



universitas
MALIKUSSALEH

SKRIPSI

**ANALISIS PENGENDALIAN KUALITAS PRODUKSI TAHU
MENGUNAKAN METODE *STATISTICAL QUALITY
CONTROL* DAN *TAGUCHI* PADA UD.TAHU BANG
DAHRI DI KABUPATEN BIREUEN**

Diajukan Sebagai Salah Satu Persyaratan Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Pada Program Studi Teknik Industri
Universitas Malikussaleh

Disusun Oleh:

**ITA AGUSTINA
NIM. 190130031**

PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK INDUSTRI FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MALIKUSSALEH
LHOKSEUMAWE
2024

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan kasih sayang hingga terselesaikannya skripsi yang berjudul **“Analisis Pengendalian Kualitas Produksi Tahu Menggunakan Metode *Statistical Quality Control* dan *Taguchi* di UD. Tahu Bang Dahri di Kabupaten Bireuen”**.

Skripsi ini bertujuan untuk memenuhi persyaratan kurikulum Sarjana (S1) Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh. Penulis sangat menyadari bahwa tanpa bimbingan langsung maupun tidak langsung serta bantuan dari berbagai pihak, sangat sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, dengan segala keikhlasan dan rendah hati, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Herman Fithra, MT., IPM., ASEAN. Eng selaku rektor Rektor Universitas Malikussaleh.
2. Dr. Muhammad Daud, ST., MT selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh.
3. Ir. Amri, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh.
4. Defi Irwansyah, ST., M. Eng selaku Sekretaris Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh.
5. Syarifuddin, ST., MT., IPM selaku Ketua Prodi Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh.
6. Diana Khairani Sofyan, ST., MT., IPM selaku Dosen Pembimbing 1 yang selalu mengarahkan, memotivasi, menyarankan dan mrrmbantu setiap langkah penyusunan skripsi ini.
7. Dr.Syarifah Akmal, ST., MT., IPM, selaku Dosen Pembimbing 2 yang selalu mengarahkan, memotivasi, menyarankan dan mrrmbantu setiap langkah penyusunan skripsi ini.
8. Fatimah, ST., MT, selaku Dosen Penguji 1 yang senantiasa memberikan banyak saran dan masukan dalam menyelesaikan skripsi ini.

9. Syukriah, ST, M.Sc. Eng. IPM selaku dosen penguji 2 yang senantiasa memberikan banyak saran dan masukan dalam menyelesaikan skripsi ini.
10. Bapak dan Ibu dosen Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh yang telah member masukan dan ilmu selama penulis melakukan pembelajaran.
11. Keluarga besar tercinta terkhusus Ayahanda Zainuddin Ahmad dan Ibunda Nurmi, Serta kakak dan abang terkasih. Terima kasih atas kasih sayang do'a dukungan dan dorongan moral yang tak ternilai kepada ananda hingga bisa sampai seperti ini.
12. Pemilik dan pekerja pada UD. Tahu Bang Dahri yang telah memberikan waktu untuk penulis bisa melakukan penelitian di UD tersebut hingga terselesaikan skripsi ini.
13. Kelurga besar Teknik Industri Universitas Malikussaleh, khususnya rekan-rekan kerja praktik dan teman-teman Teknik Industri angkatan 2019.
14. Terakhir, semua pihak yang telah membantu demi lancarnya penulisan skripsi yang tidak bisa disebutkan namanya satu persatu.

Akhir kata semoga Allah berkenan membalas segala kebaikan pihak yang telah membantu. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembang ilmu pengetahuan khususnya pada bidang industri.

Lhokseumawe, 26 Desember 2023

Ita Agustina

190130031

ABSTRAK

Industri olahan makanan Tahu Bang Dahri merupakan sebuah usaha bidang makanan yang terdapat di Kabupaten Bireuen. UD. Tahu Bang Dahri masih terdapat kesalahan dan kecacatan produk disetiap proses produksi maupun pasca produksi. Hasil observasi awal peneliti, terdapat beberapa permasalahan pada UD ini yang mengganggu proses produksi sehingga menurunkan kualitas produk. Permasalahan utama yaitu tentang kecacatan produk. Kecacatan produk pada UD ini terbagi menjadi dua bagian yaitu tekstur tahu lembek yang disebabkan oleh lamanya waktu saat pengepresan dan penggilingan dan produk tahu yang kotor dan berbau yang disebabkan oleh lamanya waktu perebusan kedelai sehingga menurunkan kualitas produk. Tingginya kecacatan produk yang terjadi pada proses produksi tahu perlu dilakukan analisis tentang pengendalian kualitas untuk meminimalisir kegagalan yang terjadi dan tentunya dapat meningkatkan kualitas produk. Untuk itu dilakukan analisis pengendalian produksi menggunakan metode *Statistical Quality Control* dan metode *Taguchi*. Hasil penelitian dengan metode SQC menunjukkan faktor kerusakan tahu kotor dan berbau serta tahu lembek disebabkan oleh manusia, mesin dan metode. Sedangkan dengan metode *Taguchi* jenis kerusakan tahu kotor dan berbau faktor lama perebusan memiliki nilai kontribusi terbesar yaitu 63,83% dan lama pengepresan sebesar 31,86%, sedangkan jenis kerusakan tahu lembek faktor lama pengepresan memiliki nilai kontribusi sebesar 68,19% dan lama penggilingan sebesar 22,58%. Hasil perhitungan metode *Taguchi* dapat menurunkan kerusakan produk dengan jumlah kerusakan tahu pada eksperimen *Taguchi* sebesar 104 unit dan eksperimen konfirmasi sebesar 83 unit dengan persentase penurunan 0,21%.

Kata Kunci : SQC, Fishbone diagram, Taguchi

DAFTAR ISI

	Halaman
SURAT PERNYATAAN ORISINILITAS	
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	
LEMBAR PENGESAHAN FAKULTAS	
KATA PENGANTAR.....	i
ABSTRAK	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR RUMUS	ix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	4
1.6 Asumsi.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Landasan Teori	5
2.1.1 Pengertian Kualitas.....	5
2.1.1.1 Pengertian Pengendalian Kualitas	6
2.1.1.2 Tujuan Pengendalian Kualitas	7
2.1.1.3 Langkah-Langkah Pengendalian Kualitas.....	8
2.1.2 <i>Statistical Quality Control</i>	9
2.1.2.1 Lembar Pemeriksaan (<i>Check sheet</i>)	10
2.1.2.2 Histogram	11
2.1.2.3 <i>Control chat</i> (peta kendali).....	12
2.1.2.4 Diagram Pareto.....	14
2.1.2.5 <i>Fishbone</i> Diagram (diagram sebab akibat).....	15
2.1.2.6 <i>Scatter</i> Diagram.....	16
2.1.2.7 Diagram Proses.....	17
2.1.3 Metode <i>Taguchi</i>	17
2.1.3.1 Langkah-langkah Pelaksanaan Percobaan <i>Taguchi</i>	19
2.1.3.2 Analisis Variansi (Anova)	27
2.1.3.3 Eksperimen Konfirmasi.....	30
2.1.4 Manajemen Produksi dan Operasi	30
2.1.4.1 Pengertian dan Proses Produksi Tahu	32
2.1.4.2 Proses Produksi Tahu	33
2.2 Penelitian Terdahulu.....	35

BAB III METODELOGI PENELITIAN

3.1	Lokasi, Objek dan Waktu Penelitian	42
3.2	Metode Pengumpulan Data	42
3.3	Jenis dan Sumber Data	43
3.4	Defenisi Variabel Operasional	43
3.5	Metode Analisis Data	44
	3.5.1 Metode <i>Statistical Quality Control</i> (SQC)	44
	3.5.2 Metode <i>Taguchi</i>	46
3.6	Bagan Penelitian	48

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1	Hasil Penelitian	50
	4.1.1 Pengumpulan Data	50
	4.1.2 Metode <i>Statistical Quality Control</i>	51
	4.1.3 Metode <i>Taguchi</i>	61
	4.1.3.1 Metode <i>Taguchi</i> untuk Tahu Kotor dan Berbau ..	61
	4.1.3.2 Metode <i>Taguchi</i> untuk Tahu Lembek	81
4.2	Pembahasan	101
	4.2.1 Analisis Metode <i>Statistical Quality Control</i>	101
	4.2.2 Analisis Metode <i>Taguchi</i>	102

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan	104
5.2	Saran	106

DAFTAR PUSTAKA LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Lembar <i>check sheet</i>	11
Tabel 2.2 Tabel Respon.....	28
Tabel 4.1 Data Total Produksi Tahu Selama 30 Hari Kerja Dan Jumlah Kerusakan/Cacat Produk.....	50
Tabel 4.2 <i>Check sheet</i> Kerusakan Tahu selama 30 Hari	51
Tabel 4.3 Persentase Kerusakan Tahu Selama 30 Hari	53
Tabel 4.4 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Persentase Kerusakan	55
Tabel Tabel 4.5 Perhitungan Batas Kendali Pada Produk Tahu.....	57
Tabel 4.6 Level dan Nilai Level Faktor	61
Tabel 4.7 Derajat Kebebasan.....	62
Tabel 4.8 Matriks Orthogonal.....	63
Tabel 4.9 Nilai Level Faktor.....	63
Tabel 4.10 Hasil Percobaan Pada Kerusakan Tahu Kotor Dan Berbau.....	64
Tabel 4.11 Respon Rata-Rata Untuk Setiap Faktor	65
Tabel 4.12 Rekapitulasi Perhitungan S/N.....	66
Tabel 4.13 Nilai Respon Rata-Rata Untuk Setiap Faktor	67
Tabel 4.14 Hasil Perhitungan Analisis Varians Rata-rata	69
Tabel 4.15 Hasil Perhitungan Analisis Varians Penggabungan	70
Tabel 4.16 Persen Kontribusi	72
Tabel 4.17 Analisis Varians Terhadap Rata-Rata.....	74
Tabel Tabel 4.18 Analisis Varians Penggabungan	75
Tabel 4.19 Persen Kontribusi (Lanjutan).....	77
Tabel 4.20 Faktor Dan Level Eksperimen Konfirmasi (Lanjutan).....	79
Tabel 4.21 Hasil Eksperimen Konfirmasi	79
Tabel 4.22 Level dan Nilai Level Faktor	82
Tabel 4.23 Derajat Kebebasan.....	82
Tabel 4.24 Matriks Orthogonal.....	83
Tabel 4.25 Substitusi Nilai Level Faktor	83
Tabel 4.26 Hasil Eksperimen Kerusakan Produk	84
Tabel 4.27 Nilai Respon Rata-Rata	85
Tabel 4.28 Rekapitulasi Perhitungan S/N.....	86
Tabel 4.29 Nilai Respon Rata-Rata	87
Tabel Tabel 4.30 Analisis Varians Terhadap Rata-Rata	90
Tabel 4.31 Analisis Varians Penggabungan	90
Tabel 4.32 Persen Kontribusi (Lanjutan).....	92
Tabel 4.33 Analisis Varians Terhadap Rata-Rata.....	94
Tabel 4.34 Analisis Varians Penggabungan	95
Tabel 4.35 Persen Kontribusi	97

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.36 Faktor Dan Level Eksperimen Konfirmasi.....	99
Tabel 4.37 Hasil Eksperimen Konfirmasi	99
Tabel 4.38 Jenis Kerusakan Produk Tahu	101
Tabel 4.39 Penggunaan Metode <i>Taguchi</i>	102
Tabel 4.40 Hasil Perhitungan Eksperimen <i>Taguchi</i> Dan Konfirmasi	102

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Histogram.....	12
Gambar 2.2 Peta Kendali.....	14
Gambar 2.3 Diagram Pareto.....	15
Gambar 2.4 Diagram Sebab Akibat.....	16
Gambar 3.1 Bagan Penelitian.....	51
Gambar 4.1 Histogram Kerusakan Tahu.....	54
Gambar 4.2 Control Chart Produk Tahu	58
Gambar 4.3 Fishbone Diagram Pada Tahu Kotor dan Berbau.....	58
Gambar 4.4 Fishbone Diagram pada Tahu Lembek	60

DAFTAR RUMUS

	Halaman
Pers. 2.1 <i>Upper Control Limit</i>	12
Pers. 2.2 Central Line/Garis Pusat Atau Tengah.....	13
Pers. 2.3 <i>Low Control Limit</i>	13
Pers. 2.4 Dof untuk faktor A	22
Pers. 2.5 Dof untuk faktor B	22
Pers. 2.6 Dof untuk interaksi faktor A dan B	22
Pers. 2.7 Jumlah total Dof	22
Pers. 2.8 <i>Orthogonal Array</i>	23
Pers. 2.9 S/N Ratio	27
Pers. 2.10 <i>Smaller Is Better</i>	27
Pers. 2.11 <i>Larger Is Better</i>	27
Pers. 2.12 Rata-rata respon Eksperimen	28
Pers. 2.13 Rata-rata total keseluruhan.....	28
Pers. 2.14 <i>The Total Sum Of Square</i>	28
Pers. 2.15 <i>The Sum Of Square Due To The Mean</i>	29
Pers. 2.16 <i>The Sum Of Square Due To The Factors</i>	29
Pers. 2.17 <i>The Sum Of Square Due To The Error</i>	29
Pers. 2.18 <i>The Mean Sum Of Square</i>	29
Pers. 2.19 F Ratio	30
Pers. 2.20 <i>Pure Sum Of Squares</i>	30
Pers. 2.21 <i>Pure Sum Of Squares</i> untuk <i>error</i>	30
Pers. 3.1 <i>Upper Control Limit</i>	46
Pers. 3.2 Central Line/Garis Pusat Atau Tengah	46
Pers. 3.3 <i>Low Control Limit</i>	46
Pers. 3.4 Dof untuk faktor A	49
Pers. 3.5 Dof untuk faktor B	49
Pers. 3.7 Jumlah total Dof	49
Pers. 3.8 <i>Orthogonal Array</i>	49

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kualitas produk yang sesuai dengan harapan pelanggan merupakan peran penting dalam peningkatan kemampuan sumber daya manusia perusahaan, tetapi lebih dari itu, kualitas produk yang dihasilkan memainkan peran penting dalam keberhasilan bisnis dalam industri ini. Pengendalian kualitas dibutuhkan untuk mengukur dan menetapkan spesifikasi kualitas produk, membandingkan produk saat ini dengan spesifikasi yang telah ditetapkan, dan langkah terpenting adalah mengambil tindakan perbaikan jika kualitas produk berbeda dari penampilan sebenarnya dengan standar yang telah ditetapkan untuk menjaga kualitas produk (Kotler dan Keller, 2017).

Menurut Baldah, Kualitas mencakup semua karakteristik produk dan jasa, termasuk marketing, engineering, pembuatan, dan perawatan, yang memastikan bahwa produk dan jasa tersebut digunakan sesuai dengan kebutuhan dan harapan pelanggan (Munjiati, 2019).

Josep Juran berpendapat bahwa: "*Quality is fitness for use*" yang bila diterjemahkan secara bebas berarti bahwa kualitas produk berkaitan dengan enakannya untuk digunakan. Produsen menganggap bahwa kualitas yang baik adalah apabila produk yang dihasilkan oleh perusahaan memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan oleh perusahaan, sedangkan kualitas yang buruk adalah apabila produk yang dihasilkan oleh perusahaan tidak memenuhi spesifikasi standar yang telah ditentukan (Nasution, 2019).

Pengendalian kualitas merupakan aktifitas Mengukur karakteristik kualitas produk atau jasa, membandingkan hasilnya dengan spesifikasi produk yang diinginkan, dan mengambil tindakan peningkatan yang tepat apabila ada perbedaan kinerja aktual dan standar dikenal sebagai pengendalian kualitas (Shiyamy et al., 2021).

Industri olahan makanan Tahu Bang Dahri merupakan sebuah usaha bidang makanan yang terdapat di Kabupaten Bireuen. Industri tahu menjadi salah satu usaha yang digemari di karenakan pembuatan tahu dilakukan dengan cara atau teknologi yang sederhana. UD. Tahu Bang Dahri didirikan pada tahun 2006 merupakan salah satu *home industry* di Kabupaten Bireuen. Seiring perkembangannya UD. Tahu Bang Dahri mulai berkembang dan dikenali oleh masyarakat di kabupaten Bireuen hingga saat ini.

UD. Tahu Bang Dahri masih terdapat kesalahan dan kecacatan produk disetiap proses produksi maupun pasca produksi. Hasil observasi awal peneliti, terdapat beberapa permasalahan pada UD ini yang mengganggu proses produksi sehingga menurunkan kualitas produk. Permasalahan utama yaitu tentang kecacatan produk. kecacatan produk pada UD ini terbagi menjadi dua bagian yaitu tekstur tahu lembek dan produk tahu yang kotor dan berbau. Jumlah produksi tahu di UD tersebut berkisar antara 3000-4000 potong dalam sehari produksi dengan jumlah kecacatan yang disebabkan oleh ketiga faktor tersebut antara 86-118 potong atau 2,7% - 3,03%. Rata-rata cacat produk dalam 30 hari terakhir mencapai 3038 potong atau 2,89%. Untuk data yang lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran 1. Dari data tersebut diperoleh bahwa tingginya kecatatan produk yang terjadi pada proses produksi tahu perlu dilakukan analisis tentang pengendalian kualitas untuk meminimalisir kerusakan maupun kegagalan yang terjadi dan tentunya dapat meningkatkan kualitas produk tahu UD. Tahu Bang Dahri. Beberapa penelitian yang membahas tentang kecacatan produk, metode yang digunakan adalah metode *Statistical Quality Control* yaitu teknik penyelesaian masalah yang digunakan untuk mengendalikan, menganalisis dan memperbaiki produk dan proses menggunakan metode-metode statistik. Sedangkan untuk proses pengendalian kualitas produk digunakan metode *Taguchi* yang dikembangkan oleh Genichi *Taguchi* untuk meningkatkan kualitas produk barang atau jasa yang diproduksi oleh perusahaan. Berdasarkan permasalahan tersebut, perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui apakah proses produksi sudah sesuai dengan standar yang telah ditetapkan dengan mengangkat masalah dalam bentuk penelitian yang berjudul” **Analisis Pengendalian Kualitas**

Produksi Tahu Menggunakan Metode *Statistical Quality Control* dan *Taguchi* pada UD. Tahu Bang Dahri di Kabupaten Bireuen”

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah, maka rumusan masalah penelitian adalah sebagai berikut:

1. Faktor apa saja yang menyebabkan terjadinya kecacatan produk pada UD. Tahu Bang Dahri?
2. Faktor mana yang lebih dominan untuk mengurangi variansi produk cacat pada tahu di UD. Tahu Bang Dahri?
3. Bagaimana cara pengendalian kualitas produk tahu pada UD. Tahu Bang Dahri dengan metode SQC dan *Taguchi*?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui faktor apa saja yang menyebabkan terjadinya kecacatan produk pada UD. Tahu Bang Dahri
2. Untuk mengetahui faktor mana yang lebih dominan untuk mengurangi variansi produk cacat pada tahu di UD. Tahu Bang Dahri
3. Untuk mengetahui cara pengendalian kualitas produk tahu UD. Bang Dahri dengan metode SQC dan *Taguchi*

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi Peneliti
 - a. Peningkatan Pengetahuan dan Keterampilan: Melalui penelitian ini, peneliti akan mendapatkan pemahaman yang lebih mendalam tentang analisis pengendalian kualitas produk tahu. Ini akan meningkatkan keahlian peneliti dalam bidang ini dan meningkatkan peluang karir di industri yang terkait.

- b. Kontribusi terhadap Ilmu Pengetahuan dan Penelitian: Penelitian ini akan memberikan kontribusi pada pengetahuan yang ada dalam bidang analisis penjadwalan. Dengan menerapkan metode, peneliti akan memberikan wawasan baru dan pemahaman yang lebih baik tentang bagaimana metode tersebut dapat diterapkan dalam industri pembuatan tahu. Hasil penelitian ini dapat berkontribusi pada perkembangan teori dan praktik dalam bidang analisis penjadwalan.
2. Bagi Jurusan Teknik Industri
Fakultas Teknik dapat meningkatkan mutu lulusannya dengan memadukan pengetahuan yang ada di dalam kampus dengan dunia industri.
3. Bagi Perusahaan
Peningkatan Efisiensi Produksi: penelitian ini akan membantu meminimalisir cacat produk dan meningkatkan kualitas produksi.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang diberikan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya berfokus pada produk tahu yang cacat di UD. Tahu Bang Dahri di Kabupaten Bireuen.
2. Data penelitian yang digunakan diambil pada tahun 2023.

1.5 Asumsi

Adapun asumsi pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. UD Tahu Bang Dahri memproduksi tahu tanpa memperhatikan standar kualitas dari produksi tahu sehingga banyak terjadi kecacatan produk.
2. Selama penelitian berlangsung terdapat produk cacat di UD. Tahu Bang Dahri

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Pengertian Kualitas

Kualitas adalah sesuatu yang berhubungan dengan produk, jasa, proses dan lingkungan, Sebelum kualitas produk barang dan jasa diproduksi oleh perusahaan, perusahaan harus memastikan bahwa proses produksi sesuai dengan standar produksi yang telah ditetapkan oleh perusahaan, sehingga kualitas yang dihasilkan oleh perusahaan tidak hanya terdiri dari produk jadi tetapi juga menjamin secara keseluruhan proses produksi. (Dwiartono et al., 2021).

Kualitas merupakan suatu aspek penting dalam perkembangan perusahaan dan menjadi parameter utama konsumen dalam menjatuhkan suatu produk atau layanan. Kualitas digunakan untuk memenuhi kebutuhan konsumen (*meeting the customer*). Hal ini menandakan kelebihan suatu produk barang atau jasa untuk selalu menciptakan barang sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan, sehingga akan memberikan kepuasan dan menumbuhkan loyalitas pelanggan. Kualitas tersebut merupakan suatu barang atau jasa yang memiliki karakteristik sesuai dengan kebutuhan bagi pelanggan (Suparno & Narto, 2022).

Kualitas merupakan keseluruhan karakteristik barang atau jasa yang memenuhi spesifikasi atau persyaratan pelanggan. Kualitas merupakan ciri umum suatu produk atau jasa yang mampu memberikan kepuasan pada pelanggan. Kualitas adalah kesesuaian antara fungsi dan kebutuhan. Dua hal tersebut merupakan hal yang penting yang harus diperhatikan. *Features of products* merupakan produk yang sesuai dengan kebutuhan dan memberikan kepuasan pada konsumen dan *freedom from deficiencies* merupakan produk yang bebas dari kesalahan atau kecacatan produk (Khamim, 2017).

Ada tiga hal penting kualitas untuk sebuah perusahaan agar terus dapat bertahan dalam sebuah pasar, yaitu:

1. Reputasi Perusahaan

Kualitas produk memiliki dampak yang signifikan terhadap reputasi perusahaan. Produk yang memiliki kualitas yang baik akan meningkatkan reputasi perusahaan, sementara produk dengan kualitas kurang baik akan merusak reputasi perusahaan.

2. Keandalan Produk

Kualitas produk yang baik dan andal akan digemari dan disukai oleh para konsumennya. Konsumen yang menyukai produk yang dibuat oleh perusahaan biasanya akan kembali membeli produk tersebut. Keandalan produk merupakan salah satu faktor penting bagi perusahaan untuk meningkatkan loyalitas konsumen.

3. Keterlibatan Global

Pada era teknologi seperti sekarang ini, kualitas menjadi perhatian yang penting di tingkat internasional. Bagi perusahaan dan Negara yang ingin bersaing secara efektif dalam ekonomi global, produk mereka harus memenuhi standard kualitas, desain, dan harga yang berlaku secara global (Heizer & Render, 2018). Oleh karena itu, kualitas produk yang dihasilkan sangat berpengaruh terhadap performan perusahaan dalam dunia bisnis. Dalam hal ini, perusahaan harus mampu menjaga kualitas produk atau jasa yang mereka hasilkan agar dapat diterima oleh masyarakat secara luas.

2.1.1.1 Pengertian Pengendalian Kualitas

Pengendalian kualitas merupakan alat yang bermanfaat dalam memastikan produk memenuhi persyaratan mulai dari awal proses produksi hingga akhir. Selama proses produksi, gangguan yang tidak terduga sering kali terjadi. Gangguan-gangguan tersebut yang relatif kecil sering dianggap masih dapat diterima atau berada dalam batas toleransi. Namun, gangguan yang cukup besar atau secara kumulatif signifikan dianggap sebagai tingkat gangguan yang tidak dapat diterima (Kurnadi et al., 2020).

Kualitas merupakan suatu kondisi dinamis yang berhubungan dengan produk, jasa, manusia, proses dan lingkungan yang memenuhi atau melebihi harapan. Kualitas dalam pemakaian sehari – hari, menunjukkan baik buruknya sesuatu, misalnya baik buruknya input atau output. Kualitas (mutu) mencakup sifat, cirri, derajat, jenis, pangkat, standar, atau penilaian yang membedakan sesuatu dari lainnya. Karena itu, kualitas tersebut dapat menggambarkan salah satu dari hal– hal seperti kemampuan untuk dipergunakan (*fitness for use*), kelas atau derajat (*grade*), mutu kecocokkan (*quality of conformance*), karakteristik mutu (*quality charac-teristic*), fungsi mutu (*quality function*), dan nama sebuah bagian dalam organisasi (*quality departemen*) (Mengesha, Yonatan; Singh, Ajit Pal; Amedie, 2013).

Berdasarkan definisi para ahli, dapat disimpulkan bahwa pengendalian kualitas adalah suatu aktivitas teknis yang dapat diukur dengan menggunakan karakteristik produk, mebandingkannya dengan spesifikasi yang telah ditetapkan, dan mengambil tindakan perbaikan jika terdapat ketidaksesuaian antara penampilan actual dengan standar yang telah ditetapkan. Oleh karena itu, dalam proses produksi, penting untuk melakukan pengendalian kualitas sejak awal guna mendeteksi ketidakstabilan yang terjadi dalam proses produksi dan segera melakukan perbaikan serta tindakan yang diperlukan sebelum terjadi banyak unit produk yang tidak sesuai dengan spesifikasi perusahaan.

2.1.1.2 Tujuan Pengendalian Kualitas

Pengendalian kualitas bertujuan untuk menghasilkan produk yang dapat bersaing di pasar dan memenuhi kebutuhan serta diterima oleh masyarakat. Hal ini dilakukan melalui tindakan proses produksi yang mengikuti spesifikasi yang telah ditetapkan oleh perusahaan. Produk yang telah diproduksi akan diperiksa sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan, dan jika terdapat penyimpangan dari spesifikasi tersebut, maka akan dicatat dan dianalisis untuk menjadi pertimbangan dalam perbaikan proses produksi di masa yang akan datang (Jenji et al., 2019).

Adapun tujuan dari pengendalian kualitas yakni sebagai berikut:

1. Agar barang hasil produksi mencapai standar kualitas yang telah ditetapkan
2. Mengusahakan agar biaya inspeksi dapat menjadi sekecil mungkin
3. Mengusahakan agar biaya desain dari produk dan proses dengan menggunakan kualitas proses tertentu dapat menjadi serendah mungkin.
4. Mengusahakan agar biaya produksi dapat serendah mungkin.

2.1.1.3 Langkah-Langkah Pengendalian Kualitas

Standarisasi sangat penting dalam memecahkan masalah kualitas yang telah diselesaikan sebelumnya. Pengendalian kualitas harus dilakukan secara berkelanjutan melalui proses yang terus menerus. Salah satu metode yang digunakan adalah siklus PDCA (*Plan, Do, Check, Action*) yang diperkenalkan oleh Dr. William Edwards Deming, seorang ahli kualitas terkenal. Siklus PDCA juga dikenal sebagai siklus deming, adalah siklus peningkatan proses yang digunakan secara berkelanjutan untuk menguji dan mengimplementasikan perubahan guna meningkatkan kinerja produk, proses, atau system dimasa depan. Siklus PDCA terdiri dari beberapa tahap yang harus dilalui yakni sebagai berikut (Carmelita, 2022):

1. Mengembangkan rencana (*Plan*). Merencanakan spesifikasi, menetapkan spesifikasi atau standar kualitas yang baik, memberi pengertian kepada bawahan akan pentingnya kualitas produk, pengendalian kualitas dilakukan secara terus-menerus dan berkesinambungan.
2. Melaksanakan rencana (*Do*). Rencana yang telah disusun diimplementasikan secara bertahap, mulai dari skala kecil dan pembagian tugas secara merata sesuai dengan kapasitas dan kemampuan dari setiap personil. Selama dalam melaksanakan rencana harus dilakukan pengendalian, yaitu mengupayakan agar seluruh rencana dilaksanakan dengan sebaik mungkin agar sasaran dapat tercapai.
3. Memeriksa atau meneliti hasil yang dicapai (*Check*). Memeriksa atau meneliti merujuk pada penetapan apakah pelaksanaannya berada dalam

jalur, sesuai dengan rencana dan memantau kemajuan perbaikan yang direncanakan. Membandingkan kualitas hasil produksi dengan standar yang telah ditetapkan, berdasarkan penelitian diperoleh data kegagalan dan kemudian ditelaah penyebab kegagalannya.

