai dengan rancangan yang telah ditetapkan.
9. Membandingkan nilai rata-rata yang diperoleh dari pengujian konfirmasi dengan rentang interval kepercayaan yang telah diestimasi.
10. Menentukan langkah selanjutnya berdasarkan hasil yang diperoleh.

Untuk menentukan faktor dan interaksi yang signifikan, digunakan metode analisis variansi. Pemilihan level terbaik untuk faktor yang signifikan ditentukan berdasarkan jenis karakteristik kualitas yang diukur. Sedangkan untuk faktor yang tidak signifikan, pertimbangan utamanya adalah efisiensi biaya. Apabila terdapat perbedaan biaya antar level, maka yang dipilih adalah level yang paling menghemat biaya..

