

**PENINGKATAN KUALITAS PADA PRODUK GENTENG
MENGUNAKAN SIX SIGMA DAN METODE TAGUCHI
(Studi Kasus di UMKM AR GENTENG KTL)**

SKRIPSI



Oleh:

DIAN ELNIA KUSUMA NINGRUM

3333200041

**JURUSAN TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
SERANG-BANTEN
2024**

**PENINGKATAN KUALITAS PADA PRODUK GENTENG
MENGUNAKAN SIX SIGMA DAN METODE TAGUCHI
(Studi Kasus di UMKM AR GENTENG KTL)**

**Skripsi ditulis untuk memenuhi sebagian persyaratan dalam mendapatkan
gelar Sarjana Teknik**



Oleh:

DIAN ELNIA KUSUMA NINGRUM

3333200041

**JURUSAN TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
SERANG-BANTEN
2024**

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertandatangan dibawah ini :

NAMA : DIAN ELNIA KUSUMA NINGRUM

NIM : 3333200041

JURUSAN : TEKNIK INDUSTRI

JUDUL : PENINGKATAN KUALITAS PADA PRODUK GENTENG
MENGUNAKAN SIX SIGMA DAN METODE TAGUCHI
(Studi Kasus di UMKM AR GENTENG KTL)

Dengan ini menyatakan bahwa penelitian dengan judul tersebut diatas adalah benar karya saya sendiri dengan arahan dari pembimbing I dan pembimbing II, dan tidak ada duplikasi dengan karya orang lain kecuali yang telah disebutkan sumbernya.

Apabila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam penelitian ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Cilegon, 25 Juli 2024



DIAN ELNIA KUSUMA NINGRUM

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan Oleh :

NAMA : DIAN ELNIA KUSUMA NINGRUM

NIM : 3333200041

JURUSAN : TEKNIK INDUSTRI

JUDUL : PENINGKATAN KUALITAS PADA PRODUK GENTENG
MENGUNAKAN SIX SIGMA DAN METODE TAGUCHI
(Studi Kasus di UMKM AR GENTENG KTL)

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan Diterima
sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik,
Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Pada hari : Jumat

Tanggal : 19 Juli 2024

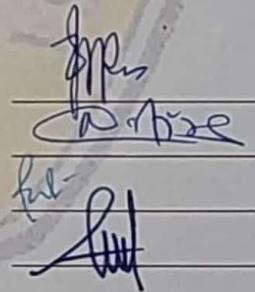
DEWAN PENGUJI

Pembimbing 1 : Dr. Ir. Maria Ulfah, MT.

Pembimbing 2 : Atia Sonda, S.Si, M.Si

Penguji 1 : Dr. Ratna Ekawati, ST., MT., IPP

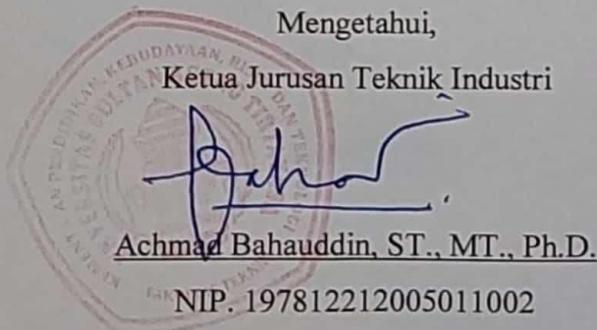
Penguji 2 : Ade Irman S.M., ST., MT.



Three handwritten signatures are present, each on a horizontal line. The first signature is in blue ink, the second is in black ink, and the third is in black ink.

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Industri



A handwritten signature in black ink is written over a circular red stamp. The stamp contains the text 'KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RELEVAN SAINS DAN TEKNOLOGI' and 'UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA'.

Achmad Bahauddin, ST., MT., Ph.D.

NIP. 197812212005011002

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan tepat dan baik. Skripsi ini berisikan judul mengenai “Peningkatan Kualitas Pada Produk Genteng Menggunakan Six Sigma dan Metode Taguchi (Studi Kasus di UMKM AR GENTENG KTL)”. Adapun tujuan dibuatnya skripsi ini sebagai persyaratan mendapatkan gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Industri Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari banyak dukungan dari teman-teman, keluarga, dosen, dan berbagai pihak, serta hambatan yang dilalui dapat diatasi. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi, terutama kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah, dan kesehatan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi.
2. Kedua orang tua dan kakak yang selalu memberikan doa, dukungan, serta motivasi untuk menyelesaikan Tugas Akhir.
3. Bapak Achmad Bahauddin, S.T., M.T, Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Industri Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
4. Ibu Yusraini Maharani, S.T., M.T selaku koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Industri Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
5. Ibu Dr. Ir. Maria Ulfah, M.T., dan Ibu Atia Sonda, S.Si, M.Si selaku Dosen Pembimbing 1 dan Dosen Pembimbing 2 yang telah membimbing dan memberikan pengarahan serta dukungan sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik dan tepat waktu.
6. Ibu Ratna Ekawati S.T, M.T, IPP dan Bapak Ade Irman S.M, S.T, M.T selaku Dosen Penguji 1 dan Dosen Penguji 2 yang telah banyak memberikan saran dan masukan untuk kesempurnaan Tugas Akhir ini.
7. Bapak Damin dan Ibu Wartiah sebagai pemilik dan pekerja UMKM AR Genteng KTL atas kesempatan dan bantuan yang diberikan kepada penulis

dalam melakukan penelitian dan memperoleh informasi yang diperlukan selama penulisan skripsi ini.

8. Teman-teman angkatan 2020 Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Sultang Ageng Tirtayasa yang telah memberikan dukungan dan bantuan.
9. Teman-teman Asisten Laboratorium Optimasi Sistem Industri dan Kualitas (OSI&K) yang selalu memberikan doa, dukungan, semangat, dan bantuan dalam menyelesaikan skripsi.
10. Seluruh teman-teman dekat penulis yang telah banyak memberikan bantuan doa, semangat, dan dukungan.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun dari pihak manapun selalu penulis harapkan, demi penyusunan skripsi yang lebih baik lagi kedepannya. Besar harapan dari penulis, semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan menambah wawasan bagi pembaca dalam perkembangan dunia akademik maupun industri kedepannya.

Cilegon, 25 Juli 2024

Dian Elnia Kusuma Ningrum

ABSTRAK

Dian Elnia Kusuma Ningrum. PENINGKATAN KUALITAS PADA PRODUK GENTENG MENGGUNAKAN SIX SIGMA DAN METODE TAGUCHI (Studi Kasus di UMKM AR Genteng KTL). Dibimbing oleh Dr. Ir. Maria Ulfah, M.T. dan Atia Sonda S.Si., M.Si

UMKM AR Genteng KTL merupakan jenis usaha industri kecil dan menengah yang termasuk dalam kategori usaha industri bahan bangunan yang mengolah tanah liat sebagai sumber bahan baku utama dalam proses produksi menjadi barang jadi berupa genteng. Berdasarkan data jumlah produksi pada periode bulan Januari 2024 hingga Februari 2024 ditemukan permasalahan yaitu terdapat 5% dari total produksi genteng mengalami *defect* dan telah mengakibatkan kerugian sebesar Rp9.100 per produksi. Tujuan penelitian ini yaitu menentukan jenis CTQ, menentukan nilai DPMO dan nilai *sigma*, menentukan faktor penyebab cacat produk, memberikan usulan perbaikan pada proses produksi, dan memberikan strategi perbaikan terhadap penyebab kegagalan proses. Pada UMKM ini terdapat 4 CTQ dari produk genteng yang *defect*, yaitu cacat pecah, retak, gompal, dan warna gosong. Berdasarkan hasil penelitian, sebelum dilakukannya perbaikan didapatkan nilai persentase cacat produk sebesar 0,65% dan nilai DPMO sebesar 1627 dengan nilai *sigma* sebesar 4,47. Faktor yang menyebabkan produk *defect* adalah faktor *material*, *environment*, dan *method*. Usulan perbaikan dilakukan dengan menerapkan hasil kombinasi desain eksperimen Taguchi dari faktor dan level yang optimal yaitu lama pengeringan 8 jam dan lama penjemuran 24 jam. Setelah dilakukan perbaikan, nilai rata-rata persentase cacat produk sebesar 0,42% dan nilai DPMO sebesar 1055 dengan nilai *sigma* sebesar 4,59.

Kata Kunci: *CTQ, Defect, Desain Eksperimen Taguchi*

ABSTRACT

Dian Elnia Kusuma Ningrum. *IMPROVING QUALITY IN THE TILE PRODUCT USING SIX SIGMA AND THE TAGUCHI METHOD (Case Study in UMKM AR Genteng KTL)*. Supervised by Dr. Ir. Maria Ulfah, M.T. and Atia Sonda S.Si., M.Si

UMKM AR Genteng KTL is a type of small and medium industrial business that is included in the building materials industry business category that processes clay as the main raw material source in the production process into finished goods in the form of roof tiles. Based on data on the amount of production in the period January 2024 to February 2024, a problem was found, namely that 5% of the total tile production had defects and had resulted in a loss of IDR 9.100 per production. The purpose of this study is to determine the type of CTQ, determine the DPMO value and sigma value, determine the factors causing product defects, provide suggestions for improvements to the production process, and provide and improvement strategy for the cause of process failure. In the MSME, there are 4 CTQs of defective roof tile products, namely defects in rupture, cracking, chipping, and burnt color. Based on the research results, before the improvement, the percentage value of product defects was 0,65% and the DPMO value was 1627 with a sigma value of 4,47. Factors that cause product defects are material, environment, and method factors. Proposed improvements are made by applying the results of the Taguchi experimental design combination of optimal factors and levels, namely 8 hours of drying time and 24 hours of drying time. After the improvement, the average percentage value of product defects is 0,42% and the DPMO value is 1055 with a sigma value of 4,59.

Keywords: *CTQ, Defect, Taguchi Experimental Design*

RINGKASAN

Dian Elnia Kusuma Ningrum. PENINGKATAN KUALITAS PADA PRODUK GENTENG MENGGUNAKAN SIX SIGMA DAN METODE TAGUCHI (Studi Kasus di UMKM AR Genteng KTL). Dibimbing oleh Dr. Ir. Maria Ulfah, M.T. dan Atia Sonda S.Si., M.Si

Latar Belakang: UMKM AR Genteng KTL merupakan jenis usaha industri kecil dan menengah yang termasuk dalam kategori usaha industri bahan bangunan yang mengolah tanah liat sebagai sumber bahan baku utama dalam proses produksi menjadi barang jadi berupa genteng. Permasalahan yang terdapat pada proses produksi genteng diperoleh nilai persentase cacat produk sebesar 5% dari total produksi genteng mengalami *defect* dan telah mengakibatkan kerugian sebesar Rp9.100 per produksi. Jumlah produk *defect* yang dihasilkan sebesar 10-20 buah dari total produksi setiap minggunya yang menyebabkan kerugian baik biaya maupun waktu dari hasil produk genteng yang cacat.

Rumusan Masalah: Rumusan masalah pada penelitian ini adalah apa saja jenis cacat dan cacat yang paling dominan terjadi, berapa nilai *Defect per Million Opportunities* (DPMO) dan nilai *sigma*, apa saja faktor penyebab utama yang mempengaruhi kualitas produk genteng dan apa saja prioritas risiko kegagalan yang terjadi, apa saja faktor dan level yang berpengaruh terhadap produk cacat genteng dan bagaimana hasil kombinasi faktor dan level optimum, apakah hasil eksperimen antaran kombinasi dan level faktor yang optimal dapat meningkatkan kualitas produk, dan bagaimana perbandingan hasil kinerja usaha industri genteng sebelum dan sesudah dilakukan perbaikan pada proses produksi.

Tujuan Penelitian: Tujuan penelitian ini adalah menentukan jenis cacat dan cacat yang paling dominan terjadi, menghitung nilai *Defect per Million Opportunities* (DPMO) dan nilai *sigma*, menentukan faktor penyebab utama yang mempengaruhi kualitas produk genteng dan menentukan prioritas risiko kegagalan yang terjadi, menentukan faktor dan level yang berpengaruh terhadap produk cacat genteng dan bagaimana hasil kombinasi faktor dan level optimum, menentukan hasil eksperimen antara kombinasi dan level faktor yang optimal dapat meningkatkan kualitas produk, dan menentukan perbandingan hasil kinerja usaha industri genteng sebelum dan sesudah dilakukan perbaikan pada proses produksi.

Metode Penelitian: Penyelesaian permasalahan pada penelitian ini dilakukan menggunakan metode *six sigma* dengan usulan perbaikan menggunakan *action planning* FMEA dan desain eksperimen Taguchi. Data kuantitatif yang dibutuhkan yaitu data jumlah produksi dan data jumlah cacat produk. Data diolah menggunakan tahap *Define, Measure, Analyze, Improve, dan Control* (DMAIC).

Hasil Penelitian: Pada tahap *define* diperoleh bahwa *Critical to Quality* (CTQ) terbagi menjadi 4 kategori jenis cacat yaitu pecah, retak, gompal, dan warna gosong. Pada tahap *measure* diperoleh bahwa hasil peta kendali p terdapat data yang berada diluar batas kendali yang menunjukkan data belum terkendali secara

statistik. Kemudian diperoleh hasil nilai DPMO sebesar 1627 dan nilai *sigma* sebesar 4,47. Nilai tersebut belum mencapai target nilai *sigma* yaitu 6 *sigma* sehingga masih perlu dilakukan perbaikan untuk mencapai tingkat *sigma* 6. Pada tahap *analyze* diperoleh faktor penyebab utama terjadinya produk *defect* yaitu faktor *material*, *environment*, dan *method* dan didapatkan juga prioritas kegagalan nilai RPN *ranking* 1 dari masing-masing jenis cacat berturut-turut sebesar 144, 112, 108, dan 162. Pada tahap *improve* dilakukan usulan perbaikan menggunakan *action planning* FMEA dan desain eksperimen Taguchi. Hasil eksperimen Taguchi dengan faktor dan level yang optimal yaitu faktor lama pengeringan 8 jam dan lama penjemuran 24 jam dapat diterapkan pada proses produksi genteng. Pada tahap *control* dilakukan implementasi dan peninjauan strategi perbaikan dengan menghasilkan nilai persentase cacat sebesar 0,42%, nilai DPMO sebesar 1055, dan nilai *sigma* sebesar 4,59. Hal tersebut menunjukkan bahwa *improvement* yang telah dilakukan dapat berjalan dengan baik sehingga perbaikan tersebut harus distandardisasikan dan di tinjau kembali agar dapat mencapai target usaha.

Kesimpulan: Kesimpulan yang diperoleh pada penelitian ini adalah *Critical to Quality* (CTQ) yang terjadi pada proses produksi genteng seperti cacat pecah, retak, gompal, dan warna gosong. Nilai DPMO yang diperoleh sebesar 1627 dengan nilai *sigma* sebesar 4,27 yang termasuk ke dalam kategori rata-rata industri USA. Faktor-faktor yang menjadi penyebab utama produk *defect* pada proses produksi genteng, yaitu faktor *material* (bahan baku), *environment* (lingkungan), dan *method* (metode) dan didapatkan juga prioritas kegagalan nilai RPN *ranking* 1 dari masing-masing jenis cacat berturut-turut sebesar 144, 112, 108, dan 162. Usulan perbaikan yang dapat dilakukan untuk memperbaiki proses produksi genteng menggunakan desain eksperimen Taguchi diperoleh faktor dan level optimal yaitu faktor lama pengeringan 8 jam dan faktor lama penjemuran 24 jam. Faktor dan level optimal tersebut diimplementasikan pada usaha industri genteng untuk meningkatkan kualitas produk genteng. Implementasi perbaikan tersebut diperoleh nilai rata-rata persentase cacat menjadi 0,42%, nilai DPMO setelah *improvement* menjadi 1055 dengan nilai *sigma* sebesar 4,59. Strategi peningkatan kualitas di UMKM AR Genteng KTL dengan mengoptimalkan proses produksinya dengan menerapkan usulan perbaikan dan meninjau secara berkala.

Kata Kunci: *CTQ, Defect, Desain Eksperimen Taguchi*

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
PRAKATA	iv
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
RINGKASAN	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR ARTI LAMBANG, SINGKATAN DAN ISTILAH	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xx
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan Penelitian	6
1.4 Batasan Masalah	7
1.5 Sistematika Penulisan.....	7
1.6 Penelitian Terdahulu	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Kualitas.....	11

2.2	Pengendalian Kualitas	12
2.3	<i>Six Sigma</i>	13
2.3.1	Tahapan-Tahapan <i>Six Sigma</i>	15
2.3.1.1	<i>Define</i>	16
2.3.1.2	<i>Measure</i>	17
2.3.1.3	<i>Analyze</i>	19
2.3.1.4	<i>Improve</i>	24
2.3.1.5	<i>Control</i>	25
2.4	<i>Design of Experiment (DoE)</i>	25
2.5	<i>Factorial Experiment</i>	28
2.6	Metode Taguchi	30
2.6.1	Tahap Perencanaan Eksperimen	33
2.6.2	Tahap Pelaksanaan Eksperimen.....	36
2.6.3	Tahap Analisa	37
2.7	<i>Analysis of Variance (ANOVA)</i>	41
2.8	Interval Kepercayaan (<i>Confidence Interval</i>)	44
2.9	Eksperimen Konfirmasi.....	45
 BAB III METODE PENELITIAN		
3.1	Rancangan Penelitian	47
3.2	Lokasi dan Waktu Penelitian	48
3.3	Cara Pengumpulan Data	48
3.4	Alur Pemecahan Masalah	49
3.4.1	<i>Flowchart</i> Penelitian	49
3.4.2	<i>Flowchart</i> Pengolahan Data	51
3.4.2.1	<i>Flowchart</i> Pengolahan Data <i>Six Sigma</i>	51

3.4.2.2	<i>Flowchart</i> Pengolahan Data Taguchi.....	52
3.5	Deskripsi Pemecahan Masalah	54
3.5.1	Deskripsi <i>Flowchart</i> Penelitian Umum.....	54
3.5.2	Deskripsi <i>Flowchart</i> Pengolahan Data.....	56
3.5.2.1	Deskripsi <i>Flowchart</i> Pengolahan Data <i>Six Sigma</i>	56
3.5.2.2	Deskripsi <i>Flowchart</i> Pengolahan Data Taguchi	57
3.6	Analisis Data.....	59
BAB IV HASIL PENELITIAN		
4.1	Pengumpulan Data	61
4.1.1	Data Umum UMKM AR Genteng KTL.....	61
4.1.1.1	Sejarah UMKM.....	62
4.1.1.2	Aturan Waktu Kerja	62
4.1.2	Data Produksi.....	62
4.1.3	Data Cacat Produk.....	63
4.2	Pengolahan Data	64
4.2.1	Tahap <i>Define</i>	64
4.2.1.1	<i>Project Charter</i>	64
4.2.1.2	Diagram SIPOC	66
4.2.2	Tahap <i>Measure</i>	73
4.2.2.1	Peta Kendali p	73
4.2.2.3	Pengukuran Tingkat Kemampuan <i>Sigma</i>	75
4.2.3	Tahap <i>Analyze</i>	77
4.2.3.1	Diagram <i>Fishbone</i> (Diagram Tulang Ikan)	77
4.2.3.2	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i> (FMEA).....	86
4.2.4	Tahap <i>Improve</i>	95

4.2.4.1	<i>Action Planning</i> FMEA.....	95
4.2.4.2	Metode Taguchi.....	100
4.2.5	Tahap <i>Control</i>	119

BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1	Analisis dan Pembahasan Tahap <i>Define</i>	123
5.2	Analisis dan Pembahasan Tahap <i>Measure</i>	125
5.2.1	Analisis Peta Kendali p	125
5.2.2	Analisis <i>Defect per Million Opportunities</i> (DPMO) dan Nilai <i>Sigma</i> ..	126
5.3	Analisis dan Pembahasan Tahap <i>Analyze</i>	127
5.3.1	Analisis Diagram <i>Fishbone</i>	127
5.3.2	Analisis <i>Failure Mode and Effect Analysis</i> (FMEA).....	131
5.4	Analisis dan Pembahasan Tahap <i>Improve</i>	133
5.4.1	Analisis <i>Action Planning</i> FMEA	133
5.4.2	Analisis Metode Taguchi.....	136
5.5	Analisis dan Pembahasan Tahap <i>Control</i>	140

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1	Kesimpulan.....	142
6.2	Saran.....	143

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Jumlah Usaha Mikro Genteng Tahun 2024 di Kota Cilegon	1
Tabel 2. Penelitian Terdahulu.....	9
Tabel 3. Konversi <i>Sigma</i>	14
Tabel 4. Penentuan Nilai Tingkat Keparahan (<i>Severity</i>).....	22
Tabel 5. Penentuan Nilai Tingkat Kejadian (<i>Occurence</i>)	23
Tabel 6. Penentuan Nilai Tingkat Deteksi (<i>Detection</i>).....	23
Tabel 7. Matriks Ortogonal $L_9(3^4)$	36
Tabel 8. <i>Analysis of Variance</i> Faktorial 2 Faktor Dengan Interaksi.....	38
Tabel 9. Data Jumlah Produksi Genteng.....	63
Tabel 10. Data Cacat Produk Genteng.....	63
Tabel 11. <i>Project Charter</i>	65
Tabel 12. Identifikasi <i>Critical to Quality</i> (CTQ).....	69
Tabel 13. Perhitungan Peta Kendali p.....	73
Tabel 14. Perhitungan Nilai DPMO dan Tingkat Kemampuan <i>Sigma</i>	76
Tabel 15. <i>Failure Mode and Effect Analysis</i> (FMEA) Cacat Pecah.....	88
Tabel 16. <i>Failure Mode and Effect Analysis</i> (FMEA) Cacat Retak.....	90
Tabel 17. <i>Failure Mode and Effect Analysis</i> (FMEA) Cacat Gompal.....	92
Tabel 18. <i>Failure Mode and Effect Analysis</i> (FMEA) Cacat Warna Gosong.....	94
Tabel 19. <i>Action Planning</i> FMEA Cacat Pecah Produk Genteng	96
Tabel 20. <i>Action Planning</i> FMEA Cacat Retak Produk Genteng	97
Tabel 21. <i>Action Planning</i> FMEA Cacat Gompal Produk Genteng	98
Tabel 22. <i>Action Planning</i> FMEA Cacat Warna Gosong Produk Genteng	99
Tabel 23. Faktor dan Level yang Berpengaruh	101
Tabel 24. Perhitungan Derajat Kebebasan	101
Tabel 25. Matriks Ortogonal $L_9(3^4)$	102
Tabel 26. Data Hasil Eksperimen Taguchi.....	103
Tabel 27. Perhitungan Nilai <i>Signal Noise to Ratio</i> (SNR) dan Rata-rata	104

Tabel 28. <i>Analysis of Variance</i> (ANOVA) Nilai SNR <i>Pooling Up</i>	113
Tabel 29. <i>Setting Level Optimal</i>	114
Tabel 30. Data Hasil Eksperimen Konfirmasi.....	117
Tabel 31. Data Produksi Genteng Setelah Implementasi.....	120
Tabel 32. Hasil Perbandingan Sebelum dan Sesudah Perbaikan.....	120
Tabel 33. Kerugian Produk Genteng per Produksi Sebelum Perbaikan	121
Tabel 34. Kerugian Produk Genteng per Produksi Setelah Perbaikan	122
Tabel 35. Perbandingan Rata-rata COPQ Produk Genteng per Minggu	122



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Konsep <i>Six Sigma</i> Motorola.....	15
Gambar 2. Tahapan DMAIC <i>Six Sigma</i>	15
Gambar 3. <i>Project Charter</i>	16
Gambar 4. Diagram SIPOC.....	17
Gambar 5. Diagram <i>Fishbone</i>	20
Gambar 6. Faktorial Eksperimen Tanpa Interaksi.....	29
Gambar 7. Faktorial Eksperimen Dengan Interaksi	29
Gambar 8. Faktor Perancangan Kualitas.....	32
Gambar 9. <i>Flowchart</i> Penelitian Umum.....	50
Gambar 10. <i>Flowchart</i> Pengolahan Data <i>Six Sigma</i>	51
Gambar 11. <i>Flowchart</i> Pengolahan Data Taguchi	53
Gambar 12. Diagram SIPOC Produk Genteng.....	66
Gambar 13. Alur Proses Pembuatan Produk Genteng	67
Gambar 14. Cacat Pecah Genteng	70
Gambar 15. Cacat Retak Genteng	70
Gambar 16. Cacat Gompal.....	71
Gambar 17. Cacat Warna Gosong	71
Gambar 18. Grafik Peta Kendali p	74
Gambar 19. Grafik Peta Kendali p Perbaikan	75
Gambar 20. Diagram <i>Fishbone</i> Cacat Pecah Produk Genteng	78
Gambar 21. Diagram <i>Fishbone</i> Cacat Retak Produk Genteng.....	81
Gambar 22. Diagram <i>Fishbone</i> Cacat Gompal Produk Genteng	83
Gambar 23. Diagram <i>Fishbone</i> Cacat Warna Gosong Produk Genteng	85
Gambar 24. Tabel Respon Nilai SNR.....	105
Gambar 25. <i>Main Effect Plot</i> Level Terhadap Nilai SNR	106
Gambar 26. Tabel Respon Nilai Rata-rata.....	106
Gambar 27. <i>Main Effect Plot</i> Level Terhadap Nilai Rata-rata.....	107

Gambar 28. *Analysis of Variance* (ANOVA) Nilai Rata-rata..... 108
Gambar 29. *Analysis of Variance* (ANOVA) Nilai SNR..... 110
Gambar 30. Perbandingan Selang Kepercayaan Nilai Rata-rata..... 118
Gambar 31. Perbandingan Selang Kepercayaan Nilai SNR 119



DAFTAR ARTI LAMBANG, SINGKATAN DAN ISTILAH

LAMBANG/SINGKATAN	NAMA	Pemakaian Pertama Kali pada Halaman
UMKM	Usaha Mikro Kecil dan Menengah	1
SIPOC	<i>Supplier, Input, Process, Output, Customer</i>	17
DPMO	<i>Defect per Millions Opportunities</i>	3
DOE	<i>Design of Experiment</i>	3
CTQ	<i>Critical to Quality</i>	4
DMAIC	<i>Define, Measure, Analyze, Improve, Control</i>	4
TQM	<i>Total Quality Management</i>	12
DPU	<i>Defect per Unit</i>	18
DPO	<i>Defect per Opportunities</i>	18
FMEA	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>	5
RPN	<i>Risk Priority Number</i>	5
LCL	<i>Lower Control Limit</i>	20
UCL	<i>Upper Control Limit</i>	20
OA	<i>Orthogonal Array</i>	34
ANOVA	<i>Analysis of Variance</i>	4
SNR	<i>Signal Noise to Ratio</i>	40
CI	<i>Confidence Interval</i>	43
QC	<i>Quality Control</i>	77
dk	Derajat Kebebasan	101
t	<i>Treatment</i>	101
COPQ	<i>Cost of Poor Quality</i>	14

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. <i>Output Software R</i>	151
Lampiran 2. Tabel $F_{\alpha} = 0,05$	153
Lampiran 3. Dokumentasi Kegiatan	154
Lampiran 4. Kuesioner <i>Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)</i>	155



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri yang pesat di era globalisasi saat ini mengakibatkan persaingan antar sektor usaha industri pengolahan yang mengubah bahan baku hingga memiliki nilai lebih. Salah satunya industri bahan bangunan, khususnya produksi genteng pada Usaha Mikro Kecil dan Menengah (UMKM) di Kota Cilegon saat ini sedang mengalami persaingan yang cukup kompetitif seiring dengan munculnya pesaing UMKM genteng lainnya yang menggunakan teknologi produksi yang lebih canggih. Sentra kerajinan produksi genteng di Kota Cilegon dapat dilihat dari Tabel 1.