4. Melakukan tindakan penyesuaian bila diperlukan (*Action*). Penyesuaian dilakukan bila dianggap perlu, yang didasarkan hasil analisis di atas. Penyesuaian berkaitan dengan standarisasi prosedur baru guna menghindari timbulnya kembali masalah yang sama atau menetapkan sasaran baru bagi perbaikan berikutnya.

2.1.2 *Statistical Quality Control*

Pengendalian kualitas statistik adalah sistem pengendalian yang dikembangkan untuk menjaga standard kualitas hasil produksi dengan biaya minimum, serta membantu mencapai efisiensi perusahaan. Pengendalian kualitas statistik dilakukan melalui penggunaan alat-alat yang terdapat dalam SQC. Metode ini melibatkan pengumpulan dan analisis data untuk mengawasi dan menentukan hasil produksi. Pengendalian kualitas menggunakan statistic untuk menganalisis dan mengumpulkan data dari pemeriksaan sampel dalam kegiatan pengendalian kualitas. Statistik adalah ilmu yang digunakan untuk membuat keputusan tentang proses atau populasi berdasarkan informasi yang terkandung dalam sampel dari populasi tersebut (Arianti, 2012).

Tujuan pengendalian kualitas statistik adalah untuk menunjukkan tingkat reliabilitas sampel dan meningkatkan cara mengawasi resiko, membantu pengawasan pemrosesan melalui pemberian peringatan kepada manajer bila terdapat kendala dan menghentikannya sebelum banyak produk rusak. Teknik penyelesaian masalah dan pengendalian dengan metode statistik diperkenalkan oleh Deming yang mengemukakan pertama kali oleh Shewhart dengan tujuan agar perusahaan dapat membedakan penyebab sistematis dan penyebab khusus dalam menangani kualitas. Ia berkeyakinan bahwa perbedaan atau variasi merupakan fakta yang tidak dapat dihindari dalam kehidupan industri (Nasution, 2019).

Manfaat melakukan pengendalian kualitas secara statistik dapat memberikan keuntungan sebagai berikut:

1. Pengawasan (kontrol) dimana penyelidikan yang dibutuhkan untuk dapat menetapkan *statistical control* mengharuskan bahwa syarat-syarat kualitas pada situasi itu dan kemampuan prosesnya telah dipelajari hingga mendetail.
2. Pengerjakan kembali barang-barang yang telah proses ulang (*scrap rework*) dengan dijalankan pengontrolan maka dapat dicegah terjadinya penyimpangan-penyimpangan. Maka sebelum akan diperoleh kesesuaian yang lebih baik antara kemampuan proses dan spesifikasi, sehingga dapat dikurangi banyaknya barang yang telah di proses ulang dapat dikurangi
3. Biaya-biaya pemeriksaan karena *statistical quality control* dilakukan dengan jalan mengambil sampel-sampel dan mempergunakan *sampling techniques*, hanya hasil produksi yang perlu untuk diperiksa. Maka hal ini akan dapat menurunkan biaya-biaya untuk pemeriksaan.

Dalam pengendalian kualitas statistik dengan menggunakan metode *Statistical Quality Control* (SQC) terdapat tujuh alat pengendalian kualitas statistik sebagai alat bantu untuk mengendalikan kualitas tersebut yaitu *check sheet*, histogram, peta kendali p, diagram pareto, diagram sebab-akibat, diagram scatter dan diagram proses (Harpreet et al., 2016).

2.1.2.1 Lembar Pemeriksaan (*Check sheet*)

Alat ini adalah lembar pemeriksaan atau tampilan yang disajikan dalam bentuk tabel yang berisi data tentang jumlah produksi, ketidaksesuaian, dan produk yang dihasilkan. Tujuan penggunaan *check sheet* adalah untuk mempermudah proses data dan analisis serta untuk mengidentifikasi masalah area berdasarkan frekuensi dari jenis atau alasannya dan membuat keputusan apakah perlu melakukan perbaikan atau tidak. Eksekusinya dapat dicapai dengan mencatat frekuensi munculnya karakteristik produk yang sesuai dengan kualitas. Selanjutnya, data tersebut dapat digunakan sebagai dasar untuk menganalisis masalah yang muncul.

Adapun manfaat dari penggunaan lembar *check sheet* yaitu sebagai berikut:

1. Mempermudah untuk memproses pengumpulan data terutama untuk mengetahui bagaimana suatu masalah dapat terjadi.
2. Mengumpulkan data tentang jenis masalah yang terjadi.
3. Mengumpulkan data secara otomatis sehingga lebih mudah untuk dikumpulkan.
4. Memisahkan antara opini dan fakta.

Contoh lembar *check sheet* dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Lembar *Check Sheet*

Jenis Cacat	Hari 1	Hari 2	Hari 3	Total
Kotor
Salah potong
Lembek

Sumber: Harpreet et al., 2016

Berdasarkan Tabel 2.1 dapat disimpulkan bahwa lembar *check sheet* dapat mempermudah proses pengumpulan data dan mengetahui penyebab utama dari permasalahan yang terjadi.

2.1.2.2 Histogram

Histogram membantu menemukan variasi dalam proses. Dalam bentuk batang, histogram menampilkan tabulasi data yang sudah diatur berdasarkan ukurannya. Tabulasi berarti distribusi frekuensi yang diamati. Namun, untuk mengetahui bentuk distribusinya, data harus dibagi-bagi. agar analisis masalah kualitas dapat dilakukan dengan melihat gambar distribusi untuk mengetahui penyebab utama variasinya..

Manfaat penggunaan histogram sebagai berikut:

1. Memberikan gambaran populasi.
2. Memerlihatkan variable dalam susunan data.
3. Mengembangkan pengelompokan yang logis.
4. Pola-pola variasi mengungkapkan fakta-fakta produk tentang proses

Contoh histogram dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.1 Histogram

Sumber: Harpreet et al., 2016

Berdasarkan Gambar 2.1 dapat dilihat beberapa penyebab produk cacat yang disajikan dalam bentuk histogram seperti bolong, tidak seragam maupun bantat.

2.1.2.3 Control chat (peta kendali)

Peta kendali adalah suatu alat yang secara grafis digunakan untuk memantau sebuah proses guna melihat apakah hasil dari proses aktivitas dalam pengendalian kualitas secara statistik atau tidak sehingga dapat memecahkan masalah dan menghasilkan perbaikan kualitas. Kegunaan peta kendali untuk mendeteksi adanya suatu penyimpangan atau tidak dalam proses produksi dengan cara menetapkan batas - batas kendali.

1. *Upper Control Limit* (UCL) atau batas kendali atas

Merupakan garis batas atas yang berada di atas garis pusat yang menunjukkan suatu penyimpangan masih diijinkan. *Upper Control Limit* (UCL) dapat dilihat pada Persamaan 2.1 berikut.

$$UCL = \bar{x} + 3 \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \dots \dots \dots \text{Pers.(2.1)}$$

Keterangan:

UCL = Batas kendali atas

P = Rata-rata ketidaksesuaian produk

n = Jumlah produksi

2. *Central Line*/garis pusat atau tengah (CL) Merupakan garis yang menunjukkan tidak adanya penyimpangan dari karakteristik sampel. *Central Line* dapat dilihat pada Persamaan 2.2 berikut.

$$CL = p = \frac{xn}{n} \dots \dots \dots \text{Pers.}(2.2)$$

Keterangan:

CL = Batas kendali tengah

xn = jumlah total yang rusak

n = Jumlah total produksi

3. *Low Control Limit* (LCL) atau batas kendali bawah Merupakan garis batas atas yang berada di atas garis pusat yang menunjukkan suatu penyimpangan masih diijinkan. *Low Control Limit* (LCL) dapat dilihat pada Persaman 2.3 berikut.

$$LCL = x - p - 3 \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \dots \dots \dots \text{Pers.}(2.3)$$

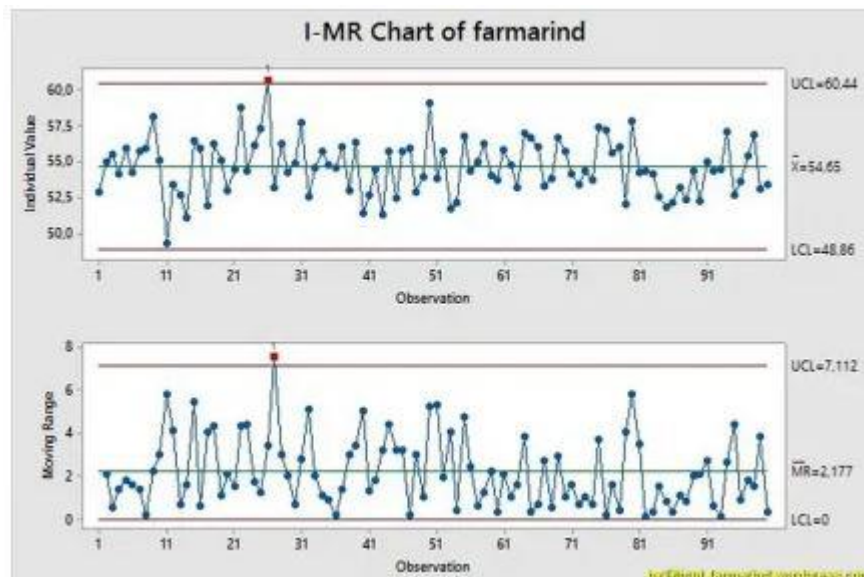
Keterangan:

LCL = Batas kendali bawah

P = Rata-rata ketidaksesuaian produk

n = Jumlah produksi

Contoh peta kendali dapat dilihat pada Gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.2 Peta Kendali

Sumber: Harpreet et al., 2016

Gambar 2.2 merupakan contoh peta kendali yang berfungsi untuk mendeteksi adanya suatu penyimpangan atau tidak dalam proses produksi dengan cara menetapkan batas - batas kendali.

2.1.2.4 Diagram Pareto

Vilfredo Pareto adalah ahli ekonomi yang pertama kali menggunakan diagram pareto pada abad ke-19. Diagram pareto dapat digunakan untuk mengelola kesalahan, masalah, atau kesalahan sehingga fokus dapat terfokus pada penyelesaian masalah yang lebih besar . Ini juga dapat membantu mengidentifikasi atau menyelesaikan masalah utama untuk meningkatkan kualitas dari yang paling besar (dominan) hingga yang paling kecil.

Diagram pareto terdiri dari dua grafik: grafik batang dan grafik garis. Grafik batang menunjukkan data item yang disusun secara berurutan dari nilai yang paling besar hingga yang paling kecil. Sementara itu, grafik garis menunjukkan persen kumulatif dari jumlah keseluruhan.

Contoh diagram pareto dapat dilihat pada Gambar 2.3 berikut.



Gambar 2.3 Diagram Pareto

Sumber: Harpreet et al., 2016

Berdasarkan Gambar 2.3 dapat dilihat bahwa kecacatan yang sering terjadi adalah benang putus dengan persentase 42,7 persen. Namun, tingkat kerusakannya tidak melebihi 80 persen sehingga masih berada dalam batas wajar.

2.1.2.5 Fishbone Diagram (diagram sebab akibat)

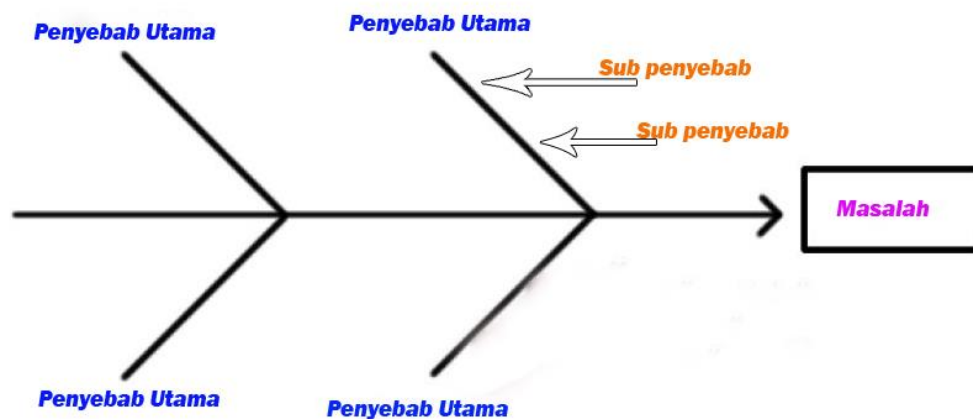
Faktor penyebab (root cause) dan karakteristik kualitas (effect) yang disebabkan oleh faktor-faktor penyebab ditampilkan dalam diagram sebab-akibat yang pertama kali dibuat oleh profesor Kaoru Ishikawa dari universitas Tokyo. Diagram sebab-akibat ini juga dikenal sebagai diagram tulang ikan atau diagram Ishikawa.

Pada diagram ini, secara umum terlihat lima faktor yang disebut sebagai sebab atau akibat dari akibat. Kelima faktor tersebut adalah manusia (manusia), tenaga kerja (tenaga kerja), metode (metode), bahan baku (bahan baku), mesin (mesin), dan lingkungan (lingkungan). Informasi dari sumbang saran digunakan untuk membuat diagram ini.

Diagram sebab-akibat ini dipergunakan untuk kebutuhan sebagai berikut :

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

Contoh diagram sebab akibat dapat dilihat pada Gambar 2.4 berikut.



Gambar 2.4 Diagram Sebab Akibat

Sumber: Harpreet et al., 2016

Berdasarkan Gambar 2.4 dapat dilihat bahwa diagram sebab akibat digunakan untuk menganalisis beberapa penyebab utama dari masalah.

2.1.2.6 Scatter Diagram

Scatter diagram merupakan diagram yang menunjukkan suatu proses hubungan antara dua variabel yang menunjukkan apakah hubungan tersebut bersifat kuat atau tidak yaitu antara faktor proses yang mempengaruhi proses dengan kualitas produk. Diagram ini berguna untuk menginterpretasikan data yang digunakan untuk menguji bagaimana kuatnya hubungan dua variabel tersebut misalkan kecepatan kapasitas mesin dengan proses bagian mesin, banyaknya kunjungan penjual salesman dan hasil penjualan dan menentukan jenis hubungan dari dua variabel, apakah hubungan dua variabel tersebut positif, negatif atau tidak ada hubungan.

2.1.2.7 Diagram Proses

Diagram proses merupakan diagram alir yang secara grafis menunjukkan sebuah proses atau sistem dengan kotak dan garis yang berhubungan. Diagram alir merupakan alat bantu yang berguna untuk menggambarkan proses suatu penyelesaian tugas secara tahap bertahap untuk tujuan analisis, komunikasi serta diskusi untuk dapat membantu menemukan atau memecahkan masalah-masalah dalam perbaikan proses. Sehingga diagram alir ini sangat baik untuk membantu memenuhi sebuah proses atau menjelaskan langkah-langkah sebuah proses.

Diagram alir dipergunakan sebagai alat analisis untuk :

- a. Menunjukkan apa yang sedang terjadi dalam situasi tertentu sepanjang waktu.
- b. Membandingkan dari data periode yang satu dengan periode lain dan memeriksa perubahan-perubahan yang terjadi.
- c. Mengumpulkan data, mengimpletasikan data, dan juga ringkasan data sehingga memudahkan untuk dipahami.
- d. Menunjukkan output dari suatu proses. Menunjukkan kecenderungan dari data sepanjang waktu.

2.1.3 Metode *Taguchi*

Metode *Taguchi* adalah metodologi baru dalam bidang teknik yang memiliki tujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses yang dalam waktu bersamaan menekan biaya dan sumber daya sekecil mungkin. Kualitas sering disebut sebagai kesesuaian dengan spesifikasi. Namun *Taguchi* mengusulkan pandangan yang berbeda dari kualitas yang menghubungkannya dengan biaya dan kerugian dalam nilai uang, tidak hanya untuk produsen pada saat produksi tetapi untuk konsumen dan masyarakat secara keseluruhan (Mukrimaa et al., 2016).

Definisi kualitas menurut *Taguchi* adalah kerugian yang diterima oleh masyarakat sejak produk tersebut didistribusikan. *Taguchi* menekankan bahwa cara terbaik untuk meningkatkan kualitas adalah dengan merancang kualitas ke dalam produk yang dimulai sejak tahap awal desain produk. Filosofi *Taguchi*

terdiri dari tiga buah konsep seperti yang didefinisikan oleh Soejanto, 2009 dalam (Luthfiyah, 2022) yaitu :

1. Kualitas harus didesain ke dalam produk dan bukan sekedar memeriksanya.
2. Kualitas terbaik dicapai dengan meminimumkan deviasi dari target. Produk harus didesain sehingga kokoh (*robust*) terhadap faktor lingkungan yang tidak dapat dikontrol.
3. Kualitas harus diukur sebagai fungsi deviasi dari standar tertentu dan kerugian harus diukur pada seluruh sistem.

Ada tujuh poin dari *Taguchi* yang membedakan pendekatan *Taguchi* dari pendekatan tradisional dalam menjamin kualitas yaitu diantaranya :

1. Dimensi penting dari kualitas produk yang diproduksi adalah total kerugian yang diteruskan oleh produk tersebut ke konsumen.
2. Dalam era ekonomi persaingan, perbaikan kualitas secara terus menerus dan pengurangan biaya penting untuk dapat bertahan dalam bisnis.
3. Perbaikan terus menerus meliputi pengurangan variasi dari karakteristik produk dari nilai target mereka.
4. Kerugian yang diderita konsumen akibat produk yang bervariasi seringkali mendekati proporsi deviasi kuadrat dari karakteristik nilai targetnya.
5. Kualitas akhir dan biaya proses produksi ditentukan oleh perluasan yang besar dari desain engineering dari produk dan proses produksinya
6. Variasi dari produk atau proses dapat dikurangi dengan mengeksplotasi dampak tidak linier dari parameter produk dan proses pada karakteristiknya.
7. Desain eksperimen statistik dapat digunakan untuk mengidentifikasi parameter dari produk atau proses yang akhirnya dapat mengurangi variasi.

Metode *Taguchi* memiliki beberapa keunggulan yaitu sebagai berikut :

1. Desain eksperimen *Taguchi* lebih efisien karena memungkinkan untuk menjelaskan penelitian yang lebih banyak faktor dan taraf dengan hanya melakukan sebagian dari percobaan.

2. Desain eksperimen *Taguchi* memungkinkan diperolehnya suatu proses yang menghasilkan produk konsisten dan kokoh terhadap faktor yang tidak dapat dikontrol.
3. Metode *Taguchi* menghasilkan kesimpulan mengenai respon faktor-faktor dan level yang menghasilkan respon optimum. Selain keunggulan, *Taguchi* tentunya memiliki kekurangan, yaitu terdapat rancangan yang mengorbankan pengaruh interaksi dan ada pula rancangan yang mengorbankan pengaruh utama dan pengaruh interaksi yang cukup signifikan.

2.1.3.1 Langkah-langkah Pelaksanaan Percobaan *Taguchi*

Dalam percobaan *taguchi* terdapat beberapa langkah yang harus dilalui untuk pengendalian kualitas (Jasa, 2000) yaitu:

1. Penentuan Variabel Tak Bebas (Karakteristik Kualitas)

Variabel tak bebas merupakan variabel yang perubahannya tergantung pada variable-variabel lain. Dalam merencanakan suatu percobaan harus dipilih dan ditentukan dengan jenis variabel tak bebas mana yang diselidiki. Dalam percobaan *Taguchi*, variabel tak bebas merupakan karakteristik kualitas yang terdiri dari tiga kategori :

1. *Measurable Characteristic* (Karakteristik yang dapat diukur): semua hasil akhir yang diamati dapat diukur dengan skala kontinu seperti dimensi, berat, tekanan, dan lain-lain.
2. *Attribute Characteristic* (Karakteristik atribut): hasil akhir yang diamati tidak dapat diukur dengan skala kontinu, tetapi dapat diklarifikasikan secara kelompok. Seperti kelompok kecil, menengah, besar, dan sangat besar. Bisa juga dikelompokkan berdasarkan berhasil/ tidak.
3. *Dynamic Characteristic* (Karakteristik dinamis) : merupakan fungsi representasi dari proses yang diamati. Proses yang diamati digambarkan sebagai signal atau *input* dan *ouput* sebagai hasil dari signal.

2. Identifikasi Faktor-faktor (Variabel Bebas)

Variabel bebas (faktor) adalah variabel yang perubahannya tidak

tergantung pada variabel lain. Pada tahap ini faktor-faktor yang akan diselidiki pengaruhnya terhadap variabel tak bebas yang bersangkutan diidentifikasi. Dalam suatu percobaan tidak seluruh faktor yang diperkirakan mempengaruhi variabel yang diselidiki, hal ini akan membuat pelaksanaan percobaan dan analisisnya menjadi kompleks. Hanya faktor-faktor yang dianggap penting saja yang diselidiki. Beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang akan diteliti adalah dengan (Bahy, 2015):

1. *Brainstorming*

Brainstorming merupakan pemikiran kreatif tentang pemecahan suatu masalah, tanpa melihat apakah yang diungkapkan itu masuk akal atau tidak. *Brainstorming* akan lebih baik jika dimulai dengan diskusi kelompok, untuk memberikan gambaran tentang masalah yang akan dihadapi ditinjau dari semua sudut pandang yang. Kemudian setiap orang pada diskusi ini mengungkapkan faktor-faktor yang mungkin berpengaruh pada masalah yang dihadapi tanpa takut dikritik oleh orang lain, sebab mungkin pendapat dan pandangan satu orang berbeda dengan pendapat yang lain tentang suatu masalah. Berbeda dengan pendapat lain tentang suatu masalah. Setelah semua faktor-faktor yang diungkapkan dicatat, dilakukan penyaringan menjadi faktor yang akan diamati dan faktor yang diabaikan. Pada tahap ini pemulihan berdasarkan pembatasan urgensi masalah, masalah teknis, kemungkinan pelaksanaan dan lain-lain.

2. *Flowcharting*

Pada metode ini yang dilakukan adalah mengidentifikasi faktor-faktor melalui *flowchart* proses pembuatan obyek yang diamati. Dengan melihat pada *flowchart* maka untuk masing-masing tahap diidentifikasi faktor-faktor yang mungkin berpengaruh.

3. *Cause-effect diagram*

Diagram ini merupakan metode yang paling sering digunakan untuk mengidentifikasi penyebab-penyebab yang potensial. Dimulai dengan

menyatakan variabel bebas yang akan diamati. Kemudian secara sistematis diurutkan penyebab yang mungkin berpengaruh pada variabel tak bebas yang diamati. Akibat ada di sebelah kanan dan penyebab ada di sebelah kirinya dengan garis miring penghubung. Dari sebab utama dapat dijabarkan beberapa penyebab yang lebih spesifik sebagai penyebab sekunder. Biasanya penyebab utama terdiri atas material, mesin, peralatan, metode, operator atau penyebab lainnya.

3. Pemisahan Faktor Kontrol dan Faktor Gangguan

Faktor-faktor yang diamati terbagi atas faktor kontrol dan faktor gangguan. Dalam metode *Taguchi* keduanya perlu diidentifikasi dengan jelas sebab pengaruh antar kedua faktor tersebut berbeda. Faktor kontrol adalah faktor yang nilainya dapat diatur atau dikendalikan, atau faktor yang nilainya ingin kita atur atau kendalikan. Sedangkan faktor gangguan (*noise factor*) adalah faktor yang nilainya tidak bisa kita atur atau kendalikan, atau faktor yang nilainya tidak ingin kita atur atau kendalikan.

4. Penentuan Jumlah Level dan Nilai Level Faktor

Pemilihan jumlah level penting artinya untuk ketelitian hasil percobaan dan ongkos pelaksanaan percobaan. Makin banyak level yang diteliti maka hasil percobaan akan lebih teliti karena data yang diperoleh lebih banyak. Tetapi banyaknya level akan meningkatkan jumlah pengamatan sehingga menaikkan ongkos percobaan. Level faktor dapat dinyatakan secara kuantitatif seperti temperature: 20°C, 35°C ; kecepatan: 30 km/jam, 45 km/jam dan lainnya. Dapat pula dinyatakan secara kualitatif jika skala numeric tidak digunakan pada level faktor tersebut. Level juga dapat dinyatakan secara *fixed* seperti tekanan, temperatur, waktu, dan lain-lain atau dipilih secara *random* dari beberapa kemungkinan yang ada seperti pemilihan mesin, operator dan lainnya.

5. Identifikasi Interaksi Faktor Kontrol

Interaksi muncul ketika dua faktor atau lebih yang mengalami perlakuan secara bersama akan memberikan hasil yang berbeda pada karakteristik

kualitas jika dibandingkan faktor yang mengalami perlakuan secara sendiri-sendiri. Kesalahan dalam penentuan interaksi akan berpengaruh pada kesalahan interpretasi data dan kegagalan pada penentuan proses yang optimal. Tetapi *Taguchi* lebih mementingkan pengamatan pada penyebab utama sehingga adanya interaksi diasah akan seminimal mungkin, tetapi tidak dihilangkan sehingga perlu dipelajari kemungkinan hadirnya interaksi. Jumlah interaksi terlalu banyak akan meningkatkan biaya percobaan dan tidak efisien dalam penggunaan waktu. (Maulidia et al., 2020).

6. Perhitungan Derajat Kebebasan (*Degrees of Freedom*)

Perhitungan derajat kebebasan dilakukan untuk menghitung jumlah minimum percobaan yang harus dilakukan untuk menyelidiki faktor yang diamati. Jika n_A dan n_B adalah jumlah perlakuan untuk faktor A dan faktor B maka menggunakan persamaan berikut.

$$\text{Dof untuk faktor A} = n_A - 1 \dots \text{Pers. (2.4)}$$

$$\text{Dof untuk faktor B} = n_B - 1 \dots \text{Pers. (2.5)}$$

$$\text{Dof untuk interaksi faktor A dan B} = (n_A - 1)(n_B - 1) \dots \text{Pers. (2.6)}$$

$$\text{Jumlah total Dof} = (n_A - 1)(n_B - 1) + (n_A - 1)(n_B - 1) \dots \text{Pers. (2.7)}$$

7. Pemilihan *Orthogonal Array* (OA)

Dalam memilih jenis *Orthogonal Array* harus diperhatikan jumlah faktor yang diamati yaitu :

1. Jika semua faktor adalah 2 level : pilih jenis OA untuk 2 level faktor
2. Jika semua faktor adalah 3 level : pilih jenis OA untuk 3 level faktor
3. Jika beberapa faktor adalah 2 level dan lainnya 3 level : pilih mana yang *dominant* dan gunakan *Dummy Treatment*, Metode Kombinasi atau *Metode Idle Coloumn*
4. Jika terdapat campuran 2, 3, atau 4 level faktor : lakukan modifikasi OA dengan *metode Merging Coloumn*

Dalam pemilihan OA harus memenuhi Pertidaksamaan 2.8 berikut.

$$f_{LN} \geq f_{\text{yang diperlukan untuk faktor dan interaksi}} \dots \text{Pers. (2.8)}$$

Dimana:

$f = \text{Dof/ Derajat Kebebasan}$

$f_{LN} = \text{Jumlah Trial} - 1$

8. Penugasan untuk Faktor dan Interaksinya pada *Orthogonal Array*

Penugasan faktor-faktor baik berupa faktor kontrol maupun gangguan dan interaksi-interaksinya pada orthogonal array terpilih dengan memperhatikan grafik linear dan tabel triangular. Kedua hal tersebut merupakan alat bantu penugasan faktor yang dirancang oleh *Taguchi*. Grafik linear mengidentifikasi berbagai kolom kemana faktor-faktor dapat ditugaskan dan kolom berikutnya mengevaluasi interaksi dari faktor-faktor tersebut. Tabel triangular berisi semua hubungan interaksi-interaksi yang mungkin antara faktor-faktor dalam suatu OA.

9. Persiapan dan Pelaksanaan Percobaan

Persiapan percobaan meliputi penentuan jumlah replikasi dan randomisasi pelaksanaan percobaan. Replika diperlukan karena:

1. Memberikan taksiran kekeliruan eksperimen yang dapat dipakai untuk menentukan panjang interval konfidensi atau dapat digunakan sebagai satuan dasar pengukuran untuk penetapan taraf signifikansi dari perbedaan-perbedaan yang diamati.
2. Menghasilkan taksiran yang lebih akurat untuk kekeliruan eksperimen.
3. Memungkinkan kita untuk memperoleh taksiran yang lebih baik mengenai efek rata-rata dari suatu faktor.

Selain itu dikemukakan pula bahwa penambahan replikasi akan mengurangi tingkat kesalahan percobaan secara bertahap, namun jumlah replikasi dalam percobaan dibatasi oleh sumber yang ada yaitu waktu, tenaga, biaya, dan fasilitas. *Taguchi* menghubungkan jumlah replikasi dengan tingkat kepercayaan dan standar deviasi sebagai berikut (Andriani, 2014):

1. L8 OA dengan satu kali test per trial (4 test vs 4 test) mempunyai tingkat kepercayaan 90% dari deteksi perubahan rata-rata dengan kira-kira standar deviasi 2.

2. L8 OA dengan dua kali pengulangan test atau L16 OA dengan satu test per trial (8 *test* vs 8 *test*) mempunyai tingkat kepercayaan 90% dari deteksi perubahan rata-rata dengan kira-kira standar deviasi 1 1/3.
3. L16 OA dengan dua *test* per trial mempunyai tingkat kepercayaan 90% dari deteksi perubahan rata-rata dengan kira-kira standar deviasi 1. Ini sudah merupakan percobaan yang sensitif dan ukuran yang lebih besar tidak akan menambah sensitivitas.
4. L4 OA dengan satu kali test per trial mempunyai tingkat kepercayaan 90% dari deteksi perubahan rata-rata dengan kira-kira standar deviasi 3 3/4.

Dalam percobaan, selain faktor-faktor yang diselidiki pengaruhnya terhadap suatu variabel, juga terdapat faktor lain yang tidak dapat dikendalikan / tidak diinginkan seperti kelelahan operator, naik/turun daya mesin, dan lainnya. Hal tersebut dapat mempengaruhi hasil percobaan. Pengaruh faktor tersebut diperkecil dengan menyebarkan pengaruh selama percobaan melalui randomisasi (pengacakan) urutan percobaan. Secara umum randomisasi dimaksudkan untuk :

1. Meratakan pengaruh dari faktor-faktor yang tidak dapat dikendalikan pada semua unit percobaan.
2. Memberikan kesempatan yang sama pada setiap unit percobaan untuk menerima suatu perlakuan sehingga diharapkan ada kehomogenan pengaruh dari setiap perlakuan yang sama.
3. Mendapatkan hasil pengamatan yang bebas (*independent*) satu sama lain.

Jika replikasi dengan tujuan yang memungkinkan dilakukannya *test* signifikan, maka randomisasi bertujuan menjadikan test tersebut valid dengan menghilangkan sifat bias. Pelaksanaan percobaan *Taguchi* adalah melakukan pengerjaan berdasarkan setting faktor pada OA dengan jumlah percobaan sesuai jumlah replikasi dan urutan seperti pada randomisasi.

10. Analisis Data

Pada analisis dilakukan pengumpulan dan pengolahan data, yaitu meliputi pengumpulan data, perhitungan serta penyajian data dalam suatu *layout* yang sesuai dengan disain yang dipilih untuk suatu percobaan yang dipilih. Selain itu dilakukan perhitungan dan pengujian data dengan penerapan rumus-rumus pada data hasil percobaan.

1. Perhitungan *Main Effect*

main effect adalah pengaruh dari masing-masing faktor dan interaksi terhadap hasil. Perhitungannya sendiri terbagi menjadi dua metode, yaitu:

a. Metode *Average* / Metode Standar (Metode Rata-rata)

Perhitungan dengan metode ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh dari masing-masing faktor dan interaksi terhadap nilai tengah dari hasil yang diharapkan.

b. Metode S/N Rasio (*Signal to Ratio*)

Perhitungan dengan metode ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh dari masing-masing faktor dan interaksi terhadap sebaran atau variansi dari hasil yang diharapkan. Rasio S/N digunakan untuk memilih faktor-faktor yang memiliki kontribusi pada pengurangan variansi suatu respon. Rasio S/N merupakan rancangan untuk transformasi pengulangan data (paling sedikit dua untuk satu *trial*) ke dalam suatu nilai yang merupakan ukuran variansi yang timbul. Terdapat beberapa jenis rasio S/N sesuai dengan tipe karakteristik kualitas yaitu *smaller the better*, *nominal is the best*, dan *larger the better*. Rasio S/N yang digunakan untuk mengevaluasi *trial-trial* percobaan tergantung pada tipe karakteristik kualitas yang diamati.

Terdapat beberapa jenis rasio S/N sesuai dengan tipe karakteristik kualitas yaitu *smaller the better*, *nominal is the best*, dan *larger the better*. Rasio S/N yang digunakan untuk mengevaluasi *trial-trial* percobaan tergantung pada tipe karakteristik kualitas yang diamati. *Taguchi* mengategorikan faktor-faktor menjadi *Controllable Factors*

dan *Noise Factors*. Sebagai contoh, pada percobaan pembuatan kue, terdapat faktor-faktor yang dapat diidentifikasi yaitu faktor gula, mentega, telur, susu, dan tepung. Dan semua faktor-faktor tersebut disebut *Controlled Factors* karena dapat dikendalikan. Selain itu juga terdapat faktor-faktor eksternal yang tidak didisain ke dalam percobaan yang mempengaruhi hasil percobaan, misalnya faktor kelembaban, distribusi suhu oven, dan lain-lain. Faktor-faktor eksternal ini disebut *Noise Factors* dan pengaruhnya terhadap hasil keluaran percobaan dinamakan *noise* (Krishnaiah & Shahabudeen, 2012).

Rasio S/N bertujuan untuk mengukur sensitifitas dari karakteristik kualitas dari faktor yang dapat dikontrol terhadap pengaruh faktor eksternal yang tidak dikontrol. Dalam suatu percobaan bertujuan untuk mendapat nilai rasio S/N terbesar, karena dengan semakin besar rasio S/N maka variasi produk disekitar nilai target semakin kecil. Untuk menganalisa hasil eksperimen yang terjadi dari dua pengulangan atau lebih sebaiknya menggunakan rasio S/N daripada menggunakan metode *average*, karena rasio S/N akan memberi 2 macam keuntungan yaitu :

- a. Rasio S/N menyediakan petunjuk untuk memilih level optimum berdasarkan variasi minimum disekitar target dan juga nilai rata-rata yang mendekati target.
- b. Rasio S/N menawarkan perbandingan objektif diantara 2 set percobaan yang dilihat dari variasi di sekitar target dan penyimpangan rata-rata dari nilai target.

Rumus S/N Rasio dapat dilihat pada Persamaan 2.9 berikut.

$$S/ N = -10 \log_{10}(\text{MSD}) \dots \dots \dots \text{Pers.}(2.9)$$

MSD (*Mean Square Deviation*) memiliki 3 jenis, tergantung dari karakteristik kualitas yang dipakai, yaitu:

a) *Nominal is the Best*

Desibel mengekspresikan suatu perbandingan, perbandingan tersebut dapat berupa daya (level diukur dalam watts atau

miliwatts), tekanan suara, tegangan atau hal – hal lainnya. Nilai desibel adalah 10 x logaritma perbandingan.

b) *Smaller is Better*

Jika nilai rata – rata lebih besar, daripada nilai target, maka akan mengakibatkan S/N tidak dapat menggambarkan keadaan yang baik. Nilai S/N yang diharapkan adalah yang lebih besar lebih baik. *Smaller is Better*

Dapat dilihat pada Persamaan 2.10 berikut.

$$S/N = -10 \log \frac{1}{N} \sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^p \sum_{k=1}^N (y_{ijk})^2 \dots\dots\dots \text{Pers. (2.10)}$$

c) *Larger is Better*

Nilai S/N untuk karakteristik the larger is better dalam satuan desibel dapat dilihat pada Persamaan 2.11 berikut :

$$E \left(\frac{1}{y^2} \right) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^p \sum_{k=1}^N \frac{1}{y_{ijk}^2} \dots\dots\dots \text{Pers. (2.11)}$$

2.1.3.2 Analisis Variansi (Anova)

Analisis uji anova diperkenalkan pertama kali oleh Sir Ronald Fisher, ahli statistik dari Inggris. Analisis variansi adalah suatu metode yang membagi variansi menjadi sumber variansi yang dapat diidentifikasi dan merupakan pengumpulan derajat kebebasan dalam eksperimen. Data-data yang diambil, baik data kondisi sebenarnya. Dalam perhitungan analisis variansi metode *Taguchi*, langkah-langkah pengerjaannya sebagai berikut (Sugiono, 2011) :

1. Menghitung rata-rata respon eksperimen, menggunakan Persamaan 2.12 berikut:

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum x \dots\dots\dots \text{Pers. (2.12)}$$

Dengan :

X = rata-rata setiap percobaan

n = Jumlah percobaan sesuai *Orthogonal Array*

2. Menghitung rata-rata total keseluruhan, menggunakan Persamaan 2.13 berikut:

$$\bar{y} = \frac{1}{N} y \dots \dots \dots \text{Pers. (2.13)}$$

Dengan :

Y = Data hasil percobaan eksperimen

n = Jumlah Percobaan sesuai replikasi

3. Membuat tabel respon

Perbedaan dapat diketahui dengan cara melakukan pengurangan nilai tertinggi dengan nilai terendah dari tiap-tiap *level* kemudian dirangking dari nilai tertinggi sampai nilai terendah .

Tabel 2.2 Tabel Respon

	Faktor A	Faktor B	Faktor X
<i>Level 1</i>
<i>Level 2</i>
<i>Level Y</i>
<i>Different</i>
<i>Rank</i>

Sumber: Yuliana, 2021

4. Menghitung *the total sum of squares* dengan menggunakan Persamaan 2.14 berikut:

$$ST = \sum y^2 \dots \dots \dots \text{Pers.(2.14)}$$

Dengan:

ST = *Total sum of squares*

y = Data hasil percobaan eksperimen

5. Menghitung *the sum of squares due to the mean* dengan menggunakan Persamaan 2.15 berikut:

$$SM = n \times \bar{y}^2 \dots \dots \dots \text{Pers. (2.15)}$$

Dengan:

SM = *sum of squares due to the mean*

n = Total Percobaan eksperimen

y = Data hasil percobaan eksperimen

6. Menghitung *the sum of squares due to the factors* dengan menggunakan Persamaan 2.16 berikut:

$$SS_i = n_{i1} + i_1^2 + i_2^2 - S_m \dots \dots \dots \text{Pers. (2.16)}$$

Dengan:

n_{i1} = jumlah data i pada level 1

\bar{y}_{i1} = rata-rata data pada faktor i level 1

S_m = *sum of squares due to the mean*

7. Menghitung *the sum of squares due to the error* dengan menggunakan Persamaan 2.17 berikut:

$$SS_e = ST - S_m - (SS_A - SS_n) \dots\dots\dots \text{Pers.}(2.17)$$

Dengan:

ST = *total sum of squares*

S_m = *sum of squares due to the mean*

SS_A = *sum of squares due to the factors (A)*

SS_n = *sum of squares due to the factors (Ke-n)*

8. Menghitung *the mean sum of squares* dengan menggunakan Persamaan 2.18 berikut:

$$MS_i = \frac{SS_i}{Df_i} \dots\dots\dots \text{Pers.}(2.18)$$

Dengan :

SS_i = *sum of squares due to the factors*

Df_i = Derajat bebas pada i

9. Menghitung *F-ratio* dengan menggunakan Persamaan 2.19 sebagai berikut:

$$F\text{-ratio} = \frac{m_{qi}}{m_{qe}} \dots\dots\dots \text{Pers.}(2.19)$$

Dengan:

m_{qi} = *mean sum of squares* (untuk faktor i)

m_{qe} = *mean sum of squares* (pada *Error*)

10. Menghitung *pure sum of squares* dengan menggunakan Persamaan 2.20 berikut:

$$SS'_i = SS_i - (Df_i \times m_{qe}) \dots\dots\dots \text{Pers.}(2.20)$$

Dengan :

SS_i = *sum of squares due to the factors* (Untuk faktor i , contoh SS_A, SS_B)

Df_i = Derajat bebas (pada faktor i)

$mq_e = \text{mean sum of squares (pada Error)}$

11. Menghitung *Pure sum of squares* untuk *error* dengan menggunakan Persamaan 2.21 berikut:

$$SS'_e = S_t - (SS_A \dots - SS_n) \dots \dots \dots \text{Pers. (2.21)}$$

Dengan:

$S_t = \text{Total Sum of squares due to the Factors}$

$SS_A = \text{sum of squares due to the factors (A)}$

$SS_n = \text{sum of squares due to the factors (Ke-n)}$

12. Membuat tabel analisa variansi hasil perhitungan.

2.1.3.3 Eksperimen Konfirmasi

Tujuan eksperimen konfirmasi adalah untuk melakukan validasi terhadap kesimpulan yang diperoleh selama tahap analisa. Hal ini perlu dilakukan bila digunakan percobaan pemeriksaan dengan resolusi rendah dan berbentuk faktorial. Eksperimen konfirmasi juga bertujuan untuk melakukan pengujian kombinasi faktor dan level setelah diketahui level factor yang berpengaruh maka dilakukan eksperimen konfirmasi. Eksperimen konfirmasi dilakukan berdasarkan hasil dari eksperimen sebelumnya. Eksperimen ini bertujuan untuk membuktikan hal yang didapat sebelumnya. Pada eksperimen konfirmasi, faktor dan level ditetapkan seperti faktor dan level pada kondisi optimal (Ariesta, 2010).

2.1.4 Manajemen Produksi dan Operasi

Produksi dan operasi dalam kegiatannya menghasilkan barang atau jasa, dapat diukur kemampuan atau mentransformasikan produktivitas untuk setiap masukan (*input*) yang digunakan. Manajemen produksi dan operasi merupakan proses pencapaian sumber-sumber daya untuk memproduksi, menghasilkan barang dan jasa yang berguna sebagai usaha untuk mencapai tujuan dan sasaran. Manajemen produksi merupakan usaha-usaha pengolahan secara optimal penggunaan sumber daya-sumber daya atau sering disebut faktor-faktor produksi tenaga kerja, mesin mesin, peralatan, bahan mentah, dan sebagainya dalam proses transformasi bahan mentah dan tenaga kerja menjadi berbagai produk dan

jasa. Berikut ini beberapa hal yang harus diperhatikan dalam pelaksanaan proses produksi (Dan et al., n.d.), antara lain:

1. Penyusunan rencana produksi dan operasi
Kegiatan pengoperasian sistem produksi dan operasi harus dimulai dengan penyusunan rencana produksi dan operasi. Rencana tersebut harus mencakup penetapan target produksi, *scheduling*, *routing*, *dispatching* dan *follow up*. Perencanaan kegiatan produksi dan operasi merupakan kegiatan awal dalam pengoperasian sistem produksi dan operasi
2. Perencanaan dan pengendalian persediaan dan pengadaan bahan baku.
Kelancaran kegiatan produksi dan operasi sangat ditentukan oleh kelancaran tersedianya bahan atau masukan yang dibutuhkan bagi produksi dan operasi tersebut. Kelancaran tersedianya bahan bagi produksi ditentukan baik tidaknya pengadaan bahan serta rencana pengendalian persediaan yang dilakukan
3. Pemeliharaan atau perawatan (*Maintenance*) mesin dan peralatan
Mesin dan peralatan yang akan digunakan dalam setiap proses produksi dan operasi harus selalu terjamin tetap tersedia untuk dapat digunakan, sehingga dibutuhkan pemeliharaan atau perawatan. Untuk mendukung pentingnya dari pemeliharaan tersebut perlu adanya macam-macam kegiatan pemeliharaan dan perawatan, syarat terlaksananya kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang efektif dan efisien, serta proses pelaksanaan kegiatan pemeliharaan dan perawatan berjalan dengan baik.
4. Pengendalian mutu
Terjaminnya hasil atau keluaran dari proses produksi dan operasi akan menentukan keberhasilan dari pengoperasian sistem produksi dan operasi. Maka itu kegiatan pengendalian mutu yang harus dilakukan dengan baik, agar keluaran dan hasil dapat terjamin mutunya. Untuk mendukung hasil dan keluaran pengendalian mutu tersebut terjamin maka harus mencakup maksud dan tujuan dari kegiatan pengendalian mutu, proses kegiatan perencanaan dan pengendalian. Peran pengendalian proses dan produk dalam pengendalian mutu, teknik pengendalian mutu, serta pengendalian

mutu statistik (*Statistical Quality Control*)

5. Manajemen tenaga kerja (Sumber Daya Manusia)

Pelaksanaan pengoperasian sistem produksi dan operasi ditentukan oleh kemampuan dan keterampilan para tenaga kerjanya. Pembahasan tenaga kerja manusia akan mencakup pengelolaan tenaga kerja dalam produksi dan operasi, desain tugas dan pekerjaan dan pengukuran kerja (*work measurement*)

Manajemen produksi adalah suatu ilmu yang membahas secara komprehensif bagaimana pihak manajemen produksi perusahaan mempergunakan ilmu dan seni yang dimiliki serta mengarahkan dan mengatur orang-orang untuk mencapai suatu hasil produksi yang di inginkan, manajemen produksi meyangkut pengambilan keputusan yang berhubungan dengan proses produksi untuk mencapai tujuan organisasi atau perusahaan. Tugas dari manajemen produksi ada dua yaitu:

1. Merancang sistem produksi.
2. Mengoperasikan atau system produksi untuk memenuhi persyaratan produksi yang ditentukan.

Produksi merupakan usaha peningkatan manfaat dengan cara mengubah bentuk, memindahkan tempat dan menyimpan. Berdasarkan pengertian di atas dapat di katakan bahwa manajemen produksi memiliki hubungan erat dengan proses produksi yang memiliki tujuan untuk menambah nilai guna barang maupun jasa yang di hasilkan. Untuk menghasilkan produk yang memiliki kualitas yang baik sesuai dengan standar yang di tentukan, maka perusahaan di tuntut untuk lebih untuk meningkatkan proses produksi (Wiliam, 2015).

2.1.4.1 Pengertian dan Proses Produksi Tahu

Pengertian produksi adalah sebagai kegiatan mengenai penciptaan dan penambahan atau utilitas terhadap suatu barang dan jasa. Berdasarkan dari pengertian produksi tersebut, terdapat dua konsep mengenai kegiatan produksi antara lain sebagai berikut :

1. Kegiatan menghasilkan barang dan jasa adalah menghasilkan barang dan jasa yang belum ada sehingga bertambah jumlahnya atau memperbesar ukurannya.
2. Kegiatan menambah nilai guna barang dan jasa adalah kegiatan yang menambah nilai guna barang dan jasa sehingga barang dan jasa menjadi lebih tinggi.

Produksi sebagai berikut : “Produksi adalah suatu proses perubahan bahan baku menjadi produk jadi.” Pengertian diatas mengandung arti bahwa produksi adalah sekumpulan aktivitas untuk pembuatan suatu produk, dimana dalam pembuatan ini adalah melibatkan tenaga kerja, bahan baku, mesin, energy, informasi dan modal yang dalam prakteknya aktivitas dalam sistem produksi ini dikategorikan kedalam proses produksi yang mencakup perencanaan dan pengendalian produksi (Baroto, 2012).

2.1.4.2 Proses Produksi Tahu

Tahu sebagai salah satu produk olahan kedelai yang merupakan sumber penyediaan protein yang sangat baik bagi tubuh karna jumlah protein yang di kandunginya serta daya cernanya yang tinggi. Tahu pertama kali di buat pada tahun 2000 sebelum masehi oleh salah satu juru masak cina yang secara tidak sengaja menambahkan nigari atau larutan garam ke dalam sari kedelai hingga terjadi proses pengumpalan menjadi padatan. Sejak saat itu tahu sebagai produk olahan kedelai diterima sebagai satu sumber kesehatan bagi orang Asia. Kata tahu berasal dari bahasa cina yaitu *tao-hu* atau kata *tao* yang berarti kedelai, sementara *hu* berarti lumut atau menjadi bubur. Jepang di kenal dengan nama *tohu*, sedangkan dalam bahasa inggris disebut *soybean curda* atau *tofu*. Biasanya tahu diproduksi dalam jumlah banyak, akan tetapi dalam penjualan tersebut belum tentu habis dibeli konsumen. Oleh sebab itu untuk menghindari kerugian dengan penambahan pengawet kedalam tahu. Salah satu upaya yang dilakukan produsen untuk menghindari kerugian akibat kerusakan tekstur tahu antara lain berjamur, berlendir, sehingga menimbulkan bentuk, warna, rasa dan bau berubah dengan penambahan pengawet. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan masa simpan tahu

agar menjadi lebih panjang dan tidak menutup kemungkinan menambahkan zat kimia sebagai pengawet. Menurut (Dewi et al., 2023) Proses produksi tahu adalah sebagai berikut:

1. Perendaman
Bahan baku kedelai direndam selama 3 jam.
2. Pencucian
kedelai yang telah direndam kemudian dibuka dan dimasukkan kedalam ember plastik untuk dicuci dengan air yang mengalir.
3. Penggilingan
Proses penggilingan dilakukan dengan menggunakan mesin penggiling *unit* kedelai.
4. Perebusan dan Pemasakan
Proses perebusan ini dilakukan disebuah bak berbentuk bundar yang terbuat dari semen yang bagian bawahnya terdapat pemanas uap.
5. Penyaringan
Setelah bubur kedelai direbus dan mengental, dilakukan proses penyaringan dengan menggunakan kain saring.
6. Pengendapan dan Penambahan Asam Cuka
Dari proses penyaringan diperoleh fitrat putih seperti susu yang kemudian akan diperoleh lebih lanjut.
7. Pencetakan dan Pengepresan
Proses pencetakan dan pengepresan merupakan tahap akhir pembuatan tahu. Menggunakan cetakan yang terbuat dari kayu berukuran 70x70 cm yang diberi lubang ukuran kecil disekelilingnya.
8. Pemotongan Tahu
Setelah proses pencetakan selesai, tahu yang sudah jadi dikeluarkan dari cetakan dengan cara membalik cetakan dan kemudian membuka kain saring yang melapisi tahu.

2.2 Penelitian Terdahulu

Pelaksanaan penelitian ini tentunya juga menggunakan tinjauan pustaka dari penelitian terdahulu yang ada kaitannya dengan pengendalian kualitas dengan pendekatan analisis *Statistical Quality Control* dan *Taguchi*. Hal ini bertujuan untuk memberikan pengetahuan dan wawasan tentang rumusan masalah, metode, pengukuran variabel penelitian yang digunakan dan hasil penelitian.

Berikut beberapa penelitian terdahulu tentang pengendalian kualitas yang menggunakan metode SQC dan *Taguchi* untuk melengkapi penelitian ini.

1. Sri Mukti Wirawati & Sri Ndaru Arthawati, (2021) Analisa Kualitas Produk Baja Besi Beton Menggunakan *Metode Basic Seven Tools* Dan *Taguchi* Di PT. ABC. Pada saat inspeksi produk terdapat beberapa produk cacat dan tidak sesuai dengan standar internal yang telah ditetapkan perusahaan. Oleh karena itu peneliti ingin melakukan penelitian terhadap kualitas produk baja besi beton yang dihasilkan oleh perusahaan. Penelitian terhadap kualitas produk baja besi beton dilakukan dengan menggunakan Teknik *Sevntools* dan Metode *Taguchi*. Perbaikan berawal dari pemilihan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kualitas baja besi beton dan nilai level yang kemudian menjadi dasar dalam pemilihan *Ortogonal Array*. Hasil analisa diolah dengan menggunakan analisis varians. Berdasarkan hasil dari penelitian tersebut diperoleh bahwa faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap kualitas produk baja besi beton adalah standarisasi bahan baku dan standarisasi sifat mekanis serta setingan temperature tidak mengikuti sop acuan yang dipakai adalah teknis lapangan sehingga produk cacat sulit di kendalikan (Wirawati & Arthawati, 2021).
2. Yuliana & Eka (2021) Analisis Pengendalian Kualitas Produk *Furniture* Menggunakan Metode *Statistical Quality Control* (SQC) dan *Taguchi* pada PT. Ebako Nusantara. Permasalahan yang dialami oleh perusahaan yaitu sulit dalam menentukan setting parameter dan menentukan model pengaturan yang tepat dalam menganalisis faktor produk cacat untuk mengendalikan kualitas produknya, maka dilakukan dengan

mengidentifikasi kriteria yang mempengaruhi produk cacat, dan melakukan perhitungan uji coba. Salah satu metode yang dapat menyelesaikan analisis kualitas produk cacat dengan kriteria-kriteria adalah SQC (*Statistical Quality Control*) dan *Taguchi*. Dari hasil penelitian, terdapat 5 faktor kriteria meliputi *size fit*, *glue fit*, *surface smooth*, *hole*, dan *color of*. Dari perhitungan faktor-faktor menggunakan diagram pareto didapatkan hasil cacat terbanyak yaitu *color of* dengan nilai 36,57% kecacatan. dan proporsi kecacatan *Color Of* karena tidak melewati batas kontrol atas (UCL) dan batas kontrol bawah (LCL) maka masih berada pada batas kendali. Berdasarkan hasil diagram sebab akibat (*fishbone diagram*) *Color Of* pada bagian *Finishing* maka dibuat kuisisioner faktor yang mempunyai nilai 11 – 15 digunakan untuk penentuan level dan *Orthogonal Array* (OA) nya. Selanjutnya penyebab atau faktor yang paling berpengaruh terhadap produk cacat dengan hasil eksperimen konfirmasi serta perhitungan uji Anova maka setting optimal yang dapat diusulkan yaitu faktor A (kecepatan semprot pada mesin *spray*) adalah 900 mm/detik, faktor B (jenis *thinner* yang digunakan) adalah THPU-2712-06, Faktor C (perlakuan proses pewarnaan) adalah dengan tangki ditutup dan Faktor D (pengecekan suhu) adalah suhu 300C (Yuliana, 2021).

3. Natalia & Sudikse Ingrid, (2017) Pengendalian Kualitas pada Tepung Beras dengan Metode *Statistical Quality Control* (SQC) dan *Taguchi Method* di PT. Aroma Mega Sari. Kegiatan proses produksi tepung beras banyak menghasilkan afkir (produk yang tidak sesuai dengan standar tepung beras). Kualitas tepung beras yang dihasilkan dinilai kurang baik, karena tidak memenuhi standar yang telah ditetapkan oleh perusahaan. Perbaikan dilakukan dengan menerapkan metode *Statistical Quality Control* (SQC) dan *Taguchi Method*. Melalui metode SQC diperoleh jenis kecacatan tepung beras yang terjadi adalah kadar air lebih dari 1%, serat masih kasar dan kadar abu lebih dari 1%. Jenis kecacatan yang paling dominan adalah jenis kecacatan kadar abu lebih dari 1% dan serat masih kasar. Semua data kecacatan afkir in control. Faktor yang menyebabkan

jenis kecacatan kadar abu lebih dari 1% adalah kecepatan putar mesin penggilingan, lama perendaman beras dan suhu pengeringan. Serta faktor yang menyebabkan jenis kecacatan serat masih kasar adalah kecepatan putar penggilingan mesin, lama perendaman beras dan proses pamarutan. Hasil dari metode *Taguchi* menunjukkan level optimum untuk jenis kecacatan kadar abu lebih dari 1% adalah kecepatan putar mesin penggilingan 192 rpm, lama perendaman beras 2,5 jam dan suhu pengeringan 1970C. Jenis kecacatan serat masih kasar adalah kecepatan putar mesin penggilingan 179 rpm, lama perendaman beras 2,5 jam dan proses pamarutan 1 jam. Dengan menggunakan metode *Taguchi* jumlah tepung beras yang tidak sesuai juga mengalami penurunan untuk kadar abu mengalami penurunan rata-rata kecacatan dari 5,3kg/hari menjadi 4,89 dan untuk serat masih kasar dari 5kg/hari menjadi 4,61kg (B Anggara, 2017).

4. Elmas (2017), melakukan penelitian tentang Pengendalian Kualitas Dengan Menggunakan Metode *Statistical Quality Control* (SQC) Untuk Meminimumkan Produk Gagal Pada Toko Roti Barokah *Bakery*. Tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini dengan *Statistic Quality Control* (SQC) dengan peta kendali tehnik dan diagram sebab dan akibat perusahaan Bakery Barokah Bakery dalam kontrol kualitas untuk meminimalkan produk gagal. Metode yang digunakan diagram kontrol dan diagram sebab dan akibat. Hasil analisis diagram kontrol menunjukkan bahwa kontrol kualitas pada Barokah Bakery baik karena jumlah produk yang gagal masih dalam batas-batas wajar terletak antara UCL dan LCL. Sedangkan hasil dari diagram untuk hasil (tulang ikan), faktor utama penyebab kegagalan produk roti di toko roti Barokah Bakery yaitu manusia. Jadi diperlukan pelatihan untuk meminimalkan produk gagal yang terjadi disebabkan oleh faktor manusia (Hidayatullah Elmas, 2017).
5. Kurnadi, Muhammad Marsudi & Yassyir Maulana (2020), Analisis pengendalian produk cacat pada PT. Wijaya Tri Utama *Plywood Industry* Penelitian ini didasarkan pada banyaknya produk cacat yang diproduksi oleh perusahaan. Penelitian ini menggunakan metode analisis pada

Statistical Quality Control, metode analisis menggunakan diagram pareto, analisis menggunakan *PChart*, dan diagram sebab akibat. Hasil Penelitian menunjukkan bahwa pada pabrik PT. Wijaya Tri Utama *Plywood Industry* masih terdapat banyak produk cacat dengan jenis persentase berturut-turut Jenis cacat *Over Laps* 14,62%, jenis cacat *Face* pecah 11,62%, jenis cacat *Face* Kasar 10,46%, jenis cacat Delaminasi 9,9%, jenis cacat size kurang 9,60%. Adanya nilai proporsional yang melampaui nilai UCL dan LCL yang menunjukkan kualitas produksi dari PT. WTUPI masih kurang. *Fishbone* menunjukkan penyebab adanya cacat produk terbesar adalah berada pada faktor manusia. Belum ada kendali untuk memperbaiki proses produksi kayu lapis dari PT. WTUPI. Produksi kayu lapis perlu perbaikan pengendalian kualitas dan mengevaluasi untuk mendapatkan hasil yang lebih baik lagi (Kurnadi et al., 2020).