Tabel 1. Jumlah Usaha Mikro Genteng Tahun 2024 di Kota Cilegon

No	Kelurahan	Kecamatan	Jumlah Usaha Mikro Genteng
1	Cibeber	Cibeber	1
2	Ketileng	Cilegon	1
3	Karang Asem	Cibeber	3
4	Bendungan	Cilegon	4

(Sumber : Dinas Koperasi Usaha Mikro Kecil dan Menengah, 2024)

Berdasarkan Tabel 1 dapat diketahui bahwa usaha mikro genteng di Kota Cilegon sebanyak 9 yang masing-masing berada di dua kecamatan dan empat kelurahan. Hal ini menunjukkan bahwa persaingan UMKM genteng di Kecamatan Cilegon lebih tinggi dibandingkan dengan Kecamatan Cibeber, terutama di Kelurahan Bendungan yang memiliki jumlah usaha mikro genteng tertinggi sebanyak 4. Perbedaan jumlah usaha tersebut dapat mencerminkan persaingan pasar yang ketat dan tingkat permintaan yang berbeda di setiap wilayah. Hal tersebut mendorong UMKM genteng di Kota Cilegon untuk terus meningkatkan efisiensi dan kualitas produk agar tetap bisa bersaing dalam pasar yang semakin kompetitif. Kualitas produk yang baik bisa dicapai dengan menerapkan standar produksi yang ketat. Oleh sebab itu, UMKM genteng di Kota Cilegon perlu untuk

melakukan strategi pemasaran yang tepat dan mengembangkan kemampuan teknis guna menghasilkan kualitas genteng yang memenuhi harapan bagi konsumen.

Kualitas adalah representasi dari suatu produk atau layanan yang menunjukkan sejauh mana ia dapat memenuhi standar, keinginan, dan harapan konsumen dengan efektif. Kualitas suatu produk sangat penting karena mempengaruhi kepuasan konsumen dan produsen. Produsen memberikan kualitas yang terjamin kepada konsumen maka hal tersebut akan membangun kepercayaan dan memperkuat relasi bisnis. Oleh karena itu, mempertahankan standar yang tinggi dalam kualitas adalah salah satu hal yang penting, dengan memperhatikan keinginan konsumen dan kepuasan mereka, yang merupakan hal yang krusial dalam peningkatan mutu produk atau layanan yang dihasilkan (Ramayanti *et al.*, 2019). Kecocokan penggunaan adalah apabila tercapai ketika produk tersebut memiliki ketahanan yang tinggi dalam penggunaannya, mampu meningkatkan prestise atau status sosial penggunanya, memiliki ketahanan terhadap kerusakan, didukung oleh jaminan kualitas (*quality assurance*), dan etis saat digunakan. Kualitas produk ditentukan oleh kondisi fisiknya, kegunaan, serta kemampuannya untuk memuaskan keinginan dan keperluan pelanggan. Selain itu, faktor kualitas ini juga berperan penting dalam mempengaruhi pilihan konsumen ketika memutuskan untuk membeli suatu produk atau jasa (Tannady dan Chandra, 2017).

AR Genteng KTL adalah perusahaan yang beroperasi di sektor industri kecil dan menengah, spesifik dalam bidang produksi bahan bangunan. Perusahaan ini menggunakan tanah liat sebagai bahan baku pokok untuk memproduksi genteng. Sebagai elemen penutup atap rumah, genteng berfungsi melindungi rumah dari panasnya sinar matahari dan guyuran hujan. Selain itu, dari perspektif estetika, genteng juga berkontribusi dalam meningkatkan keindahan visual dari sebuah rumah. Usaha genteng ini didirikan sejak tahun 2006 dan sudah berjalan selama belasan tahun lamanya. UMKM AR Genteng KTL berlokasi di Jalan Pagebangan, Kel. Ketileng, Kec. Cilegon, Banten 42416. UMKM ini memproduksi genteng 1000 hingga 3000 unit setiap minggunya. Setiap minggu, dalam proses produksi, ada produk yang tidak memenuhi standar kualitas yang ditetapkan. Jumlah produk cacat (*defect*) yang dihasilkan oleh produk genteng sebesar 10 hingga 20 unit setiap

minggu. Kondisi di mana produk-produk yang tidak sesuai standar harus diproduksi ulang sehingga menimbulkan kerugian dalam hal waktu dan biaya. Rata-rata kerugian biaya kegagalan produk dari setiap produksi mencapai Rp9.100 dan keuntungan yang didapatkan sebesar Rp1.598.800 per produksi yang menunjukkan adanya masalah kualitas yang cukup signifikan pada sektor UMKM genteng. Oleh karena itu, penting untuk meneliti penyebab ketidaksesuaian produk dengan standar yang ditetapkan agar dapat menekan angka cacat produksi yang sering terjadi. Untuk memastikan standar kualitas terjaga, UMKM AR Genteng KTL harus mengaktifkan sistem pengendalian kualitas baik sebelum maupun selama kegiatan produksi berlangsung.

Pengendalian kualitas untuk memastikan produk dapat memenuhi ekspektasi dan kepuasan pelanggan, diperlukan strategi kualitas yang terstruktur, termasuk penggunaan alat yang tepat, pemeriksaan berkala, dan perbaikan yang dilakukan sesuai kebutuhan. Selain itu, pengendalian kualitas yang baik juga membantu mengoptimalkan proses produksi dan meminimalkan biaya akibat cacat produk. Untuk mengatasi permasalahan kualitas yang muncul dalam proses produksi genteng meliputi cacat fisik pada produk. Meskipun UMKM AR Genteng KTL telah melakukan berbagai upaya perbaikan, masalah kualitas masih belum terselesaikan sepenuhnya dan tingkat kecacatan produk genteng masih tetap tinggi.

Permasalahan kualitas produk genteng memerlukan upaya untuk mencapai tujuan tersebut dengan mengimplementasikan strategi perbaikan proses produksi genteng dengan menggunakan metode *Six Sigma* dan *Design of Experiment* (DOE) pendekatan metode Taguchi di UMKM AR Genteng KTL. *Six Sigma* pendekatan yang menilai seberapa dekat suatu proses dengan tingkat kesempurnaan dengan memanfaatkan standar deviasi. Standar deviasi merupakan indikator yang menunjukkan seberapa jauh nilai-nilai dalam kumpulan data tersebar dari nilai rata-ratanya. *Six Sigma* merupakan suatu proses pengukuran dengan menggunakan *tools – tools* statistik dan untuk mengurangi cacat (*defect*) tidak lebih dari 3,4 *Defect Per Million Opportunities* (DPMO). Nilai *sigma* yang dihasilkan guna untuk menunjukkan seberapa sering cacat pada produk itu mungkin terjadi (Erlangga dan Wahyuni, 2023). *Design of Experiment* (DoE) adalah merupakan pendekatan

statistikal yang diaplikasikan dalam penelitian eksperimental untuk mengoptimalkan kualitas suatu produk dan proses. Melalui DoE, kita dapat mengidentifikasi dan memahami hubungan antara faktor-faktor penyebab dengan hasil yang diperoleh (variabel respon). Metode Taguchi adalah salah satu metode yang tergolong kedalam *Design of Experiment* (DoE) yang digunakan untuk memperbaiki proses produksi dan mengurangi variabilitas yang tidak diinginkan. Metode ini ini memadukan hasil percobaan dengan memilih kombinasi faktor dan tingkatan yang paling optimal, yang pada akhirnya dapat menghemat biaya dan waktu. Hasil metode ini adalah susunan faktor dan level yang menunjukkan kekokohan (*robust*) yang impresif dalam menanggulangi gangguan eksternal (*noise*) (Maulidia, Adriantantri dan Budiharti, 2020).

Penelitian ini mengacu pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Ramayanti (2019) mengeksplorasi strategi untuk peningkatan kualitas bata merah menggunakan pendekatan six sigma dan teknik Taguchi di pabrik pembuatan bata di Desa Pancur. Penelitian ini bertujuan untuk identifikasi dan melakukan upaya dalam meningkatkan kualitas pada proses pembuatan bata merah. Hasil pengolahan data yang diperoleh yaitu analisis *six sigma* dengan tahapan DMAIC teridentifikasi 4 *Critical to Quality* (CTQ), yang meliputi keretakan, kerusakan, kegompalan, dan kekosongan pada bata. Dari setiap CTQ ini, dihitung nilai DPMO dan *level sigma* yang berkaitan. Hasil eksperimen yang dilakukan menetapkan empat faktor penentu, yaitu faktor A (komposisi tanah liat), faktor B (durasi pengeringan), faktor C (durasi penjemuran), dan Faktor D (durasi pembakaran), dengan tiap faktor memiliki tiga tingkatan. Dari eksperimen ini, tercapai peningkatan signifikan pada kekuatan tekan bata, dengan nilai rata-rata meningkat menjadi 89,1 dari kondisi sebelumnya yang hanya 63,5.

Penelitian lain yang dilakukan oleh Trenggonowati (2020) tentang pengendalian kualitas *Continuous Tandem Cold Mill* (CTCM) dengan menerapkan metode Taguchi yang beroperasi di divisi *Cold Rolling Mill* di PT. XYZ. Pada penelitian ini berfokus untuk meminimumkan produk *defect* pada perusahaan tersebut agar dapat meningkatkan profil perusahaan. Dari data yang diolah, ditemukan bahwa terdapat kerusakan pada produk Cold Rolled Coil (CRC) yang

diproduksi oleh CTCM, dengan jumlah kerusakan sekitar 29.918 ton, yang merupakan $\pm 10\%$ dari jumlah keseluruhan produksi, yaitu 282.863 ton. Penelitian ini dilakukan melalui penerapan diagram Pareto, grafik kontrol p, diagram *fishbone*, pendekatan Taguchi, serta analisis varians atau ANOVA untuk mengevaluasi data yang terkumpul. Temuan dari penelitian menunjukkan keberadaan kecacatan dominan pada F70A (*serrated edge*), dan untuk mengurangi kecacatan ini, *setting level* yang optimal tercapai dengan temperatur *coil* di 890°C dan *break cut area* sebesar $\geq 40\%$ dari luas area pemotongan atau penggunaan *coil*.

Penelitian lainnya yang berkaitan dengan permasalahan ini telah dilakukan oleh Yusuf M dan Purwanti A (2022) mengenai peningkatan kualitas produk genteng menggunakan metode Taguchi. *Setting level* optimal untuk meminimasi kecacatan produk dalam perbandingan komposisinya dan diperoleh sampel sebelum dan sesudah eksperimen terjadi pengurangan rata-rata cacat dari 35% menjadi 22%. Analisis data menunjukkan bahwa elemen-elemen seperti proporsi tanah liat, penggunaan bahan daur ulang, ukuran partikel, kandungan *agalmatolite*, jumlah bahan pengisi, dan konsentrasi *felspar*, semuanya memainkan peran penting dalam desain kualitas genteng. *Setting level* yang optimal berhasil mengurangi kecacatan rata-rata produk dari 35% menjadi 22% berdasarkan perubahan komposisi bahan dan sampel yang diuji sebelum serta setelah percobaan.

Penelitian kali ini akan dilakukan peningkatan kualitas terhadap produk genteng di UMKM AR Genteng KTL dengan menggunakan metode *Six Sigma* dan Taguchi. Metode *Six Sigma* berperan untuk mengidentifikasi produk cacat genteng sesuai dengan kriteria cacat, mengetahui jenis cacat yang dihasilkan dari produk cacat, menggambarkan peta kendali dan nilai DPMO (*Defect per Million Opportunities*) serta level *sigma*, mengetahui penyebab akar kesalahan dari proses produksi genteng menggunakan diagram *fishbone* dan penilaian RPN (*Risk Priority Number*) dengan FMEA (*Failure Mode dan Effect Analysis*), dan memberikan usulan perbaikan menggunakan *action planning* FMEA dan metode Taguchi. Metode Taguchi digunakan untuk menentukan kondisi ideal sebuah proses produksi dengan tingkat cacat (*defect*) seminimal mungkin.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun perumusan masalah dalam penelitian ini yang diperoleh pada UMKM AR Genteng KTL sebagai berikut:

1. Apa saja jenis cacat dan cacat yang paling dominan terjadi pada produk genteng yang diproduksi oleh UMKM AR Genteng KTL?
2. Berapa nilai *Defect Per Million Opportunities* (DPMO) dan nilai *sigma* pada produk genteng yang memiliki cacat paling dominan?
3. Apa saja faktor penyebab utama yang mempengaruhi kualitas produk genteng dan apa saja prioritas risiko kegagalan yang mungkin terjadi pada proses produksi genteng?
4. Apa saja faktor dan level yang berpengaruh terhadap produk cacat genteng dan bagaimana hasil kombinasi faktor dan level optimum yang diterapkan untuk mengurangi cacat produk?
5. Apakah hasil eksperimen antara kombinasi dan level faktor yang optimal dapat meningkatkan kualitas produk genteng?
6. Bagaimana perbandingan kinerja usaha industri genteng sebelum dan sesudah perbaikan pada proses produksi genteng di UMKM AR Genteng KTL?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian yang dilakukan di UMKM AR Genteng KTL sebagai berikut:

1. Menentukan jenis-jenis cacat dan cacat yang paling dominan terjadi pada produk genteng yang diproduksi oleh UMKM AR Genteng KTL.
2. Menghitung nilai *Defect Per Million Opportunities* (DPMO) dan nilai *sigma* pada produk genteng yang memiliki cacat paling dominan.
3. Menentukan faktor penyebab utama yang mempengaruhi kualitas produk genteng dan menentukan prioritas risiko kegagalan yang mungkin terjadi pada proses produksi genteng.
4. Menentukan faktor dan level yang berpengaruh terhadap produk cacat genteng dan menentukan hasil kombinasi faktor dan level optimum yang diterapkan untuk mengurangi cacat produk.

5. Menentukan hasil eksperimen antara kombinasi dengan level faktor yang optimal dalam meningkatkan kualitas produk genteng.
6. Menentukan perbandingan nilai rata-rata persentase cacat produk, *Defect Per Million Opportunities* (DPMO), nilai *sigma*, dan biaya kegagalan produk setiap produksi saat sebelum dan sesudah perbaikan pada proses produksi genteng di UMKM AR Genteng KTL.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini yaitu faktor yang mempengaruhi kualitas produk genteng pada UMKM AR Genteng KTL yang akan diteliti yakni empat faktor dan tiga level, yaitu faktor A (tanah liat) dengan level (0,5 kg, 1 kg, 1,5kg), faktor B (lama pengeringan) dengan level (6 jam, 8 jam 10 jam), faktor C (lama penjemuran) dengan level (24 jam, 48 jam, 72 jam), dan faktor D (lama pembakaran) dengan level (8 jam, 9 jam, 10 jam).

1.5 Sistematika Penulisan

Dalam memberikan kemudahan dalam mengetahui pembahasan yang terdapat pada penelitian kali ini, maka diperlukan suatu sistematika penulisan yang tepat, dimana merupakan kerangka dan pedoman penulisan laporan. Adapun sistematika penulisan laporan ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab I pendahuluan berisikan latar belakang yang mendasari penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, sistematika penulisan, dan penelitian terdahulu yang telah dilakukan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab II tinjauan pustaka menjelaskan mengenai kajian dan teori-teori yang berkaitan dengan topik permasalahan pada penelitian kali ini. Kajian teori didapatkan dari referensi ilmiah, seperti buku, jurnal, artikel ilmiah, maupun penelitian-penelitian terdahulu.

BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab III akan dijabarkan terkait langkah-langkah sistematis yang dilakukan untuk memecahkan masalah agar penelitian terarah dengan

menggunakan *flowchart* beserta deskripsinya. Selain itu, terdapat juga rancangan penelitian, lokasi dan waktu penelitian, cara pengumpulan data, dan analisis yang digunakan.

BAB IV HASIL PENELITIAN

Pada bab ini berisi pengumpulan data dan pengolahan data. Data yang dikumpulkan berupa data primer dan data sekunder. Kemudian data tersebut diolah untuk mendapatkan hasil yang akan diteliti.

BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan menjelaskan mengenai hasil analisis dari data yang sudah diolah, sehingga sajian angka menjadi bermakna dan mempunyai arti. Kemudian membahas hasil yang telah didapatkan dengan cara membandingkan hasil penelitian yang didapatkan dengan hasil penelitian dari sumber lain yang diambil sebagai bahan referensi penelitian.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini berisikan kesimpulan dan saran dari hasil penelitian untuk evaluasi dan perbaikan kedepannya yang akan dilakukan. Saran dapat berisikan saran yang membangun bagi tempat yang berkaitan dengan penelitian.

1.6 Penelitian Terdahulu

Adapun beberapa penelitian terdahulu yang berkaitan dengan topik permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Penelitian Terdahulu

No	Nama Peneliti	Tahun	Judul	Metode	Hasil
1	Habib Fiki Wahyudi, Zeny Fatimah Hunusalela, dan Anggi Oktaviani	2020	Penerapan Six <i>Sigma</i> Dengan Menggunakan Pendekatan Taguchi Untuk Proses Produksi Elektroplating Produk Spring Tension 35068 Pada PT. Tetra Mitra Sinergis	Six <i>Sigma</i> dan Taguchi	Dari hasil penelitian, diperoleh angka <i>sigma</i> sebesar 3,37 yang menandakan bahwa perusahaan beroperasi dengan efektivitas yang memadai, meskipun ada beberapa aspek yang perlu diperbaiki yang menyebabkan terjadinya kecacatan pada produk. Melalui pendekatan Taguchi, diketahui bahwa faktor-faktor dan level optimal untuk produksi adalah faktor A pada level 3 dengan durasi pelapisan selama 4 menit, faktor B pada level 1 dengan temperatur reaksi sebesar 300°C, faktor C pada level 3 dengan tegangan listrik 6 volt, dan faktor D pada level 3 dengan konsentrasi larutan sebanyak 1,4%.
2	Janles	2022	Pengendalian Kualitas Pada Proses Produksi Cetak Dengan menggunakan Metode Taguchi di PT. Soen Permata	Taguchi	Dalam penelitian yang dilakukan, ditemukan bahwa <i>setting</i> level optimal untuk stasiun cetak melibatkan komposisi 35% sn (timah putih) dan 80% pb (timah hitam), dengan <i>temperature</i> berkisar antara 4000°C hingga 5000°C. Selain itu, mesin harus beroperasi selama 10 detik, dengan penuangan timah antara 120 ml hingga 150 ml, diikuti pendinginan selama 1 menit untuk mengurangi kecacatan pada cetakan akhir.
3	Dyah Lintang Trenggonowati, Maria Ulfah, Faula Arina, dan Alya Mustika Wardhani	2020	Pengendalian Kualitas <i>Contonuous Tdanem Cold Mill</i> (CTCM) Menggunakan Metode Taguchi Pada Divisi <i>Cold Rolling Mill</i> di PT. XYZ	<i>Statistical Quality Control</i> dan Taguchi	Dalam penelitian ini, fokusnya adalah pada isu kecacatan dalam produksi baja. Analisis kualitas untuk produk <i>Cold Rolled Coil</i> (CRC) dilakukan dengan memanfaatkan diagram Pareto, grafik kontrol p, diagram <i>fishbone</i> , metode Taguchi, dan ANOVA. Hasilnya menunjukkan bahwa kecacatan utama adalah F70A (<i>serrated edge</i>). Untuk mengatasi masalah ini, <i>setting</i> level yang optimal ditemukan dengan menetapkan temperatur coil pada 890°C dan <i>break cut</i> area harus memiliki minimal 40% dari total area pemotongan atau penggunaan <i>coil</i> .
4	Muhammad Yusuf, Ani Purwanti, Eka Sulistyaningsih, dan Sisilia Endah Lestari	2022	Analisis Peningkatan Kualitas Produk Genteng Dengan Metode Taguchi	Taguchi	Hasil penelitian menunjukkan bahwa beberapa elemen penting yang mempengaruhi kualitas produk genteng meliputi proporsi tanah liat, penggunaan bahan daur ulang, ukuran partikel, kandungan <i>agalmatolite</i> , jumlah bahan pengisi, dan konsentrasi <i>felspar</i> . <i>Setting</i> level yang optimal dalam proses produksi