6. Jenji G. A, Heni Nastiti, & Rosali C.S (2019), Analisis Pengendalian Kualitas Produk Tahu Di Pondok Labu Jakarta Selatan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengendalian kualitas proses produksi tahu pada Sentra Produk Tahu di Pondok Labu Jakarta Selatan, serta mengkaji pengendalian kualitas pada Sentra Produk Tahu tersebut terkendali atau tidak. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer dan data sekunder. Alat analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah Diagram Pareto, Diagram Sebab-Akibat dan Grafik Kendali/ *Statistic Quality Control* (SQC) untuk mengetahui apakah hasil proses produksi tahu masih berada dalam batas kendali. Dari hasil penelitian produksi tahu yang dihasilkan masih berada dalam batas kendali, faktor yang menyebabkan masalah mutu yang dihasilkan antara lain, dari pemilihan bahan baku, belum adanya sistem produksi yang tertulis dan baku yang digunakan, tidak adanya pemeliharaan pada mesin dan peralatan produksi yang rutin dilakukan, kebersihan ruangan dari asap dan debu, serta ketelitian atau kehati-hatian tenaga kerja dalam bekerja (Jenji et al., 2019).
7. Suparno & Narto (2022) Analisis Kualitas pada Produksi Tahu menggunakan Metode *Statistical Quality Control* (SQC). CV. Sumber

Rejeki merupakan salah satu industri rumah tangga pembuat tahu, dimana dalam produksinya perusahaan belum melakukan analisis mutu. Karena analisis kualitas belum dilakukan dengan baik sehingga mengakibatkan sangat tinggi kecacatan produk yang terjadi pada saat produksi. Data penelitian diolah menggunakan metode *Statistical Quality Control* (SQC) dengan beberapa tahapan kegiatan yaitu pembuatan lembar pemeriksaan, histogram, pembuatan diagram Pareto, pembuatan diagram kendali, dan pembuatan diagram sebab akibat. Hasil penelitian menunjukkan terdapat tiga jenis cacat yaitu tekstur lembut, salah potong, dan kotor. Melalui diagram pareto terlihat persentase kerusakan pada tekstur lunak sebesar 5.116 bj atau 38,8%, cacat kedua sebesar 4.262 bj atau 32.3%, dan cacat terakhir atau terendah sebesar 3.810 bj atau kesalahan pemotongan sebesar 28.9. %. Berdasarkan analisis diagram sebab-akibat untuk mencari akar permasalahan, ditemukan empat faktor yang perlu diperbaiki, yaitu faktor pekerja, mesin, bahan baku, dan metode. Tindakan yang dapat dilakukan untuk mengurangi kecacatan produk adalah dengan melakukan perawatan mesin secara berkala, memberikan pelatihan yang memadai kepada pekerja, meningkatkan kedisiplinan, melakukan pengendalian bahan baku kedelai dengan baik (Suparno & Narto, 2022).

8. Nur Asri (2022) Optimalisasi Kualitas Tahu Dengan Menggunakan Metode *Taguchi* (Studi Kasus: UD. Dua Saudara). UD. Dua Saudara sudah memiliki standar tetapi produk tersebut masih kurang pada tingkat ketebalan sehingga untuk meningkatkan kualitas pada produk tahu ini ditambahkan satu bahan yaitu baking soda. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan level yang optimal dari faktor yang sudah ditentukan dan untuk mendapatkan kualitas tahu terhadap ketebalan dengan menggunakan Metode *Taguchi*. Berdasarkan pengolahan data diperoleh hasil penelitian yaitu untuk mengetahui apa saja yang berpengaruh terhadap kualitas bahan baku, maka dilakukan rancangan percobaan metode *Taguchi*. Karakteristik yang digunakan adalah *Signal noise to Ratio* (SNR) *Larger is Better*, di mana semakin tinggi nilai yang didapat semakin baik dengan setting level

faktor optimal yang sama, yaitu faktor A level 3 (Kacang Kedelai 2000 Gr), faktor B level 1 (Asam Cuka 15 Liter), faktor C level 3 (Air 2,5 Liter) dan faktor D level 3 (Baking Soda 20 Gr). Eksperimen yang telah dilakukan menunjukkan nilai rata-rata variabilitas (S/N) pada kondisi eksperimen *Taguchi* mengalami peningkatan pada eksperimen konfirmasi. Nilai rata-rata pada eksperimen *Taguchi* menunjukkan nilai sebesar $2,473 \leq \mu_{\text{predicted}} \leq 2,763$ sedangkan pada kondisi eksperimen konfirmasi menunjukkan nilai rata-rata sebesar $2,781 \leq \mu_{\text{confirmation}} \leq 3,219$. Nilai SNR pada eksperimen *Taguchi* menunjukkan nilai sebesar $7,339 \leq \mu_{\text{predicted}} \leq 9,311$ sedangkan pada kondisi eksperimen konfirmasi menunjukkan nilai SNR sebesar $7,846 \leq \mu_{\text{confirmation}} \leq 11,166$ (Sheila Maria Belgis Putri Affiza, 2022).

9. M T Sembiring & M J Marbun (2018) *Defect Analysis Of Quality Palm Kernel Meal Using Statistical Quality Control In Kernels Factory*. Kriteria mutu Tepung Inti Sawit (PKM) yang ditetapkan Kernel Pabrik adalah sebagai berikut: kadar minyak: maks 8,50%, kadar air: maks 12,00% dan kadar pengotor: maks. 4,00% Sedangkan kualitas rata-rata kandungan minyaknya sebesar 8,94%, kadar airnya 5,51%, dan kandungan pengotornya 8,45%. Untuk mengidentifikasi cacat kualitas produk yang dihasilkan PKM, maka digunakan metode analisis dengan menggunakan Statistical Quality Control (SQC). Kernel Mutu Tanaman PKM menunjukkan kandungan minyak melebihi nilai maksimum yang telah ditentukan sebesar 0,44%, dan kandungan pengotor sebesar 4,50%. Dengan kandungan minyak dan kotoran PKM yang berlebihan menyebabkan kandungan cacat produksi minyak bumi, PKM sebesar 854.6078 kg dan kandungan pengotor PKM sebesar 8.643.193 kg. Analisis hasil diagram sebab akibat dan SQC, faktor penyebab rendahnya kualitas PKM adalah Alat pengepres minyak tekan jam pertama dan alat pengepres minyak tekan jam kedua (Program et al., 2018).
10. Putri Riski Dkk (2020) Analisis Pengendalian Kualitas Menggunakan Metode *Taguchi* Pada Umkm Rubber Seal Rm Products Genuine Parts

Sukun, Malang. RM Products Genuine Parts merupakan UMKM yang memproduksi rubber seal. Produk O-Ringnya memiliki jumlah rata-rata produk cacat 26% yang melebihi standar perusahaan yaitu 5% yang disebabkan oleh faktor bahan baku dan proses produksi. RM Products Genuine Parts menerapkan metode *Taguchi* yang dilakukan melalui eksperimen, uji anova dan uji F untuk mengetahui faktor yang berpengaruh terhadap kecacatan. Tujuan penelitian ini adalah usulan perbaikan berupa kombinasi faktor dan level faktor optimal sebagai upaya mengurangi produk cacat. Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh kombinasi faktor dan level faktor optimal yaitu faktor A (tebal karet) level 3 (1,5 cm), faktor B (berat karet) level 2 (5 gram), faktor C (suhu mesih) level 1 (135°C) dan faktor D (waktu pressing) level 2 (6 menit). Nilai variabilitas menurun dari 30,28 menjadi 17,8998 dan persentase produk cacat menurun dari 26,1% menjadi 11,75% yang masih melebihi standar maksimum cacat yang diinginkan perusahaan, karena hanya menganalisis faktor bahan baku dan mesin press manual (Maulidia et al., 2020).

Berdasarkan pengamatan pada beberapa penelitian terdahulu, ada beberapa kesamaan yaitu tentang bagaimana mengendalikan kualitas produk agar dapat menjaga kestabilan secara terus menerus dan menjaga kepuasan konsumen serta bagaimana mengetahui atribut-atribut kualitas produk yang diinginkan atau dianggap penting bagi konsumen. Akan tetapi beberapa penelitian terdahulu dalam menerapkan metode SQC hanya mengambil beberapa poin dari 7 alat pengendalian kualitas yang terdapat pada metode SQC, sehingga peneliti perlu melakukan penelitian lebih lanjut tentang metode SQC. Selain itu, beberapa penelitian terdahulu hanya menggunakan salah satu dari dua metode tersebut. penelitian ini merupakan gabungan kedua metode dimana metode SQC berfungsi untuk menganalisa cacat produk dan metode *Taguchi* digunakan untuk pengendalian kualitas produk.

BAB III

METODELOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi, Objek dan Waktu Penelitian

Lokasi objek penelitian berada di Dusun Urong raya Gampong Pante Gajah Kecamatan Peusangan Kabupaten Bireuen. Sedangkan Objek Penelitian adalah UD. Tahu Bang Dahri. Penelitian dilakukan mulai bulan Mei sampai juni tahun 2023.

3.2 Metode Pengumpulan Data

Adapun metode pengumpulan data menurut Sugiono dalam (Wicaksana & Rachman, 2018).

1. Observasi

Metode pengambilan data ini dilakukan dengan cara pengamatan secara langsung pada objek penelitian. Pengambilan data secara observasi dilakukan untuk mengetahui secara langsung proses produksi tahu sampai ke pengemasan dan pelaksanaan dari pengendalian kualitas.

2. Wawancara

Metode wawancara langsung merupakan metode pengambilan data atau informasi pada responden atau pihak yang menyediakan informasi dengan memberikan pertanyaan langsung yang dibutuhkan dalam penelitian. Dalam penelitian ini dilakukan dengan tanya jawab pada karyawan dan pemilik dari usaha tersebut.

3. Dokumentasi

Pengumpulan data atau catatan-catatan yang telah dilaksanakan sebelumnya serta pengambilan data gambar dengan menggunakan bantuan kamera pada saat observasi. Catatan-catatan yang digunakan dalam penelitian ini sesuai dengan obyek penelitian yang dilakukan yaitu catatan-catatan produksi.

3.3 Jenis dan Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari jenis data, yaitu data primer dan data sekunder. Metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Data primer

Data primer merupakan metode pengambilan data yang diperoleh secara langsung dari UD. Tahu Bang Dahri. Data primer pada penelitian ini berupa pengamatan langsung (observasi), dan wawancara dengan pihak yang bersangkutan dengan penelitian ini serta dokumentasi produk tahu yang rusak/cacat pada UD. Tahu Bang Dahri

2. Data sekunder

Data sekunder merupakan data yang dikumpulkan secara tidak langsung melalui media perantara (diperoleh atau dicatat dari pihak perusahaan). Data sekunder umumnya berupa bukti, catatan atau laporan yang tersusun dalam arsip perusahaan. Data sekunder pada penelitian ini yaitu berupa data produksi tahu dan jumlah kerusakan produk selama 30 hari penelitian yang didapatkan langsung dari pemilik perusahaan.

3.4 Defenisi Variabel Operasional

Definisi variabel adalah suatu definisi mengenai variabel yang dirumuskan berdasarkan karakteristik-karakteristik variabel yang diamati. Definisi variabel yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat sebagai berikut:

1. Data Produk Cacat

Data produk Cacat merupakan kondisi dimana produk yang tidak sesuai dengan spesifikasi sehingga tidak mencapai standar kualitas yang ditentukan dan memberikan kerugian pada perusahaan dalam memproduksi. Dalam penelitian ini terdapat 3 faktor produk Cacat yaitu tekstur tahu yang lembek, kesalahan pada proses pemotongan dan produk tahu yang kotor.

2. Data produksi

Data produksi adalah data jumlah produk yang dihasilkan oleh perusahaan

baik dalam harian, mingguan, bulanan bahkan tahunan. Dalam penelitian ini data yang di ambil adalah data produksi selama 30 hari penelitian pada bulan mei samapai juni tahun 2023.

3.5 Metode Analisis Data

Analisis data adalah proses mencari dan menyusun secara sistematis data yang diperoleh dari hasil wawancara, catatan lapangan dan dokumentasi dengan cara mengorganisasikan data ke dalam kategori, menjabarkan kedalam unit-unit, meyusun kedalam pola, memilih mana yang penting dan yang akan dipelajari dan membuat kesimpulan sehingga mudah dipahami oleh diri sendiri dan orang lain. Metode analisis data dalam penelitian ini yaitu:

3.5.1 Metode *Statistical Quality Control* (SQC)

Metode *statistical quality control* (SQC) yang terdiri dari beberapa tahap sebagai berikut:

1. Lembar Pemeriksaan (*Check sheet*)

Alat ini merupakan lembar pemeriksaan yang disajikan dalam bentuk tabel yang berisi data jumlah produksi dan ketidaksesuaiannya beserta yang dihasilkan. Tujuan penggunaan *check sheet* yaitu untuk mempermudah memproses data dan analisis, serta untuk mengetahui area permasalahan berdasarkan frekuensi dari jenis atau penyebab dan mengambil keputusan untuk melakukan perbaikan atau tidak.

2. Histogram

Histogram disajikan dalam bentuk batang yang menunjukkan tabulasi dari data yang sudah diatur berdasarkan ukurannya. Pengertian dari tabulasi merupakan sebagai distribusi frekuensi yang diamati. Walaupun demikian datanya harus dibagi-bagi sehingga bentuk distribusinya dapat terlihat. Sehingga tampilan gambar visual dari distribusi juga dapat memberikan informasi mengenai penyebab variasinya.

3. *Control chart* (peta kendali)

Kegunaan peta kendali untuk mendeteksi adanya suatu penyimpangan atau

tidak dalam proses produksi dengan cara menetapkan batas - batas kendali

a. *Upper Control Limit* (UCL) atau batas kendali atas

Merupakan garis batas atas yang berada di atas garis pusat yang menunjukkan suatu penyimpangan masih diijinkan.

$$UCL = p + 3 \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \dots \dots \dots \text{Pers. (3.1)}$$

Keterangan:

UCL = Batas kendali atas

P = Rata-rata ketidaksesuaian produk

n = Jumlah produksi

b. *Central Line*/garis pusat atau tengah (CL)

Merupakan garis yang menunjukkan tidak adanya penyimpangan dari karakteristik sampel.

$$CL = p = \frac{xn}{n} \dots \dots \dots \text{Pers. (3.2)}$$

Keterangan:

CL = Batas kendali tengah

xn = jumlah total yang rusak

n = Jumlah total produksi

c. *Low Control Limit* (LCL) atau batas kendali bawah

Merupakan garis batas atas yang berada di atas garis pusat yang menunjukkan suatu penyimpangan masih diijinkan.

$$UCL = p - 3 \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \dots \dots \dots \text{Pers. (3.3)}$$

Keterangan:

LCL = Batas kendali bawah

P = Rata-rata ketidaksesuaian produk

n = Jumlah produksi

4. *Fishbone* Diagram (diagram sebab akibat)

Diagram sebab-akibat ini bertujuan untuk memperlihatkan faktor-faktor penyebab (*root cause*) dan karakteristik kualitas (*effect*) yang disebabkan oleh faktor-faktor penyebab. Secara umum pada diagram ini terdapat lima

faktor yang disebut sebab (*cause*) dari akibat (*effect*). Kelima faktor tersebut ialah (*man*) manusia, tenaga kerja, (*method*) metode, (*material*) bahan baku, (*machine*) mesin dan (*environment*) lingkungan.

3.5.2 Metode *Taguchi*

Dalam percobaan *Taguchi* terdapat beberapa langkah yang harus dilalui untuk pengendalian kualitas (Octariani et al., 2021) yaitu:

1. Penentuan Variabel Tak Bebas (Karakteristik Kualitas)

Variabel tak bebas adalah variabel yang perubahannya tergantung pada variabel-variabel lain. Dalam merencanakan suatu percobaan harus dipilih dan ditentukan dengan jelas variabel tak bebas mana yang diselidiki. Variabel terikat dalam eksperimen ini adalah tekstur tahu yang lembek dan tahu kotor dan berbau.

2. Identifikasi Faktor-faktor (Variabel Bebas)

Variabel bebas (faktor) adalah variabel yang perubahannya tidak tergantung pada variabel lain. Pada tahap ini faktor-faktor yang akan diselidiki pengaruhnya terhadap variabel tak bebas yang bersangkutan diidentifikasi. Dalam suatu percobaan tidak seluruh faktor yang diperkirakan mempengaruhi variabel yang diselidiki, hal ini akan membuat pelaksanaan percobaan dan analisisnya menjadi kompleks. Faktor yang dilibatkan sebagai variabel bebas pada karakteristik tahu kotor dan berbau adalah lama perebusan kedelai, dan untuk tekstur tahu lembek adalah lama pengepresan dan penggilingan

3. Pemisahan Faktor Kontrol dan Faktor Gangguan

Faktor-faktor yang diamati terbagi atas faktor kontrol dan faktor gangguan. Dalam metode *Taguchi* keduanya perlu diidentifikasi dengan jelas sebab pengaruh antar kedua faktor tersebut berbeda. Faktor kontrol yang dilibatkan dalam eksperimen ini adalah lama perebusan, lama pengepresan dan lama penggilingan. Untuk faktor gangguan adalah cuaca dan debu

4. Penentuan Jumlah Level dan Nilai Level Faktor

Pemilihan jumlah level penting artinya untuk ketelitian hasil percobaan. Makin banyak level yang diteliti maka hasil percobaan akan lebih teliti karena data yang diperoleh lebih banyak. Dalam penelitian ini menggunakan 2 level percobaan dari faktor berikut:

1. Lama perebusan kedelai, masih menggunakan pemanasan langsung pada wajan yang dibuat permanen diatas tungku masak yang akan menyebabkan timbulnya kerak pada dinding dasar wajan. Kerak timbul karena lamanya perebusan hingga suhu wajan yang tinggi sehingga endapan bubur kedelai menkerak. Bila diaduk kerak ini akan bercampur dengan bubur sehingga menjadi kotor dan menimbulkan bau sengit yang akan menyebar ke seluruh kedelai.
2. Lama pengepresan, ini akan berpengaruh pada tekstur tahu karena waktu pembukaan tahu tidak sesuai dengan waktu yang telah ditetapkan karena sebab tertentu sehingga menyebabkan tekstur tahu lembek.
3. Lama penggilingan, penggilingan ini akan berpengaruh pada tekstur tahu. Penggilingan yang masih kasar akan menghasilkan tekstur tahu yang kasar dan jika penggilingan halus akan menghasilkan tekstur tahu yang lembut, sehingga lamanya waktu penggilingan merupakan poin penting untuk mengendalikan kualitas tahu.

5. Perhitungan Derajat Kebebasan (*Degrees of Freedom*)

Perhitungan derajat kebebasan dilakukan untuk menghitung jumlah minimum percobaan yang harus dilakukan untuk menyelidiki faktor yang diamati. Jika n_A dan n_B adalah jumlah perlakuan untuk faktor A dan faktor B maka :

$$\text{Dof untuk faktor A} = n_A - 1 \dots\dots\dots \text{Pers. (3.4)}$$

$$\text{Dof untuk faktor B} = n_B - 1 \dots\dots\dots \text{Pers. (3.5)}$$

$$\text{Dof untuk interaksi faktor A dan B} = (n_A - 1)(n_B - 1) \dots\dots\dots \text{Pers. (3.6)}$$

$$\text{Jumlah total Dof} = (n_A - 1)(n_B - 1) + (n_A - 1)(n_B - 1) \dots\dots\dots \text{Pers. (3.7)}$$

6. Pemilihan *Orthogonal Array* (OA)

Dalam memilih jenis *Orthogonal Array* harus diperhatikan jumlah faktor yang diamati yaitu :

1. Jika semua faktor adalah 2 level : pilih jenis OA untuk 2 level faktor
2. Jika semua faktor adalah 3 level : pilih jenis OA untuk 3 level faktor
3. Jika terdapat campuran 2, 3, atau 4 level faktor : lakukan modifikasi OA dengan metode *Merging Coloumn*

Dalam pemilihan OA harus memenuhi pertidaksamaan berikut:

$$f_{LN} \geq f \text{ yang diperlukan untuk faktor dan interaksi.....Pers.(3.8)}$$

7. Persiapan dan Pelaksanaan Percobaan

Persiapan percobaan meliputi penentuan jumlah replikasi dan randomisasi pelaksanaan percobaan.

8. Analisis Data

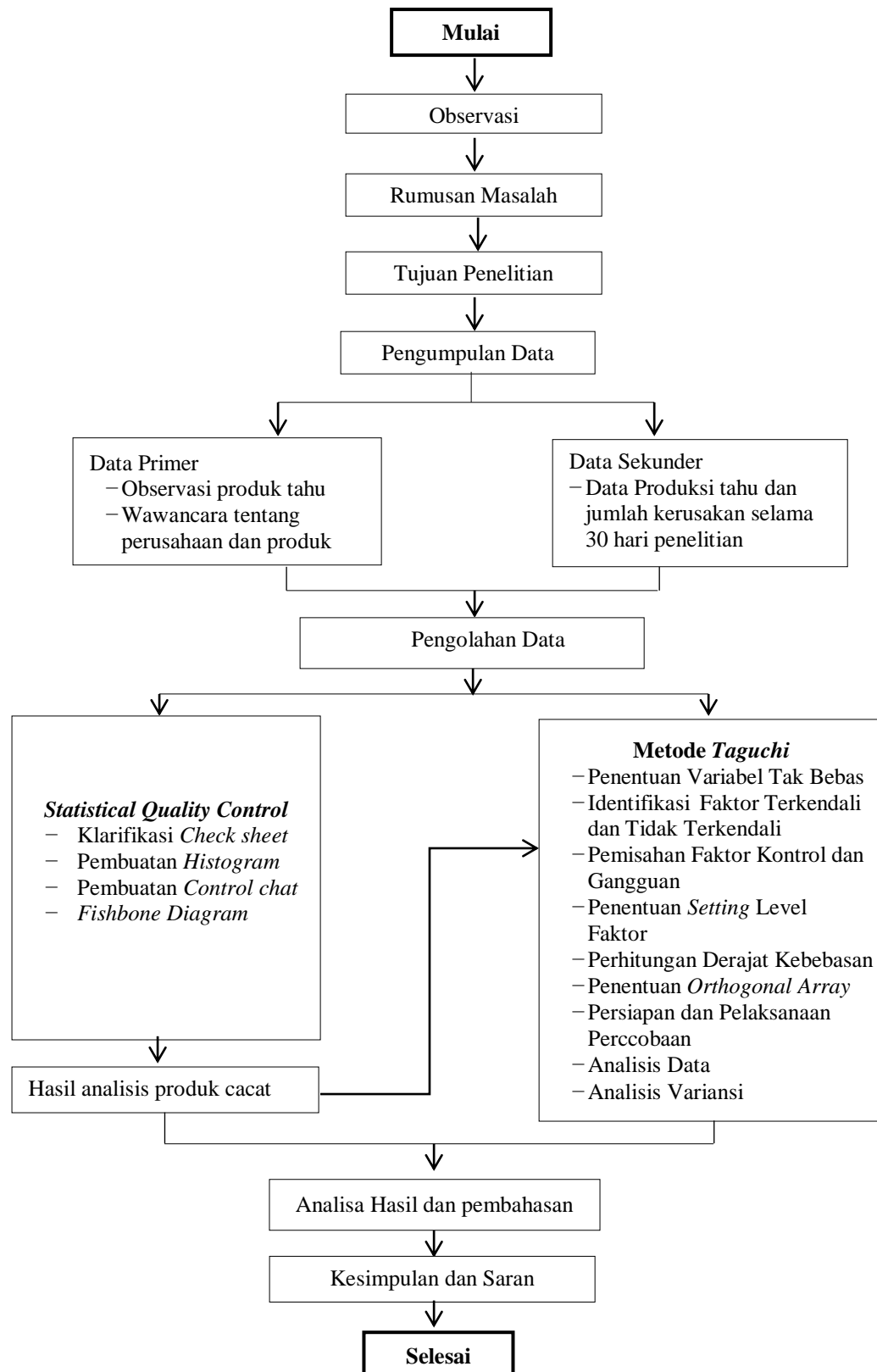
Pengolahan data meliputi pengumpulan data, perhitungan serta penyajian data dalam suatu *lay out* yang sesuai dengan disain yang dipilih untuk suatu percobaan yang dipilih Selain itu dilakukan perhitungan dan pengujian data dengan penerapan rumus-rumus pada data hasil percobaan. Pengolahan data dilakukan dengan perhitungan *main effect*.

9. Analisis Variansi (Anova)

Analisis uji anova diperkenalkan pertama kali oleh Sir Ronald Fisher, ahli statistik dari Inggris. Analisis variansi adalah suatu metode yang membagi variansi menjadi sumber variansi yang dapat diidentifikasi dan merupakan pengumpulan derajat kebebasan dalam eksperimen. Data-data yang diambil, baik data kondisi sebenarnya.

3.6 Bagan Penelitian

Bagan penelitian merupakan proses penelitian yang akan dilalui oleh penulis sehingga dapat mengumpulkan data yang diperlukan dalam sebuah penelitian. Berikut merupakan bagan penelitian yang di atur oleh peneliti dalam melakukan penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Bagan penelitian

Sumber: Peneliti

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

4.1.1 Pengumpulan Data

Penelitian ini dilakukan pada bulan Mei sampai Juni 2023 di UD. Tahu Bang Dahri yang berlokasi di Dusun Urong raya Gampong Pante Gajah Kecamatan Peusangan Kabupaten Bireuen. Pengumpulan data yang dilakukan adalah pengumpulan data sekunder yang berupa data produksi tahu dan jumlah kerusakan selama 30 hari. Adapun data kerusakan produk tahu pada UD. Tahu Bang Dahri dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut:

Tabel 4.1 Data Total Produksi Tahu Selama 30 Hari Kerja Dan Jumlah Kerusakan/Cacat Produk

No	Jumlah Produksi (unit)	Jenis Kerusakan (unit)		Jumlah Kerusakan (unit)
		Tahu Kotor dan berbau	Tahu Lembek	
1	3110	52	34	86
2	3875	58	54	112
3	3900	64	36	100
4	3800	62	52	114
5	3200	52	56	108
6	3175	50	42	92
7	3000	56	54	110
8	3650	58	44	102
9	3850	38	50	88
10	3900	60	58	118
11	3010	50	44	94
12	3170	58	38	96
13	3980	64	36	100
14	3650	48	54	102
15	3875	58	46	104
16	3000	48	54	102
17	3650	50	40	90
18	3900	60	36	96
19	3800	62	52	114
20	3000	48	54	102
21	3900	60	58	118
22	3010	56	52	108
23	3170	48	38	86
24	3980	50	36	86

Tabel 4.1 Data Total Produksi Tahu Selama 30 Hari Kerja Dan Jumlah Kerusakan/Cacat Produk (Lanjutan)

No	Jumlah Produksi (unit)	Jenis Kerusakan (unit)		Jumlah Kerusakan (unit)
		Tahu Kotor dan berbau	Tahu Lembek	
25	3000	54	54	108
26	3650	52	46	98
27	3850	54	50	104
28	3900	60	58	118
29	3170	48	38	86
30	3980	50	46	96
Total	106.105	1628	1410	3038

Sumber: Pengumpulan Data

Berdasarkan Tabel 4.1 diketahui bahwa pada pengamatan hari pertama jumlah produksi sebesar 3110 unit dengan jumlah kerusakan pada tahu yang kotor dan berbau sebesar 52 unit dan jumlah kerusakan tahu lembek sebesar 34 unit, sehingga total kerusakan tahu pada pengamatan hari pertama sebesar 86 unit.

4.1.2 Metode *Statistical Quality Control*

Pada penelitian dengan menggunakan *Statistical Quality Control* ini akan menggunakan alat analisis statistik yaitu *check sheet*, histogram, *control chart* dan *fishbone diagram*. Penggunaan keempat alat tersebut dianggap telah memenuhi tujuan penelitian yaitu untuk faktor yang menjadi penyebab terjadinya kecacatan produk pada UD Tahu Bang Dahri. Adapun keempat alat analisis statistik adalah sebagai berikut:

1. *Check sheet*

Tahap pertama dalam analisis pengendalian kualitas membuat *check sheet* atau lembar pemeriksaan adalah dengan menyusun tabel yang berisi kolom tanggal, jumlah produksi, jenis kerusakan dan jumlah kerusakan. Adapun hasil pengumpulan data melalui *check sheet* yang telah dilakukan selama 30 hari dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.2 Check Sheet Kerusakan Tahu selama 30 Hari

No	Jumlah Produksi (unit)	Jenis Kerusakan (unit)		Jumlah Kerusakan (unit)	Persentase (%)
		Tahu Kotor dan berbau	Tahu Lembek		
1	3110	52	34	86	2,77

Tabel 4.2 Check Sheet Kerusakan Tahu selama 30 Hari (Lanjutan)

No	Jumlah Produksi (unit)	Jenis Kerusakan (unit)		Jumlah Kerusakan (unit)	Persentase (%)
		Tahu Kotor dan berbau	Tahu Lembek		
2	3875	58	54	112	2,89
3	3900	64	36	100	2,56
4	3800	62	52	114	3,00
5	3200	52	56	108	3,38
6	3175	50	42	92	2,90
7	3000	56	54	110	3,67
8	3650	58	44	102	2,79
9	3850	38	50	88	2,29
10	3900	60	58	118	3,03
11	3010	50	44	94	3,12
12	3170	58	38	96	3,03
13	3980	64	36	100	2,51
14	3650	48	54	102	2,79
15	3875	58	46	104	2,68
16	3000	48	54	102	3,40
17	3650	50	40	90	2,47
18	3900	60	36	96	2,46
19	3800	62	52	114	3,00
20	3000	48	54	102	3,40
21	3900	60	58	118	3,03
22	3010	56	52	108	3,59
23	3170	48	38	86	2,71
24	3980	50	36	86	2,16
25	3000	54	54	108	3,60
26	3650	52	46	98	2,68
27	3850	54	50	104	2,70
28	3900	60	58	118	3,03
29	3170	48	38	86	2,71
30	3980	50	46	96	2,41
Total	106105	1628	1410	3038	2,89

Sumber: Pengolahan Data

Berdasarkan Tabel 4.2 diketahui selama 30 hari pengamatan di UD Tahu Bang Dahri diperoleh hasil produksi sebesar 106.105 tahu dengan jenis kerusakan tahu kotor dan berbau sebesar 1.628 tahu dan jenis kerusakan

tahu lembek sebesar 1.410 tahu, sehingga total kerusakan untuk 2 jenis kerusakan sebesar 3.038 tahu dan diperoleh hasil presentasi kerusakan sebesar 2,8%. Jumlah produksi terbesar yaitu pada hari ke 13, 24 dan 30 sebesar 3980 tahu dan jumlah produksi terendah yaitu pada hari ke 7, 16, 20 dan 25 sebesar 3000 tahu. Sedangkan untuk jumlah kerusakan terbesar yaitu pada hari ke 10, 21 dan 28 sebesar 118 tahu, dan untuk jumlah kerusakan terendah yaitu pada hari ke 1, 23, 24 dan 29 sebesar 86 tahu.

2. Histogram

Tahapan selanjutnya setelah pembuatan *check sheet* adalah pembuatan diagram histogram, yang bertujuan untuk menyajikan data tabulasi untuk menunjukkan jenis kerusakan yang paling banyak terjadi. Berikut adalah histogram tabel persentase kerusakan tahu selama 30 hari yang dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut:

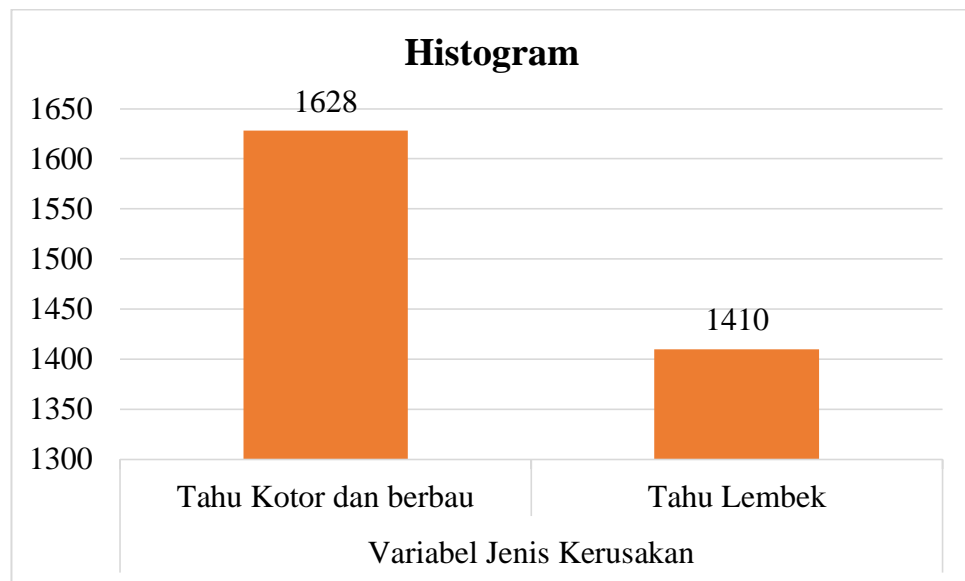
Tabel 4.3 Persentase Kerusakan Tahu Selama 30 Hari

Jumlah Produksi (unit)	Variabel Jenis Kerusakan (unit)		Jumlah Kerusakan (unit)
	Tahu Kotor dan berbau	Tahu Lembek	
106105	1628	1410	3038
	53,59%	46,41%	

Sumber: Pengolahan Data

Berdasarkan Tabel 4.3 diketahui bahwa jenis kerusakan yang paling banyak terjadi adalah tahu kotor dan berbau yakni sebesar 1.628 tahu atau sebesar 53,59% dari total kerusakan produk.

Adapun gambar diagram histogram dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut:



Gambar 4.1 Histogram Kerusakan Tahu

Sumber: Pengolahan Data

Berdasarkan Gambar 4.1 diatas dapat dilihat jenis kerusakan yang paling tinggi adalah tahu kotor dan berbau sebesar 1628 tahu atau sebesar 53,59%.

3. Peta Kendali (*Control Chart*)

Tahapan selanjutnya adalah membuat peta kendali atau *control chart* yang bertujuan untuk mengetahui sejauh mana kerusakan yang terjadi masih dalam batas kendali statistik atau tidak melalui grafik kendali. Adapun langkah – langkah untuk membuat peta kendali adalah sebagai berikut:

a. Menghitung persentase kerusakan

Adapun rumus yang digunakan untuk menghitung persentase kerusakan pada hari ke 1 adalah sebagai berikut”

$$P = \frac{x}{y}$$

$$P = \frac{86}{3110} = 0,0277$$

Untuk perhitungan persentase kerusakan pada hari ke 2 sampai ke 30 dilakukan dengan cara yang sama. Adapun rekapitulasi hasil perhitungan persentase kerusakan selama 30 hari dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut:

Tabel 4.4 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Persentase Kerusakan

No	Persentase Kerusakan ('P)
1	0,0277
2	0,0289
3	0,0256
4	0,0300
5	0,0338
6	0,0290
7	0,0367
8	0,0279
9	0,0229
10	0,0303
11	0,0312
12	0,0303
13	0,0251
14	0,0279
15	0,0268
16	0,0340
17	0,0247
18	0,0246
19	0,0300
20	0,0340
21	0,0303
22	0,0359
23	0,0271
24	0,0216
25	0,0360
26	0,0268
27	0,0270
28	0,0303
29	0,0271
30	0,0241

Sumber: Pengolahan Data

Berdasarkan Tabel 4.4 diperoleh hasil rekapitulasi persentase kerusakan selama 30 hari pengamatan di UD Tahu Bang Dahri dengan persentase kerusakan terendah sebesar 0,0216 pada hari ke 24 dan persentasi kerusakan tertinggi sebesar 0,367 pada hari ke 7.

b. Menghitung CL

Adapun rumus yang digunakan untuk menghitung *Central Line* (CL) adalah sebagai berikut:

$$CL = \bar{p} = \frac{\sum X_n}{\sum n}$$

$$CL = \frac{3038}{106105}$$

$$CL = 0,0286$$

c. Menghitung UCL

Adapun rumus yang digunakan untuk menghitung *Upper Control Line* (UCL) adalah sebagai berikut:

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

$$UCL = 0,0286 + 3 \sqrt{\frac{0,0286(1-0,0286)}{30}}$$

$$UCL = 0,1199$$

d. Menghitung LCL

Adapun rumus yang digunakan untuk menghitung *Lower Control Line* (LCL) adalah sebagai berikut:

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

$$LCL = 0,0286 - 3 \sqrt{\frac{0,0286(1-0,0286)}{30}}$$

$$LCL = -0,0627$$

Jika LCL apabila $LCL < 0$ maka LCL dianggap 0.

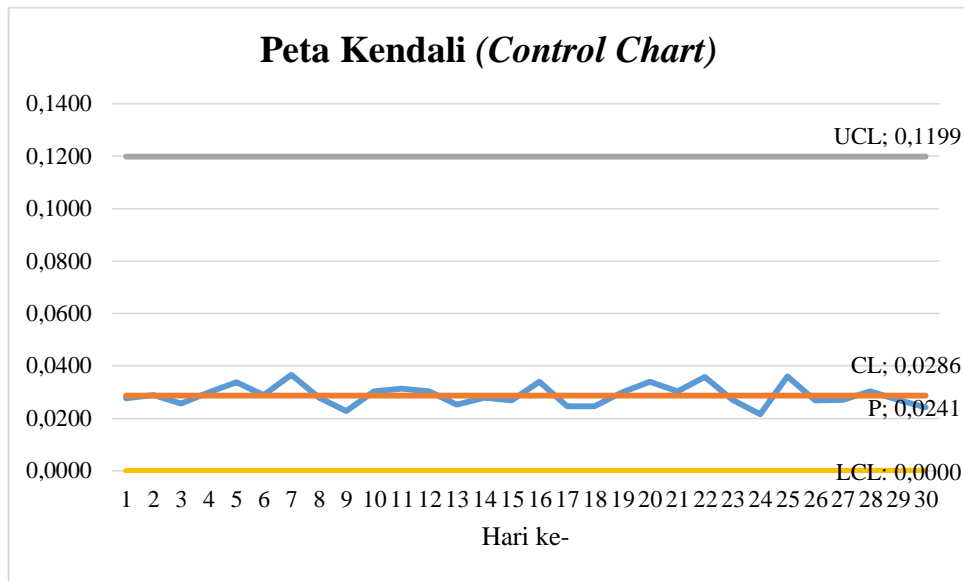
Setelah dilakukan perhitungan untuk CL, UCL dan LCL selanjutnya dilakukan perhitungan peta kendali yang dapat dilihat pada Tabel 4.5 berikut:

Tabel 4. 5 Perhitungan Batas Kendali Pada Produk Tahu

No	P	CL	UCL	LCL
1	0,0277	0,0286	0,1199	0,0000
2	0,0289	0,0286	0,1199	0,0000
3	0,0256	0,0286	0,1199	0,0000
4	0,0300	0,0286	0,1199	0,0000
5	0,0338	0,0286	0,1199	0,0000
6	0,0290	0,0286	0,1199	0,0000
7	0,0367	0,0286	0,1199	0,0000
8	0,0279	0,0286	0,1199	0,0000
9	0,0229	0,0286	0,1199	0,0000
10	0,0303	0,0286	0,1199	0,0000
11	0,0312	0,0286	0,1199	0,0000
12	0,0303	0,0286	0,1199	0,0000
13	0,0251	0,0286	0,1199	0,0000
14	0,0279	0,0286	0,1199	0,0000
15	0,0268	0,0286	0,1199	0,0000
16	0,0340	0,0286	0,1199	0,0000
17	0,0247	0,0286	0,1199	0,0000
18	0,0246	0,0286	0,1199	0,0000
19	0,0300	0,0286	0,1199	0,0000
20	0,0340	0,0286	0,1199	0,0000
21	0,0303	0,0286	0,1199	0,0000
22	0,0359	0,0286	0,1199	0,0000
23	0,0271	0,0286	0,1199	0,0000
24	0,0216	0,0286	0,1199	0,0000
25	0,0360	0,0286	0,1199	0,0000
26	0,0268	0,0286	0,1199	0,0000
27	0,0270	0,0286	0,1199	0,0000
28	0,0303	0,0286	0,1199	0,0000
29	0,0271	0,0286	0,1199	0,0000
30	0,0241	0,0286	0,1199	0,0000

Sumber: Pengolahan Data

Setelah didapatkan hasil perhitungan batas kendali selanjutnya dilakukan pemetaan dengan control diagram. Adapun peta kendali (*control chart*) pada hasil perhitungan batas kendali produk tahu selama 30 hari dapat dilihat pada Gambar 4.2 berikut:



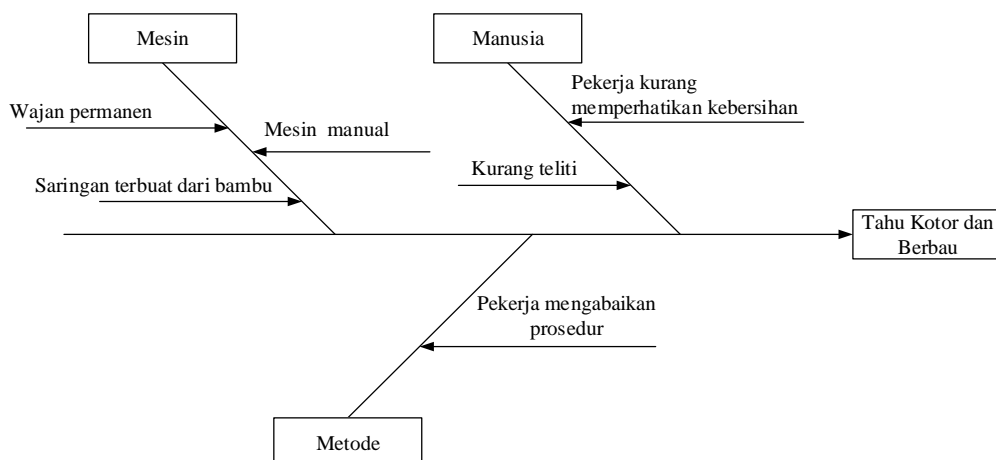
Gambar 4. 2 *Control Chart* Produk Tahu

Sumber: Pengolahan Data

Berdasarkan Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa data yang diperoleh seluruhnya berada dalam batas kendali, sehingga tidak perlu dilakukan revisi.

4. *Fishbone Diagram*

Setelah diketahui masalah utama yang sering terjadi maka dilakukan analisis faktor penyebab kerusakan dengan analisis *fishbone*. Diagram ini digunakan untuk mengetahui penyebab produk cacat pada tahu secara terperinci. Adapun *fishbone diagram* pada jenis kerusakan tahu kotor dan berbau dapat dilihat pada Gambar 4.3 berikut:



Gambar 4. 3 *Fishbone Diagram* Pada Tahu Kotor dan Berbau

Sumber: Pengolahan Data

Berdasarkan Gambar 4.3 dapat dilihat penyebab tahu kotor dan berbau disebabkan oleh 3 faktor yaitu mesin, manusia dan lingkungan. Adapun penjelasan ketiga faktor tersebut adalah sebagai berikut:

a. Mesin

Mesin merupakan faktor penyebab dari kerusakan pada tahu hal ini disebabkan mesin yang digunakan dalam proses perebusan berupa wajan yang dibuat permanen diatas tungku sehingga lama kelamaan wajan tersebut akan menimbulkan kerak pada dinding dasar wajan dan ketika digunakan kerak tersebut akan bercampur dengan bubur kedelai sehingga menjadi kotor dan menimbulkan berbau sengit. Selain itu proses pengeringan masih menggunakan mesin manual, yang mana mesin ini berupa alat pengering rak yang bersusun. Alat pengering ini digunakan dalam keadaan terbuka sehingga membuat kotoran yang terbang yang berasal dari prose produksi maupun kotoran dari luar akan mengotori tahu tersebut. Dan penggunaan saringan yang terbuat dari anyaman bambu ini mudah kotor dan mudah tertempel kotoran sehingga ketika penggunaan saringan yang disusun di rak kotoran tersebut akan jatuh kebawah dan mengotori tahu yang berada dibawahnya.

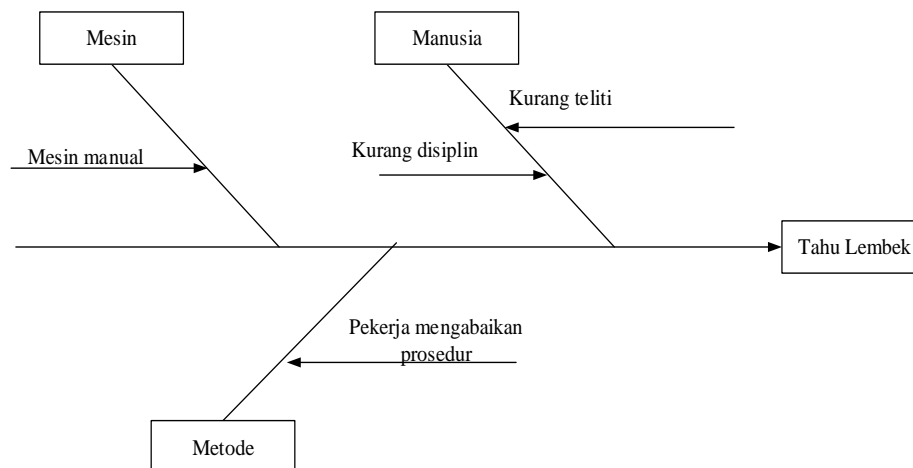
b. Manusia

Selain itu manusia menjadi salah satu faktor dari kerusakan pada tahu, hal ini disebabkan oleh pekerja yang kurang memperhatikan kebersihan dan kurangnya ketelitian pekerja pada proses pencucian bahan baku sehingga masih terdapat kotoran yang menempel pada bahan baku yang mengakibatkan hasil tahu menjadi kotor dan berbau.

c. Metode

Metode menjadi faktor dalam kerusakan tahu yang disebabkan oleh pekerja yang tidak melakukan proses produksi sesuai dengan prosedur yang ada seperti seharusnya sebelum memulai pemasakan wajan yang digunakan harus dibersihkan terlebih dahulu dan pastikan tidak ada sisa bubur kedelai yang menempel.

Sedangkan *fishbone diagram* pada jenis kerusakan tahu lembek dapat dilihat pada Gambar 4.4 berikut:



Gambar 4. 4 *Fishbone Diagram* pada *Tahu Lembek*

Sumber: Pengolahan Data

Berdasarkan Gambar 4.4 dapat dilihat penyebab tahu lembek disebabkan oleh 3 faktor yaitu mesin, manusia dan metode. Adapun penjelasan ketiga faktor tersebut adalah sebagai berikut:

a. Mesin

Penyebab kerusakan pada tahu adalah mesin yang digunakan masih manual sehingga pada proses pengeringan dengan ayakan bambu mudah tergeser dan membuat tekstur tahu menjadi rusak.

b. Manusia

Faktor penyebab tahu lembek adalah manusia hal ini dikarenakan kurangnya ketelitian dan kurang disiplinnya pekerja dalam melakukan proses produksi tahu. Pekerja yang kurang disiplin dalam proses pengadukan, pengeringan dan penataan tahu membuat tekstur tahu menjadi rusak.

c. Metode

Metode merupakan faktor yang menyebabkan kerusakan pada tahu hal ini dikarenakan pekerja mengabaikan prosedur seperti pada proses penambahan asam yang tidak merata membuat tekstur tahu menjadi lembek. Selain itu pengepresan yang tidak sesuai dengan standar

seperti pengepresan terlalu cepat membuat kandungan air pada tahu tidak keluar semua sehingga tahu akan menjadi lembek.

4.1.3 Metode *Taguchi*

4.1.3.1 Metode *Taguchi* untuk Tahu Kotor dan Berbau

Adapun tahapan yang dilakukan untuk metode *Taguchi* adalah sebagai berikut:

1. Penentuan Variabel Tak Bebas (Karakteristik Kualitas)

Pada penelitian ini yang menjadi variabel tak bebas adalah tahu kotor dan berbau di UD Tahu Bang Dahri. Karakteristik yang digunakan *adalah smaller the better* yang berarti berkurangnya jumlah produk yang cacat maka akan semakin baik kualitasnya.

2. Identifikasi Faktor-Faktor (Variabel bebas)

Variabel bebas yang digunakan ada penelitian ini adalah lama perebusan kedelai, lama pengepresan dan lama penggilingan.

3. Pemisahan Faktor Kontrol dan Faktor Gangguan

Faktor kontrol yang dilibatkan dalam eksperimen ini adalah lama perebusan, lama pengepresan dan lama penggilingan. Sedangkan untuk faktor gangguan adalah cuaca dan debu.

4. Penentuan Jumlah Level dan Nilai Level Faktor

Dalam penelitian ini menggunakan 2 level percobaan dari faktor berikut:

1. Lama perebusan kedelai
2. Lama pengepresan
3. Lama penggilingan

Adapun level dan nilai level faktor dapat dilihat pada Tabel 4.6 berikut:

Tabel 4. 6 Level dan Nilai Level Faktor

Kode	Faktor	Level	
		1	2
A	Lama perebusan kedelai (menit)	20	15
B	Lama pengepresan (menit)	15	10
C	Lama penggilingan (menit)	8	10

Sumber: Pengolahan Data

Berdasarkan Tabel 4.6 diperoleh level dan nilai level faktor dengan kode A untuk faktor perebusan kedelai pada level 1 sebesar 20 menit dan level 2 sebesar 15 menit. Penentuan level ini disesuaikan pada standar proses produksi. Waktu perebusan standar berkisar antara 15-20 menit, namun saat produksi waktu perebusan lebih dari itu sehingga menimbulkan kerak pada bagian bawah. Untuk itu pada metode *Taguchi* ini pemilihan nilai level disesuaikan dengan standar seharusnya sehingga pada level 1 diterapkan waktu perebusan 20 menit dan level 2 sebesar 15 menit.

5. Perhitungan Derajat Kebebasan

Perhitungan derajat kebebasan dilakukan untuk menghitung jumlah minimum penelitian yang harus dilakukan untuk menyelidiki faktor yang diamati. Adapun rumus yang digunakan untuk perhitungan derajat kebebasan adalah sebagai berikut:

$$\text{Dof} = nA - 1$$

Dalam penelitian ini terdapat 3 faktor dan 2 level yaitu:

- a. Faktor A = 2 level
- b. Faktor B = 2 level
- c. Faktor C = 2 level

Sehingga perhitungan derajat kebebasan dilihat pada Tabel 4.7 berikut:

Tabel 4. 7 Derajat Kebebasan

Faktor Kontrol	Derajat Bebas	Total
A	2-1	1
B	2-1	1
C	2-1	1
Total		3

Sumber: Pengolahan Data

Berdasarkan Tabel 4.7 diperoleh nilai derajat kebebasan untuk faktor kontrol A adalah 1, faktor kontrol B adalah 1 dan faktor kontrol C sebesar 1 dengan total derajat kebebasan adalah 3.

6. Pemilihan *Orthogonal Array*

Dalam memilih matriks *Orthogonal* yang sesuai, diperlukan suatu persamaan dari matriks *Orthogonal* tersebut yang mempresentasikan jumlah faktor, jumlah level dan jumlah pengamatan yang dilakukan.

Adapun perhitungan derajat bebas untuk matriks *Orthogonal* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Derajat bebas matriks} &= \text{jumlah faktor} \times (\text{jumlah level} - 1) \\ &= 3 \times (2-1) = 3 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan derajat kebebasan untuk 2 level maka matriks *Orthogonal* yang digunakan untuk penelitian ini adalah $L_4(2^3)$. Matriks yang terpilih ini hanya melakukan eksperimen sebanyak 4 kali yang tidak lepas dari pertimbangan waktu dan biaya yang sedikit. Sehingga susunan matriks *Orthogonal* $L_4(2^3)$ dapat dilihat pada Tabel 4.8 berikut:

Tabel 4. 8 Matriks *Orthogonal*
Matriks *Orthogonal* $L_4(2^3)$

Eksperimen	1	2	3
1	1	1	1
2	1	2	2
3	2	1	2
4	2	2	1

Sumber: Pengolahan Data

Adapun substitusi nilai level faktor ke dalam matriks *Orthogonal* dapat dilihat pada Tabel 4.9 berikut:

Tabel 4. 9 Nilai Level Faktor
Matriks *Orthogonal* $L_4(2^3)$

Eksperimen	Faktor (menit)		
	Lama perebusan	Lama pengepresan	Lama penggilingan
1	20	15	8
2	20	10	10
3	15	15	10
4	15	10	8

Sumber: Pengolahan Data

Berdasarkan Tabel 4.9 diketahui nilai matriks *Orthogonal* didapatkan dengan mensubstitusi nilai level faktor kedalam matriks *Orthogonal*.

7. Persiapan dan Pelaksanaan Percobaan

a. Jumlah Replikasi

Pada penelitian ini dilakukan 3 kali replikasi untuk setiap eksperimen sehingga total pelaksanaan eksperimen sebanyak 12 kali.

b. Randomisasi

Pengacakan sederhana secara random dilakukan pada urutan eksperimen ke 1 sampai dengan eksperimen ke 12. Setelah dilakukan percobaan sesuai dengan matriks *Orthogonal* yang diberikan maka didapatkan hasil penelitian yang dapat dilihat pada Tabel 4.10 berikut:

Tabel 4.10 Hasil Percobaan Kerusakan Tahu Kotor Dan Berbau

Eksperimen	Matriks <i>Orthogonal</i> $L_4(2^3)$			Jumlah Cacat			Total Produk Cacat (unit)	Rata-rata (unit)
	1	2	3	Replikasi ke-				
	A	B	C	1	2	3		
1	20	15	8	5	5	6	16	5,33
2	20	10	10	6	4	4	14	4,67
3	15	15	10	4	4	5	13	4,33
4	15	10	8	3	4	3	10	3,33

Sumber: Pengolahan Data

Berdasarkan Tabel 4.10 diperoleh total produk cacat pada tiap eksperimen dengan 3 kali pengulangan. Total produk cacat tertinggi terdapat pada eksperimen pertama dengan total produk cacat sebesar 16 tahu, sedangkan total produk cacat terendah terdapat pada eksperimen ke 4 dengan total produk cacat sebesar 10 tahu.

8. Analisis Data

a. Perhitungan *Main Effect*

1. Metode *Average*

Perhitungan ini digunakan untuk mengetahui pengaruh dari masing-masing faktor dan interaksi terhadap nilai tengah dari hasil yang diharapkan. Adapun perhitungan *average* sebagai berikut:

$$\bar{A} = \frac{Y_{A1} + Y_{A2} + \dots + Y_{An}}{n}$$

a. Pengaruh Level A

Faktor A level 1 yaitu pada eksperimen 1 dan 2

$$\bar{A} = \frac{5,33 + 4,67}{2} = 5,00$$

Faktor A level 2 yaitu pada eksperimen 3 dan 4

$$\bar{A} = \frac{4,33 + 3,33}{2} = 3,83$$

b. Pengaruh Level B

Faktor B level 1 yaitu pada eksperimen 1 dan 3

$$\bar{B} = \frac{5,33 + 4,33}{2} = 4,83$$

Faktor B level 2 yaitu pada eksperimen 2 dan 4

$$\bar{B} = \frac{4,67 + 3,33}{2} = 4,00$$

c. Pengaruh Level C

Faktor C level 1 yaitu pada eksperimen 1 dan 4

$$\bar{C} = \frac{5,33 + 3,33}{2} = 4,33$$

Faktor C level 2 yaitu pada eksperimen 2 dan 3

$$\bar{C} = \frac{4,67 + 4,33}{2} = 4,50$$

Hasil perhitungan nilai respon rata-rata untuk setiap faktor dapat dilihat pada Tabel 4.11 berikut:

Tabel 4. 11 Respon Rata-Rata Untuk Setiap Faktor

	A	B	C
Level 1	5,00	4,83	4,33
Level 2	3,83	4,00	4,50
Selisih	1,17	0,83	-0,17
Ranking	1	2	3

Sumber: Pengolahan Data

Berdasarkan Tabel 4.11 dapat diketahui bahwa faktor A berada pada ranking 1 yang berarti faktor tersebut memiliki kontribusi terbesar pada pengurangan variansi produk cacat pada tahu kotor dan berbau. Faktor yang berpengaruh berikutnya adalah faktor B, sedangkan faktor C berada pada ranking 3 yang berarti faktor tersebut kurang memberi kontribusi dalam pengurangan produk cacat pada kerusakan tahu kotor dan berbau.