No	Nama Peneliti	Tahun	Judul	Metode	Hasil
					genteng tercapai dengan bukti penurunan kecacatan rata-rata dari 35% menjadi 22%, berdasarkan perbandingan sampel pra dan pasca percobaan.
5	Gina Ramayanti, Lailatur Fitriyeni, dan Eka Indah Yulistiyari	2019	Usulan Peningkatan Kualitas Batu Merah Dengan Metode Six Sigma dan Taguchi	Six Sigma dan Taguchi	Dari studi yang dilakukan, 4 <i>Control to Quality</i> (CTQ) teridentifikasi adalah keretakan, kerusakan, kegompalan, dan pembakaran yang berlebihan pada bata (gosong). Evaluasi FPMO dan tingkat sigma menunjukkan angka 9687,5 yang setara dengan (3,83 sigma) untuk keretakan, 8862,5 atau (3,87 sigma) untuk kerusakan, 2950 atau 4,25 sigma untuk kegompalan, dan 2500 atau (4,30 sigma) untuk pembakaran yang berlebihan atau gosong. Eksperimen menemukan bahwa <i>setting</i> level yang optimal adalah perbandingan bahan baku tanah liat, pasir, dan air sebesar (70%;15%;15%), dengan proses penggilingan dilakukan tiga kali, penjemuran selama tujuh hari, dan penempatan bata di bagian depan saat pembakaran. Komposisi ini menghasilkan peningkatan kekuatan rata-rata menjadi 89,1 dibandingkan dengan keadaan sebelumnya yang memiliki kekuatan rata-rata 63,5.
6	Ndana Sabilah, Saufik Luthfianto, dan Zulfah	2022	Penerapan Metode Taguchi Pada Pemanfaatan Daun Cengkeh Menjadi Balsam	Taguchi	Hasil penelitian ini menunjukkan kombinasi 2 level dan 5 faktor. Penentuan <i>setting</i> Level <i>factor</i> , yaitu minyak cengkeh, <i>pappermint</i> , <i>vegetable glycerine</i> , vaselin album, dan <i>paraffin</i> . Penelitian ini berfokus pada komposisi bahan baku, organoleptis, homogenitas, dan nilai pH yang terkandung pada balsam. Uji pH menghasilkan nilai sebesar 4,9 dan 5 artinya balsam aman untuk diaplikasikan pada kulit manusia. Pembuatan balsam dengan eksperimen Taguchi terjadi peningkatan kualitas sebesar 0,475 atau 47,5%.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kualitas

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

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

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

2.2 Pengendalian Kualitas

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

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

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

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

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

2.3 Six Sigma

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

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

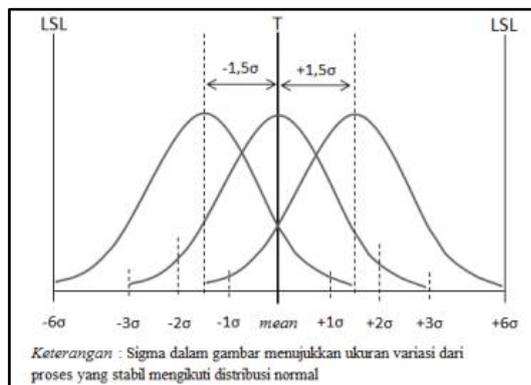
Six sigma diadopsi sebagai metode pengukuran yang memanfaatkan *Defect per Million Opportunities* (DPMO). DPMO adalah indikator yang efektif untuk menilai kualitas produk atau proses karena secara langsung berkaitan dengan cacat, biaya, dan waktu yang terbuang. DPMO bertujuan untuk memprediksi jumlah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

Tabel 3. Konversi Sigma

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

(Sumber : Gaspersz, 2002)

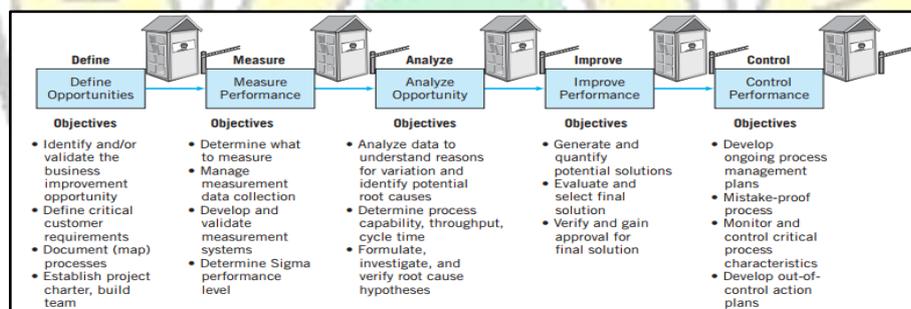
Rancangan pengendalian proses *six sigma* Motorola (*Motorola's Six Sigma process control*) memfasilitasi kemungkinan adanya deviasi pada nilai rata-rata (mean) untuk setiap elemen CTQ (*Critical to Quality*) dalam proses manufaktur hingga batas $\pm 1,5$ sigma dari target spesifikasi (T), yang berkontribusi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



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

2.3.1 Tahapan-Tahapan Six Sigma

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



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

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

2.3.1.1 Define

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

1. Project Charter

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

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

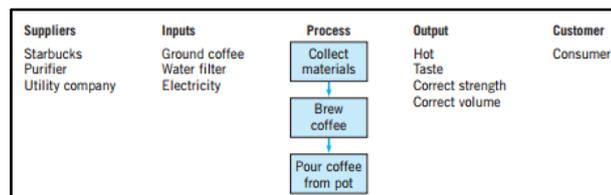
Gambar 3. Project Charter
(Sumber : Rohmadi dan Junaedi, 2023)

2. Diagram SIPOC

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

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

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



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

2.3.1.2 *Measure*

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

1. Peta Kendali p

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

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

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

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

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

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

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

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

Keterangan:

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

2. Defect per Million Opportunities (DPMO) dan Sigma

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

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

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

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

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

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

Keterangan:

DPU = *Defect per Unit*

DPO = *Defect per Opportunities*

DPMO = *Defect per Million Opportunities*

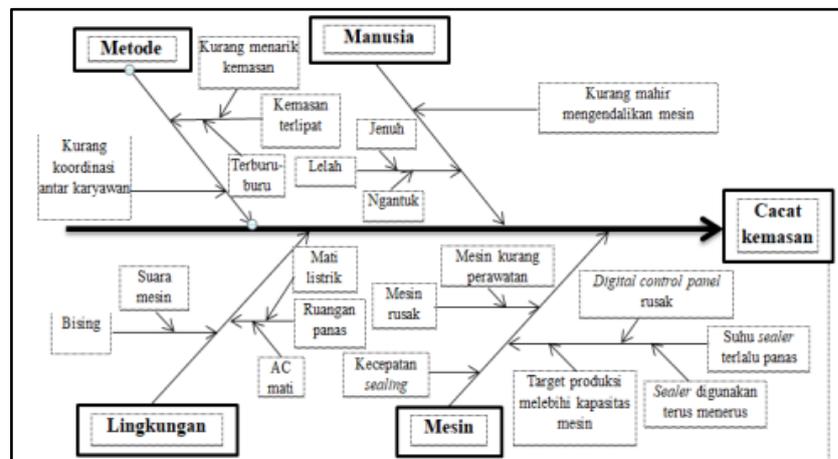
CTQ = *Critical to Quality*

2.3.1.3 Analyze

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

1. Diagram Tulang Ikan (*Fishbone Diagram*)

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



Gambar 5. Diagram Fishbone

(Sumber : Ahadya Silka Fajaranie dan Khairi, 2022)

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

2. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

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

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

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

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

- a) Tingkat keparahan (*Severity*)

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

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

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

(Sumber : McDermott, 2008)

b) Tingkat kejadian (*Occurrence*)

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

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

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

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

(Sumber : McDermott, 2008)

c) Tingkat deteksi (*Detection*)

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

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

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

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

(Sumber : McDermott, 2008)

d) *Risk Priority Number* (RPN)

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

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

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

2.3.1.4 *Improve*

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

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

2.3.1.5 Control

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

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

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

2.4 Design of Experiment (DoE)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

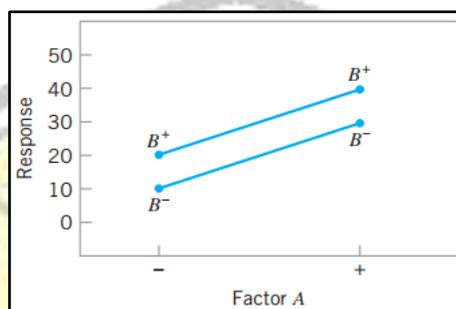
2.5 *Factorial Experiment*

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

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

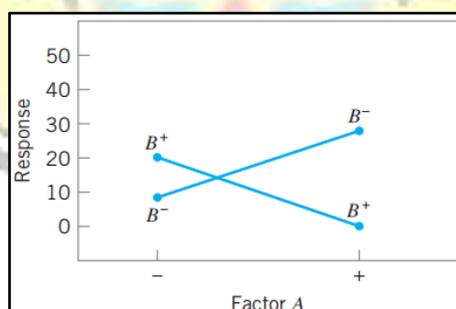
Eksperimen adalah sebuah penelitian ilmiah dimana peneliti memanipulasi dan mengendalikan satu atau lebih variabel bebas dan mengamati variabel-variabel terikat untuk melihat perubahan yang terjadi seiring dengan

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



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

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



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

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

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

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

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

Keterangan:

μ = rata-rata jumlah kuadrat

A = faktor A

B = faktor B

C = faktor C

ϵ = *error* (kesalahan)

2.6 Metode Taguchi

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

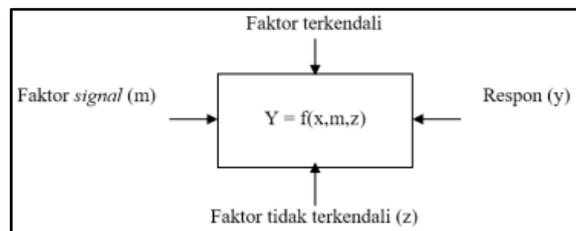
dengan mengurangi variabilitas yang tidak diinginkan dalam produksi. Keempat konsep Taguchi adalah sebagai berikut:

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

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

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

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



Gambar 8. Faktor Perancangan Kualitas

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

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

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

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

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

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

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

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

2.6.1 Tahap Perencanaan Eksperimen

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

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

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

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

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

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

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

Keterangan:

V_{fl} = derajat kebebasan faktor dan level

V_{OA} = derajat kebebasan *orthogonal array*

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

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

Keterangan:

L = rancangan bujursangkar latin

a = banyak baris/eksperimen

b = banyak level

c = banyak kolom/faktor

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

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

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

Eksperimen	$L_9(3^4)$			
	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	2
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

(Sumber : Irwan S, 2019)

2.6.2 Tahap Pelaksanaan Eksperimen

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

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

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

2.6.3 Tahap Analisa

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

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

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

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

Keterangan:

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

- a. Hitung rata-rata setiap faktor dan level, misal faktor $\overline{A1}$.

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

Keterangan:

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

A1 = nilai level ke 1 faktor A

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

b. Selisih

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

Keterangan:

Diff = selisih nilai maksimum dan minimum pada faktor A

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

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

e) Tabel 8.

Tabel 8. Analysis of Variance Faktorial 2 Faktor Dengan Interaksi

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

(Sumber : Montgomery D.C., 2012)

Berdasarkan

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

a. Jumlah kuadrat total (SS_{total})

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

Di mana:

N = jumlah percobaan

y = data yang diperoleh dari percobaan

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

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

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

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

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

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

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

Di mana:

A_i = level ke-i faktor A

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

SS_{mean} = jumlah rata-rata kuadrat

e. Jumlah kuadrat error (SS_{error})

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

f. Derajat kebebasan faktor (D_f)

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

g. Derajat kebebasan total ($D_f T$)

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

h. Rata-rata jumlah kuadrat (MS)

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

i. *Ratio* (F_{ratio})

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- a. Jumlah kuadrat *pooled e*

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

- b. Degree of freedom *pooled e*

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

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

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

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

a. *Smaller the Better*

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

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

b. *Larger the Better*

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

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

c. *Nominal the Best*

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

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

2.7 *Analysis of Variance* (ANOVA)

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

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

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

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

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

2. Menghitung deviasi dengan rumus berikut.

- Deviasi kuadrat dalam kelompok (DK_{tot})

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

- Deviasi kuadrat antar kelompok (DK_{ant})

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

- Deviasi kuadrat dalam kelompok (DK_{dal})

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

3. Menghitung rata-rata kuadrat dengan rumus berikut.

- Rata-rata kuadrat antar kelompok

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

- Rata-rata kuadrat dalam kelompok

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

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

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

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

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

5. Membuat tabel ringkasan ANOVA.

6. Menguji hipotesis dengan kriteria keputusan berikut.

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

2.8 Interval Kepercayaan (*Confidence Interval*)

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

1. Interval kepercayaan untuk level faktor

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

Keterangan:

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

α = risiko, level kepercayaan = $1 - \text{risiko}$

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

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

Ve = variansi *pooled error*

n = jumlah pengamatan yang digunakan untuk menghitung rata-rata

2. Interval kepercayaan untuk perkiraan rata-rata

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

Di mana n_{eff} adalah jumlah pengamatan efektif,

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

(51)

3. Interval kepercayaan untuk eksperimen konfirmasi

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

Keterangan:

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

2.9 Eksperimen Konfirmasi

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

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

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



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian mengenai proses pembuatan genteng tanah liat pada UMKM AR Genteng KTL ini didasarkan oleh adanya cacat produk yang terjadi pada produk genteng tersebut. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan metode *Six Sigma* dan pendekatan Taguchi. Penelitian ini menggunakan jenis penelitian *cross-sectional* analitik, yaitu penelitian mengenai sebab-sebab dari efek yang terjadi melalui pendekatan observasi dan pengumpulan data untuk dilakukan perhitungan dalam pengolahan data tersebut. Data yang digunakan berupa data kualitatif dan data kuantitatif. Data kualitatif yaitu data yang dikumpulkan berupa informasi secara umum mengenai UMKM tersebut melalui wawancara dengan pemilik usaha dan *brainstorming*. Data kuantitatif biasanya digunakan untuk menganalisis data dalam bentuk angka (*numerik*), seperti data jumlah produksi genteng, data jumlah cacat produk genteng, dan alur proses produksi.

Pada tahapan pengolahan data, penelitian ini menggunakan metode *Six Sigma* dengan tahapan DMAIC (*define, measure, analyze, improve, dan control*). Pada tahap *define* dilakukan pembuatan *project charter* yang berisi mengenai definisi masalah dan tujuan penelitian, diagram SIPOC mengenai alur proses produk genteng, dan penentuan *Critical to Quality* (CTQ) berdasarkan produk yang *defect*. Pada tahap *measure* dilakukan pembuatan peta kendali p dan perhitungan tingkat kemampuan *sigma* dan *Defect per Million Opportunities* (DPMO). Pada tahap *analyze* dilakukan pembuatan diagram sebab akibat (*fishbone diagram*) untuk mengetahui akar penyebab masalah yang terjadi dan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk mengidentifikasi dan menghilangkan potensial kegagalan sebelum diterima oleh konsumen. Pada tahap *improve* dilakukan dengan menggunakan *action planning Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), serta metode Taguchi untuk merancang eksperimen dengan menentukan *setting level*

faktor optimum dalam proses produksi genteng. Pada tahap *control* dilakukan implementasi hasil dari *setting* level faktor optimum untuk proses produksi genteng pada UMKM AR Genteng KTL untuk membandingkan hasil rata-rata persentase cacat produk, nilai DPMO dan *sigma*, serta biaya kegagalan produk genteng.

3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada UMKM AR Genteng KTL yang bergerak di bidang usaha bahan bangunan produk genteng. UMKM ini terletak di Jalan Pagebangan, Kel. Ketileng, Kec. Cilegon, Banten 42416. Penelitian ini dilakukan selama 2 bulan dari periode bulan Januari 2024 hingga Februari 2024.

3.3 Cara Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini bertujuan agar peneliti dapat menyelesaikan permasalahan yang terjadi dan sebagai data input dalam pengolahan data. Adapun cara pengumpulan data yang dilakukan pada penelitian kali ini sebagai berikut:

1. Data Primer

Data primer merupakan data yang didapatkan secara langsung, diambil menggunakan teknik observasi atau pengamatan, dan dijadikan sebagai data penelitian. Data primer pada penelitian ini yang diperoleh yaitu *Critical to Quality* (CTQ) yang didapatkan dari hasil analisa visual produk genteng cacat. Kemudian melakukan wawancara dan *brainstorming* untuk mengetahui sebab akibat cacat dari produk genteng dan penilaian *Risk Priority Number* (RPN) melalui pengisian *form* penilaian.

2. Data sekunder

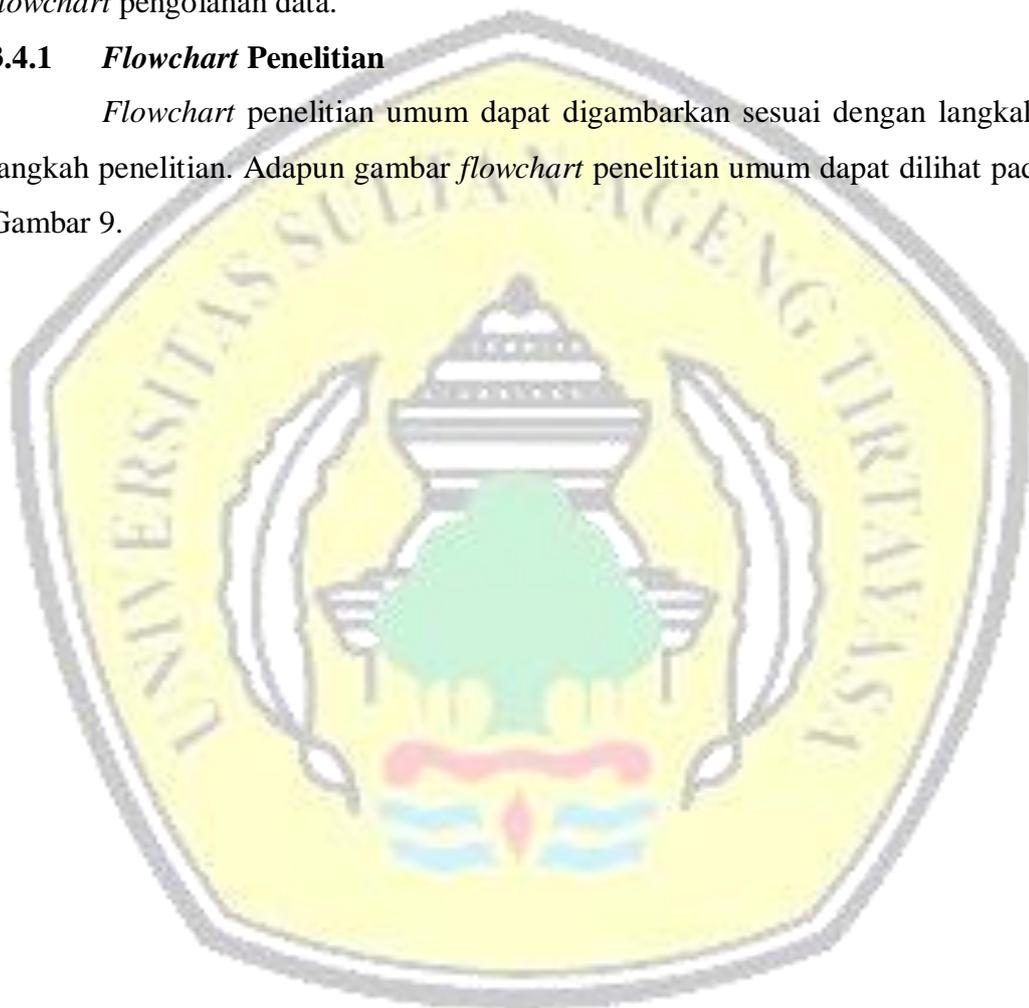
Data sekunder yaitu data yang digunakan dan diperoleh secara tidak langsung dari sumbernya, data ini dapat diambil dari literatur-literatur, publikasi, serta sumber-sumber lain yang berkaitan dengan permasalahan yang di bahas. Data yang dikumpulkan merupakan data historis UMKM AR Genteng KTL. Data ini berupa data jumlah produksi, data jenis dan jumlah cacat produk per minggu pada periode bulan Januari 2024 hingga Februari 2024, serta alat dan bahan yang digunakan.

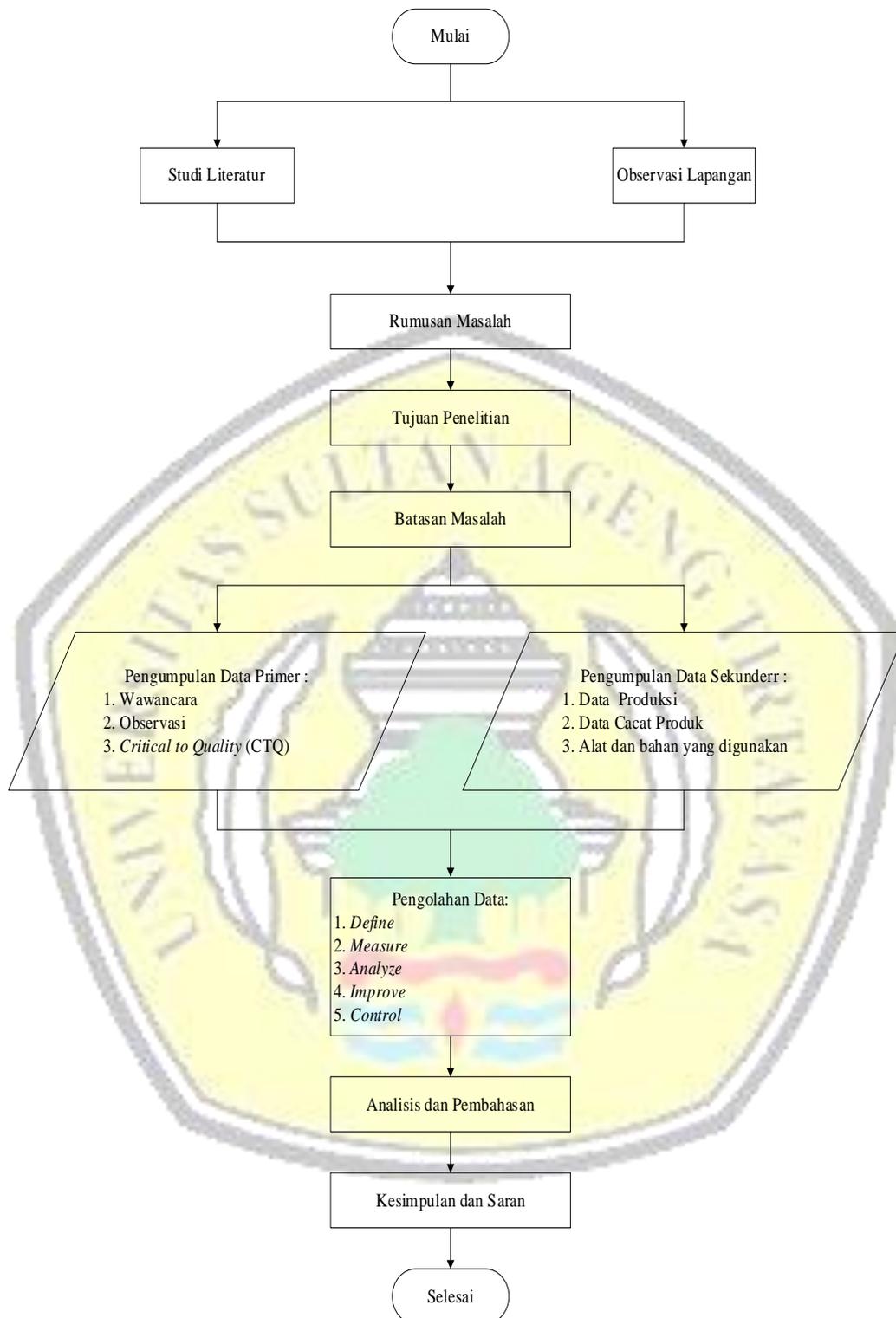
3.4 Alur Pemecahan Masalah

Alur pemecahan masalah dibuat dalam bentuk *flowchart* bertujuan agar penelitian berjalan dengan baik dan terarah. *flowchart* penelitian merupakan kerangka penelitian yang berisikan langkah-langkah penelitian mulai dari awal sampai dengan akhir penelitian. Pada alur pemecahan masalah ini akan dijelaskan langkah-langkah secara sistematis dengan *flowchart* penelitian umum dan *flowchart* pengolahan data.

3.4.1 *Flowchart* Penelitian

Flowchart penelitian umum dapat digambarkan sesuai dengan langkah-langkah penelitian. Adapun gambar *flowchart* penelitian umum dapat dilihat pada Gambar 9.