2. Metode S/N Rasio (*Signal to Ratio*)

Rumus yang digunakan untuk menghitung *Signal to Noise Ratio* dengan karakteristik *smaller the better* adalah sebagai berikut:

$$S/N = -10 \log \frac{1}{N} \sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^p \sum_{k=1}^N (y_{ijk})^2$$

Sehingga perhitungan S/N pada eksperimen ke 1 adalah sebagai berikut:

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{3} (5^2 + 5^2 + 6^2) \right)$$

$$S/N = -10 \log (28,67)$$

$$S/N = -14,57$$

Untuk eksperimen 2 sampai 4 dilakukan dengan cara yang sama, sehingga rekapitulasi perhitungan S/N dapat dilihat pada Tabel 4.12 berikut:

Tabel 4. 12 Rekapitulasi Perhitungan S/N

Matriks <i>Orthogonal</i> $L_4(2^3)$				
Eksperimen	1	2	3	Rasio S/N
	A	B	C	
1	20	15	8	-14,57
2	20	10	10	-13,55
3	15	15	10	-12,79
4	15	10	8	-10,54

Sumber : Pengolahan Data

Berdasarkan hasil perhitungan S/N diperoleh nilai rasio untuk masing – masing eksperimen.

Perhitungan pengaruh faktor dan interaksi berdasarkan S/N adalah sebagai berikut:

a. Pengaruh Level A

Faktor A level 1 yaitu pada eksperimen 1 dan 2

$$\bar{A} = \frac{-14,57 + -13,55}{2} = -14,06$$

Faktor A level 2 yaitu pada eksperimen 3 dan 4

$$\bar{A} = \frac{-12,79 + -10,54}{2} = -11,67$$

b. Pengaruh Level B

Faktor B level 1 yaitu pada eksperimen 1 dan 3

$$\bar{B} = \frac{-14,57 + -12,79}{2} = -13,68$$

Faktor B level 2 yaitu pada eksperimen 2 dan 4

$$\bar{B} = \frac{-13,55 + -10,54}{2} = -12,05$$

c. Pengaruh Level C

Faktor C level 1 yaitu pada eksperimen 1 dan 4

$$\bar{C} = \frac{-14,57 + -10,54}{2} = -12,56$$

Faktor C level 2 yaitu pada eksperimen 2 dan 3

$$\bar{C} = \frac{-13,55 + -12,79}{2} = -13,17$$

Hasil perhitungan nilai respon rata-rata untuk setiap faktor dapat dilihat pada Tabel 4.13 berikut:

Tabel 4.13 Nilai Respon Rata-Rata Untuk Setiap Faktor

	A	B	C
Level 1	-14,06	-13,68	-12,56
Level 2	-11,67	-12,05	-13,17
Selisih	-2,40	-1,63	0,61
Ranking	1	2	3

Sumber: Pengolahan Data

Berdasarkan Tabel 4.13 diketahui bahwa faktor A berada pada ranking 1 yang berarti faktor tersebut memiliki kontribusi terbesar dan pada pengurangan variansi produk cacat pada tahu kotor dan berbau. Faktor yang berpengaruh berikutnya adalah faktor B, sedangkan faktor C berada pada ranking 3 yang berarti faktor tersebut kurang memberi kontribusi dalam pengurangan produk cacat pada kerusakan tahu kotor dan berbau.

9. Analisis Variansi

a. Analisis Varians Rata Rata Optimum

Analisis varians rata-rata digunakan untuk mengidentifikasi pengaruh level dari faktor sehingga akurasi perkiraan model dapat dilakukan berdasarkan nilai rata-rata.

1. Rata-rata eksperimen keseluruhan

Adapun perhitungan rata-rata eksperimen keseluruhan adalah:

$$Y = \frac{\sum y}{n} = \frac{5,33 + 4,67 + 4,33 + 3,33}{4} = 4,42$$

2. Perhitungan jumlah kuadrat total

$$S_T = \sum y^2$$

$$S_T = 5,33^2 + 4,67^2 + 4,33^2 + 3,33^2$$

$$S_T = 80,11$$

3. Jumlah kuadrat rata-rata

$$S_m = n \cdot \bar{y}^2 = 4 \times (4,42)^2 = 78,03$$

4. Perhitungan jumlah kuadrat level faktor

- a. Faktor A

$$\begin{aligned} SS_A &= \frac{A1^2}{nA1} + \frac{A2^2}{nA2} - \frac{T^2}{N} \\ &= \frac{10,00^2}{2} + \frac{7,67^2}{2} - \frac{17,67^2}{4} \\ &= 1,36 \end{aligned}$$

- b. Faktor B

$$\begin{aligned} SS_B &= \frac{B1^2}{nB1} + \frac{B2^2}{nB2} - \frac{T^2}{N} \\ &= \frac{9,67^2}{2} + \frac{8,00^2}{2} - \frac{17,67^2}{4} \\ &= 0,69 \end{aligned}$$

- c. Faktor C

$$\begin{aligned} SS_C &= \frac{C1^2}{nC1} + \frac{C2^2}{nC2} - \frac{T^2}{N} \\ &= \frac{8,67^2}{2} + \frac{9,00^2}{2} - \frac{17,67^2}{4} \\ &= 0,03 \end{aligned}$$

5. Derajat kebebasan

Perhitungan derajat kebebasan dilakukan pada setiap faktor dengan rumus:

$$Dof_x = n_x - 1$$

Sehingga berdasarkan rumus diatas derajat kebebasan setiap faktor adalah sebagai berikut:

$$dof_A = 2 - 1 = 1$$

$$\text{dof}_B = 2-1 = 1$$

$$\text{dof}_B = 2-1 = 1$$

Derajat kebebasan untuk setiap eksperimen adalah 1 untuk setiap eksperimen dimana dilakukan 12 eksperimen. Derajat rata rata adalah 1 sehingga derajat kebebasan total adalah $12-1 = 11$. Sedangkan derajat kebebasan *error* adalah derajat kebebasan total dikurang derajat kebebasan setiap faktor, sehingga derajat kebebasan *error* adalah $11-3 = 8$.

6. Rata-rata jumlah kuadrat

Rata-rata kuadrat untuk setiap faktor adalah sebagai berikut:

$$\text{a. } M_A = \frac{S_A}{\text{dof}_A} = \frac{1,36}{1} = 1,36$$

$$\text{b. } M_B = \frac{S_B}{\text{dof}_B} = \frac{0,69}{1} = 0,69$$

$$\text{c. } M_C = \frac{S_C}{\text{dof}_C} = \frac{0,03}{1} = 0,03$$

7. Jumlah Kuadrat *Error*

$$SS_{\text{faktor}} = SS_A + SS_B + SS_C$$

$$= 1,36 + 0,69 + 0,03$$

$$= 2,08$$

$$SS_e = S_T - S_M - SS_{\text{faktor}}$$

$$= 80,11 - 78,03 - 2,08$$

$$= 0,00$$

Adapun hasil perhitungan analisis varians terhadap rata-rata dapat dilihat pada Tabel 4.14 berikut:

Tabel 4. 14 Hasil Perhitungan Analisis Varians Rata-rata

Sumber	Dof	SS	MS
A	1	1,36	1,36
B	1	0,69	0,69
C	1	0,03	0,03
Error	8	0,00	0,00
Total	11	2,08	

Sumber: Pengolahan Data

Berdasarkan Tabel 4.14 diperoleh hasil nilai kebebasan, kuadrat *error* serta rata-rata jumlah kuadrat.

8. *Pooling up* faktor

Penentuan *error* dilakukan dengan metode *pooling up* yaitu mengumpulkan faktor-faktor tidak signifikan sebagai *error*. Berdasarkan Tabel 4.14 dapat diketahui faktor yang tidak signifikan adalah faktor C karena memiliki nilai MS terkecil. Nilai MS pada faktor C digabungkan dengan nilai MS *error* dengan cara dijumlahkan. Hasil penggabungan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.15 berikut:

Tabel 4. 15 Hasil Perhitungan Analisis Varians Penggabungan

Sumber	Dof	SS	MS
A	1	1,36	1,36
B	1	0,69	0,69
C		<i>Pooling up</i>	
Error	9	0,03	0,03
Total	11	2,09	

Sumber: Pengolahan Data

9. Perhitungan F-ratio

Nilai F-ratio dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$F = \frac{MS}{MS_{error}}$$

Perhitungan F-ratio untuk setiap faktor sebagai berikut:

$$F\text{-ratio A} = \frac{1,36}{0,03} = 45,37$$

$$F\text{-ratio B} = \frac{0,69}{0,03} = 23,15$$

Pengujian hipotesa dan kesimpulan dengan tingkat kepercayaan 95% dilakukan terhadap faktor A dan B. Nilai F tabel yang digunakan adalah $F_{0,05;1;9}$ sebesar 5,12 dapat dilihat pada lampiran 2. Apabila nilai uji F lebih kecil dari nilai F tabel maka H_0 diterima, namun jika nilai uji F lebih besar dari F tabel maka H_0 ditolak.

a. Faktor A

H0 : Tidak ada pengaruh faktor A terhadap kecatatan tahu kotor dan berbau

H1: Ada pengaruh faktor A terhadap kecatatan tahu kotor dan berbau

Kesimpulan> Fhitung = 45,37 > F0,05;1;9 bernilai 5,12 maka H0 ditolak artinya ada pengaruh faktor A terhadap kecatatan tahu kotor dan berbau.

b. Faktor B

H0 : Tidak ada pengaruh faktor B terhadap kecatatan tahu kotor dan berbau

H1: Ada pengaruh faktor B terhadap kecatatan tahu kotor dan berbau

Kesimpulan> Fhitung = 23,15 > F0,05;1;9 bernilai 5,12 maka H0 ditolak artinya ada pengaruh faktor B terhadap kecatatan tahu kotor dan berbau.

10. Jumlah kuadrat sesungguhnya

Jumlah kuadrat sesungguhnya dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$Sq' \text{ faktor} = SS_n - dof_n \times MS_e$$

a. Faktor A

$$SA' = SS_A - dof_A \times MS_e$$

$$= 1,36 - 1 \times 0,03$$

$$= 1,33$$

b. Faktor B

$$SB' = SS_B - dof_B \times MS_e$$

$$= 0,69 - 1 \times 0,03$$

$$= 0,66$$

11. Persen Kontribusi

a. Persen Kontribusi Faktor A

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{Sq' \text{ faktor}}{SST} \times 100\% \\
 &= \frac{1,33}{2,09} \times 100\% \\
 &= 63,83 \%
 \end{aligned}$$

b. Persen Kontribusi Faktor B

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{Sq' \text{ faktor}}{SST} \times 100\% \\
 &= \frac{0,66}{2,09} \times 100\% \\
 &= 31,86 \%
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan persen kontribusi dapat dilihat pada Tabel 4.16 berikut:

Tabel 4. 16 Persen Kontribusi

Sumber	Dof	SS	MS	F <i>ratio</i>	SS'	P(%)
A	1	1,36	1,36	45,37	1,33	63,83
B	1	0,69	0,69	23,15	0,66	31,86
Error	9	0,03	0,03			
Total	11	2,09				

Sumber: Pengolahan Data

Berdasarkan Tabel 4.16 diketahui bahwa faktor A memberikan kontribusi terbesar terhadap rata – rata kecacatan tahu yaitu sebesar 63,83%.

b. Analisis Varians *Signal to Noise Ratio*

1. Rata-rata eksperimen keseluruhan

Adapun perhitungan rata-rata eksperimen keseluruhan adalah sebagai berikut:

$$Y = \frac{\sum y}{n} = \frac{-14,57 + -13,55 + -12,79 + -10,54}{4} = -12,87$$

2. Perhitungan jumlah kuadrat total

$$S_T = \sum y^2$$

$$S_T = 14,57^2 + -13,55^2 + -12,79^2 + -10,54^2$$

$$S_T = 670,79$$

3. Jumlah kuadrat rata-rata

$$S_m = n \cdot \bar{y}^2 = 4 \times (-12,86)^2 = 662,001$$

4. Perhitungan jumlah kuadrat level faktor

- a. Faktor A

$$\begin{aligned} SS_A &= \frac{A1^2}{nA1} + \frac{A2^2}{nA2} - \frac{T^2}{N} \\ &= \frac{-28,13^2}{2} + \frac{-23,33^2}{2} - \frac{-51,46^2}{4} \\ &= 5,75 \end{aligned}$$

- b. Faktor B

$$\begin{aligned} SS_B &= \frac{B1^2}{nB1} + \frac{B2^2}{nB2} - \frac{T^2}{N} \\ &= \frac{-27,36^2}{2} + \frac{-24,10^2}{2} - \frac{-51,46^2}{4} \\ &= 2,66 \end{aligned}$$

- c. Faktor C

$$\begin{aligned} SS_C &= \frac{C1^2}{nC1} + \frac{C2^2}{nC2} - \frac{T^2}{N} \\ &= \frac{-25,12^2}{2} + \frac{-26,34^2}{2} - \frac{-51,46^2}{4} \\ &= 0,37 \end{aligned}$$

5. Derajat kebebasan

Perhitungan derajat kebebasan dilakukan pada setiap faktor dengan

rumus: $Dof_x = n_x - 1$

Sehingga berdasarkan rumus diatas derajat kebebasan setiap faktor adalah sebagai berikut:

$$dof_A = 2 - 1 = 1$$

$$dof_B = 2 - 1 = 1$$

$$dof_C = 2 - 1 = 1$$

Derajat kebebasan untuk setiap eksperimen adalah 1 untuk setiap eksperimen dimana dilakukan 12 eksperimen. Derajat rata rata

adalah 1 sehingga derajat kebebasan total adalah $12-1 = 11$. Sedangkan derajat kebebasan *error* adalah derajat kebebasan total dikurang derajat kebebasan setiap faktor, sehingga derajat kebebasan *error* adalah $11-3 = 8$.

6. Rata-rata jumlah kuadrat

Rata-rata kuadrat untuk setiap faktor adalah sebagai berikut:

$$a. M_A = \frac{S_A}{dof_A} = \frac{5,75}{1} = 5,75$$

$$b. M_B = \frac{S_B}{dof_B} = \frac{2,66}{1} = 2,66$$

$$c. M_C = \frac{S_C}{dof_C} = \frac{0,37}{1} = 0,37$$

7. Jumlah Kuadrat *Error*

$$SS_{\text{faktor}} = SS_A + SS_B + SS_C$$

$$= 5,75 + 2,66 + 0,37$$

$$= 8,79$$

$$SS_e = S_T - S_M - SS_{\text{faktor}}$$

$$= 670,79 - 662,00 - 8,79$$

$$= 0,00$$

Adapun hasil perhitungan analisis varians terhadap rata-rata dapat dilihat pada Tabel 4.17 berikut:

Tabel 4. 17 Analisis Varians Terhadap Rata-Rata

Sumber	Dof	SS	MS
A	1	5,75	5,75
B	1	2,66	2,66
C	1	0,37	0,37
Error	8	0,00	0,00
Total	11	8,79	

Sumber: Pengolahan Data

Berdasarkan Tabel 4.17 diperoleh hasil nilai kebebasan, kuadrat *error* serta rata-rata jumlah kuadrat.

8. *Pooling up* faktor

Penentuan *error* dilakukan dengan metode *pooling up* yaitu mengumpulkan faktor tidak signifikan sebagai *error*. Berdasarkan

Tabel 4.17 dapat diketahui faktor yang tidak signifikan adalah faktor C karena memiliki nilai MS terkecil. Nilai MS pada faktor C digabungkan dengan nilai MS *error* dengan cara dijumlahkan. Hasil penggabungan dapat dilihat pada Tabel 4.18 berikut:

Tabel 4. 18 Analisis Varians Penggabungan

Sumber	Dof	SS	MS
A	1	5,75	5,75
B	1	2,66	2,66
C		<i>Pooling up</i>	
Error	9	0,37	0,37
Total	11	8,79	

Sumber: Pengolahan Data

9. Perhitungan F-ratio

Nilai F-ratio dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$F = \frac{MS}{MS_{error}}$$

Perhitungan F-ratio untuk setiap faktor sebagai berikut:

$$F\text{-ratio A} = \frac{5,75}{0,37} = 15,35$$

$$F\text{-ratio B} = \frac{2,66}{0,37} = 7,11$$

Pengujian hipotesa dan kesimpulan dengan tingkat kepercayaan 95% dilakukan terhadap faktor A dan B. Nilai F tabel yang digunakan adalah $F_{0,05;1;9}$ adalah 5,12. Apabila nilai uji F lebih kecil dari nilai F tabel maka H_0 diterima, namun jika nilai uji F lebih besar dari F tabel maka H_0 ditolak

a. Faktor A

H_0 : Tidak ada pengaruh faktor A terhadap kecatatan tahu kotor dan berbau

H_1 : Ada pengaruh faktor A terhadap kecatatan tahu kotor dan berbau

Kesimpulan> $F_{hitung} = 15,35 > F_{0,05;1;9}$ bernilai 5,12 maka H_0 ditolak artinya ada pengaruh faktor A terhadap kecacatan tahu kotor dan berbau.

b. Faktor B

H_0 : Tidak ada pengaruh faktor B terhadap kecacatan tahu kotor dan berbau

H_1 : Ada pengaruh faktor B terhadap kecacatan tahu kotor dan berbau

Kesimpulan> $F_{hitung} = 7,11 > F_{0,05;1;9}$ bernilai 5,12 maka H_0 ditolak artinya ada pengaruh faktor B terhadap kecacatan tahu kotor dan berbau.

10. Jumlah kuadrat sesungguhnya

Jumlah kuadrat sesungguhnya dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$Sq' \text{ faktor} = SS_n - dof_n \times MS_e$$

a. Faktor A

$$\begin{aligned} SA' &= SS_A - dof_A \times MS_e \\ &= 5,75 - 1 \times 0,37 \\ &= 5,38 \end{aligned}$$

b. Faktor B

$$\begin{aligned} SB' &= SS_B - dof_B \times MS_e \\ &= 2,66 - 1 \times 0,37 \\ &= 2,29 \end{aligned}$$

11. Persen Kontribusi

a. Persen Kontribusi Faktor A

$$\begin{aligned} P &= \frac{Sq' \text{ faktor}}{SST} \times 100\% \\ &= \frac{5,38}{8,79} \times 100\% \\ &= 61,18\% \end{aligned}$$

b. Persen Kontribusi Faktor B

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{\text{Sq' faktor}}{\text{SST}} \times 100\% \\
 &= \frac{2,29}{8,79} \times 100\% \\
 &= 26,04 \%
 \end{aligned}$$

Perhitungan persen kontribusi dapat dilihat pada Tabel 4.19 berikut:

Tabel 4. 19 Persen Kontribusi

Sumber	Dof	SS	MS	F <i>ratio</i>	SS'	P(%)
A	1	5,75	5,75	15,35	5,38	61,18
B	1	2,66	2,66	2,66	2,29	26,04
Error	9	0,37	0,37			
Total	11	8,79				

Sumber: Pengolahan Data

Berdasarkan Tabel 4.19 diketahui bahwa faktor A memberikan kontribusi terbesar terhadap rata – rata kecacatan tahu yaitu sebesar 61,18%.

c. Perhitungan Interval kepercayaan Rata-rata

Faktor – faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap kualitas tahu yang optimum adalah:

1. Faktor A level 1 : lama perebusan 20 menit
2. Faktor B level 1 : lama pengepresan 15 menit
3. Faktor C level 2 : lama penggilingan 10 menit

$$\bar{T} = \frac{5,33 + 4,67 + 4,33 + 3,33}{4} = 4,42$$

$$\begin{aligned}
 \mu_{\text{prediksi}} &= \bar{T} + (\bar{A}_{\text{level 1}} - \bar{T}) + (\bar{B}_{\text{level 1}} - \bar{T}) + (\bar{C}_{\text{level 2}} - \bar{T}) \\
 &= 4,42 + (5,00 - 4,42) + (4,83 - 4,42) + (4,50 - 4,42) \\
 &= 5,49
 \end{aligned}$$

Interval kepercayaan rata-rata pada tingkat kepercayaan 95% adalah:

Diketahui ' $F_{0,05;1;9} = 5,12$ Mse= 0,03

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

$$= \frac{4 \times 3}{1 + (1 + 1 + 1)} = 3$$

Selang kepercayaan prediksi optimal yaitu:

$$CI = \pm \sqrt{F_{0,05;1;9} \times Mse \times \frac{1}{n_{\text{eff}}}}$$

$$= \pm \sqrt{5,12 \times 0,03 \times \frac{1}{3}}$$

$$= \pm 0,23$$

Interval kepercayaan adalah sebagai berikut:

$$\mu_{\text{prediksi}} - CI \leq \mu_{\text{prediksi}} \leq \mu_{\text{prediksi}} + CI$$

$$5,49 - 0,23 \leq \mu_{\text{prediksi}} \leq 5,49 + 0,23$$

$$5,26 \leq \mu_{\text{prediksi}} \leq 5,72$$

d. Menghitung Interval Kepercayaan SNR

Faktor – faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap kualitas tahu yang optimum adalah:

1. Faktor A level 1 : lama perebusan 20 menit
2. Faktor B level 1 : lama pengepresan 15 menit
3. Faktor C level 2 : lama penggilingan 10 menit

$$\bar{T} = \frac{-14,57 + -13,55 + -12,79 + -10,54}{4} = -12,87$$

$$\begin{aligned} \mu_{\text{prediksi}} &= \bar{T} + (\bar{A}_{\text{level 1}} - \bar{T}) + (\bar{B}_{\text{level 1}} - \bar{T}) + (\bar{C}_{\text{level 2}} - \bar{T}) \\ &= -12,87 + (-14,06 - (-12,87)) + (-13,68 - (-12,87)) + (-13,17 - (-12,87)) \\ &= -15,17 \end{aligned}$$

Interval kepercayaan rata-rata pada tingkat kepercayaan 95% adalah:

Diketahui : $F_{0,05;1;9} = 5,12$ $Mse = 0,37$

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

$$= \frac{4 \times 3}{1 + (1 + 1 + 1)} = 3$$

Selang kepercayaan prediksi optimal yaitu:

$$CI = \pm \sqrt{F_{0,05;1;9} \times Mse \times \frac{1}{n_{\text{eff}}}}$$

$$= \pm \sqrt{5,12 \times 0,73 \times \frac{1}{3}}$$

$$= \pm 1,12$$

Interval kepercayaan adalah sebagai berikut:

$$\mu_{\text{prediksi}} - \text{CI} \leq \mu_{\text{prediksi}} \leq \mu_{\text{prediksi}} + \text{CI}$$

$$-15,17 - 1,12 \leq \mu_{\text{prediksi}} \leq -15,17 + 1,12$$

$$-16,29 \leq \mu_{\text{prediksi}} \leq -14,05$$

e. Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi dilakukan berdasarkan hasil dari eksperimen sebelumnya. Eksperimen ini bertujuan untuk membuktikan parameter optimum yang dihasilkan sebelumnya. Pada eksperimen konfirmasi, faktor dan level yang ditetapkan dapat dilihat pada Tabel 4.20 berikut:

Tabel 4. 20 Faktor Dan Level Eksperimen Konfirmasi

Kode	Faktor	Level
A	Lama perebusan	20
B	Lama pengepresan	15
C	Lama penggilingan	10

Sumber: Pengolahan Data

Eksperimen konfirmasi dilakukan sebanyak 4 kali pengamatan menggunakan level diatas. Hasil eksperimen konfirmasi dapat dilihat pada Tabel 4.21 berikut:

Tabel 4. 21 Hasil Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen	Matriks <i>Orthogonal</i> $L_4(2^3)$			Jumlah Cacat			Total Produk Cacat (unit)	Rata-rata (unit)
	1	2	3	Replikasi ke-				
				1	2	3		
1	A	B	C	1	2	3	11	3,67
2	A	B	C	4	4	3	11	3,67
3	2	1	2	5	3	4	12	4,00
4	2	2	1	3	3	3	9	3,00

Sumber: Pengolahan Data

Berdasarkan tabel diatas dapat dilihat bahwa total produk cacat tertinggi terdapat pada eksperimen ke 3 dengan total produk cacat sebesar 12 tahu, dan total produk cacat terendah terdapat pada eksperimen ke empat dengan total produk cacat sebesar 9 tahu.

f. Hasil Pengolahan Data Eksperimen Konfirmasi

Hasil dari eksperimen konfirmasi tersebut harus berada dalam interval kepercayaan konfirmasi. Nilai rata-rata eksperimen konfirmasi adalah:

$$\mu_{\text{konfirmasi}} = \frac{3,67 + 3,67 + 4,00 + 3,00}{4} = 3,58$$

Interval kepercayaan rata – rata pada tingkat kepercayaan 95% adalah:

Diketahui: $F_{0,05;1;9} = 5,12$ $Mse = 0,03$

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

$$= \frac{4 \times 3}{1 + (1 + 1 + 1)} = 3$$

Selang kepercayaan prediksi optimal yaitu:

$$CI = \pm \sqrt{F_{0,05;1;9} \times Mse \times \frac{1}{n_{\text{eff}}} + \frac{1}{r}}$$

$$= \pm \sqrt{5,12 \times 0,03 \times \frac{1}{3} + \frac{1}{3}}$$

$$= \pm 0,62$$

Interval kepercayaan adalah sebagai berikut:

$$\mu_{\text{konfirmasi}} - CI \leq \mu_{\text{konfirmasi}} \leq \mu_{\text{konfirmasi}} + CI$$

$$3,58 - 0,62 \leq \mu_{\text{konfirmasi}} \leq 3,58 + 0,62$$

$$2,96 \leq \mu_{\text{konfirmasi}} \leq 4,20$$

g. Perhitungan Rasio S/N Eksperimen Konfirmasi

Nilai rasio S/N = $-10 \log \left[\frac{1}{4} (3,67^2 + 3,67^2 + 4,00^2 + 3,00^2) \right]$

$$= -11,13$$

Diketahui : $F_{0,05;1;9} = 5,12$ $Mse = 0,37$

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

$$= \frac{4 \times 3}{1 + (1 + 1 + 1)} = 3$$

Selang kepercayaan prediksi optimal yaitu:

$$CI = \pm \sqrt{F_{0,05;1;9} \times Mse \times \frac{1}{n_{\text{eff}}} + \frac{1}{r}}$$

$$= \pm \sqrt{5,12 \times 0,73 \times \frac{1}{3} + \frac{1}{3}}$$

$$= \pm 1,26$$

Interval kepercayaan adalah sebagai berikut:

$$\mu_{\text{konfirmasi}} - \text{CI} \leq \mu_{\text{konfirmasi}} \leq \mu_{\text{konfirmasi}} + \text{CI}$$

$$-11,13 - 1,26 \leq \mu_{\text{konfirmasi}} \leq -11,13 + 1,26$$

$$-12,39 \leq \mu_{\text{konfirmasi}} \leq -9,87$$

4.1.3.2 Metode *Taguchi* untuk Tahu Lembek

Adapun tahapan yang dilakukan untuk metode *Taguchi* adalah sebagai berikut:

1. Penentuan Variabel Tak Bebas (Karakteristik Kualitas)
Pada penelitian ini yang menjadi variabel tak bebas adalah tahu lembek di UD Tahu Bang Dahri. Karakteristik yang digunakan adalah *smaller the better* yang berarti berkurangnya jumlah produk yang cacat maka akan semakin baik kualitasnya.
2. Identifikasi Faktor-Faktor (Variabel bebas)
Variabel bebas yang digunakan ada penelitian ini adalah lama perebusan kedelai, lama pengepresan dan lama penggilingan.
3. Pemisahan Faktor Kontrol dan Faktor Gangguan
Faktor kontrol yang dilibatkan dalam eksperimen ini adalah lama perebusan, lama pengepresan dan lama penggilingan. Sedangkan untuk faktor gangguan adalah cuaca dan debu.
4. Penentuan Jumlah Level dan Nilai Level Faktor
Dalam penelitian ini menggunakan 2 level percobaan dari faktor berikut:
 1. Lama perebusan kedelai
 2. Lama pengepresan
 3. Lama penggilingan
 Adapun level dan nilai level faktor dapat dilihat pada Tabel 4.22 berikut:

Tabel 4. 22 Level dan Nilai Level Faktor

Kode	Faktor	Level	
		1	2
A	Lama perebusan kedelai (menit)	20	15
B	Lama pengepresan (menit)	15	10
C	Lama penggilingan (menit)	8	10

Sumber: Pengolahan Data

Berdasarkan Tabel 4.22 diperoleh level dan nilai level faktor dengan kode A untuk faktor perebusan kedelai pada level 1 sebesar 20 menit dan level 2 sebesar 15 menit. Penentuan level ini disesuaikan pada standar proses produksi. Waktu perebusan standar berkisar antara 15-20 menit, namun saat produksi waktu perebusan lebih dari itu sehingga menimbulkan kerak pada bagian bawah. Untuk itu pada metode *Taguchi* ini pemilihan nilai level disesuaikan dengan standar seharusnya sehingga pada level 1 diterapkan waktu perebusan 20 menit dan level 2 sebesar 15 menit.