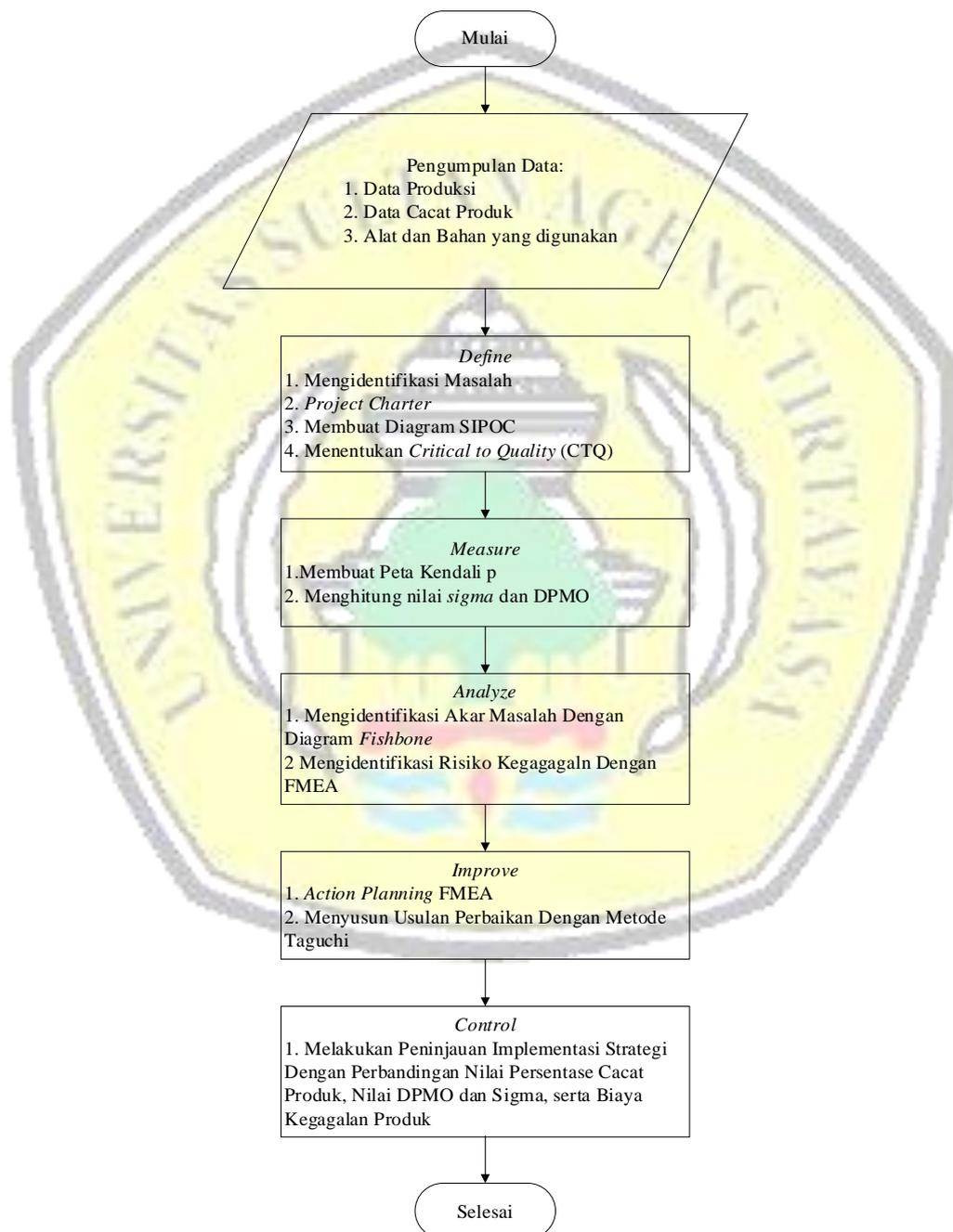
Gambar 9. Flowchart Penelitian Umum

3.4.2 Flowchart Pengolahan Data

Adapun *flowchart* pengolahan data yang digunakan dalam penelitian kali ini terdapat pengolahan data *Six Sigma* dan pengolahan data metode Taguchi.

3.4.2.1 Flowchart Pengolahan Data *Six Sigma*

Berikut ini merupakan *flowchart* pengolahan data *Six Sigma* yang digunakan dalam penelitian kali ini dapat dilihat pada Gambar 10.

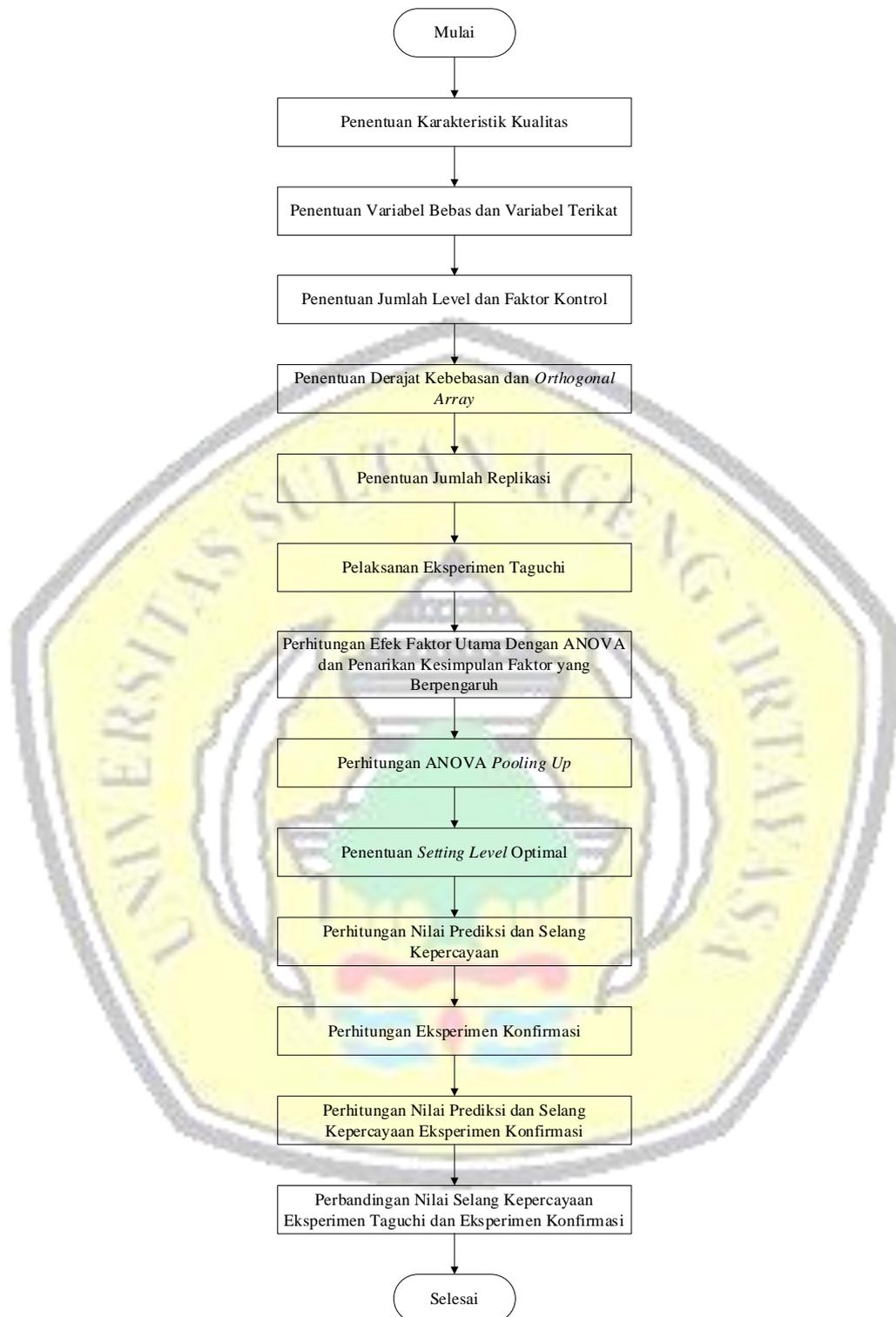


Gambar 10. Flowchart Pengolahan Data *Six Sigma*

3.4.2.2 *Flowchart* Pengolahan Data Taguchi

Berikut ini merupakan *flowchart* pengolahan data Taguchi yang digunakan dalam penelitian kali ini dapat dilihat pada Gambar 11.





Gambar 11. Flowchart Pengolahan Data Taguchi

3.5 Deskripsi Pemecahan Masalah

Berikut ini merupakan deskripsi *flowchart* penelitian umum dan *flowchart* pengolahan data dari penelitian di UMKM AR Genteng KTL dengan menggunakan metode *Six Sigma* dan Taguchi.

3.5.1 Deskripsi *Flowchart* Penelitian Umum

Berikut ini merupakan deskripsi *flowchart* penelitian umum pada penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

1. Mulai

Sebelum melakukan penelitian langkah yang pertama yaitu mulai, dimana langkah ini merupakan langkah awal untuk melakukan penelitian.

2. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan sebelum penelitian dimulai yaitu dengan cara mencaai sumber pustaka dari berbagai sumber, seperti jurnal nasional atau internasional, buku-buku elektronik, dan lain-lainnya. Pada tahap ini mencari teori yang berkaitan dengan permasalahan.

3. Observasi Lapangan

Pada tahap ini merupakan tahapan observasi atau pengamatan yang dilakukan dengan secara langsung terjun ke lapangan untuk memperoleh data yang digunakan untuk penelitian.

4. Rumusan Masalah

Pada langkah ini dilakukan perumusan masalah yang dihadapi UMKM AR Genteng KTL, rumusan masalah ini dituliskan dalam bentuk pertanyaan dan sesuai dengan topik atau penelitian yang sedang dibahas.

5. Tujuan Penelitian

Pada tahap ini merupakan poin atau hal untuk menjawab perumusan masalah sekaligus harus tercapai setelah melakukan penelitian.

6. Batasan Masalah

Tahapan ini digunakan untuk membatasi permasalahan yang dibahas dan mendekatkan pada pokok masalah yang akan dibahas. Dengan demikian peneliti dapat lebih fokus dalam melakukan penelitiannya. Hal ini dilakukan agar tidak terjadi kekeliruan dalam menginterpretasikan hasil penelitian.

7. Pengumpulan Data

Tahap ini dilakukan untuk mengumpulkan data-data yang diperlukan untuk pengolahan data selanjutnya. Pengumpulan data pada penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data yang dikumpulkan untuk mendapatkan data-data yang relevan dalam memperkuat penelitian dengan cara wawancara dan observasi (Hermawan A., Yusran H. L., 2017). Data sekunder merupakan data yang didapatkan dengan mencatat data tersebut dari dokumen atau arsip dengan pekerja di UMKM. Pada penelitian ini data primer didapatkan dari wawancara dan observasi untuk mengetahui karakteristik kualitas pada produk genteng serta data sekunder berupa data produksi genteng, data cacat produk, serta alat dan bahan yang digunakan.

8. Pengolahan Data

Pada tahap ini dilakukan pengolahan data berdasarkan data yang telah dikumpulkan pada tahapan sebelumnya. Tahapan pengolahan data terdiri dari siklus metode *six sigma*, yaitu tahap *define*, *measure*, *analyze*, *improve*, hingga tahap *control* untuk mengimplementasikan hasil usulan dari tahap *improve*.

9. Analisis dan Pembahasan

Setelah melakukan proses pengumpulan dan pengolahan data, pada tahap ini dilakukan analisa dari hasil pengumpulan dan pengolahan data yang telah dilakukan, yang menggambarkan bagaimana *output* yang telah diteliti.

10. Kesimpulan dan Saran

Pada akhir penelitian selalu ada kesimpulan dan saran, kedua hal tersebut dilakukan setelah melakukan analisa, kesimpulan dibuat secara umum berdasarkan batas-batas penelitian yang ada dan sesuai dengan hipotesis yang diajukan, dan saran dilakukan untuk penelitian selanjutnya untuk dapat memperbaiki kekurangan yang ada.

11. Selesai

Langkah terakhir pada penelitian ini yaitu selesai, dimana penelitian telah selesai dilakukan.

3.5.2 Deskripsi *Flowchart* Pengolahan Data

Berikut ini merupakan deskripsi *flowchart* pengolahan data pada penelitian kali ini pengolahan data *Six Sigma* dan pengolahan data Taguchi adalah sebagai berikut:

3.5.2.1 Deskripsi *Flowchart* Pengolahan Data *Six Sigma*

Berikut ini merupakan deskripsi *flowchart* pengolahan data *Six Sigma* pada penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

1. Mulai

Sebelum melakukan penelitian langkah yang pertama yaitu mulai, dimana langkah ini merupakan langkah awal untuk melakukan penelitian.

2. Pengumpulan Data

Pada tahapan ini peneliti mengumpulkan data yang akan digunakan untuk tahapan selanjutnya. Pengumpulan data terdiri dari data produksi genteng, dan data cacat produk genteng, serta alat dan bahan yang digunakan.

3. *Define*

Tahap ini peneliti melakukan identifikasi masalah yang ada dalam proses produksi, membuat diagram SIPOC (*Supplier, Input, Process, Output, Customer*) dan menentukan *Critical to Quality* (CTQ) pada produk genteng.

4. *Measure*

Selanjutnya tahap ini peneliti melakukan pengukuran terhadap produk yang mempunyai pengaruh pada perusahaan dengan membuat peta kendali p dan menghitung nilai *sigma* dan *Defect per Million Opportunities* (DPMO).

5. *Analyze*

Setelah melakukan pengukuran, tahap selanjutnya yaitu menentukan permasalahan pada produk cacat yang paling dominan, mengetahui hubungan sebab-akibat dengan menggunakan diagram *fishbone*, mengidentifikasi faktor-faktor penyebab produk cacat berdasarkan nilai tertinggi menggunakan FMEA.

6. *Improve*

Pada tahap ini peneliti melakukan usulan atau perbaikan peningkatan kualitas pada UMKM AR Genteng KTL dengan menggunakan *action planning* dan metode Taguchi.

7. *Control*

Selanjutnya pada tahap ini peneliti melakukan pendokumentasian mengenai data secara luas untuk mengimplementasikan hasil *improve* yang telah diperhitungkan dan melakukan perbandingan hasil sebelum dan sesudah perbaikan mengenai persentase cacat produk, nilai *Defect per Million Opportunities* (DPMO) dan nilai *sigma*, serta biaya kegagalan produk setiap kali produksi.

8. Selesai

Langkah terakhir pada penelitian ini yaitu selesai, dimana penelitian telah selesai dilakukan.

3.5.2.2 Deskripsi *Flowchart* Pengolahan Data Taguchi

Berikut ini merupakan deskripsi *flowchart* pengolahan data Taguchi pada penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

1. Mulai

Sebelum melakukan penelitian langkah yang pertama yaitu mulai, dimana langkah ini merupakan langkah awal untuk melakukan penelitian.

2. Penentuan Karakteristik Kualitas

Pada tahap ini menentukan karakteristik kualitas yang diteliti termasuk ke dalam klasifikasi *smaller the better*, *nominal the best*, dan *larger the better*.

3. Penentuan Variabel Bebas dan Variabel Terikat

Pada tahap ini peneliti menentukan variabel bebas dan variabel terikat yang akan menjadi penentuan pada level dan faktor terkontrol yang diujikan sebagai eksperimen.

4. Penentuan Jumlah Level dan Faktor Kontrol

Kemudian peneliti menentukan jumlah level dan faktor kontrol untuk eksperimen dilakukan dengan mempertimbangkan hasil perencanaan eksperimen.

5. Penentuan Derajat Kebebasan dan *Orthogonal Array*

Pada tahap ini peneliti melakukan pemilihan *orthogonal array* yang sesuai diperlukan nilai *degree of freedom* dari faktor-faktor yang akan digunakan dalam eksperimen.

6. Penentuan Jumlah Replikasi

Dalam tahap ini, peneliti melakukan penentuan jumlah replikasi dari setiap eksperimen dengan kondisi yang sama untuk memperoleh ketelitian yang lebih tinggi.

7. Pelaksanaan Eksperimen Taguchi

Langkah selanjutnya yaitu melaksanakan eksperimen Taguchi terhadap produk genteng.

8. Perhitungan Efek Faktor Utama Dengan ANOVA dan Penarikan Kesimpulan Faktor yang Berpengaruh

Kemudian melakukan perhitungan efek faktor utama dengan *Analysis of Variance* (ANOVA) untuk mengetahui nilai-nilai hasil faktor tersebut dan menarik kesimpulan berdasarkan hipotesis untuk mengetahui level faktor yang berpengaruh signifikan.

9. Perhitungan ANOVA *Pooling Up*

Setelah mengetahui hasil ANOVA dari efek faktor utama yang berpengaruh kemudian melakukan perhitungan ANOVA terhadap nilai SNR untuk *pooling up* guna mengestimasi variansi *error*.

10. Penentuan *Setting Level* Optimal

Pada tahap ini menentukan hasil *setting level* optimal berdasarkan hasil perhitungan ANOVA nilai rata-rata dan nilai SNR.

11. Perhitungan Nilai Prediksi dan Selang Kepercayaan Eksperimen Taguchi

Selanjutnya melakukan perhitungan nilai prediksi dan selang kepercayaan pada kondisi optimal untuk mengetahui apakah eksperimen Taguchi sudah memenuhi syarat atau tidak.

12. Perhitungan Eksperimen Konfirmasi

Pada tahap ini percobaan dilakukan dengan mengambil beberapa sampel berdasarkan level faktor optimal untuk memeriksa kesimpulan dari eksperimen Taguchi dengan eksperimen konfirmasi.

13. Perhitungan Nilai Prediksi dan Selang Kepercayaan Eksperimen Konfirmasi

Selanjutnya melakukan perhitungan nilai prediksi dan selang kepercayaan pada kondisi eksperimen konfirmasi untuk mengetahui apakah eksperimen Taguchi sudah memenuhi syarat atau tidak.

14. Perbandingan Nilai Selang Kepercayaan Eksperimen Taguchi dan Eksperimen Konfirmasi

Selanjutnya membandingkan nilai selang kepercayaan berdasarkan hasil optimal Taguchi dan konfirmasi apakah berada di interval atau tidak dengan membuat diagram kartesius pada sumbu X.

15. Selesai

Langkah terakhir pada penelitian ini yaitu selesai, dimana penelitian telah selesai dilakukan.

3.6 Analisis Data

Analisis data merupakan suatu proses yang merinci untuk mengubah hasil dari pengolahan data menjadi sebuah informasi agar lebih mudah dimengerti dan berguna untuk solusi permasalahan yang terdapat dalam penelitian. Analisa data dilakukan dengan menggunakan metode *Six Sigma* dan Taguchi pendekatan *Design of Experiment* (DoE) dan pengolahan datanya menggunakan *software* Microsoft Excel dan Minitab. Tahapan pertama untuk menganalisis data yang dilakukan adalah menganalisis terkait dengan identifikasi produk sesuai dengan hasil wawancara dan data-data perusahaan, kemudian membuat aliran proses produksi yang diteliti, sehingga diketahui bagaimana aliran proses produksi, spesifikasi atau karakteristik cacat apa saja yang terjadi, serta data jumlah produksi dan data jumlah cacat yang ada pada tempat penelitian. Setelah melakukan pengumpulan data tersebut, tahap selanjutnya yaitu menentukan *Critical to Quality* (CTQ) pada produk cacat. Selanjutnya mengukur tingkat cacat dengan menghitung nilai DPMO (*Defect per Million Opportunities*), nilai *sigma*, dan *control chart*. Setelah itu, menganalisis permasalahan produk cacat yang paling dominan pada produk genteng dengan visualisasi diagram pareto. Selanjutnya menganalisis penyebab dan akibat produk cacat tersebut terjadi dengan menggunakan diagram *fishbone*.

Setelah mengetahui penyebab akibat produk cacat, selanjutnya mengidentifikasi faktor-faktor penyebab produk cacat berdasarkan nilai potensi kegagalan yang tertinggi menggunakan *ranking* FMEA. Setelah itu, memberikan usulan perbaikan menggunakan *action planning* dan menentukan faktor-faktor yang berpengaruh, serta menentukan variabel tak bebas untuk dijadikan sebagai bahan eksperimen. Selanjutnya menentukan jumlah level dan faktor kontrol sebagai pembanding hasil perencanaan eksperimen. Setelah itu, melakukan pemilihan matriks diagonal (*Orthogonal Array*). Selanjutnya melakukan eksperimen metode Taguchi. Setelah itu melakukan perhitungan efek faktor utama dengan *Analysis of Variance* (ANOVA) dari masing-masing faktor yang berpengaruh. Langkah terakhir menganalisa kembali hasil yang telah didapatkan setelah melewati eksperimen Taguchi apakah terdapat peningkatan kualitas pada produk untuk meminimalisir variabilitas pada produk cacat. Setelah itu, melakukan pendokumentasian dan penyebarluasan dari tindakan yang telah dilakukan dengan mengimplementasikan usulan yang telah dihasilkan dengan menggunakan metode Taguchi.



BAB IV

HASIL PENELITIAN

4.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan di UMKM AR Genteng KTL yang dibutuhkan untuk proses pengolahan data sesuai metode yang akan digunakan. Pengumpulan data terdiri dari data primer dan data sekunder. Data yang diperoleh pada penelitian ini berasal dari data yang diberikan langsung oleh pihak UMKM produk genteng. Berikut data primer dan data sekunder yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Data Primer

Data primer merupakan data yang diperoleh secara langsung saat observasi lapangan, wawancara, dan pengisian kuesioner. Data primer yang diperoleh pada penelitian ini yaitu mengetahui faktor penyebab dari akar permasalahan yang terjadi pada produk cacat genteng melalui wawancara dengan pekerja di UMKM AR Genteng KTL, mengetahui nilai *Risk Priority Number* (RPN) melalui kuesioner *Failure Mode* dan *Effect Analysis* (FMEA), serta mengetahui *Critical to Quality* (CTQ) yang didapatkan dari hasil analisa visual produk genteng.

2. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh berdasarkan data histori yang dimiliki oleh pihak UMKM. Data sekunder pada penelitian ini berupa data produksi dan data jumlah cacat produk genteng periode bulan Januari 2024 hingga Februari 2024.

4.1.1 Data Umum UMKM AR Genteng KTL

Data umum UMKM AR Genteng KTL didapatkan dari hasil penelitian langsung dan wawancara oleh pemilik dan pekerja UMKM tersebut. Berikut merupakan penjelasan mengenai sejarah UMKM dan aktivitas UMKM.

4.1.1.1 Sejarah UMKM

UMKM AR Genteng KTL didirikan pada tahun 2006 oleh Bapak Damin. UMKM ini merupakan bisnis keluarga dan dikelola sendiri oleh keluarga tersebut yang berlokasi di Jalan Pagebangan, Kel. Ketileng, Kec. Cilegon, Banten 42416. Pekerja UMKM genteng terkait dengan pemilik sekaligus sebagai pekerja sehari-hari. UMKM ini memproduksi produk genteng yang berbahan dasar tanah liat. Genteng yang diproduksi oleh UMKM AR Genteng KTL yaitu genteng *press*. Ukuran genteng yang diproduksi sebesar 30×10 cm. Harga jual genteng tersebut sebesar Rp700 per buah dengan minimal pembelian 1000 buah genteng. Genteng tersebut sudah termasuk sertifikasi Standar Nasional Indonesia (SNI).

Dalam perjalanan 18 tahun, UMKM ini berhasil menjangkau pemasaran mulai dari daerah Banten hingga Jawa Barat. Akan tetapi, beberapa tahun terakhir ini usaha genteng mengalami penurunan penjualan dikarenakan terdapat pesaing lain genteng dari Lampung yang sangat diminatkan oleh konsumen. Oleh karena itu, saat ini pelanggan yang membeli genteng kepada UMKM AR Genteng KTL berada di daerah sekitar Banten, seperti masyarakat, siswa sekolah dasar, dan toko material bangunan.

4.1.1.2 Aturan Waktu Kerja

Pekerja yang ada di UMKM AR Genteng KTL sebanyak 5 orang yaitu selaku pemilik usaha tersebut, serta pekerja untuk operator mesin molen. Masing-masing pekerja dapat melakukan semua proses produksi kecuali pekerja operator mesin molen hanya melakukan proses penggilingan bahan baku. Produksi dilakukan setiap hari mulai pukul 08.00 – 17.00 WIB. Akan tetapi, UMKM AR Genteng KTL jika ada konsumen yang akan membeli genteng selalu menerima pelanggan sampai pukul 22.00 WIB.

4.1.2 Data Produksi

Data jumlah produksi pada penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari UMKM AR Genteng KTL yang memproduksi genteng tanah liat setiap minggunya pada periode bulan Januari 2024 hingga bulan Februari 2024. Data produksi ini terdiri dari data jumlah produksi, data jumlah cacat produk genteng, dan persentase cacat produk yang dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Data Jumlah Produksi Genteng

Minggu ke-	Jumlah Produksi (buah)	Jumlah Cacat Produk (buah)	Persentase Cacat Produk
1	1250	10	0,80%
2	2500	15	0,60%
3	1070	15	1,40%
4	2955	19	0,64%
5	2650	12	0,45%
6	2050	12	0,59%
7	3000	11	0,37%
8	2800	10	0,36%
Total	18275	104	5,21%
Rata-rata	2284	13	0,65%

Berdasarkan Tabel 9 dapat diketahui bahwa pengamatan yang dilakukan pada UMKM AR Genteng KTL diperoleh 8 data jumlah produksi dan jumlah produk cacat per buah. Data total jumlah produksi genteng yang diperoleh selama periode bulan Januari 2024 hingga Februari 2024 sebanyak 18275 buah dan total jumlah cacat produk genteng sebanyak 104 buah dengan total persentase cacat produk didapatkan sebesar 5,21% dari jumlah produksi yang berarti 913 buah termasuk cacat produk dari 18275 buah genteng yang diproduksi selama 2 bulan.

4.1.3 Data Cacat Produk

Berikut merupakan data kontrol cacat produksi dari masing-masing jumlah cacat produk selama periode bulan Januari 2024 hingga Februari 2024 pada UMKM AR Genteng KTL dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Data Cacat Produk Genteng

Minggu ke-	Jumlah Produk Genteng yang <i>Defect</i> (buah)				Total
	Pecah	Retak	Gompal	Warna Gosong	
1	3	5	2	0	10
2	4	6	3	2	15
3	7	5	0	3	15
4	7	6	4	2	19
5	5	3	1	3	12
6	8	4	0	0	12
7	7	1	3	0	11
8	5	0	2	3	10
Total	46	30	15	13	104

Berdasarkan Tabel 10 dapat diketahui bahwa UMKM AR Genteng KTL saat memproduksi genteng masih terdapat produk yang gagal dengan total setiap

minggunya sebanyak 10 hingga 20 buah genteng yang *reject*. Data total cacat produk genteng tertinggi berada di periode minggu ke-4 sebanyak 19 buah.

4.2 Pengolahan Data

Pengolahan data pada penelitian ini dilakukan agar tujuan dari penelitian dapat tercapai dengan tepat. Adapun pengolahan data yang dilakukan meliputi metode *Six Sigma DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control)* dan tahap *improve* pada *six sigma* menggunakan metode Taguchi.

4.2.1 Tahap Define

Pada tahap *define* permasalahan yang terkait oleh UMKM AR Genteng KTL akan didefinisikan berdasarkan data yang sudah dikumpulkan saat observasi dan wawancara oleh pemilik usaha tersebut. UMKM AR Genteng KTL merupakan industri kecil dan menengah yang termasuk ke dalam kategori industri pengolahan tanah liat dengan produk yang dihasilkan berupa genteng. Permasalahan yang dialami oleh UMKM yaitu karakteristik kualitas yang diinginkan oleh konsumen masih belum optimal karena masih banyak produk yang cacat berdasarkan data historis bulan Januari 2024 hingga Februari 2024 dengan total produk cacat sebanyak 104 buah. Ketidaksiuaian dari karakteristik kualitas disebabkan oleh proses produksinya. Produk yang mengalami cacat akan dilakukan proses *rework* (perbaikan), sehingga menimbulkan biaya dan waktu tambahan. Produk yang baik dapat langsung dikirim ke konsumen. Pada tahap *define* akan dilakukan pembuatan *project charter*, diagram SIPOC, penentuan *Critical to Quality (CTQ)*.

4.2.1.1 Project Charter

Project Charter merupakan penentuan tujuan dan ruang lingkup proyek dan mengumpulkan informasi tentang proses dan pelanggan. Pada penelitian ini membuat *project charter* guna mengetahui ringkasan penelitian yang dilakukan dengan tujuan yang jelas. Berikut hasil *project charter* pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 11.

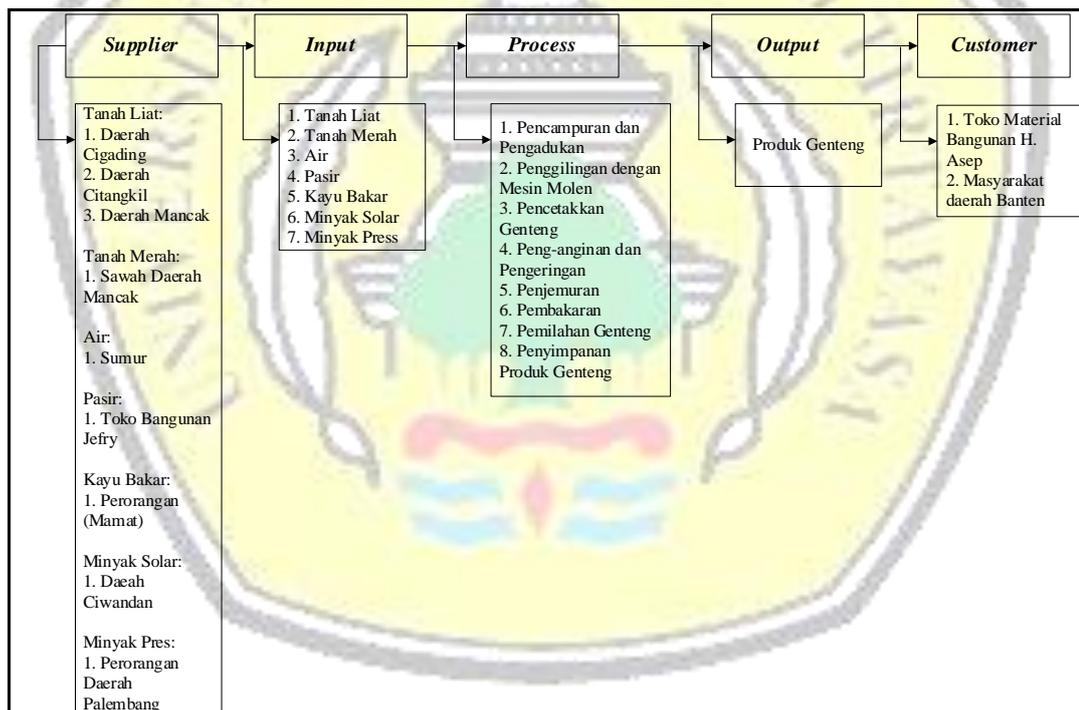
Tabel 11. *Project Charter*

Informasi Penelitian			
Institusi	Universitas Sultan Ageng Tirtayasa	Judul Penelitian	: Peningkatan Kualitas Pada Produk Genteng Menggunakan Six <i>Sigma</i> dan Metode Taguchi (Studi Kasus di UMKM AR Genteng KTL)
		Peneliti	: Dian Elnia Kusuma Ningrum
Tanggal Mulai	: 07 Januari 2024	Pembimbing Produksi	: Damin
Tanggal Selesai	: 01 Maret 2024	Inspektor	: Wartiah
Permasalahan		Tujuan dan Lingkup Penelitian	
Berdasarkan data jumlah produksi dan jumlah cacat pada periode bulan Januari 2024 hingga Februari 2024 masih terdapat produk yang <i>reject</i> pada genteng. Cacat produk ini menimbulkan waktu tambahan dalam memperbaiki produk yang mengalami cacat tersebut. Sehingga dibutuhkan metode perbaikan kualitas yang mendukung permasalahan tersebut.		Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui tingkat kemampuan <i>sigma</i> yang telah dicapai oleh UMKM dengan adanya permasalahan cacat produk., sehingga dapat diberikan usulan perbaikan dalam kondisi optimal pada faktor dan level yang mempengaruhi terjadinya cacat produk dominan tersebut. Lingkup penelitian ini adalah pada perbaikan kualitas produk tanpa melakukan perhitungan biaya produksi.	

Berdasarkan Tabel 11 dapat diketahui bahwa permasalahan yang terjadi pada UMKM AR Genteng KTL karena produk yang cacat masih sering terjadi setiap kali produksi. Cacat produk tersebut dianggap tidak dapat memenuhi keinginan konsumen. Kemudian permasalahan tersebut diidentifikasi dengan menentukan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap produk cacat tersebut apa saja dan memberikan usulan perbaikan kualitas dalam kondisi optimal pada faktor dan level yang mempengaruhinya.

4.2.1.2 Diagram SIPOC

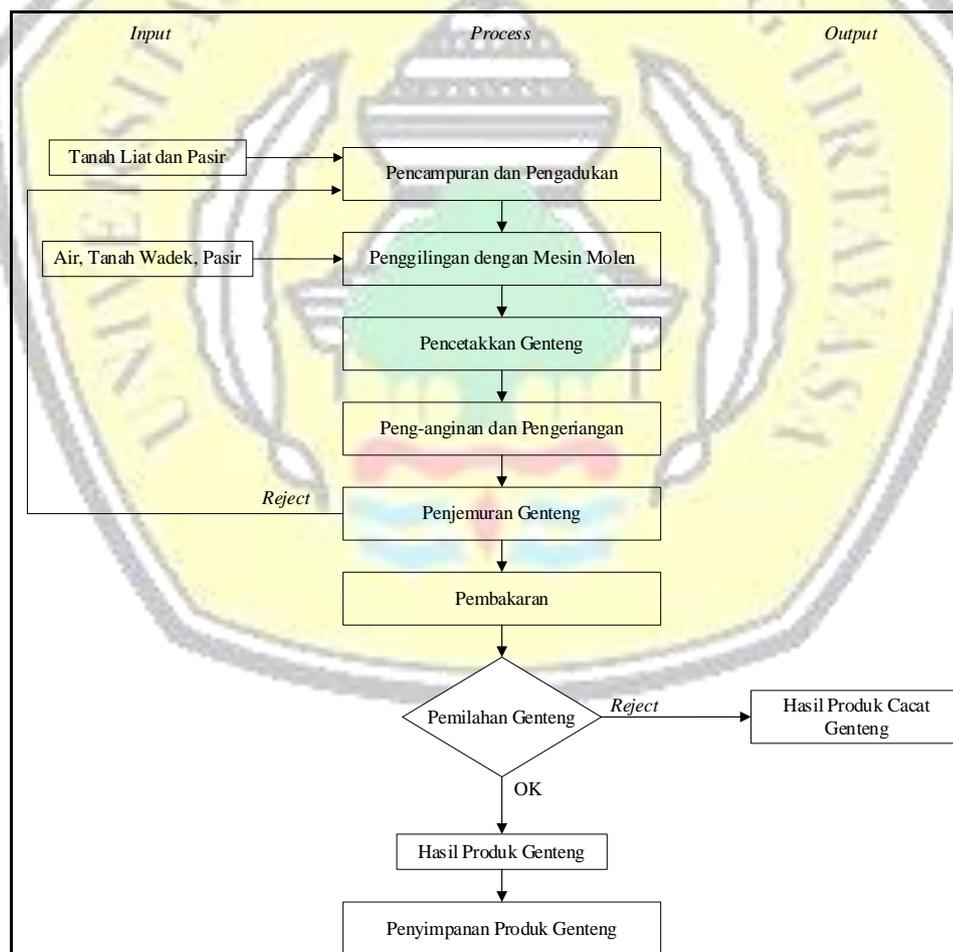
Diagram SIPOC merupakan diagram yang mendeskripsikan alur dari produk genteng mulai dari bahan baku yang dikirimkan oleh *supplier* sampai dengan produk dipasarkan ke konsumen. Adapun diagram SIPOC pada UMKM AR Genteng KTL disajikan pada Gambar 12.



Gambar 12. Diagram SIPOC Produk Genteng

Berdasarkan Gambar 12 dapat diketahui bahwa alur produksi genteng dimulai dari *supplier* yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan bahan baku produk genteng pada UMKM AR Genteng KTL berasal dari Daerah Cigading, Daerah Citangkil, dan Daerah Mancak. Input merupakan bahan baku utama yang akan digunakan pada proses produksi yaitu tanah liat, tanah merah, air, pasir, kayu

bakar, minyak solar, dan minyak pres. *Process* merupakan tahapan-tahapan proses yang dilalui bahan baku utama untuk menjadi sebuah genteng, seperti pencampuran dan pengadukan bahan baku seperti tanah liat, tanah merah, air, dan pasir, penggilingan dengan mesin molen, pencetakan genteng dengan mesin cetak genteng, peng-anginan dan pengeringan produk genteng pada rak-rak yang tersedia, penjemuran selama 1-3 hari, pembakaran selama 10 jam, pemilahan produk genteng, dan penyimpanan produk jadi genteng. *Output* merupakan hasil yang didapat setelah dilakukan proses produksi yaitu produk genteng. Hasil produksi setiap minggunya mencapai 1000 hingga 3000 buah genteng. *Customer* yang bekerja sama dengan UMKM AR Genteng KTL yaitu toko material dan masyarakat yang berada di Daerah Banten. Selain itu, terdapat alur proses pembuatan produk genteng UMKM AR Genteng KTL dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Alur Proses Pembuatan Produk Genteng

Berdasarkan Gambar 13 dapat diketahui alur proses pembuatan genteng yang dimulai proses pencampuran dan pengadukan bahan menggunakan bahan baku tanah liat, tanah merah, pasir, air dan diaduk dengan menggunakan alat bantu cangkul dan sekop. Kemudian proses penggilingan tanah liat yang sudah dicampur dengan bahan lainnya menggunakan mesin penggilingan (mesin molen) oleh pengrajin genteng di UMKM AR Genteng KTL. Tanah liat dimasukkan sedikit demi sedikit dari bagian atas, lalu akan terbentuk tanah liat yang lebih padat dan lebih kenyal. Kemudian proses pencetakan genteng oleh pengrajin genteng dengan menggunakan mesin cetak, adonan tersebut dibentuk seperti balok-balok dan dicetak pada mesin cetak. Setelah terbentuk genteng dalam keadaan basah, maka selanjutnya dilakukan proses peng-anginan dan pengeringan genteng yang masih basah tersebut diletakkan pada rak-rak yang tersedia dengan tujuan agar genteng menjadi setengah kering dan tidak berubah bentuk. Kemudian proses penjemuran genteng yang sudah setengah kering tersebut dijemur dibawah sinar matahari selama 1-3 hari. Proses tersebut bertujuan agar genteng menjadi lebih kering dan keras. Akan tetapi, jika ada hasil yang *reject* pada saat proses penjemuran akan dilakukan pengulangan kembali untuk membuat genteng tersebut dengan cara menghancurkan genteng yang cacat tersebut kemudian diulang pada tahapan pencampuran dan pengadukan. Selanjutnya proses pembakaran genteng yang telah kering dan keras dibawa ke tempat pembakaran dengan meletakkan genteng-genteng tersebut didalamnya kemudian dibakar. Pembakarannya masih menggunakan tungku pembakaran berbentuk balok yang dikelilingi oleh batu bata merah dan proses ini memakan waktu selama 10 jam. Genteng yang telah selesai dibakar tetap didiamkan terlebih dahulu didalam tungku pembakaran sampai agak dingin, kemudian dilakukan *quality control* dengan tujuan memisahkan genteng yang tidak cacat dan genteng cacat (pecah, retak, gompal, warna gosong). Setelah tahapan pemilahan genteng dilakukan, jika terdapat genteng yang cacat akan disimpan tetapi tidak dijual belikan ke konsumen dan genteng yang berada dalam kondisi dinyatakan baik maka akan dilakukan penyimpanan ke gudang untuk disimpan.

4.2.1.3 Penentuan *Critical to Quality* (CTQ)

Critical to Quality (CTQ) merupakan parameter karakteristik kualitas produk yang menyebabkan cacat pada genteng sehingga tidak memenuhi harapan pelanggan atau konsumen. CTQ pada penelitian ini termasuk pada jenis *physical*, karena kriteria cacat produk dapat dilihat dari tampilan fisik genteng. Berikut identifikasi CTQ untuk mengetahui jenis cacat yang terjadi dalam proses produksi genteng dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Identifikasi *Critical to Quality* (CTQ)

No.	CTQ	Keterangan
1	Pecah	Genteng yang terpisah menjadi dua atau lebih bagian. Hal tersebut disebabkan oleh kualitas bahan baku yang digunakan kurang baik dan pengeringan yang tidak merata
2	Retak	Adanya garis retakan pada permukaan genteng yang diakibatkan proses pembakaran dengan suhu yang tidak merata
3	Gompal	Adanya lubang atau rongga yang besar, terutama pada bagian tengah atau pangkah genteng yang diakibatkan oleh kualitas bahan baku yang digunakan kurang baik dan tekanan yang tidak merata selama pembentukan genteng
4	Warna Gosong	Warna pada permukaan genteng yang tidak merata atau terlihat seperti terbakar atau gosong yang diakibatkan oleh suhu dan waktu pembakaran yang tidak optimal

Berdasarkan Tabel 12 dapat diketahui bahwa *Critical to Quality* (CTQ) pada proses produksi genteng di UMKM AR Genteng KTL terdiri dari 4 CTQ, yaitu pecah, retak, gompal, dan warna gosong. Cacat produk genteng ini biasanya disebabkan oleh faktor-faktor, seperti kualitas bahan baku, suhu, waktu, dan lain-lain. Berikut ini merupakan penjelasan terkait dengan karakteristik jenis cacat pada produk genteng.

1. Cacat pecah

Pada UMKM AR Genteng KTL yang memproduksi genteng masih terdapat produk yang cacat. Salah satu jenis cacat yang teridentifikasi yaitu cacat pecah. Kriteria cacat pecah pada genteng yakni terbagi atau terbelah menjadi dua bagian atau lebih. Penyebab dari cacat pecah pada genteng disebabkan oleh kualitas bahan baku yang kurang baik dan pengeringan

genteng yang tidak merata. Berikut contoh dari cacat pecah pada genteng dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Cacat Pecah Genteng

2. Cacat retak

Jenis cacat selanjutnya yang terjadi pada produksi genteng yakni cacat retak. Cacat ini terjadi jika terdapat garis retakan pada permukaan genteng. Hal tersebut disebabkan oleh proses penjemuran yang tidak maksimal dan pembakaran yang tidak merata. Berikut contoh dari cacat retak yang dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Cacat Retak Genteng

3. Cacat gompal

Pada produk genteng juga terdapat cacat gompal. Cacat gompal terjadi jika terdapat lubang kecil atau rongga yang menyebabkan ketidaksempurnaan bentuk pada genteng. Hal tersebut disebabkan oleh ketidaksesuaian proporsi bahan baku saat proses pencampuran dan rak untuk proses pengeringan genteng tidak dibersihkan secara rutin. Berikut contoh cacat gompal yang dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Cacat Gompal

4. Cacat warna gosong

Jenis cacat selanjutnya yang terjadi pada produksi produk genteng yaitu cacat warna gosong. Cacat tersebut terjadi ketika timbul warna hitam atau gosong pada permukaan genteng. Hal ini disebabkan oleh tata letak genteng yang tidak sesuai saat proses pembakaran dan waktu pembakaran yang tidak merata. Berikut contoh cacat warna gosong yang dapat dilihat pada Gambar 17.



Gambar 17. Cacat Warna Gosong

Dalam meningkatkan kualitas produk genteng, UMKM AR Genteng KTL harus memastikan bahwa *Critical to Quality* (CTQ) yang terkait dengan proses produksi genteng dapat memenuhi standar kualitas genteng yang diinginkan. Standar kualitas yang diinginkan oleh UMKM tersebut yaitu memenuhi standar SNI 03-2095-1998 (Pujiyanto *et al.*, 2022). Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-2095-1998 merupakan salah satu persyaratan dalam menentukan kualitas produk genteng tanah liat. Syarat-syarat tersebut meliputi mutu tampak, ketetapan ukuran

genteng, ketahanan terhadap kondisi cuaca eksternal, dan penyerapan air (Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2024).

1) Mutu tampak

Pada syarat kualitas mutu tampak bahwa genteng tanah liat harus mempunyai permukaan atas yang mulus, tidak terdapat retak, lekukan, dan warna genteng yang homogen.

2) Ketetapan ukuran genteng

Pada syarat ketetapan ukuran dilakukan pengukuran panjang, lebar, dan tinggi bagian genteng yang berukuran $30 \times 10 \times 3$ cm.

3) Kekuatan struktural

Kekuatan genteng terhadap kondisi cuaca yang berubah-ubah dapat menahan gaya tekan yang diberikan terhadap genteng agar tidak patah atau lainnya.

4) Penyerapan air

Pada syarat penyerapan air bahwa genteng harus memiliki penyerap air yang rendah guna menghindari masalah kebocoran dan kerusakan terkait kelembapan dengan daya penyerapan air maksimum, yaitu tingkat I sebesar 12%, tingkat II sebesar 15%, dan tingkat III sebesar 20%.

Berdasarkan standar kualitas produk genteng dapat diketahui bahwa produk genteng di UMKM AR Genteng KTL sudah memenuhi standar kualitas mutu tampak dan ketetapan ukuran genteng. Standar mutu tampak genteng dapat dilihat dari bentuk fisik pada produk tersebut yang memiliki penampilan seragam dan menarik, serta ketetapan ukuran genteng hanya satu ukuran yang di cetak oleh mesin cetak genteng secara manual dikarenakan tidak ada berbagai macam ukuran lainnya yang bisa menyebabkan terjadinya cacat pada genteng. Standar kekuatan genteng terhadap kondisi cuaca berubah-ubah dan penyerapan air yang rendah belum diterapkan karena UMKM tersebut memiliki keterbatasan dalam hal teknologi, peralatan, dan sumber daya manusia untuk melakukan pengujian yang kompleks.

4.2.2 Tahap *Measure*

Pada tahapan *six sigma* sebelumnya yaitu tahap *define* telah mengidentifikasi permasalahan yang terjadi pada penelitian ini. Maka tahapan selanjutnya yaitu *measure* untuk mengetahui pengendalian statistik pada proses produksi genteng menggunakan peta kendali p, menghitung nilai DPMO dan tingkat kemampuan *sigma* yang telah dicapai oleh UMKM.

4.2.2.1 Peta Kendali p

Pengukuran performa yang paling utama yaitu melakukan pengendalian kualitas secara statistik untuk data atribut. Pada penelitian ini menggunakan peta kendali p (*p-chart*) yang bertujuan untuk mengetahui proporsi kesalahan apakah cacat produk yang dihasilkan masih dalam batas yang ditetapkan. Sampel yang diambil oleh penelitian ini bervariasi untuk setiap kali melakukan pengamatan di UMKM AR Genteng KTL sehingga penelitian ini menggunakan peta kendali p model individu. Adapun hasil perhitungan menggunakan peta kendali p untuk produk genteng di UMKM AR Genteng KTL dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13. Perhitungan Peta Kendali p

Minggu ke-	Jumlah Produksi	Jumlah Cacat	Proporsi	P	UCL	LCL
1	1250	10	0,008	0,006	0,012	-0,001
2	2500	15	0,006	0,006	0,010	0,001
3	1070	15	0,014	0,006	0,013	-0,001
4	2955	19	0,006	0,006	0,010	0,002
5	2650	12	0,005	0,006	0,010	0,001
6	2050	12	0,006	0,006	0,011	0,001
7	3000	11	0,004	0,006	0,010	0,002
8	2800	10	0,004	0,006	0,010	0,001
Total	18275	104				

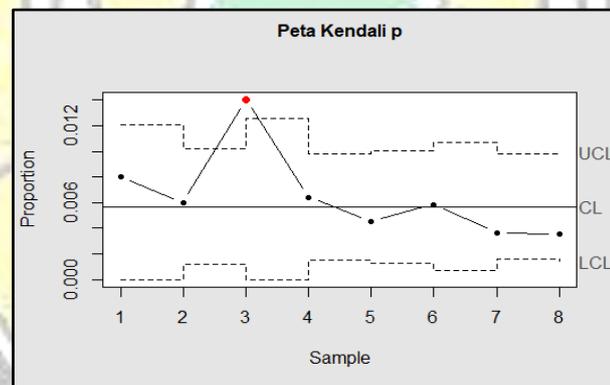
Contoh Perhitungan:

$$\begin{aligned} \text{Proporsi } (\hat{p}) &= \frac{\text{Jumlah Cacat (Di)}}{\text{Jumlah Produksi (ni)}} \\ &= \frac{10}{1250} \\ &= 0,008 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{P} &= \frac{\sum_{i=1}^m ni}{\sum_{i=1}^m Di} \\ &= \frac{104}{18275} \\ &= 0,006 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{UCL} &= \bar{P} + 3 \sqrt{\frac{\bar{P}(1-\bar{P})}{n_i}} \\
 &= 0,006 + 3 \sqrt{\frac{0,006(1-0,006)}{1250}} \\
 &= 0,012 \\
 \text{LCL} &= \bar{P} - 3 \sqrt{\frac{\bar{P}(1-\bar{P})}{n_i}} \\
 &= 0,006 - 3 \sqrt{\frac{0,006(1-0,006)}{1250}} \\
 &= -0,001
 \end{aligned}$$

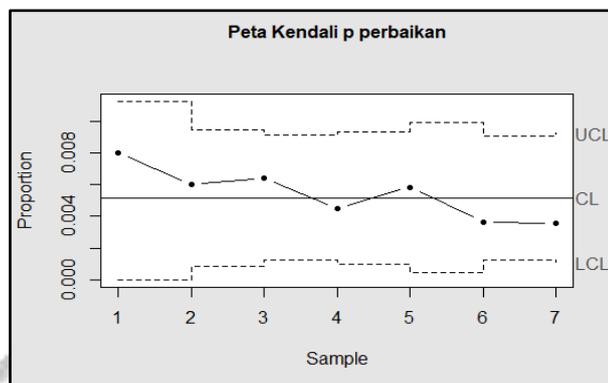
Berdasarkan Tabel 13 dapat diperoleh hasil perhitungan peta kendali p dengan nilai *center line* sebesar 0,006, UCL data ke-1 sebesar 0,012, dan LCL data ke-1 sebesar -0,001 atau 0. Dalam hal ini, *Lower Control Limit* (LCL) untuk peta kendali p (*p-chart*) harus dinyatakan dalam nilai yang positif. Apabila ditemukan nilai negatif dalam perhitungan LCL, maka ditetapkan sama dengan nol (M Derajat dan Kristiyono, 2011). Setelah memperoleh nilai-nilai perhitungan tersebut, maka selanjutnya nilai tersebut digambarkan ke dalam grafik peta kendali p. Berikut merupakan hasil pengolahan data menggunakan peta kendali p pada proses produksi genteng dengan bantuan *software* Rstudio.