5. Perhitungan Derajat Kebebasan

Perhitungan derajat kebebasan dilakukan untuk menghitung jumlah minimum penelitian yang harus dilakukan untuk menyelidiki faktor yang diamati. Adapun rumus yang digunakan untuk perhitungan derajat kebebasan adalah sebagai berikut:

$$\text{Dof} = nA - 1$$

Dalam penelitian ini terdapat 3 faktor dan 2 level yaitu:

- Faktor A = 2 level
- Faktor B = 2 level
- Faktor C = 2 level

Sehingga perhitungan derajat kebebasan untuk penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.23 berikut:

Tabel 4. 23 Derajat Kebebasan

Faktor Kontrol	Derajat Bebas	Total
A	2-1	1
B	2-1	1
C	2-1	1
Total		3

Sumber: Pengolahan Data

Berdasarkan Tabel 4.23 diperoleh nilai derajat kebebasan untuk faktor kontrol A adalah 1, faktor kontrol B adalah 1 dan faktor kontrol C sebesar 1 dengan total derajat kebebasan adalah 3.

6. Pemilihan *Orthogonal Array*

Dalam memilih matriks *Orthogonal* yang sesuai, diperlukan suatu persamaan dari matriks *Orthogonal* tersebut yang mempresentasikan jumlah faktor, jumlah level dan jumlah pengamatan yang dilakukan. Adapun perhitungan derajat bebas untuk matriks *Orthogonal* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Derajat bebas matriks} &= \text{jumlah faktor} \times (\text{jumlah level} - 1) \\ &= 3 \times (2-1) \\ &= 3 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan derajat kebebasan untuk 2 level maka matriks *Orthogonal* yang digunakan untuk penelitian ini adalah $L_4(2^3)$. Matriks yang terpilih ini hanya melakukan eksperimen sebanyak 4 kali yang tidak lepas dari pertimbangan waktu dan biaya yang sedikit. Sehingga susunan matriks *Orthogonal* $L_4(2^3)$ dapat dilihat pada Tabel 4.24 berikut:

Tabel 4. 24 Matriks Orthogonal
Matriks *Orthogonal* $L_4(2^3)$

Eksperimen	1	2	3
1	1	1	1
2	1	2	2
3	2	1	2
4	2	2	1

Sumber: Pengolahan Data

Adapun substitusi nilai level faktor ke dalam matriks *Orthogonal* dapat dilihat pada Tabel 4.25 berikut:

Tabel 4. 25 Substitusi Nilai Level Faktor
Matriks *Orthogonal* $L_4(2^3)$

Eksperimen	Lama perebusan	Lama pengepresan	Lama penggilingan
1	20	15	8
2	20	10	10
3	15	15	10
4	15	10	8

Sumber: Pengolahan Data

Berdasarkan Tabel 4.25 diketahui nilai matriks *Orthogonal* didapatkan dengan mensubstitusi nilai level faktor kedalam matriks *Orthogonal*.

7. Persiapan dan Pelaksanaan Percobaan

a. Jumlah Replikasi

Pada penelitian ini dilakukan 3 kali replikasi untuk setiap eksperimen sehingga total pelaksanaan eksperimen sebanyak 12 kali.

b. Randomisasi

Pengacakan sederhana secara random dilakukan pada urutan eksperimen ke 1 sampai dengan eksperimen ke 12. Setelah dilakukan percobaan sesuai dengan matriks *Orthogonal* yang diberikan maka didapatkan hasil penelitian yang dapat dilihat pada Tabel 4.26 berikut:

Tabel 4. 26 Hasil Eksperimen Kerusakan Produk

Eksperimen	Matriks <i>Orthogonal</i> $L_4(2^3)$			Jumlah Cacat			Total Produk Cacat (unit)	Rata – rata (unit)
	1	2	3	Replikasi ke-				
	A	B	C	1	2	3		
1	20	15	8	5	4	6	15	5,00
2	20	10	10	4	3	4	11	3,67
3	15	15	10	4	5	4	13	4,33
4	15	10	8	3	4	5	12	4,00

Sumber: Pengolahan Data

Berdasarkan tabel diatas diperoleh total produk cacat pada tiap eksperimen dengan 3 kali pengulangan. Total produk cacat tertinggi terdapat pada eksperimen pertama dengan total produk cacat sebesar 15 tahu, sedangkan total produk cacat terendah terdapat pada eksperimen ke 2 dengan total produk cacat sebesar 11 tahu.

8. Analisis Data

a. Perhitungan *Main Effect*

1. Metode *Average*

Perhitungan ini digunakan untuk mengetahui pengaruh dari masing-masing faktor dan interaksi terhadap nilai tengah dari hasil yang diharapkan. Adapun perhitungan *average* sebagai berikut:

$$\bar{A} = \frac{Y_{A1} + Y_{A2} + \dots + Y_{An}}{n}$$

a. Pengaruh Level A

Faktor A level 1 yaitu pada eksperimen 1 dan 2

$$\bar{A} = \frac{5,00 + 3,67}{2} = 4,33$$

Faktor A level 2 yaitu pada eksperimen 3 dan 4

$$\bar{A} = \frac{4,33 + 4,00}{2} = 4,17$$

b. Pengaruh Level B

Faktor B level 1 yaitu pada eksperimen 1 dan 3

$$\bar{B} = \frac{5,00 + 4,33}{2} = 4,67$$

Faktor B level 2 yaitu pada eksperimen 2 dan 4

$$\bar{B} = \frac{3,67 + 4,00}{2} = 3,83$$

c. Pengaruh Level C

Faktor C level 1 yaitu pada eksperimen 1 dan 4

$$\bar{C} = \frac{5,00 + 4,00}{2} = 4,50$$

Faktor C level 2 yaitu pada eksperimen 2 dan 3

$$\bar{C} = \frac{3,67 + 4,33}{2} = 4,00$$

Hasil perhitungan nilai respon rata-rata untuk setiap faktor dapat dilihat pada Tabel 4.27 berikut:

Tabel 4. 27 Nilai Respon Rata-Rata

	A	B	C
Level 1	4,33	4,67	4,50
Level 2	4,17	3,83	4,00
Selisih	0,17	0,83	0,50
Ranking	3	1	2

Sumber: Pengolahan Data

Berdasarkan tabel diatas dapat diketahui bahwa faktor B berada pada ranking 1 yang berarti faktor tersebut memiliki kontribusi terbesar pada pengurangan variansi produk cacat pada tahu lembek dan merupakan faktor yang paling berpengaruh pada tahu lembek.

Faktor yang berpengaruh berikutnya adalah faktor C, sedangkan faktor A berada pada ranking 3 yang berarti faktor tersebut kurang memberi kontribusi dalam pengurangan produk cacat pada kerusakan tahu lembek.

2. Metode S/N Rasio (*Signal to Ratio*)

Rumus yang digunakan untuk menghitung *Signal to Noise Ratio* dengan karakteristik *smaller the better* adalah sebagai berikut:

$$S/N = -10 \log \frac{1}{N} \sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^p \sum_{k=1}^N (y_{ijk})^2$$

Sehingga perhitungan S/N pada eksperimen ke 1 adalah sebagai berikut:

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{3} (5^2 + 4^2 + 6^2) \right)$$

$$S/N = -10 \log (28,67)$$

$$S/N = -14,09$$

Untuk eksperimen 2 sampai 4 dilakukan dengan cara yang sama, sehingga rekapitulasi perhitungan S/N dapat dilihat pada Tabel 4.28 berikut:

Tabel 4. 28 Rekapitulasi Perhitungan S/N

Matriks <i>Orthogonal</i> $L_4(2^3)$				
Eksperimen	1	2	3	Rasio S/N
	A	B	C	
1	20	15	8	-14,09
2	20	10	10	-11,36
3	15	15	10	-12,79
4	15	10	8	-12,22

Sumber : Pengolahan Data

Berdasarkan hasil perhitungan S/N diperoleh nilai rasio untuk masing – masing eksperimen.

Perhitungan pengaruh faktor dan interaksi berdasarkan S/N adalah sebagai berikut:

a. Pengaruh Level A

Faktor A level 1 yaitu pada eksperimen 1 dan 2

$$\bar{A} = \frac{-14,09 + -11,36}{2} = -12,73$$

Faktor A level 2 yaitu pada eksperimen 3 dan 4

$$\bar{A} = \frac{-12,79 + -12,22}{2} = -12,50$$

b. Pengaruh Level B

Faktor B level 1 yaitu pada eksperimen 1 dan 3

$$\bar{B} = \frac{-14,09 + -12,79}{2} = -13,44$$

Faktor B level 2 yaitu pada eksperimen 2 dan 4

$$\bar{B} = \frac{-11,36 + -12,22}{2} = -11,79$$

c. Pengaruh Level C

Faktor C level 1 yaitu pada eksperimen 1 dan 4

$$\bar{C} = \frac{-14,09 + -12,22}{2} = -13,16$$

Faktor C level 2 yaitu pada eksperimen 2 dan 3

$$\bar{C} = \frac{-11,36 + -12,79}{2} = -12,07$$

Perhitungan nilai respon setiap faktor dilihat pada Tabel 4.29:

Tabel 4. 29 Nilai Respon Rata-Rata

	A	B	C
Level 1	-12,73	-13,44	-13,16
Level 2	-12,50	-11,79	-12,07
Selisih	-0,22	-1,65	-1,08
Ranking	3	1	2

Sumber: Pengolahan Data

Berdasarkan Tabel 4.29 dapat diketahui bahwa faktor B berada pada ranking 1 yang berarti faktor tersebut memiliki kontribusi terbesar pada pengurangan variansi produk cacat pada tahu lembek merupakan faktor yang paling berpengaruh pada tahu lembek. Faktor yang berpengaruh berikutnya adalah faktor C, sedangkan faktor A berada pada ranking 3 yang berarti faktor tersebut kurang memberi kontribusi dalam pengurangan produk cacat pada kerusakan tahu lembek.

9. Analisis Variansi

a. Analisis Varians Rata Rata Optimum

Analisis varians rata-rata digunakan untuk mengidentifikasi pengaruh level dari faktor sehingga akurasi perkiraan model dapat dilakukan berdasarkan nilai rata-rata.

1. Rata-rata eksperimen keseluruhan

Adapun perhitungan rata-rata eksperimen keseluruhan adalah sebagai berikut:

$$Y = \frac{\sum y}{n} = \frac{5,00 + 3,67 + 4,33 + 4,00}{4} = 4,25$$

2. Perhitungan jumlah kuadrat total

$$S_T = \sum y^2$$

$$S_T = 5,00^2 + 3,67^2 + 4,33^2 + 4,00^2$$

$$S_T = 73,22$$

3. Jumlah kuadrat rata-rata

$$S_m = n \cdot \bar{y}^2 = 4 \times (4,25)^2 = 72,25$$

4. Perhitungan jumlah kuadrat level faktor

a. Faktor A

$$\begin{aligned} SS_A &= \frac{A1^2}{nA1} + \frac{A2^2}{nA2} - \frac{T^2}{N} \\ &= \frac{8,67^2}{2} + \frac{8,33^2}{2} - \frac{72,25^2}{4} \\ &= 0,03 \end{aligned}$$

b. Faktor B

$$\begin{aligned} SS_B &= \frac{B1^2}{nB1} + \frac{B2^2}{nB2} - \frac{T^2}{N} \\ &= \frac{9,33^2}{2} + \frac{7,67^2}{2} - \frac{72,25^2}{4} \\ &= 0,69 \end{aligned}$$

c. Faktor C

$$\begin{aligned} SS_C &= \frac{C1^2}{nC1} + \frac{C2^2}{nC2} - \frac{T^2}{N} \\ &= \frac{9,00^2}{2} + \frac{8,00^2}{2} - \frac{72,25^2}{4} \end{aligned}$$

$$= 0,25$$

5. Derajat kebebasan

Perhitungan derajat kebebasan dilakukan pada setiap faktor dengan rumus:

$$\text{Dof}_x = n_x - 1$$

Sehingga berdasarkan rumus diatas derajat kebebasan setiap faktor adalah sebagai berikut:

$$\text{dof}_A = 2 - 1 = 1$$

$$\text{dof}_B = 2 - 1 = 1$$

$$\text{dof}_B = 2 - 1 = 1$$

Derajat kebebasan untuk setiap eksperimen adalah 1 untuk setiap eksperimen dimana dilakukan 12 eksperimen. Derajat rata rata adalah 1 sehingga derajat kebebasan total adalah $12 - 1 = 11$. Sedangkan derajat kebebasan *error* adalah derajat kebebasan total dikurang derajat kebebasan setiap faktor, sehingga derajat kebebasan *error* adalah $11 - 3 = 8$.

6. Rata-rata jumlah kuadrat

Rata-rata kuadrat untuk setiap faktor adalah sebagai berikut:

$$\text{a. } M_A = \frac{S_A}{\text{dof}_A} = \frac{0,03}{1} = 0,03$$

$$\text{b. } M_B = \frac{S_B}{\text{dof}_B} = \frac{0,69}{1} = 0,69$$

$$\text{c. } M_C = \frac{S_B}{\text{dof}_B} = \frac{0,25}{1} = 0,25$$

7. Jumlah Kuadrat *Error*

$$SS_{\text{faktor}} = SS_A + SS_B + SS_C$$

$$= 0,03 + 0,69 + 0,25$$

$$= 0,97$$

$$SS_e = S_T - S_M - SS_{\text{faktor}}$$

$$= 73,22 - 72,25 - 0,97$$

$$= 0,00$$

Adapun hasil perhitungan analisis varians terhadap rata-rata dapat dilihat pada Tabel 4.30 berikut:

Tabel 4. 30 Analisis Varians Terhadap Rata-Rata

Sumber	Dof	SS	MS
A	1	0,03	0,03
B	1	0,69	0,69
C	1	0,25	0,25
Error	8	0,00	0,00
Total	11	0,97	

Sumber: Pengolahan Data

Berdasarkan Tabel 4.30 diperoleh hasil nilai kebebasan, kuadrat *error* serta rata-rata jumlah kuadrat.

8. *Pooling up* faktor

Penentuan *error* dilakukan dengan metode *pooling up* yaitu mengumpulkan faktor-faktor tidak signifikan sebagai *error*. Berdasarkan Tabel 4.30 dapat diketahui faktor yang tidak signifikan adalah faktor A karena memiliki nilai MS terkecil. Nilai MS pada faktor A digabungkan dengan nilai MS *error* dengan cara dijumlahkan. Hasil penggabungan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.31 berikut:

Tabel 4. 31 Analisis Varians Penggabungan

Sumber	Dof	SS	MS
A		<i>Pooling up</i>	
B	1	0,69	0,69
c	1	0,25	0,25
Error	9	0,03	0,03
Total	11	0,97	

Sumber: Pengolahan Data

9. Perhitungan F-ratio

Nilai F-ratio dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$F = \frac{MS}{MS_{error}}$$

Perhitungan F-ratio untuk setiap faktor sebagai berikut:

$$F\text{-ratio B} = \frac{0,69}{0,03} = 23,15$$

$$F\text{-ratio } C = \frac{0,25}{0,03} = 8,33$$

Pengujian hipotesa dan kesimpulan dengan tingkat kepercayaan 95% dilakukan terhadap faktor B dan C. Nilai F tabel yang digunakan adalah $F_{0,05;1;9}$ sebesar 5,12. Apabila nilai uji F lebih kecil dari nilai F tabel maka H_0 diterima, namun jika nilai uji F lebih besar dari F tabel maka H_0 ditolak

a. Faktor B

H_0 : Tidak ada pengaruh faktor B terhadap kecatatan tahu lembek

H_1 : Ada pengaruh faktor B terhadap kecatatan tahu lembek

Kesimpulan $> F_{hitung} = 23,15 > F_{0,05;1;9}$ bernilai 5,12 maka H_0 ditolak artinya ada pengaruh faktor A terhadap kecatatan tahu lembek.

b. Faktor C

H_0 : Tidak ada pengaruh faktor C terhadap kecatatan tahu lembek.

H_1 : Ada pengaruh faktor C terhadap kecatatan tahu lembek

Kesimpulan $> F_{hitung} = 8,33 > F_{0,05;1;9}$ bernilai 5,12 maka H_0 ditolak artinya ada pengaruh faktor B terhadap kecatatan tahu lembek.

10. Jumlah kuadrat sesungguhnya

Jumlah kuadrat sesungguhnya dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$S_q' \text{ faktor} = SS_n - dof_n \times MS_e$$

a. Faktor B

$$S_B' = SS_B - dof_B \times MS_e$$

$$= 0,69 - 1 \times 0,03$$

$$= 0,66$$

b. Faktor C

$$S_C' = SS_C - dof_C \times MS_e$$

$$= 0,25 - 1 \times 0,03$$

$$= 0,22$$

11. Persen Kontribusi

a. Persen Kontribusi Faktor B

$$P = \frac{Sq' \text{ faktor}}{SST} \times 100\%$$

$$= \frac{0,66}{0,97} \times 100\%$$

$$= 68,19 \%$$

b. Persen Kontribusi Faktor C

$$P = \frac{Sq' \text{ faktor}}{SST} \times 100\%$$

$$= \frac{0,22}{0,97} \times 100\%$$

$$= 22,58 \%$$

Hasil perhitungan persen kontribusi dapat dilihat pada Tabel 4.32 berikut:

Tabel 4. 32 Persen Kontribusi (Lanjutan)

Sumber	Dof	SS	MS	F	SS'	P(%)
B	1	0,69	0,69	23,15	0,66	68,19
C	1	0,25	0,25	8,33	0,22	22,58
Error	9	0,03	0,03			
Total	11	2,09				

Sumber: Pengolahan Data

Berdasarkan Tabel 4.32 diketahui bahwa faktor B memberikan kontribusi terbesar terhadap rata – rata kecacatan tahu yaitu sebesar 68,19%.

c. Analisis Varians *Signal to Noise Ratio*

1. Rata-rata eksperimen keseluruhan

Adapun perhitungan rata-rata eksperimen keseluruhan adalah sebagai berikut:

$$Y = \frac{\sum y}{n} = \frac{-14,09 + -11,36 + -12,79 + -12,22}{4} = -12,61$$

2. Perhitungan jumlah kuadrat total

$$S_T = \sum y^2$$

$$S_T = -14,09^2 + -11,36^2 + -12,79^2 + -12,22^2$$

$$S_T = 640,42$$

3. Jumlah kuadrat rata-rata

$$S_m = n \cdot \bar{y}^2 = 4 \times (-12,61)^2 = 636,46$$

4. Perhitungan jumlah kuadrat level faktor

a. Faktor A

$$\begin{aligned} SS_A &= \frac{A1^2}{nA1} + \frac{A2^2}{nA2} - \frac{T^2}{N} \\ &= \frac{-25,45^2}{2} + \frac{-25,01^2}{2} - \frac{-50,46^2}{4} \\ &= 0,05 \end{aligned}$$

b. Faktor B

$$\begin{aligned} SS_B &= \frac{B1^2}{nB1} + \frac{B2^2}{nB2} - \frac{T^2}{N} \\ &= \frac{-26,88^2}{2} + \frac{-23,58^2}{2} - \frac{-50,46^2}{4} \\ &= 2,73 \end{aligned}$$

c. Faktor C

$$\begin{aligned} SS_C &= \frac{C1^2}{nC1} + \frac{C2^2}{nC2} - \frac{T^2}{N} \\ &= \frac{-26,31^2}{2} + \frac{-24,14^2}{2} - \frac{-50,46^2}{4} \\ &= 1,18 \end{aligned}$$

5. Derajat kebebasan

Perhitungan derajat kebebasan dilakukan pada setiap faktor dengan rumus:

$$Dof_x = n_x - 1$$

Sehingga berdasarkan rumus diatas derajat kebebasan setiap faktor adalah sebagai berikut:

$$dof_A = 2 - 1 = 1$$

$$dof_B = 2 - 1 = 1$$

$$\text{dof}_B = 2 - 1 = 1$$

Derajat kebebasan untuk setiap eksperimen adalah 1 untuk setiap eksperimen dimana dilakukan 12 eksperimen. Derajat rata rata adalah 1 sehingga derajat kebebasan total adalah $12 - 1 = 11$. Sedangkan derajat kebebasan *error* adalah derajat kebebasan total dikurang derajat kebebasan setiap faktor, sehingga derajat kebebasan *error* adalah $11 - 3 = 8$.

6. Rata-rata jumlah kuadrat

Rata-rata kuadrat untuk setiap faktor adalah sebagai berikut:

$$\text{a. } M_A = \frac{S_A}{\text{dof}_A} = \frac{0,05}{1} = 0,05$$

$$\text{b. } M_B = \frac{S_B}{\text{dof}_B} = \frac{2,73}{1} = 2,73$$

$$\text{c. } M_C = \frac{S_C}{\text{dof}_C} = \frac{1,18}{1} = 1,18$$

7. Jumlah Kuadrat *Error*

$$SS_{\text{faktor}} = SS_A + SS_B + SS_C$$

$$= 0,05 + 2,73 + 1,18$$

$$= 3,96$$

$$SS_e = S_T - S_M - SS_{\text{faktor}}$$

$$= 640,42 - 636,46 - 3,96$$

$$= 0,00$$

Adapun hasil perhitungan analisis varians terhadap rata-rata dapat dilihat pada Tabel 4.33 berikut:

Tabel 4. 33 Analisis Varians Terhadap Rata-Rata

Sumber	Dof	SS	MS
A	1	0,05	0,05
B	1	2,73	2,73
C	1	1,18	1,18
Error	8	0,00	0,00
Total	11	3,96	

Sumber: Pengolahan Data

Berdasarkan Tabel 4.33 diperoleh hasil nilai kebebasan, kuadrat *error* serta rata-rata jumlah kuadrat.

8. *Pooling up* faktor

Penentuan *error* dilakukan dengan metode *pooling up* yaitu mengumpulkan faktor tidak signifikan sebagai *error*. Berdasarkan Tabel 4.33 dapat diketahui faktor yang tidak signifikan adalah faktor A karena memiliki nilai MS terkecil. Nilai MS pada faktor A digabungkan dengan nilai MS *error* dengan cara dijumlahkan. Hasil penggabungannya dapat dilihat pada Tabel 4.34 berikut:

Tabel 4. 34 Analisis Varians Penggabungan

Sumber	Dof	SS	MS
A		<i>Pooling up</i>	
B	1	2,73	2,73
C	1	1,18	1,18
Error	9	0,05	0,05
Total	11	3,96	

Sumber: Pengolahan Data

9. Perhitungan F-ratio

Nilai F-ratio dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$F = \frac{MS}{MS_{error}}$$

Perhitungan F-ratio untuk setiap faktor sebagai berikut:

$$F\text{-ratio B} = \frac{2,73}{0,05} = 54,65$$

$$F\text{-ratio C} = \frac{2,73}{0,05} = 23,50$$

Pengujian hipotesis dan kesimpulan dengan tingkat kepercayaan 95% dilakukan terhadap faktor B dan C. Nilai F tabel yang digunakan $F_{0,05;1;9}$ adalah 5,12 dapat dilihat pada lampiran 2. Apabila nilai uji F lebih kecil dari nilai F tabel maka H_0 diterima, namun jika nilai uji F lebih besar dari F tabel maka H_0 ditolak

a. Faktor B

H_0 : Tidak ada pengaruh faktor B terhadap kecatatan tahu lembek

H_1 : Ada pengaruh faktor B terhadap kecatatan tahu lembek

Kesimpulan> $F_{hitung} = 54,65 > F_{0,05;1;9}$ bernilai 5,12 maka H_0 ditolak artinya ada pengaruh faktor B terhadap kecacatan tahu lembek.

b. Faktor C

H_0 : Tidak ada pengaruh faktor C terhadap kecatatan tahu lembek

H_1 : Ada pengaruh faktor C terhadap kecatatan tahu lembek

Kesimpulan> $F_{hitung} = 23,50 > F_{0,05;1;9}$ bernilai 5,12 maka H_0 ditolak artinya ada pengaruh faktor C terhadap kecacatan tahu lembek.

10. Jumlah kuadrat sesungguhnya

Jumlah kuadrat sesungguhnya dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$Sq' \text{ faktor} = SS_n - dof_n \times MS_e$$

a. Faktor B

$$\begin{aligned} SB' &= SS_B - dof_B \times MS_e \\ &= 2,73 - 1 \times 0,05 \\ &= 2,68 \end{aligned}$$

b. Faktor C

$$\begin{aligned} SC' &= SS_C - dof_C \times MS_e \\ &= 1,18 - 1 \times 0,05 \\ &= 1,13 \end{aligned}$$

11. Persen Kontribusi

a. Persen Kontribusi Faktor B

$$\begin{aligned} P &= \frac{Sq' \text{ faktor}}{SST} \times 100\% \\ &= \frac{2,68}{3,39} \times 100\% \\ &= 67,78\% \end{aligned}$$

b. Persen Kontribusi Faktor C

$$P = \frac{Sq' \text{ faktor}}{SST} \times 100\%$$

$$= \frac{1,13}{3,96} \times 100\%$$

$$= 28,43 \%$$

Hasil perhitungan persen kontribusi dapat dilihat pada Tabel 4.35 berikut

Tabel 4. 35 Persen Kontribusi

Sumber	Dof	SS	MS	F <i>ratio</i>	SS'	P(%)
B	1	2,73	2,73	54,65	2,68	67,78
C	1	1,18	1,18	23,50	1,13	28,43
Error	9	0,05	0,05			
Total	11	3,96				

Sumber: Pengolahan Data

Berdasarkan Tabel 4.35 diketahui bahwa faktor B memberikan kontribusi terbesar terhadap rata-rata kecacatan tahu yaitu sebesar 67,78%.

c. Perhitungan Interval kepercayaan Rata-rata

Faktor – faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap kualitas tahu yang optimum adalah:

1. Faktor A level 1 : lama perebusan 20 menit
2. Faktor B level 1 : lama pengepresan 15 menit
3. Faktor C level 1 : lama penggilingan 8 menit

$$\bar{T} = \frac{5,00 + 3,67 + 4,33 + 4,00}{4} = 4,25$$

$$\begin{aligned} \mu_{\text{prediksi}} &= \bar{T} + (\bar{A}_{\text{level 1}} - \bar{T}) + (\bar{B}_{\text{level 1}} - \bar{T}) + (\bar{C}_{\text{level 1}} - \bar{T}) \\ &= 4,25 + (4,33 - 4,25) + (4,67 - 4,25) + (4,50 - 4,25) \\ &= 5,00 \end{aligned}$$

Interval kepercayaan rata-rata pada tingkat kepercayaan 95% adalah:

Diketahui ' $F_{0,05;1;9} = 5,12$ $Mse = 0,05$

$$\begin{aligned} n_{\text{eff}} &= \frac{\text{jumlah total eksperimen}}{1 + \text{jumlah derajat kebebasan perkiraan rata-rata}} \\ &= \frac{4 \times 3}{1 + (1 + 1 + 1)} = 3 \end{aligned}$$

Selang kepercayaan prediksi optimal yaitu:

$$\begin{aligned} CI &= \pm \sqrt{F_{0,05;1;9} \times \text{Mse} \times \frac{1}{n_{\text{eff}}}} \\ &= \pm \sqrt{5,12 \times 0,05 \times \frac{1}{3}} \\ &= \pm 0,29 \end{aligned}$$

Interval kepercayaan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \mu_{\text{prediksi}} - CI &\leq \mu_{\text{prediksi}} \leq \mu_{\text{prediksi}} + CI \\ 5,00 - 0,29 &\leq \mu_{\text{prediksi}} \leq 5,00 + 0,29 \\ 4,71 &\leq \mu_{\text{prediksi}} \leq 5,29 \end{aligned}$$

d. Menghitung Interval Kepercayaan SNR

Faktor – faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap kualitas tahu yang optimum adalah:

1. Faktor A level 1 : lama perebusan 20 menit
2. Faktor B level 1 : lama pengepresan 15 menit
3. Faktor C level 1 : lama penggilingan 8 menit

$$\bar{T} = \frac{-14,09 + -11,36 + -12,79 + -12,22}{4} = -12,61$$

$$\begin{aligned} \mu_{\text{prediksi}} &= \bar{T} + (\bar{A}_{\text{level 1}} - \bar{T}) + (\bar{B}_{\text{level 1}} - \bar{T}) + (\bar{C}_{\text{level 2}} - \bar{T}) \\ &= -12,61 + (-12,73 - (-12,61)) + (-13,44 - (-12,61)) + (-13,16 - (-12,61)) \\ &= -14,10 \end{aligned}$$