Gambar 18. Grafik Peta Kendali p

Berdasarkan Gambar 18 dapat dilihat bahwa pengendalian kualitas secara statistik pada produksi genteng di UMKM AR Genteng KTL dinyatakan tidak terkendali dikarenakan terdapat 1 data yang keluar dari batas kendali (*out of control*). Data yang diluar batas kendali atas (UCL) yaitu data ke-3 yang bernilai proporsi sebesar 0,014 dengan nilai UCL sebesar 0,013, sehingga perlu dilakukan perbaikan untuk meningkatkan kualitas produksi genteng. Kegiatan perbaikan yang

perlu dilakukan yaitu merevisi dengan menghapus data ke-3 pada periode minggu ke-3. Berikut merupakan hasil pengolahan data perbaikan menggunakan peta kendali p dengan bantuan *software* Rstudio.



Gambar 19. Grafik Peta Kendali p Perbaikan

Berdasarkan Gambar 19 dapat dilihat bahwa kondisi peta kendali p setelah perbaikan pada data *out of control* menghasilkan nilai proporsi berada dalam batas kendali atas dan batas kendali bawah. Pengendalian kualitas perlu dilakukan secara terus menerus di setiap tahapan proses produksi agar produk cacat dapat dikendalikan dan dapat mengurangi variabilitas dalam proses. Analisis lebih lanjut dilakukan dengan faktor-faktor penyebab terjadinya cacat pada produk genteng dan memberikan usulan perbaikan dengan mengetahui faktor dan level yang berpengaruh.

4.2.2.3 Pengukuran Tingkat Kemampuan *Sigma*

Pengukuran tingkat kemampuan *sigma* di UMKM perlu dilakukan untuk mengetahui pencapaian dari usaha tersebut dan dapat mengetahui klasifikasi yang sesuai dari UMKM. Pengukuran performa *six sigma* dalam penelitian ini dilakukan dengan perhitungan menggunakan satuan pengukuran DPMO (*Defect per Million Opportunity*) dan tingkat kapabilitas *sigma* (*sigma level*). Pengukuran ini berdasarkan data historis pada bulan Januari 2024 hingga Februari 2024. Berikut hasil perhitungan nilai DPMO dan *sigma level* dapat dilihat pada Tabel 14.

Tabel 14. Perhitungan Nilai DPMO dan Tingkat Kemampuan *Sigma*

Minggu ke-	Jumlah Produksi	Jumlah Cacat Produk	CTQ	DPU	DPO	DPMO	<i>Sigma</i>
1	1250	10	4	0,008	0,002	2000	4,378
2	2500	15	4	0,006	0,002	1500	4,468
3	1070	15	4	0,014	0,004	3504,673	4,196
4	2955	19	4	0,006	0,002	1607,445	4,446
5	2650	12	4	0,005	0,001	1132,075	4,553
6	2050	12	4	0,006	0,001	1463,415	4,475
7	3000	11	4	0,004	0,001	916,667	4,616
8	2800	10	4	0,004	0,001	892,857	4,624
Rata-rata						1627	4,470

Contoh Perhitungan:

DPU

$$= \frac{\text{Jumlah Cacat}}{\text{Jumlah Produksi}}$$

$$= \frac{10}{1250}$$

$$= 0,008$$

DPO

$$= \frac{\text{DPU}}{\text{CTQ}}$$

$$= \frac{0,008}{4}$$

$$= 0,002$$

DPMO

$$= \text{DPO} \times 1000000$$

$$= 0,002 \times 1000000$$

$$= 2000$$

Tingkat *Sigma*

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

$$= \text{NORMSINV} \left(1 - \left(\frac{2000}{1000000} \right) \right) + 1,5$$

$$= 4,378$$

$$\text{Rata-Rata Tingkat } \sigma = \frac{4,378 + 4,468 + 4,196 + \dots + 4,624}{8}$$

$$= 4,470$$

Berdasarkan Tabel 14 dapat diperoleh hasil perhitungan nilai DPMO dan tingkat *sigma* pada proses produksi genteng di UMKM AR Genteng KTL yaitu nilai rata-rata DPMO sebesar 1627, artinya dalam setiap satu juta produk genteng yang diproduksi terdapat sekitar 1627 buah yang dinyatakan sebagai produk *reject* dan rata-rata nilai tingkat *sigma* sebesar 4,470. Tingkat pencapaian *sigma* yang

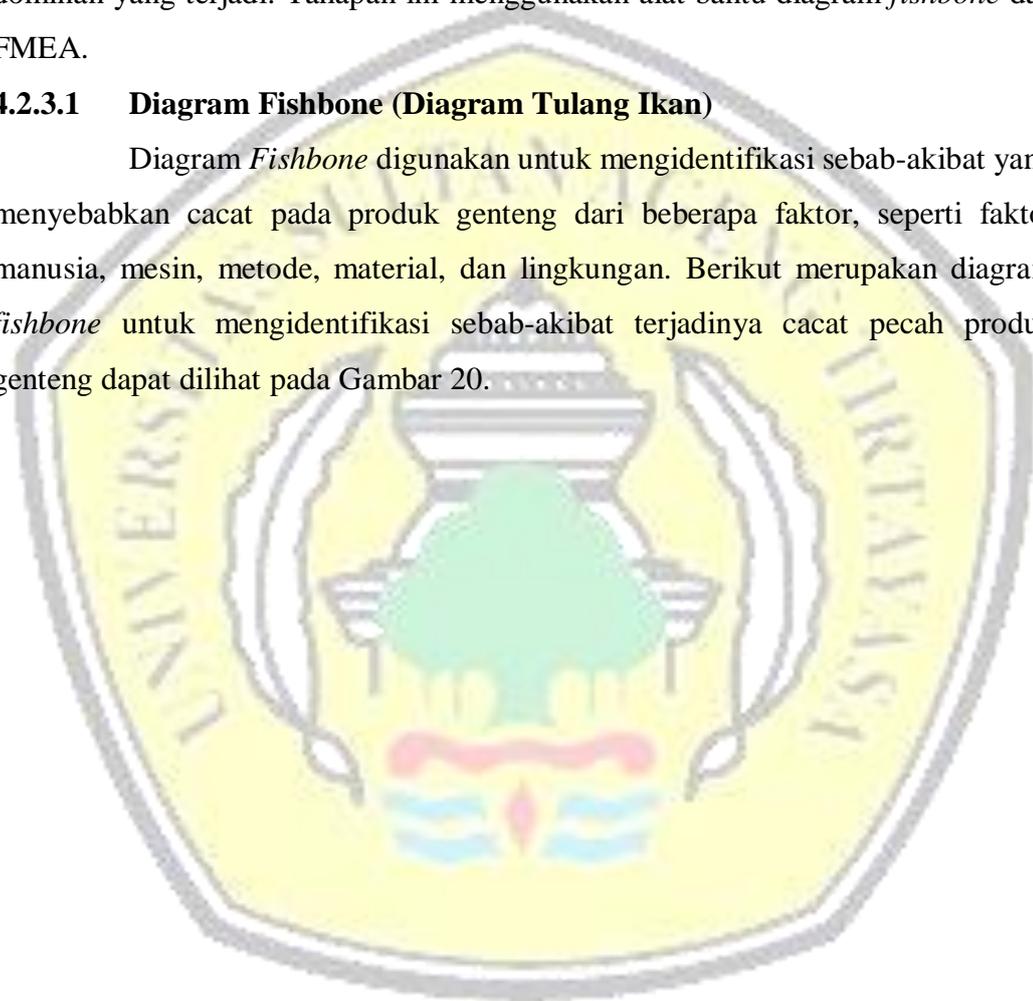
diperoleh pada UMKM AR Genteng KTL termasuk klasifikasi kemampuan rata-rata industri USA.

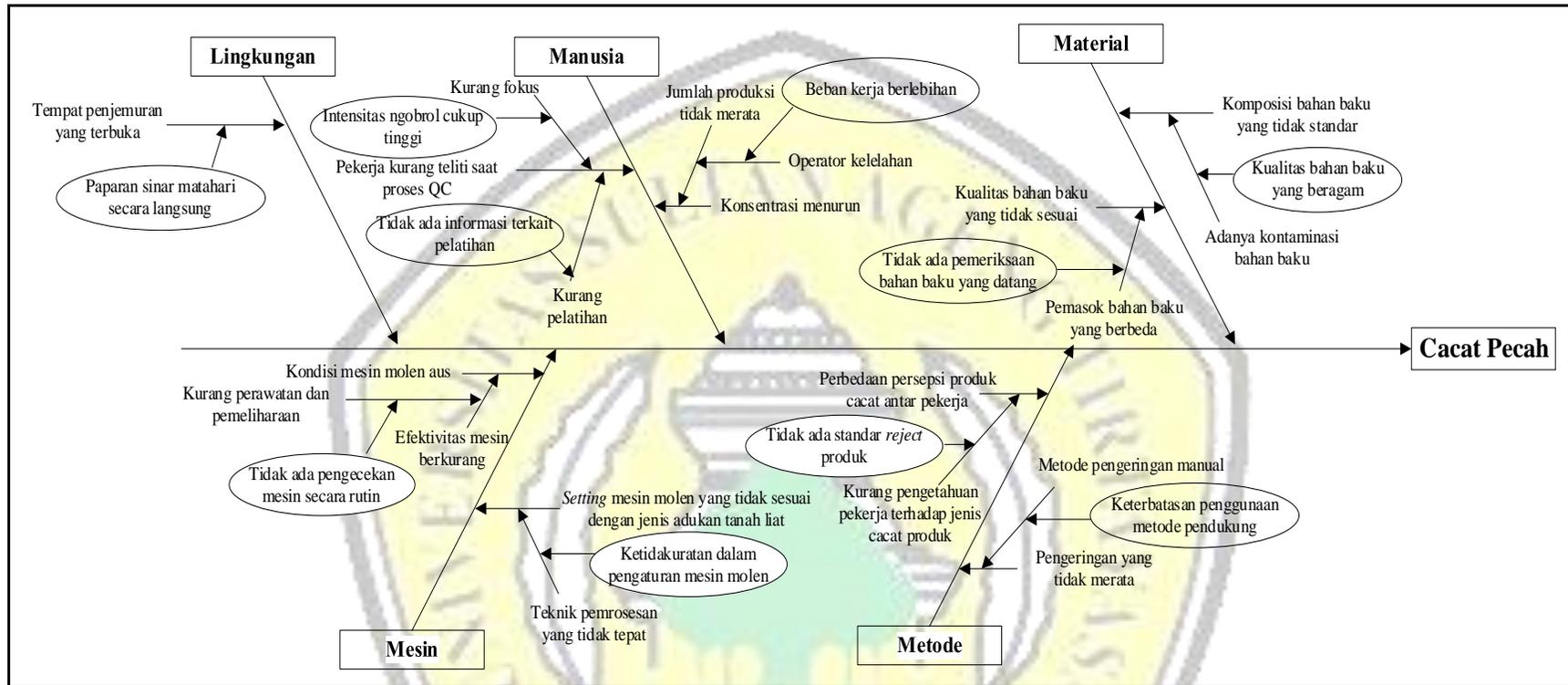
4.2.3 Tahap *Analyze*

Tahap *analyze* merupakan tahapan ketiga dalam metode *six sigma*. Pada tahapan ini dilakukan analisis dengan menentukan akar penyebab masalah terjadinya kecacatan produk genteng dan menentukan penyebab kegagalan dominan yang terjadi. Tahapan ini menggunakan alat bantu diagram *fishbone* dan FMEA.

4.2.3.1 Diagram Fishbone (Diagram Tulang Ikan)

Diagram *Fishbone* digunakan untuk mengidentifikasi sebab-akibat yang menyebabkan cacat pada produk genteng dari beberapa faktor, seperti faktor manusia, mesin, metode, material, dan lingkungan. Berikut merupakan diagram *fishbone* untuk mengidentifikasi sebab-akibat terjadinya cacat pecah produk genteng dapat dilihat pada Gambar 20.





Gambar 20. Diagram *Fishbone* Cacat Pecah Produk Genteng

Berdasarkan Gambar 20 dapat diketahui bahwa kegagalan cacat pecah produk genteng pada UMKM AR Genteng KTL disebabkan oleh beberapa faktor-faktor yang berpengaruh, seperti faktor mesin, metode, manusia, material, dan lingkungan. Berikut merupakan faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya cacat pecah pada produk genteng:

a. *Environment* (Lingkungan)

Pada faktor lingkungan yang menyebabkan cacat pecah adalah tempat penjemuran yang terbuka menyebabkan paparan sinar matahari secara langsung ke arah genteng.

b. *Man* (Manusia)

Pada faktor manusia cacat pecah adalah pekerja kurang teliti saat proses QC diakibatkan kurang fokus dan kurang terampil karena mengobrol dan kurang pelatihan, operator kurang pelatihan disebabkan tidak ada informasi untuk mengikuti pelatihan terkait proses QC, penyebab lainnya yaitu konsentrasi menurun akibat jumlah produksi tidak merata karena operator kelelahan dikarenakan beban kerja berlebihan.

c. *Material* (Bahan baku)

Pada faktor material yang menyebabkan cacat pecah adalah kualitas bahan baku yang tidak sesuai dikarenakan pemasok bahan baku yang berbeda menyebabkan tidak ada pemeriksaan bahan baku yang datang dan disebabkan oleh komposisi bahan baku yang tidak standar diakibatkan bahan baku terkontaminasi karena kualitas bahan baku yang beragam.

d. *Machine* (Mesin)

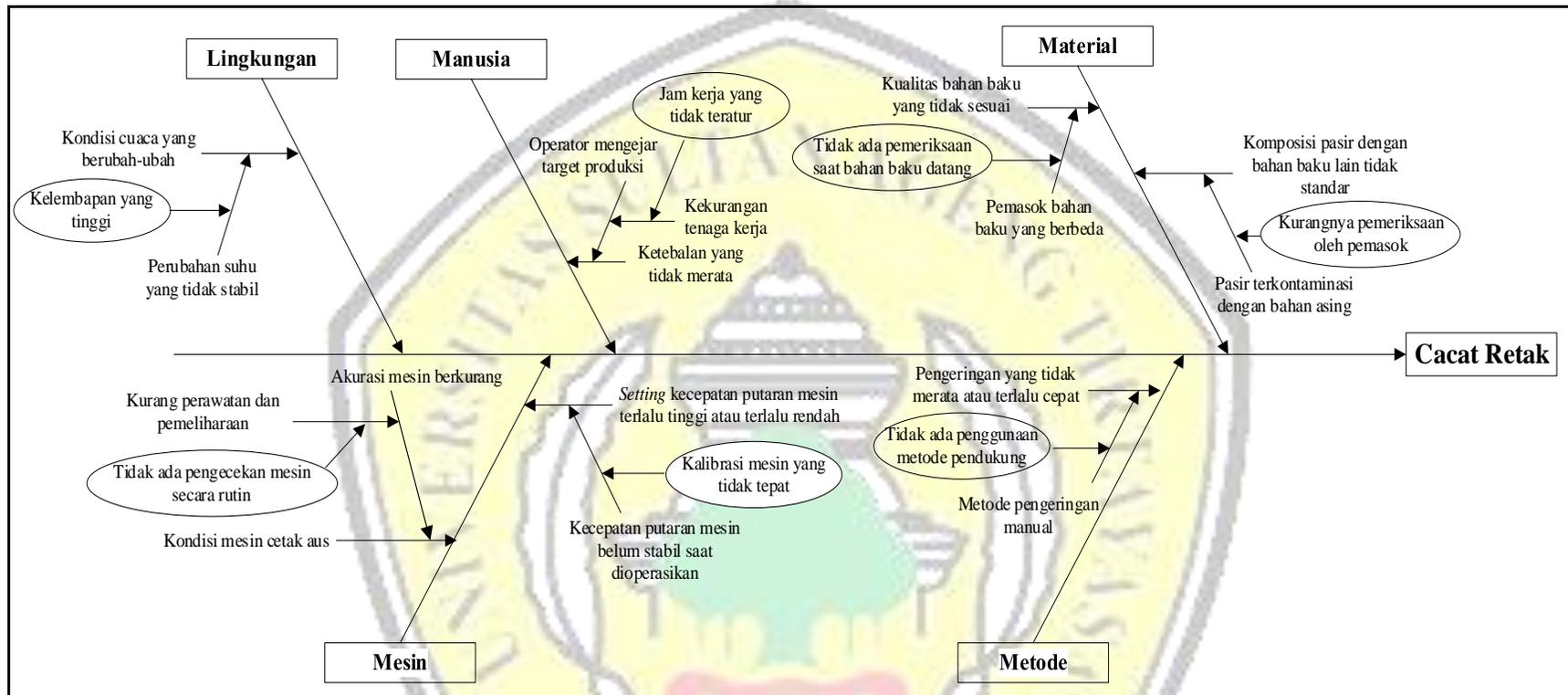
Pada faktor mesin yang menyebabkan cacat pecah adalah kondisi mesin molen aus disebabkan efektivitas mesin berkurang akibat kurang perawatan dan pemeliharaan yang disebabkan tidak ada pengecekan mesin secara rutin dan disebabkan juga oleh *setting* mesin molen tidak sesuai dengan adukan jenis tanah liat disebabkan oleh teknik pemrosesan yang tidak tepat karena ketidakuratan dalam pengaturan mesin molen.

e. *Method* (Metode)

Pada faktor metode yang menyebabkan cacat pecah adalah pengeringan yang tidak merata pada rak penyimpanan saat proses pengeringan disebabkan metode pengeringan masih manual karena keterbatasan penggunaan metode pendukung dan perbedaan persepsi produk cacat antar pekerja diakibatkan kurang pengetahuan pekerja terhadap jenis produk cacat akibat belum adanya standar *reject* produk.

Diagram *fishbone* selanjutnya untuk mengetahui sebab dan akibat terjadinya cacat retak produk genteng yang dapat dilihat pada Gambar 21.





Gambar 21. Diagram *Fishbone* Cacat Retak Produk Genteng

Berdasarkan Gambar 21 dapat diketahui bahwa faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya cacat retak pada produk genteng:

a. *Environment* (Lingkungan)

Pada faktor lingkungan yang menyebabkan cacat retak adalah kondisi cuaca yang berubah-ubah diakibatkan perubahan suhu yang tidak stabil menyebabkan kelembapan tinggi.

b. *Man* (Manusia)

Pada faktor manusia adalah ketebalan yang tidak merata diakibatkan pekerjaan yang terburu-buru karena operator kurang waktu istirahat disebabkan operator mengejar target produksi dikarenakan jam kerja yang tidak teratur.

c. *Material* (Bahan baku)

Pada faktor material adalah kualitas bahan baku yang tidak sesuai dikarenakan pemasok bahan baku yang berbeda akibat tidak ada pemeriksaan dan komposisi pasir dengan bahan baku tidak standar diakibatkan pasir terkontaminasi dengan bahan asing karena kurangnya pemeriksaan oleh pemasok.

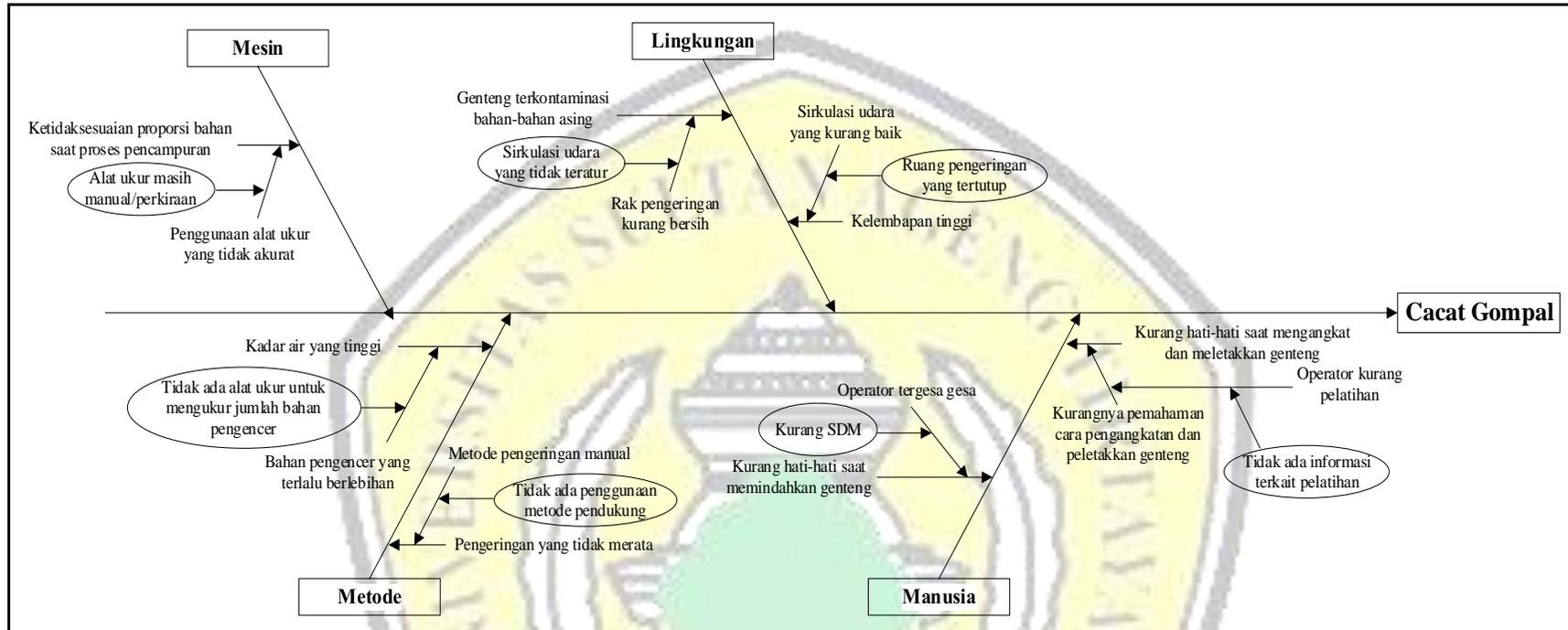
d. *Machine* (Mesin)

Pada faktor mesin yaitu akurasi mesin berkurang dikarenakan kondisi mesin cetak aus yang disebabkan tidak adanya pengecekan mesin cetak secara rutin dan disebabkan oleh *setting* kecepatan putaran mesin terlalu tinggi atau terlalu rendah disebabkan oleh kecepatan mesin belum stabil saat dioperasikan karena kalibrasi mesin yang tidak tepat.

e. *Method* (Metode)

Pada faktor metode adalah pengeringan yang tidak merata atau terlalu cepat diakibatkan metode pengeringan masih manual karena tidak ada penggunaan metode pendukung.

Diagram *fishbone* selanjutnya untuk mengetahui sebab dan akibat terjadinya cacat gompal produk genteng yang dapat dilihat pada Gambar 22.



Gambar 22. Diagram Fishbone Cacat Gompal Produk Genteng

Berdasarkan Gambar 22 dapat diketahui bahwa faktor-faktor penyebab cacat gompal pada produk genteng dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu faktor metode, manusia, dan lingkungan. Berikut merupakan faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya cacat gompal pada produk genteng:

a. *Environment* (Lingkungan)

Pada faktor lingkungan yang menyebabkan cacat gompal adalah genteng terkontaminasi bahan-bahan asing diakibatkan rak pengeringan kurang bersih karena ruang pengeringan tidak dibersihkan secara rutin karena sirkulasi udara yang tidak teratur dan kelembapan tinggi diakibatkan sirkulasi udara yang kurang baik akibat ruang pengeringan yang tertutup.

b. *Machine* (Mesin)

Pada faktor mesin yang menyebabkan cacat gompal adalah ketidaksesuaian proporsi bahan saat proses pencampuran diakibatkan penggunaan alat ukur yang tidak akurat karena alat ukur yang digunakan masih manual atau perkiraan.

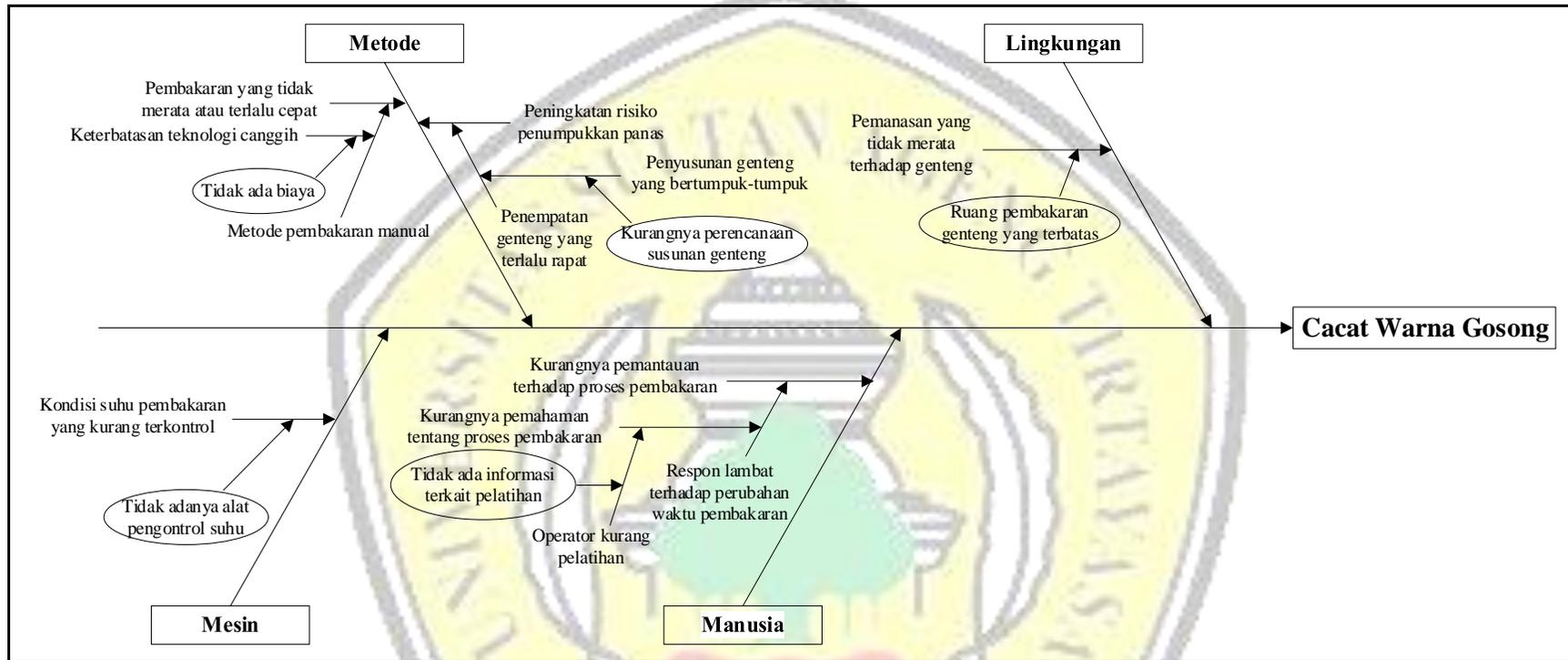
c. *Method* (Metode)

Pada faktor metode yang menyebabkan cacat gompal adalah kadar air yang tinggi diakibatkan bahan pengencer yang terlalu berlebihan karena tidak ada alat ukur untuk mengukur jumlah bahan pengencer dan pengeringan yang tidak merata dikarenakan metode pengeringan manual akibat tidak ada penggunaan metode pendukung.

d. *Man* (Manusia)

Pada faktor manusia yang menyebabkan cacat gompal adalah kurang hati-hati saat memindahkan genteng diakibatkan operator tergesa-gesa karena kurangnya sumber daya manusia dan kurang hati-hati saat mengangkat dan meletakkan genteng diakibatkan kurangnya pemahaman cara pegangkatan dan peletakkan genteng karena operator kurang pelatihan sebab tidak ada informasi mengenai pelatihan

Diagram *fishbone* selanjutnya untuk mengetahui sebab dan akibat terjadinya cacat warna gosong produk genteng yang dapat dilihat pada Gambar 23.



Gambar 23. Diagram Fishbone Cacat Warna Gosong Produk Genteng

Berdasarkan Gambar 23 dapat diketahui bahwa kegagalan cacat warna gosong produk genteng disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu faktor mesin, manusia, lingkungan, dan metode. Berikut merupakan faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya cacat warna gosong pada produk genteng:

a. *Environment* (Lingkungan)

Pada faktor lingkungan yang menyebabkan cacat warna gosong adalah pemanasan yang tidak merata terhadap genteng diakibatkan ruang pembakaran genteng yang terbatas.

b. *Method* (Metode)

Pada faktor metode yang menyebabkan cacat warna gosong adalah pembakaran yang tidak merata atau terlalu cepat diakibatkan metode pembakaran masih manual karena keterbatasan teknologi canggih sebab tidak ada biaya untuk memperbaiki metode pembakaran dan peningkatan risiko penumpukkan panas terhadap genteng diakibatkan penempatan genteng yang terlalu rapat karena penyusunan genteng yang bertumpuk-tumpuk dikarenakan kurangnya perencanaan penyusunan genteng yang tepat.

c. *Machine* (Mesin)

Pada faktor mesin yang menyebabkan cacat warna gosong adalah kondisi suhu pembakaran yang kurang terkontrol diakibatkan tidak adanya alat pengontrol suhu saat proses pembakaran.

d. *Man* (Manusia)

Pada faktor manusia yang menyebabkan cacat warna gosong adalah kurangnya pemantauan terhadap proses pembakaran dikarenakan respon lambat terhadap perubahan waktu pembakaran akibat kurangnya pemahaman tentang proses pembakaran karena operator kurang pelatihan sebab tidak ada informasi mengenai pelatihan.

4.2.3.2 *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) merupakan suatu metode yang digunakan untuk mengidentifikasi dan mencegah kegagalan produk sehingga *output* dari suatu produksi dapat sesuai dengan standar keinginan perusahaan

(Mayangsari, Adiando dan Yuniati, 2015). Hasil analisis menggunakan FMEA berupa nilai *Risk Priority Number* (RPN) yang digunakan untuk menentukan prioritas dilakukannya perbaikan menggunakan metode Taguchi pada tahap *improve*. Penilaian prioritas kegagalan ini dilakukan oleh pemilik UMKM AR Genteng KTL. Berikut merupakan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk jenis cacat pecah produk genteng dapat dilihat pada Tabel 15.



Tabel 15. *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Cacat Pecah*

No	Mode of Failure (Mode Kegagalan)	Effect of Failure (Efek Kegagalan)	Cause of Failure (Penyebab Kegagalan)	Rating			Risk Priority Number (RPN)	Rank
				S	O	D		
1	Kondisi mesin molen aus	Tanah liat dan pasir menggumpal	Tidak ada pengecekan mesin secara rutin	6	5	2	60	7
2	Setting mesin molen tidak sesuai dengan adukan jenis tanah liat	Adonan susah dibentuk	Ketidakuratan dalam pengaturan mesin molen	9	7	2	126	3
3	Perbedaan persepsi produk cacat antar pekerja	Produk yang diproduksi menjadi <i>defect</i>	Tidak ada standar <i>reject</i> produk	5	4	4	80	5
4	Pengeringan yang tidak merata	Kekerasan produk yang tidak konsisten	Keterbatasan penggunaan metode pendukung	5	9	2	90	4
5	Komposisi bahan baku yang tidak standar	Genteng mudah pecah	Kualitas bahan baku yang beragam	6	6	4	144	1
6	Kualitas bahan baku yang tidak sesuai	Genteng mudah pecah	Tidak ada pemeriksaan saat bahan baku datang	5	7	4	140	2
7	Pekerja kurang teliti saat proses QC	Pecah tidak terdeteksi	Mengobrol	6	2	3	36	8
8	Pekerja kurang teliti saat proses QC	Produk yang diproduksi menjadi <i>defect</i>	Tidak ada informasi mengenai pelatihan	5	2	2	20	10
9	Konsentrasi menurun	Pecah tidak terdeteksi	Beban kerja yang berlebihan	5	2	3	30	9
10	Tempat penjemuran yang terbuka	Tanah liat menggumpal dengan debu, kerikil	Paparan sinar matahari secara langsung	6	3	4	72	6

(Sumber: Pekerja UMKM AR Genteng KTL, 2024)

Keterangan:

S = *Severity* (Tingkat Keparahan) (1-10)

O = *Occurence* (Tingkat Kejadian) (1-10)

D = *Detective* (Tingkat Deteksi) (1-10)

Contoh Perhitungan:

$$\begin{aligned} \text{RPN} &= \textit{Severity} \times \textit{Occurrence} \times \textit{Detection} \\ &= 6 \times 5 \times 2 \\ &= 60 \end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 15 dapat diketahui mode kegagalan yang menyebabkan terjadinya cacat pecah pada genteng yang menimbulkan efek kegagalan pada proses maupun produk yang dihasilkan dan mengetahui penyebab terjadinya kegagalan tersebut. Urutan prioritas didahulukannya perbaikan pada penyebab kegagalan yang terjadi pada produk genteng dari peringkat tertinggi hingga terendah adalah kualitas bahan baku yang beragam sehingga menyebabkan komposisi bahan baku tidak standar yang menimbulkan efek kegagalan genteng mudah pecah dengan nilai RPN tertinggi sebesar 144, tidak ada pemeriksaan saat bahan baku datang sehingga menyebabkan kualitas bahan baku tidak sesuai dengan nilai RPN sebesar 140, ketidakuratan dalam pengaturan mesin molen sehingga menyebabkan *setting* mesin molen tidak sesuai adukan jenis tanah liat dengan nilai RPN sebesar 126, keterbatasan penggunaan metode pendukung sehingga menyebabkan pengeringan yang tidak merata dengan nilai RPN sebesar 90, tidak ada standar *reject* produk sehingga menyebabkan perbedaan persepsi produk cacat antar pekerja dengan nilai RPN sebesar 80.

Selanjutnya paparan sinar matahari secara langsung sehingga menyebabkan tempat penjemuran yang terbuka dengan nilai RPN sebesar 72, tidak ada pengecekan mesin secara rutin sehingga menyebabkan kondisi mesin molen aus dengan nilai RPN sebesar 60, operator mengobrol sehingga menyebabkan kurang teliti saat proses QC dengan nilai RPN sebesar 36, beban kerja yang berlebihan sehingga menyebabkan konsentrasi operator menurun dengan nilai RPN sebesar 30. Kemudian nilai RPN terendah dari cacat pecah genteng sebesar 20 yaitu operator tidak dapat informasi terkait pelatihan sehingga menyebabkan pekerja kurang teliti saat proses QC yang menimbulkan efek kegagalan produk yang diproduksi menjadi *defect*. FMEA selanjutnya untuk mengetahui mode kegagalan berdasarkan urutan prioritas nilai RPN dari cacat retak genteng dapat dilihat pada Tabel 16.

Tabel 16. *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Cacat Retak*

No	Mode of Failure (Mode Kegagalan)	Effect of Failure (Efek Kegagalan)	Cause of Failure (Penyebab Kegagalan)	Rating			Risk Priority Number (RPN)	Rank
				S	O	D		
1	Kondisi mesin cetak aus	Cetakan genteng yang tidak rata	Tidak ada pengecekan mesin secara rutin	7	3	3	63	4
2	Setting kecepatan putaran mesin terlalu tinggi atau terlalu rendah	Adonan susah dibentuk	Kalibrasi mesin yang tidak tepat	6	3	2	36	7
3	Pengeringan yang tidak merata	Kekerasan produk yang tidak konsisten	Tidak ada penggunaan metode pendukung	6	5	3	90	3
4	Komposisi pasir dengan bahan baku tidak standar	Genteng mudah retak	Kurangnya pemeriksaan oleh pemasok	5	3	4	60	5
5	Kualitas bahan baku yang tidak sesuai	Genteng mudah retak	Tidak ada pemeriksaan saat bahan baku datang	5	5	4	100	2
6	Ketebalan yang tidak merata	Retak tidak terdeteksi	Jam kerja yang tidak teratur	5	2	4	40	6
7	Kondisi cuaca yang berubah-ubah	Genteng mudah retak	Kelembapan yang tinggi	7	8	2	112	1

(Sumber: Pekerja UMKM AR Genteng KTL, 2024)

Keterangan:

S = *Severity* (Tingkat Keparahan) (1-10)

O = *Occurence* (Tingkat Kejadian) (1-10)

D = *Detective* (Tingkat Deteksi) (1-10)

Contoh Perhitungan:

$$\begin{aligned} \text{RPN} &= \textit{Severity} \times \textit{Occurence} \times \textit{Detection} \\ &= 7 \times 3 \times 3 \\ &= 63 \end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 16 dapat diketahui bahwa nilai *Risk Priority Number* (RPN) untuk cacat retak pada genteng yang tertinggi sebesar 112 yaitu kelembapan yang tinggi dengan efek kegagalan produk genteng mudah retak, tidak ada pemeriksaan saat bahan baku datang sehingga menyebabkan kualitas bahan baku tidak sesuai yang menimbulkan efek kegagalan produk genteng mudah retak dengan nilai RPN sebesar 100, tidak ada penggunaan metode pendukung sehingga menyebabkan proses pengeringan menjadi tidak rata yang menimbulkan efek kegagalan kekerasan produk yang tidak konsisten dengan nilai RPN sebesar 90, tidak ada pengecekan mesin secara rutin sehingga menyebabkan kondisi mesin cetak aus yang menimbulkan efek kegagalan cetakan genteng yang tidak rata dengan nilai RPN sebesar 63, kurangnya pemeriksaan oleh pemasok sehingga menyebabkan komposisi pasir dengan bahan baku lainnya tidak standar yang menimbulkan efek produk genteng mudah retak dengan nilai RPN sebesar 60, jam kerja yang tidak teratur sehingga menyebabkan ketebalan produk tidak merata yang menimbulkan efek cacat retak tidak terdeteksi dengan nilai RPN sebesar 40, dan nilai RPN terendah sebesar 36 yaitu kalibrasi mesin yang tidak tepat sehingga menyebabkan *setting* kecepatan gulungan mesin molen terlalu tinggi atau terlalu rendah yang menimbulkan efek kegagalan adonan susah dibentuk. FMEA selanjutnya untuk mengetahui mode kegagalan berdasarkan urutan prioritas nilai RPN dari cacat gompal genteng dapat dilihat pada Tabel 17.

Tabel 17. *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Cacat Gompal*

No	Mode of Failure (Mode Kegagalan)	Effect of Failure (Efek Kegagalan)	Cause of Failure (Penyebab Kegagalan)	Rating			Risk Priority Number (RPN)	Rank
				S	O	D		
1	Kadar air yang tinggi	Genteng tidak rata	Tidak ada alat ukur untuk mengukur jumlah bahan pengencer	6	3	3	54	7
2	Ketidaksesuaian proporsi bahan saat proses pencampuran	Genteng mudah gompal	Alat ukur masih manual atau perkiraan	6	7	2	84	5
3	Pengeringan yang tidak merata	Kekerasan produk yang tidak konsisten	Kurangnya penggunaan metode pendukung	5	6	3	90	4
4	Kurang hati-hati saat memindahkan genteng	Gompal tidak terdeteksi	Kurang Sumber Daya Manusia (SDM)	4	5	4	80	6
5	Kurang hati-hati saat mengangkat dan meletakkan genteng	Gompal tidak terdeteksi	Tidak ada informasi terkait pelatihan	4	5	5	100	2
6	Genteng terkontaminasi bahan-bahan asing	Genteng tercampur dengan material lain	Sirkulasi udara yang tidak teratur	6	9	2	108	1
7	Kelembapan tinggi	Gompal tidak terdeteksi	Ruang pengeringan yang tertutup	6	8	2	96	3

(Sumber: Pekerja UMKM AR Genteng KTL, 2024)

Keterangan:

S = *Severity* (Tingkat Keparahan) (1-10)

O = *Occurence* (Tingkat Kejadian) (1-10)

D = *Detective* (Tingkat Deteksi) (1-10)

Contoh Perhitungan:

$$\begin{aligned} \text{RPN} &= \textit{Severity} \times \textit{Occurrence} \times \textit{Detection} \\ &= 6 \times 3 \times 3 \\ &= 54 \end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 17 dapat diketahui bahwa nilai *Risk Priority Number* (RPN) untuk cacat gompal pada genteng yang tertinggi sebesar 108 yaitu sirkulasi udara yang tidak teratur sehingga menyebabkan genteng terkontaminasi bahan-bahan asing yang menimbulkan efek genteng tercampur dengan material lain, operator tidak ada informasi mengenai pelatihan sehingga menyebabkan kurang hati-hati saat mengangkat dan meletakkan genteng yang menimbulkan efek cacat gompal tidak terdeteksi dengan nilai RPN sebesar 100, ruang pengeringan yang tertutup sehingga menyebabkan kelembapan tinggi yang menimbulkan efek cacat gompal tidak terdeteksi dengan nilai RPN sebesar 96, tidak ada penggunaan metode pendukung sehingga menyebabkan pengeringan genteng tidak merata yang menimbulkan efek kekerasa produk yang tidak konsisten dengan nilai RPN sebesar 90.

Selanjutnya alat ukur masih manual atau menggunakan perkiraan sehingga menyebabkan ketidaksesuaian proporsi bahan saat proses pencampuran yang menimbulkan efek genteng mudah gompal dengan nilai RPN sebesar 84, kurang Sumber Daya Manusia (SDM) sehingga menyebabkan kurang hati-hati saat memindahkan genteng yang menimbulkan efek gompal tidak terdeteksi dengan nilai RPN sebesar 80, dan nilai RPN terendah sebesar 54 yaitu tidak ada alat ukur untuk mengukur jumlah bahan pengencer sehingga menyebabkan kadar air tinggi yang menimbulkan efek kegagalan produk genteng tidak rata. FMEA selanjutnya untuk mengetahui mode kegagalan berdasarkan urutan prioritas nilai RPN dari cacat gosong genteng dapat dilihat pada Tabel 18.

Tabel 18. *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Cacat Warna Gosong*

No	Mode of Failure (Mode Kegagalan)	Effect of Failure (Efek Kegagalan)	Cause of Failure (Penyebab Kegagalan)	Rating			Risk Priority Number (RPN)	Rank
				S	O	D		
1	Kondisi suhu pembakaran yang kurang terkontrol	Warna genteng hitam	Tidak adanya alat pengontrol suhu	6	3	3	54	3
2	Kurangnya pemantauan terhadap proses pembakaran	Warna gosong tidak terdeteksi	Tidak ada informasi terkait pelatihan	5	2	4	40	4
3	Pembakaran yang tidak merata atau terlalu cepat	Warna yang tidak merata pada genteng	Tidak ada biaya	6	4	3	72	2
4	Peningkatan risiko penumpukkan panas	Warna genteng hitam	Kurangnya perencanaan susunan genteng	6	9	3	162	1
5	Pemanasan yang tidak merata	Warna yang tidak merata pada genteng	Ruang pembakaran genteng yang terbatas	6	3	2	36	5

(Sumber: Pekerja UMKM AR Genteng KTL, 2024)

Keterangan:

S = *Severity* (Tingkat Keparahan) (1-10)

O = *Occurrence* (Tingkat Kejadian) (1-10)

D = *Detective* (Tingkat Deteksi) (1-10)

Contoh Perhitungan:

$$\begin{aligned} \text{RPN} &= \textit{Severity} \times \textit{Occurrence} \times \textit{Detection} \\ &= 6 \times 3 \times 3 \\ &= 60 \end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 18 dapat diketahui bahwa nilai *Risk Priority Number* (RPN) untuk cacat gosong pada genteng yang tertinggi sebesar 162 yaitu kurangnya perencanaan susunan genteng sehingga menyebabkan peningkatan risiko penumpukkan panas yang menimbulkan efek warna genteng menjadi hitam, tidak ada biaya untuk memperbarui teknologi dalam pembuatan genteng sehingga menyebabkan pembakaran yang tidak merata atau terlalu cepat yang menimbulkan warna tidak merata dengan nilai RPN sebesar 72, tidak adanya alat pengontrol suhu sehingga menyebabkan kondisi suhu pembakaran yang kurang terkontrol menimbulkan efek warna genteng menjadi hitam dengan nilai RPN sebesar 54, operator tidak ada informasi terkait pelatihan sehingga menyebabkan kurangnya pemantauan terhadap proses pembakaran menimbulkan efek warna gosong tidak terdeteksi dengan nilai RPN sebesar 40, dan nilai RPN terendah sebesar 36 yaitu ruang pembakaran genteng yang terbatas sehingga menyebabkan pemanasan yang tidak merata menimbulkan warna tidak merata pada genteng.

4.2.4 Tahap *Improve*

Tahap *improve* merupakan tahapan keempat dalam metode *six sigma*. Pada tahap ini dilakukan rekomendasi perbaikan yang diharapkan dapat meningkatkan performansi dari *sigma*. Langkah ini dapat dilakukan dengan menggunakan *action planning* FMEA berdasarkan nilai RPN tertinggi dari setiap jenis cacat pada produk genteng dan eksperimen Taguchi dilakukan dengan desain *orthogonal array*.

4.2.4.1 Action Planning FMEA

Action planning merupakan tahapan lanjutan pada proses FMEA setelah melakukan perhitungan nilai RPN untuk rencana tindakan perbaikan. Berdasarkan tahapan FMEA, setelah diperoleh nilai *ranking* yang dilihat dari nilai RPN sehingga rekomendasi perbaikan diprioritaskan berdasarkan *ranking* tertinggi. Berikut ini *action planning* FMEA dari masing-masing cacat produk genteng.