Interval kepercayaan rata-rata pada tingkat kepercayaan 95% adalah:

Diketahui : $F_{0,05;1;9} = 5,12$ $\text{Mse} = 0,05$

$$\begin{aligned} n_{\text{eff}} &= \frac{\text{jumlah total eksperimen}}{1 + \text{jumlah derajat kebebasan perkiraan rata-rata}} \\ &= \frac{4 \times 3}{1 + (1 + 1 + 1)} = 3 \end{aligned}$$

Selang kepercayaan prediksi optimal yaitu:

$$\begin{aligned} CI &= \pm \sqrt{F_{0,05;1;9} \times \text{Mse} \times \frac{1}{n_{\text{eff}}}} \\ &= \pm \sqrt{5,12 \times 0,05 \times \frac{1}{3}} \end{aligned}$$

$$= \pm 0,29$$

Interval kepercayaan adalah sebagai berikut:

$$\mu_{\text{prediksi}} - \text{CI} \leq \mu_{\text{prediksi}} \leq \mu_{\text{prediksi}} + \text{CI}$$

$$-14,10 - 0,29 \leq \mu_{\text{prediksi}} \leq -14,10 + 0,29$$

$$-15,22 \leq \mu_{\text{prediksi}} \leq -12,98$$

e. Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi dilakukan berdasarkan hasil dari eksperimen sebelumnya. Eksperimen ini bertujuan untuk membuktikan parameter optimum yang dihasilkan sebelumnya. Pada eksperimen konfirmasi, faktor dan level yang ditetapkan dapat dilihat pada Tabel 4.36 berikut:

Tabel 4. 36 Faktor Dan Level Eksperimen Konfirmasi

Kode	Faktor	Level
A	Lama perebusan	20
B	Lama pengepresan	15
C	Lama penggilingan	8

Sumber: Pengolahan Data

Eksperimen konfirmasi dilakukan sebanyak 4 kali pengamatan dengan menggunakan level optimum di atas. Hasil eksperimen konfirmasi dapat dilihat pada Tabel 4.37 berikut:

Tabel 4. 37 Hasil Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen	Matriks <i>Orthogonal</i> $L_4(2^3)$			Jumlah Cacat			Total Produk Cacat (unit)	Rata-rata (unit)
	1	2	3	Replikasi ke-				
				1	2	3		
	A	B	C					
1	1	1	1	3	3	4	10	3,33
2	1	2	2	4	4	3	11	3,67
3	2	1	2	3	3	4	10	3,33
4	2	2	1	3	3	3	9	3,00

Sumber: Pengolahan Data

Berdasarkan Tabel 4.37 dapat dilihat bahwa total produk cacat tertinggi terdapat pada eksperimen ke 2 dengan total produk cacat sebesar 11 tahu, dan total produk cacat terendah terdapat pada eksperimen ke 4 dengan total produk cacat sebesar 9 tahu.

f. Hasil Pengolahan Data Eksperimen Konfirmasi

Hasil dari eksperimen konfirmasi tersebut harus berada dalam interval kepercayaan konfirmasi. Nilai rata-rata eksperimen konfirmasi adalah:

$$\mu_{\text{konfirmasi}} = \frac{3,33 + 3,67 + 3,33 + 3,00}{4} = 3,33$$

Interval kepercayaan rata – rata pada tingkat kepercayaan 95% adalah:

Diketahui: $F_{0,05;1;9} = 5,12$ $Mse = 0,05$

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

$$= \frac{4 \times 3}{1 + (1 + 1 + 1)} = 3$$

Selang kepercayaan prediksi optimal yaitu:

$$CI = \pm \sqrt{F_{0,05;1;9} \times Mse \times \frac{1}{n_{\text{eff}}} + \frac{1}{r}}$$

$$= \pm \sqrt{5,12 \times 0,05 \times \frac{1}{3} + \frac{1}{3}}$$

$$= \pm 0,65$$

Interval kepercayaan adalah sebagai berikut:

$$\mu_{\text{konfirmasi}} - CI \leq \mu_{\text{konfirmasi}} \leq \mu_{\text{konfirmasi}} + CI$$

$$3,33 - 0,65 \leq \mu_{\text{konfirmasi}} \leq 3,33 + 0,65$$

$$2,68 \leq \mu_{\text{konfirmasi}} \leq 3,98$$

g. Perhitungan Rasio S/N Eksperimen Konfirmasi

$$\text{Nilai rasio S/N} = -10 \log \left[\frac{1}{4} (3,33^2 + 3,67^2 + 3,33^2 + 3,00^2) \right] = -10,48$$

Diketahui : $F_{0,05;1;9} = 5,12$ $Mse = 0,03$

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

$$= \frac{4 \times 3}{1 + (1 + 1 + 1)} = 3$$

Selang kepercayaan prediksi optimal yaitu:

$$CI = \pm \sqrt{F_{0,05;1;9} \times Mse \times \frac{1}{n_{\text{eff}}} + \frac{1}{r}}$$

$$= \pm \sqrt{5,12 \times 0,03 \times \frac{1}{3} + \frac{1}{3}}$$

$$= \pm 1,38$$

Interval kepercayaan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\mu_{\text{konfirmasi}} - \text{CI} &\leq \mu_{\text{konfirmasi}} \leq \mu_{\text{konfirmasi}} + \text{CI} \\ -10,48 - 1,38 &\leq \mu_{\text{konfirmasi}} \leq -10,48 + 1,38 \\ -11,86 &\leq \mu_{\text{konfirmasi}} \leq -9,10\end{aligned}$$

4.2 Pembahasan

4.2.1 Analisis Metode *Statistical Quality Control*

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan metode *Statistical Quality Control* didapatkan hasil pada tahapan lembar pemeriksaan (*check sheet*) dalam 30 hari pengamatan di UD Tahu Bang Dahri diperoleh hasil produksi sebesar 106.105 tahu dengan jenis kerusakan tahu kotor dan berbau sebesar 1.628 tahu dan jenis kerusakan tahu lembek sebesar 1.410 tahu, sehingga total kerusakan untuk 2 jenis kerusakan sebesar 3.038 tahu dan diperoleh hasil presentasi kerusakan sebesar 86,76%. Jumlah produksi terbesar yaitu pada hari ke 13, 24 dan 30 sebesar 3980 tahu dan jumlah produksi terendah yaitu pada hari ke 7, 16, 20 dan 25 sebesar 3000 tahu. Sedangkan untuk jumlah kerusakan terbesar yaitu pada hari ke 10, 21 dan 28 sebesar 118 tahu, dan untuk jumlah kerusakan terendah yaitu pada hari ke 1, 23, 24 dan 29 sebesar 86 tahu.

Pada tahap histogram diketahui bahwa jenis kerusakan tahu kotor dan berbau menjadi penyebab terbesar banyaknya produk cacat pada UD Tahu Bang Dahri, hal ini dapat dilihat pada Tabel 4.38 berikut:

Tabel 4. 38 Jenis Kerusakan Produk Tahu

Jumlah Produksi (unit)	Variabel Jenis Kerusakan (unit)		Jumlah Kerusakan(unit)
	Tahu Kotor dan berbau	Tahu Lembek	
106105	1628 53,59%	1410 46,41%	3038

Sumber: Pengolahan Data

Tahap selanjutnya yaitu peta kendali, pada diagram peta kendali dapatkan hasil CL sebesar 0,0286, UCL sebesar 0,1199 dan LCL sebesar 0,0000. Berdasarkan hasil perhitungan peta kendali diketahui bahwa data pengamatan yang digunakan masih berada didalam batas kendali, yang artinya produk cacat masih berada dalam batas wajar namun perusahaan harus tetap memperbaiki kualitasnya.

Tahapan terakhir adalah membuat *fishbone* diagram, pada *fishbone* diagram ini terdapat 3 faktor yang menjadi penyebab terjadinya kerusakan pada tahu. Pada penyebab tahu kotor dan berbau disebabkan oleh faktor mesin, manusia dan metode, dan pada tahu lembek disebabkan oleh faktor mesin, manusia dan metode.

4.2.2 Analisis Metode Taguchi

Metode *Taguchi* digunakan untuk menyelidiki interaksi antara faktor dan level faktor terhadap kualitas tahu. Karakteristik yang digunakan adalah *smaller the better*. Adapun hasil yang diperoleh dari penggunaan metode *Taguchi* dapat dilihat pada Tabel 4.39 Berikut:

Tabel 4. 39 Penggunaan Metode Taguchi

Faktor	Tahu Kotor dan berbau			Faktor	Tahu Lembek		
	Persen Kontribusi (%)	Level optimum	Nilai level optimum (menit)		Persen Kontribusi (%)	Level optimum	Nilai level optimum (menit)
Lama perebusan (A)	63,83	1	20	Lama perebusan(A)	-	1	20
Lama pengepresan (B)	31,86	1	15	Lama pengepresan (B)	68,19	1	15
Lama penggilingan (C)	-	2	10	Lama penggilingan (C)	22,58	1	8

Sumber: Pengolahan Data

Perhitungan eksperimen konfirmasi menggunakan faktor dan level faktor yang telah ditetapkan untuk menghasilkan kondisi optimal dan dilakukan sebanyak 4 kali percobaan dengan menghitung nilai rata-rata tahu yang cacat dan variabilitasnya. Hasil perhitungan eksperimen *Taguchi* dan konfirmasi dapat dilihat pada Tabel 4.40 berikut:

Tabel 4. 40 Hasil Perhitungan Eksperimen Taguchi Dan Konfirmasi

Respon Produk Cacat		Prediksi	Optimasi
Jenis Kerusakan Tahu Kotor dan Berbau			
Eksperimen Taguchi	Rata –rata (μ)	5,26	$5,26 \leq \mu_{\text{prediksi}} \leq 5,72$
	Variabilitas (SNR)	-15,17	$-16,29 \leq \mu_{\text{prediksi}} \leq -14,05$
Eksperimen Konfirmasi	Rata –rata (μ)	3,58	$2,96 \leq \mu_{\text{konfirmasi}} \leq 4,20$
	Variabilitas (SNR)	-11,13	$-12,39 \leq \mu_{\text{konfirmasi}} \leq -9,87$
Jenis Kerusakan Tahu Lembek			
Eksperimen Taguchi	Rata –rata (μ)	5,00	$4,71 \leq \mu_{\text{prediksi}} \leq 5,29$
	Variabilitas (SNR)	-14,10	$-15,22 \leq \mu_{\text{prediksi}} \leq -12,98$

Tabel 4.40 Hasil Perhitungan Eksperimen *Taguchi* Dan Konfirmasi (Lanjutan)

Respon Produk Cacat		Prediksi	Optimasi
Eksperimen	Rata –rata (μ)	3,33	$2,68 \leq \mu_{\text{konfirmasi}} \leq 3,98$
Konfirmasi	Variabilitas (SNR)	-10,48	$-11,86 \leq \mu_{\text{konfirmasi}} \leq -9,10$

Sumber: Pengolahan Data

Berdasarkan Tabel 4.40 dapat dilihat bahwa eksperimen konfirmasi menunjukkan bahwa setting level optimal dapat diterima. Hal ini dapat dilihat dari perbandingan selang kepercayaan antara eksperimen konfirmasi dengan kondisi optimal (prediksi) dengan nilai rata – rata. Hasil eksperimen *Taguchi* telah memenuhi kriteria sebagai model untuk memprediksi nilai yang mempertimbangkan variansi optimalnya.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Faktor yang menjadi penyebab terjadinya kecacatan produk pada UD Tahu Bang Dahri untuk jenis kerusakan pada tahu yang kotor dan berbau disebabkan oleh faktor manusia hal ini karena pekerja kurang memperhatikan kebersihan serta kurang telitinya dalam proses produksi, selanjutnya mesin yang digunakan masih manual dan terbuka sehingga tahu yang sedang diproduksi lebih mudah terkontaminasi kotoran, dan dari segi metode disebabkan oleh tidak sesuainya standar proses produksi yang dilakukan. Sedangkan untuk jenis kerusakan pada tahu yang lembek disebabkan oleh faktor manusia hal ini dikarenakan kurangnya ketelitian dan kurang disiplinnya pekerja dalam melakukan proses produksi tahu, dari segi mesin yaitu mesin yang digunakan masih manual, dan metode pekerja mengabaikan prosedur seperti pada proses penambahan asam yang tidak merata membuat tekstur tahu menjadi lembek.
2. Faktor yang lebih dominan untuk mengurangi variansi produk cacat pada tahu kotor dan berbau adalah faktor A level 1 dengan waktu perebusan selama 20 menit. Sedangkan untuk tekstur tahu lembek yang paling dominan untuk mengurangi variansi produk cacat adalah faktor B level 1 dengan waktu pengepresan selama 15 menit.
3. Pengendalian kualitas produksi dengan metode *Statistical Quality Control* yaitu dengan membuat lembar pemeriksaan (*checksheet*), histogram, peta kendali dan *fishbone diagram*. Sedangkan pengendalian kualitas dengan metode *Taguchi* dengan menentukan variabel tak bebas, identifikasi faktor terkendali, pemisahan faktor kontrol dan gangguan, penentuan jumlah level dan nilai level faktor, perhitungan derajat kebebasan, penentuan *Orthogonal Array*, persiapan dan pelaksanaan percobaan, analisis data dan analisis variansi. Dengan perhitungan menggunakan metode *Taguchi* jenis

kerusakan tahu kotor dan berbau faktor lama perebusan memiliki nilai kontribusi terbesar yaitu 63,83% dan lama pengepresan sebesar 31,86%, sedangkan jenis kerusakan tahu lembek faktor lama pengepresan memiliki nilai kontribusi sebesar 68,19% dan lama penggilingan sebesar 22,58%. Metode *Taguchi* menunjukkan nilai rata-rata pada eksperimen *Taguchi* mengalami penurunan pada eksperimen konfirmasi, hal ini sesuai dengan karakteristik yang dituju yaitu *smaller than batter*. Untuk jenis kerusakan tahu kotor dan berbau nilai rata-rata pada eksperimen *Taguchi* menunjukkan nilai sebesar $5,26 \leq \mu_{\text{prediksi}} \leq 5,72$ sedangkan pada eksperimen konfirmasi menunjukkan nilai $2,96 \leq \mu_{\text{konfirmasi}} \leq 4,20$ dan nilai SNR pada eksperimen *Taguchi* menunjukkan nilai $-16,29 \leq \mu_{\text{prediksi}} \leq -14,05$ sedangkan pada eksperimen konfirmasi menunjukkan nilai $-12,39 \leq \mu_{\text{konfirmasi}} \leq -9,87$. Sedangkan untuk jenis kerusakan tahu lembek nilai rata-rata pada eksperimen *Taguchi* menunjukkan nilai sebesar $4,71 \leq \mu_{\text{prediksi}} \leq 5,29$ sedangkan pada eksperimen konfirmasi menunjukkan nilai $2,68 \leq \mu_{\text{konfirmasi}} \leq 3,98$ dan nilai SNR pada eksperimen *Taguchi* menunjukkan nilai $-15,22 \leq \mu_{\text{prediksi}} \leq -12,98$ sedangkan pada eksperimen konfirmasi menunjukkan nilai $-11,86 \leq \mu_{\text{konfirmasi}} \leq -9,10$. Hal ini membuktikan bahwa kombinasi optimal faktor – faktor tersebut terbukti dapat menurunkan kerusakan produk pada produk tahu dengan jumlah kerusakan tahu pada eksperimen *Taguchi* sebesar 104 unit dan eksperimen konfirmasi sebesar 83 unit dengan persentase penurunan 0,21%.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan kepada perusahaan adalah sebagai berikut:

1. Sebaiknya pihak UD Tahu Bang Dahri mempertimbangkan susunan faktor dan level optimal yang disarankan pada eksperimen ini agar dapat memperbaiki kualitas pada produk tahu.
2. Perlunya dilakukan peningkatan dan perbaikan agar kualitas yang dihasilkan lebih baik lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- Agboola, O., & Ikubanni, P. (2017). Application of Statistical Quality Control (Sqc) in the Calibration of Oil Storage Tanks. *Journal of Production Engineering*, 20(1), 127–132. <https://doi.org/10.24867/jpe-2017-01-127>
- Andriani, D. P. (2014). *Metode Taguchi*. 43.
- Ariesta, M. (2010). *Perancangan Eksperimen Taguchi Dalam Menentukan Penyetelan Yang Optimal Pada Proses Pengemasan Untuk Mengurangi Variasi Berat Isi Kemasan Gula Pasir Dan Creamer*. 117.
- B Anggara. (2017). *BAB III_Tinjauan Pustaka_E95hri-4.pdf*. 15–32.
- Bahy. (2015). *Aplikasi Metoda Taguchi Untuk Mengetahui Optimasi Kebulatan Pada Proses Bubut*. 4(2), 89–93.
- Carmelita, F. (2022). Kualitas Analisis Pengendalian Pada Produk Spatula Aluminium Di Pekanbaru. *Jurnal Pers: Universitas Islam Riau*.
- Dan, M. P., Siregar, I. A., Toufiq, P. W., Ds, M., & Produksi, M. (n.d.). *Slide-PRD-404-Proses-Produksi-Manajemen-I*.
- Dewi, P. S., Rini, I., Ari, D., & Meidiana, C. (2023). Proses produksi tahu di desa kalisari kecamatan cilongok kabupaten banyumas. *Planning for Urban Region and Environmen*, 12(0341), 57–64.
- Dwiartono, A. I., Nugraha, M. D., Kara, M. A. J., & Dora, Y. M. (2021). Application of Statistical Quality Control (SQC) for Product 04G22 on PT . Maruichi Indonesia. *Journal of Solid State Technology*, 63(4), 4966–4976. https://www.researchgate.net/profile/Yenny-Maya-Dora/publication/356715739_Application_of_Statistical_Quality_Control_SQC_for_Product_04G22_on_PT_Maruichi_Indonesia/links/61a86c41092e735ae2d3127d/Application-of-Statistical-Quality-Control-SQC-for-Product-
- Harpreet, E., Oberoi, S., Parmar, M., Kaur, H., & Mehra, R. (2016). *SPC (Statistical Process Control) : A Quality Control Technique for Confirmation to Ability of process*. 666–672.
- Hidayatullah Elmas, M. S. (2017). Pengendalian Kualitas Dengan Menggunakan Metode Statistical Quality Control (Sqc) Untuk Meminimumkan Produk Gagal Pada Toko Roti Barokah Bakery. *Wiga : Jurnal Penelitian Ilmu Ekonomi*, 7(1), 15–22. <https://doi.org/10.30741/wiga.v7i1.330>
- Jasa, K. (2000). Bab 2 Landasan Teori. *Aplikasi Dan Analisis Literatur Fasilkom UI*, m(1998), 7–34. <http://elib.unikom.ac.id/files/disk1/655/jbptunikompp->

gdl-supriadini-32740-6-12.unik-i.pdf

- Jenji, G. ., Nastiti, H., & C.S, R. (2019). Analisis Pengendalian Kualitas Produk Tahu di Pondok Labu Jakarta Selatan. *Fakultas Ekonomi, UPN Veteran Jakarta*, 8(3), 87–105.
- Krishnaiah, K., & Shahabudeen, P. (2012). *Applied Experimental Design and Taguchi Method*.
- Kurnadi, K., Marsudi, M., & Maulana, Y. (2020). Analisis Pengendalian Produk Cacat Pada Kayu Lapis Menggunakan Sqc (Statistical Quality Control) Pada Pabrik Pt. Wijaya Tri Utama Plywood Industry. *Journal of Industrial Engineering and Operation Management*, 3(2). <https://doi.org/10.31602/jieom.v3i2.4998>
- Luthfiyah, T. (2022). *Analisis Pengendalian Kualitas Proses Produksi Snack Skripsi Oleh : Fakultas Teknik Universitas Medan Area Medan 2022 Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana di Fakultas Teknik Universitas Medan Area*.
- Maulidia, P. R., Budiharti, N., & Adriantantri, E. (2020). *Analisis Pengendalian Kualitas Menggunakan Metode Taguchi Pada Umkm Rubber Seal Rm Products Genuine Parts Sukun , Malang. September*, 82–91.
- Mengesha, Yonatan; Singh, Ajit Pal; Amedie, W. Y. (2013). Quality Improvement Using Statistical Process Control Tools in Glass Bottles Manufacturing Company. *International Journal for Quality Research*, 7(1), 107–126.
- Munjiati. (2019). Pengendalian kualitas produk dan jasa. *Universitas Muhammadiyah Malang*, 9–25.
- Nasution. (2019). *Analisis pengendalian mutu pada pengolahan minyak sawit dengan metode SQC*. 11–45.
- Octariani, I., Virgantari, F., & Wijayanti, H. (2021). Metode *Taguchi* Dalam Analisis Pengendalian Kualitas Produk Furniture. *Interval : Jurnal Ilmiah Matematika*, 1(2), 50–61. <https://doi.org/10.33751/interval.v1i2.4556>
- Pranyoto, R. A. P. (2021). *Penelitian BAB 3*. 1–23.
- Program, C., Abbas, A., & Masri, D. (2018). *Defect Analysis Of Quality Palm Kernel Meal Using Statistical Quality Control In Kernels Factory Defect Analysis Of Quality Palm Kernel Meal Using Statistical Quality Control In Kernels Factory*.
- Runtuwene, V. E., Massie, J. D. D., & Tumewu, F. (n.d.). *Statistik Di PT Massindo Sinar Pratama Manado Quality Control Analysis USING*

Statistical Quality Control At PT Massindo. 5(2), 2516–2525.

- Sheila Maria Belgis Putri Affiza. (2022). Metode *Taguchi* (Issue 8.5.2017).
- Shiyamy, A. F., Rohmat, S., & Sopian, A. (2021). Artikel analisis pengendalian kualitas produk dengan. *Jurnal Ilmiah Manajemen*, 2(2), 32–45.
- Sugiono, N. (2011). *Penerapan Metode Taguchi Untuk Meningkatkan Produktifitas Pada Produksi LPG Di PT. Chevron Indonesia Balikpapan*. <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/35158%0Ahttps://dspace.uui.ac.id/bitstream/handle/123456789/35158/09916118> Nana Sugiono.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Suparno, S., & Narto, N. (2022). Analisis Kualitas pada Produksi Tahu menggunakan Metode Statistical Quality Control (SQC). *Jurnal Optimalisasi*, 8(2), 139. <https://doi.org/10.35308/jopt.v8i2.5912>
- Wirawati, S. M., & Arthawati, S. N. (2021). Analisa Kualitas Produk baja Besi Beton Menggunakan Metode Basic Seven Tools Dan *Taguchi* Di Pt. Abc. *Jurnal InTent*, 4(1), 64–72.
- Yuliana, E. (2021). *Analisis Pengendalian Kualitas Produk Furniture Menggunakan Metode Statitital Quality Control (SQC) Dan Taguchi Pada PT. Ebako Nusantara. November, i–129*. <http://repository.unissula.ac.id/24114/>

LAMPIRAN I Data Produksi Tahu Selama 30 Hari Dan Jumlah kerusakan Produk

No	Jumlah Produksi (unit)	Jenis Kerusakan (unit)		Jumlah Kerusakan (unit)	Persentase (%)
		Tahu Kotor dan berbau	Tahu Lembek		
1	3110	52	34	86	2,77
2	3875	58	54	112	2,89
3	3900	64	36	100	2,56
4	3800	62	52	114	3,00
5	3200	52	56	108	3,38
6	3175	50	42	92	2,90
7	3000	56	54	110	3,67
8	3650	58	44	102	2,79
9	3850	38	50	88	2,29
10	3900	60	58	118	3,03
11	3010	50	44	94	3,12
12	3170	58	38	96	3,03
13	3980	64	36	100	2,51
14	3650	48	54	102	2,79
15	3875	58	46	104	2,68
16	3000	48	54	102	3,40
17	3650	50	40	90	2,47
18	3900	60	36	96	2,46
19	3800	62	52	114	3,00
20	3000	48	54	102	3,40
21	3900	60	58	118	3,03
22	3010	56	52	108	3,59
23	3170	48	38	86	2,71
24	3980	50	36	86	2,16
25	3000	54	54	108	3,60
26	3650	52	46	98	2,68
27	3850	54	50	104	2,70
28	3900	60	58	118	3,03
29	3170	48	38	86	2,71
30	3980	50	46	96	2,41
Total	106105	1628	1410	3038	2,89

Sumber: UD. Tahu Bang Dahri, 2023

LAMPIRAN II Tabel F

Nilai $F_{0,05}$

Df	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	
1	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	244	246	248	249	250	251	252	253	254
2	18,5	19,0	19,2	19,2	19,3	19,3	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5
3	10,1	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,81	8,79	8,74	8,70	8,66	8,64	8,62	8,59	8,57	8,55	8,53
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96	5,91	5,86	5,80	5,77	5,75	5,72	5,69	5,66	5,63
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77	4,74	4,68	4,62	4,56	4,53	4,50	4,46	4,43	4,40	4,37
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,06	4,00	3,94	3,87	3,84	3,81	3,77	3,74	3,70	3,67
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,64	3,57	3,51	3,44	3,41	3,38	3,34	3,30	3,27	3,23
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,35	3,28	3,22	3,15	3,12	3,08	3,04	3,01	2,97	2,93
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,14	3,07	3,01	2,94	2,90	2,86	2,83	2,79	2,75	2,71
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,98	2,91	2,85	2,77	2,74	2,70	2,66	2,62	2,58	2,54
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90	2,85	2,79	2,72	2,65	2,61	2,57	2,53	2,49	2,45	2,40
12	4,75	3,89	3,49	3,26	3,11	3,00	2,91	2,85	2,80	2,75	2,69	2,62	2,54	2,51	2,47	2,43	2,38	2,34	2,30
13	4,67	3,81	3,41	3,13	3,03	2,92	2,83	2,77	2,71	2,67	2,60	2,53	2,46	2,42	2,38	2,34	2,30	2,25	2,21
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,76	2,70	2,65	2,60	2,53	2,46	2,39	2,35	2,31	2,27	2,22	2,18	2,13
15	4,54	3,68	3,29	3,06	2,90	2,79	2,71	2,64	2,59	2,54	2,48	2,40	2,33	2,29	2,25	2,20	2,16	2,11	2,07
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,66	2,59	2,54	2,49	2,42	2,35	2,28	2,24	2,19	2,15	2,11	2,06	2,01
17	4,45	3,59	3,20	2,96	2,81	2,70	2,61	2,55	2,49	2,45	2,38	2,31	2,23	2,19	2,15	2,10	2,06	2,01	1,96
18	4,41	3,55	3,16	2,93	2,77	2,66	2,58	2,51	2,46	2,41	2,34	2,27	2,19	2,15	2,11	2,06	2,02	1,97	1,92
19	4,38	3,52	3,13	2,90	2,74	2,63	2,54	2,48	2,42	2,38	2,31	2,23	2,16	2,11	2,07	2,03	1,98	1,93	1,88
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,51	2,45	2,39	2,35	2,28	2,20	2,12	2,08	2,04	1,99	1,95	1,90	1,84
21	4,32	3,47	3,07	2,84	2,68	2,57	2,49	2,42	2,37	2,32	2,25	2,18	2,10	2,05	2,01	1,96	1,92	1,87	1,81
22	4,30	3,44	3,05	2,82	2,66	2,55	2,46	2,40	2,34	2,30	2,23	2,15	2,07	2,03	1,98	1,94	1,89	1,84	1,78
23	4,28	3,42	3,03	2,80	2,64	2,53	2,44	2,37	2,32	2,27	2,20	2,13	2,05	2,01	1,96	1,91	1,86	1,81	1,76
24	4,26	3,40	3,01	2,78	2,62	2,51	2,42	2,36	2,30	2,25	2,18	2,11	2,03	1,98	1,94	1,89	1,84	1,79	1,73
25	4,24	3,39	2,99	2,76	2,60	2,49	2,40	2,34	2,28	2,24	2,16	2,09	2,01	1,96	1,92	1,87	1,82	1,77	1,71
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,33	2,27	2,21	2,16	2,09	2,01	1,93	1,89	1,84	1,79	1,74	1,68	1,62
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,25	2,18	2,12	2,08	2,00	1,92	1,84	1,79	1,74	1,69	1,64	1,58	1,51
60	4,00	3,15	2,76	2,53	2,37	2,25	2,17	2,10	2,04	1,99	1,92	1,84	1,75	1,70	1,65	1,59	1,53	1,47	1,39
120	3,92	3,07	2,68	2,45	2,29	2,18	2,09	2,02	1,96	1,91	1,83	1,75	1,66	1,61	1,55	1,50	1,43	1,35	1,22
	3,84	3,00	2,60	2,37	2,21	2,10	2,01	1,94	1,88	1,83	1,75	1,67	1,57	1,52	1,46	1,39	1,32	1,22	1,00