Tabel 19. Action Planning FMEA Cacat Pecah Produk Genteng

Rank	Mode of Failure	Potential Effect of Failure	Potential Cause of Failure	Action Planning
1	Komposisi bahan baku yang tidak standar	Genteng mudah pecah	Kualitas bahan baku yang beragam	1. Menetapkan standar spesifikasi bahan baku yang jelas dan rinci 2. Mengukur kebutuhan tiap bahan baku dengan alat ukur
2	Kualitas bahan baku yang tidak sesuai	Genteng mudah pecah	Tidak ada pemeriksaan saat bahan baku datang	1. Membuat SOP mengenai kontrol kualitas setelah bahan baku datang 2. Menjalin kerja sama yang erat dengan pemasok bahan baku terkait spesifikasi yang diinginkan
3	Setting mesin molen tidak sesuai dengan adukan jenis tanah liat	Adonan susah dibentuk	Ketidakuran dalam pengaturan mesin molen	1. Membuat SOP untuk pengaturan setting mesin molen 2. Mengadakan pelatihan pekerja terkait pengaturan mesin
4	Pengeringan yang tidak merata	Kekerasan produk yang tidak konsisten	Keterbatasan penggunaan metode pendukung	1. Menjalin kerja sama dengan pemasok teknologi canggih untuk mendapatkan saran penggunaan teknologi canggih
5	Perbedaan persepsi produk cacat antar pekerja	Produk yang diproduksi menjadi <i>defect</i>	Tidak ada standar <i>reject</i> produk	1. Membuat standar kriteria produk yang spesifik untuk menentukan kapan suatu produk ditolak 2. Memberikan pelatihan pekerja terkait standar <i>reject</i> produk dan proses penolakan produk cacat
6	Tempat penjemuran yang terbuka	Tanah liat menggumpal dengan debu, kerikil	Paparan sinar matahari secara langsung	1. Membuat struktur bangunan peneduh atap untuk genteng saat proses penjemuran
7	Kondisi mesin molen aus	Tanah liat dan pasir menggumpal	Tidak ada pengecekan mesin secara rutin	1. Melakukan pengecekan pada mesin molen secara berkala
8	Pekerja kurang teliti saat proses QC	Pecah tidak terdeteksi	Intensitas ngobrol yang cukup tinggi	1. Meningkatkan pengawasan langsung terhadap operator saat proses QC 2. Memberikan pelatihan tentang QC kepada pekerja
9	Pekerja kurang teliti saat proses QC	Produk yang diproduksi menjadi <i>defect</i>	Tidak ada informasi terkait pelatihan	1. Meningkatkan pengawasan langsung terhadap operator saat proses QC 2. Memberikan pelatihan tentang QC kepada pekerja
10	Konsentrasi menurun	Pecah tidak terdeteksi	Beban kerja yang berlebihan	1. Merekrut pekerja untuk membantu produksi genteng 2. Melakukan pemantauan dan peninjauan berkala untuk kepatuhan terhadap kebijakan produksi

Tabel 20. Action Planning FMEA Cacat Retak Produk Genteng

<i>Rank</i>	<i>Mode of Failure</i>	<i>Potential Effect of Failure</i>	<i>Potential Cause of Failure</i>	<i>Rekomendasi Perbaikan</i>
1	Kondisi cuaca yang berubah-ubah	Genteng mudah retak	Kelembapan yang tinggi	1. Meminimalkan waktu antara proses produksi dan penjemuran genteng
2	Kualitas bahan baku yang tidak sesuai	Genteng mudah retak	Tidak ada pemeriksaan saat bahan baku datang	1. Membuat SOP mengenai kontrol kualitas setelah bahan baku datang 2. Menjalin kerja sama yang erat dengan pemasok bahan baku terkait spesifikasi yang diinginkan
3	Pengeringan yang tidak merata	Kekerasan produk yang tidak konsisten	Tidak ada penggunaan metode pendukung	1. Menjalin kerja sama dengan pemasok teknologi canggih untuk mendapatkan saran penggunaan teknologi canggih
4	Kondisi mesin cetak aus	Cetakan genteng yang tidak rata	Tidak ada pengecekan mesin secara rutin	1. Melakukan pengecekan pada mesin cetak secara berkala 2. Membuat SOP jadwal perawatan mesin cetak secara rutin
5	Komposisi pasir dengan bahan baku lain tidak standar	Genteng mudah retak	Kurangnya pemeriksaan oleh pemasok	1. Menetapkan syarat kualitas untuk bahan baku yang dibeli 2. Memberikan pelatihan kepada pemasok tentang pemeriksaan kualitas
6	Ketebalan yang tidak merata	Retak tidak terdeteksi	Jam kerja yang tidak teratur	1. Menetapkan jadwal produksi yang sesuai dengan kapasitas tenaga kerja dan mesin 2. Menambahkan pekerja atau Sumber Daya Manusia (SDM)
7	<i>Setting</i> kecepatan putara mesin terlalu tinggi atau terlalu rendah	Adonan susah dibentuk	Kalibrasi mesin yang tidak tepat	1. Membuat SOP untuk pengaturan <i>setting</i> mesin molen 2. Memberikan pelatihan kepada teknisi dan pekerja terkait pengaturan mesin

Tabel 21. Action Planning FMEA Cacat Gompal Produk Genteng

Rank	Mode of Failure	Potential Effect of Failure	Potential Cause of Failure	Rekomendasi Perbaikan
1	Genteng terkontaminasi bahan-bahan asing	Genteng tercampur dengan material lain	Sirkulasi udara yang tidak teratur	1. Membuat jadwal pembersihan secara rutin pada rak pengeringan genteng
2	Kurang hati-hati saat mengangkat dan meletakkan genteng	Gompal tidak terdeteksi	Tidak ada informasi terkait pelatihan	1. Mencari informasi pelatihan atau <i>workshop</i> gratis dari industri genteng lainnya 2. Mencari pelatihan <i>online</i> dari Youtube dan lain-lain
3	Kelembapan tinggi	Gompal tidak terdeteksi	Ruang pengeringan yang tertutup	1. Mengatur rak-rak genteng di dalam ruang pengeringan
4	Pengeringan yang tidak merata	Kekerasan produk yang tidak konsisten	Kurangnya penggunaan metode pendukung	1. Menjalin kerja sama dengan pemasok teknologi canggih untuk mendapatkan saran penggunaan teknologi canggih
5	Ketidaksesuaian proporsi bahan saat proses pencampuran	Genteng mudah gompal	Alat ukur masih manual atau perkiraan	1. Menggunakan alat timbangan digital untuk menentukan proporsi bahan baku
6	Kurang hati-hati saat memindahkan genteng	Gompal tidak terdeteksi	Kurang SDM (Sumber Daya Manusia)	1. Menambahkan pekerja atau Sumber Daya Manusia (SDM)
7	Kadar air yang tinggi	Genteng tidak rata	Tidak ada alat ukur untuk mengukur jumlah bahan pengencer	1. Membuat SOP mengenai standar komposisi kadar air yang digunakan dalam pencampuran bahan

Tabel 22. Action Planning FMEA Cacat Warna Gosong Produk Genteng

<i>Rank</i>	<i>Mode of Failure</i>	<i>Potential Effect of Failure</i>	<i>Potential Cause of Failure</i>	Rekomendasi Perbaikan
1	Peningkatan risiko penumpukkan panas	Warna genteng hitam	Kurangnya perencanaan susunan genteng	1. Menyusun genteng dengan jarak yang cukup antar genteng
2	Pembakaran yang tidak merata atau terlalu cepat	Warna yang tidak merata pada genteng	Tidak ada biaya	1. Melakukan rotasi penyusunan genteng di dalam tungku selama proses pembakaran
3	Kondisi suhu pembakaran yang kurang terkontrol	Warna genteng hitam	Tidak adanya alat pengontrol suhu	1. Memasang sensor suhu di berbagai titik dalam tungku
4	Kurangnya pemantauan terhadap proses pembakaran	Warna gosong tidak terdeteksi	Tidak ada informasi terkait pelatihan	1. Membuat SOP terhadap proses pembakaran untuk memantau 2. Mencari pelatihan <i>online</i> dari Youtube dan lain-lain
5	Pemanasan yang tidak merata	Warna yang tidak merata pada genteng	Ruang pembakaran yang terbatas	1. Menyusun genteng dengan menetapkan batasan tumpukan agar suhu panasnya rata

Action planning tersebut dibuat berdasarkan penyebab terjadinya kegagalan pada produk genteng berdasarkan tabel FMEA yang telah dibuat sebelumnya. Berdasarkan tabel di atas dapat diketahui bahwa terdapat beberapa rekomendasi perbaikan dari masing-masing cacat produk genteng yang perlu dipertimbangkan oleh UMKM AR Genteng KTL untuk diterapkan agar UMKM tersebut semakin berkembang dan bisa bersaing di industri kecil dan menengah. Rekomendasi perbaikan tersebut telah diurutkan berdasarkan prioritas nilai *Risk Priority Number* (RPN) yang tertinggi hingga terendah.

4.2.4.2 Metode Taguchi

Setelah faktor-faktor penyebab cacat dari produk genteng telah diketahui, maka selanjutnya dilakukan perbaikan proses dengan menggunakan metode Taguchi untuk meminimalisir jumlah cacat yang terjadi dengan mencari *setting level optimal* untuk memproduksi genteng. Berikut ini merupakan tahapan pengolahan data dengan menggunakan metode Taguchi pada produk genteng di UMKM AR Genteng KTL.

a. Penentuan karakteristik kualitas

Pada tahapan ini, karakteristik kualitas yang diukur untuk produk genteng adalah jumlah cacat (buah). Karena karakteristik kualitas yang diamati berupa cacat atau tidak cacat pada produk tersebut dengan tujuan meminimasi kategori cacat. Oleh karena itu, karakteristik kualitas pada produk tersebut termasuk ke dalam klasifikasi *smaller the better*. *Smaller the better* merupakan fungsi objektif dimana pencapaian karakteristik semakin baik apabila nilainya semakin kecil, artinya jika jumlah cacat semakin rendah maka kualitas yang dihasilkan semakin baik.

b. Penentuan variabel bebas dan variabel tak bebas

Variabel bebas (faktor) merupakan variabel yang perubahannya tidak tergantung pada variabel lain. Variabel tak bebas (respon) merupakan variabel yang perubahannya tergantung pada variabel bebas. Variabel tak bebas (*dependent*) pada penelitian ini yaitu jumlah produk genteng yang tidak sesuai (*reject*) sedangkan variabel bebas pada penelitian ini yaitu:

1. Tanah liat (Faktor A)

2. Lama penjemuran (Faktor B)
 3. Lama pengeringan (Faktor C)
 4. Lama pembakaran (Faktor D)
- c. Penentuan faktor dan level yang berpengaruh

Penentuan faktor-faktor yang berpengaruh berdasarkan diagram *fishbone*, dimana terdapat penyebab-penyebab terjadinya cacat produk genteng. Penentuan faktor tersebut didapatkan dari wawancara, *survey*, dan studi literatur. Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap cacat produk tersebut merupakan faktor kontrol yang dapat dikendalikan nilainya oleh pihak UMKM. Berikut faktor dan level yang digunakan untuk eksperimen produk genteng dapat dilihat pada Tabel 23.

Tabel 23. Faktor dan Level yang Berpengaruh

Kode	Faktor yang berpengaruh	Level Faktor		
		1	2	3
A	Tanah Liat	0,50 Kg	1 Kg	1,5 Kg
B	Lama Pengeringan	6 jam	8 jam	10 jam
C	Lama Penjemuran	24 jam	48 jam	72 jam
D	Lama Pembakaran	8 jam	9 jam	10 jam

- d. Penentuan derajat kebebasan (*degree of freedom*)

Pada tahap ini melakukan perhitungan nilai derajat kebebasan dari faktor-faktor yang akan digunakan dalam eksperimen. Berikut merupakan perhitungan derajat kebebasan untuk faktor yang terkontrol dapat dilihat pada Tabel 24.

Tabel 24. Perhitungan Derajat Kebebasan

Faktor Kontrol		Df
Kode	Penjelasan	
A	Tanah Liat	(3-1)
B	Lama Pengeringan	(3-1)
C	Lama Penjemuran	(3-1)
D	Lama Pembakaran	(3-1)
Total		8

- e. Penentuan matriks ortogonal (*orthogonal array*)

Selanjutnya menentukan matriks ortogonal yang sesuai dengan hasil perhitungan derajat kebebasan. Derajat kebebasan diketahui sebesar 8,

Oleh karena itu matriks ortogonal yang cocok atau sesuai dengan eksperimen kali ini yaitu $L_9(3^4)$. Pada Tabel 25 merupakan susunan matriks ortogonal yang terdiri dari 9 eksperimen, 4 faktor, dan 3 level.

Tabel 25. Matriks Ortogonal $L_9(3^4)$

Matriks Ortogonal ($L_9(3^4)$)				
Eksperimen	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	2
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

f. Penentuan jumlah replikasi

Replikasi digunakan untuk menghasilkan taksiran yang lebih akurat terhadap efek rata-rata suatu faktor ataupun terhadap kekeliruan eksperimen. Derajat kebebasan (dk) yang digunakan sebesar 15, karena kehomogenan antar blok belum diketahui. Penentuan jumlah replikasi ini menggunakan rumus Federer untuk menghindari sekecil mungkin kesalahan dalam pengulangan terhadap eksperimen (Ulfah, Ekawati dan Ferdinant, 2018).

Derajat kebebasan (dk) = 15

Jumlah *treatment* (t) = $3^4 = 81$

Sehingga:

$$(t - 1)(r - 1) \geq dk$$

$$(81 - 1)(r - 1) \geq 15$$

$$80r - 80 \geq 15 + 80$$

$$80r \geq 95$$

$$r \geq \frac{95}{80}$$

$$r \geq 1,19$$

$$r \approx 2$$

g. Data hasil eksperimen Taguchi

Pada pelaksanaan eksperimen Taguchi ini menggunakan 2 replikasi dari setiap kali eksperimen. Penentuan replikasi dilakukan untuk menghasilkan ketelitian yang lebih tinggi dan akurat. Eksperimen dilakukan dengan mengkombinasikan tiga level faktor. Berikut merupakan hasil eksperimen Taguchi yang dapat dilihat pada Tabel 26.

Tabel 26. Data Hasil Eksperimen Taguchi

Eksperimen	A	B	C	D	Hasil Jumlah Cacat	
					R1	R2
1	1	1	1	1	3	6
2	1	2	2	2	5	4
3	1	3	3	3	9	5
4	2	1	2	3	6	7
5	2	2	3	1	3	5
6	2	3	1	2	4	6
7	3	1	3	2	9	8
8	3	2	1	3	2	3
9	3	3	2	1	6	8

h. Perhitungan nilai *Signal Noise to Ratio* (SNR) dan rata-rata

Pada tahapan selanjutnya yakni menghitung nilai *Signal Noise to Ratio* (SNR) dan nilai rata-rata yang digunakan untuk mengetahui level faktor mana yang berpengaruh pada hasil eksperimen. Karakteristik kualitas yang digunakan yaitu *smaller the better* (semakin kecil, semakin baik). Berikut merupakan perhitungan nilai *Signal Noise to Ratio* (SNR) dan nilai rata-rata dengan bantuan *software* Minitab dapat dilihat pada Tabel 27.

Tabel 27. Perhitungan Nilai *Signal Noise to Ratio* (SNR) dan Rata-rata

Eksperimen	A	B	C	D	Hasil		SNR	Rata-rata
					R1	R2		
1	1	1	1	1	3	6	-13,522	4,5
2	1	2	2	2	5	4	-13,118	4,5
3	1	3	3	3	9	5	-17,243	7
4	2	1	2	3	6	7	-16,284	6,5
5	2	2	3	1	3	5	-12,304	4
6	2	3	1	2	4	6	-14,150	5
7	3	1	3	2	9	8	-18,603	8,5
8	3	2	1	3	2	3	-8,129	2,5
9	3	3	2	1	6	8	-16,990	7

Contoh perhitungan:

1. Nilai rata-rata hasil eksperimen ke-1

$$\begin{aligned}\mu_1 &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \\ &= \frac{1}{2} (3 + 6) \\ &= 4,5\end{aligned}$$

2. Nilai SNR hasil eksperimen ke-1

$$\begin{aligned}SNR &= -10 \log_{10} [\sigma + \bar{y}^2] \\ &= -10 \log_{10} [4,5 + 2,25] \\ &= -13,522\end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 27 dapat diketahui nilai *Signal Noise to Ratio* (SNR) dan nilai rata-rata dari setiap eksperimen yang digunakan sebagai *input* untuk menghitung *Analysis of Variance* (ANOVA) pada tahapan selanjutnya dan menentukan faktor-faktor yang optimal. Faktor-faktor yang optimum dengan karakteristik respon *smaller the better* dapat dilihat pada Gambar 24.

Response Table for Signal to Noise Ratios				
Smaller is better				
Level	A	B	C	D
1	-14,63	-16,14	-11,93	-14,27
2	-14,25	-11,18	-15,46	-15,29
3	-14,57	-16,13	-16,05	-13,89
Delta	0,38	4,95	4,12	1,40
Rank	4	1	2	3

Gambar 24. Tabel Respon Nilai SNR

Contoh perhitungan:

1. Faktor A level 1

$$\begin{aligned}\bar{A1} &= \frac{1}{n_{A1}} \sum_{i=1}^r A1 \\ &= \frac{13,522+13,118+17,243}{3} \\ &= 14,63\end{aligned}$$

2. Delta (selisih)

$$\begin{aligned}\text{Selisih} &= \max - \min \\ &= 14,63 - 14,57 \\ &= 0,38\end{aligned}$$

Berdasarkan Gambar 24 dapat diketahui bahwa perhitungan nilai SNR respon kombinasi faktor-faktor optimum untuk meminimalisir cacat produk genteng adalah B2C1D3A2. Pada tabel respon diketahui faktor B (lama pengeringan) dengan level 2 (8 jam), faktor C (lama penjemuran) dengan level 1 (24 jam), faktor D (lama pembakaran) dengan level 3 (10 jam), dan faktor A (tanah liat) dengan level 2 (1 Kg). Selain itu terdapat juga *main effect plot* yang digunakan untuk menguji perbedaan antara rata-rata tingkat untuk satu atau lebih faktor. Berikut merupakan *main effect plot* dari setiap faktor kontrol produk genteng terhadap nilai SNR dapat dilihat pada Gambar 25.



Gambar 25. Main Effect Plot Level Terhadap Nilai SNR

Berdasarkan Gambar 25 dapat diketahui bahwa grafik efek utama untuk setiap faktor yang tidak membentuk garis horizontal berarti mempunyai efek utama terhadap level faktor. Jika grafik efek utama tersebut membentuk garis horizontal maka tidak ada efek utama. Semakin curam kemiringannya, maka semakin besar efek utamanya untuk meminimalisir jumlah cacat genteng. Pada faktor A (tanah liat) yang optimal terjadi pada saat penggunaan tanah liat sebesar 1 Kg. Kondisi optimum faktor B (lama pengeringan) terjadi pada saat 8 jam. Kondisi optimum faktor C (lama penjemuran) terjadi pada saat 24 jam. Kondisi optimum faktor D (lama pembakaran) terjadi pada saat 10 jam. Selain itu terdapat tabel respon dari nilai rata-rata yang menunjukkan kondisi optimum dapat dilihat pada Gambar 26.

Response Table for Means				
Level	A	B	C	D
1	5,333	6,500	4,000	5,167
2	5,167	3,667	6,000	6,000
3	6,000	6,333	6,500	5,333
Delta	0,833	2,833	2,500	0,833
Rank	3,5	1	2	3,5

Gambar 26. Tabel Respon Nilai Rata-rata

Contoh perhitungan:

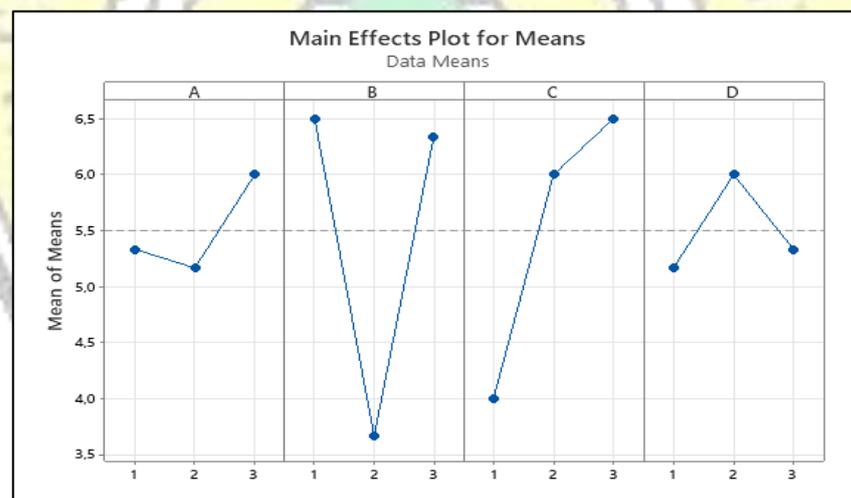
1. Faktor A level 1

$$\begin{aligned}\bar{A1} &= \frac{1}{n_{A1}} \sum_{i=1}^r A1 \\ &= \frac{4,5+4,5+7}{3} \\ &= 5,333\end{aligned}$$

2. Delta (selisih)

$$\begin{aligned}\text{Selisih} &= \max - \min \\ &= 6 - 5,167 \\ &= 0,833\end{aligned}$$

Berdasarkan Gambar 26 dapat diketahui bahwa perhitungan nilai rata-rata respon kombinasi faktor-faktor optimum untuk meminimalisir cacat produk genteng adalah B2C1D3A2. Pada tabel respon diketahui faktor B (lama pengeringan) dengan level 2 (8 jam), faktor C (lama penjemuran) dengan level 1 (24 jam), faktor D (lama pembakaran) dengan level 3 (10 jam), dan faktor A (tanah liat) dengan level 2 (1 Kg). Selain itu terdapat juga *main effect plot* dari setiap faktor kontrol produk genteng terhadap nilai rata-rata dapat dilihat pada Gambar 27.



Gambar 27. Main Effect Plot Level Terhadap Nilai Rata-rata

Berdasarkan Gambar 27 dapat diketahui bahwa *main effect plot* untuk nilai rata-rata dari setiap faktor tidak membentuk garis horizontal, artinya terdapat efek utama terhadap level faktor yang berbeda. Semakin curam kemiringannya, maka semakin besar efek utamanya berpengaruh. Pada faktor A kondisi optimal terjadi saat berada di level 2. Kondisi optimum

faktor B terjadi pada saat level 2. Kondisi optimum faktor C terjadi pada saat level 1. Kondisi optimum faktor D terjadi pada saat level 3.

- i. Perhitungan *Analysis of Variance* (ANOVA) rata-rata dan *Signal Noise to Ratio* (SNR)

Dalam perhitungan *Analysis of Variance* (ANOVA) ini dilakukan pada data eksperimen yang terdiri dari empat faktor dan tiga level. Analisis variansi bertujuan untuk mengidentifikasi kontribusi faktor, sehingga akurasi perkiraan model dapat ditentukan. Setiap faktor dan level pada eksperimen menggunakan tingkat kepercayaan sebesar 95% yang artinya bahwa peneliti memiliki keputusan untuk menolak atau menerima hipotesis dengan probabilitas kesalahan sebesar 5%. Adapun hasil perhitungan *Analysis of Variance* (ANOVA) rata-rata dapat dilihat pada Gambar 28.

Analysis of Variance						
Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value P-Value
B	2	15,167	54,17%	15,167	7,5833	13,00 0,018
C	2	10,500	37,50%	10,500	5,2500	9,00 0,033
Error	4	2,333	8,33%	2,333	0,5833	
Total	8	28,000	100,00%			

Gambar 28. *Analysis of Variance* (ANOVA) Nilai Rata-rata

Contoh perhitungan:

1. Jumlah kuadrat total (SS_{total})

$$\begin{aligned}
 SS_{total} &= \sum y^2 \\
 &= 3^2 + 5^2 + 9^2 + \dots + 3^2 + 8^2 \\
 &= 621
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 SS_{mean} &= n \times \bar{y}^2 \\
 &= 9 \times \left(\frac{\text{Total cacat}}{n} \right)^2 \\
 &= 9 \times \left(\frac{3+5+9+\dots+3+8}{9} \right)^2 \\
 &= 272,5
 \end{aligned}$$

3. Jumlah kuadrat masing-masing faktor

$$\begin{aligned}
 SS_B &= ((\bar{B}_1)^2 \times n_1) + ((\bar{B}_2)^2 \times n_2) + ((\bar{B}_3)^2 \times n_3) \\
 &= ((6,5)^2 \times 3) + ((3,667)^2 \times 3) + ((6,333)^2 \times 3) \\
 &= 15,167
 \end{aligned}$$

4. Derajat kebebasan faktor (D_f)

$$\begin{aligned}
 Df_B &= (\text{Number of level} - 1) \\
 &= (3 - 1) \\
 &= 2
 \end{aligned}$$

5. Derajat kebebasan total

$$\begin{aligned}
 Df_{SS_t} &= (\text{Number of experiment} - 1) \\
 &= (9 - 1) \\
 &= 8
 \end{aligned}$$

6. Rata-rata jumlah kuadrat (MS)

$$\begin{aligned}
 MS_B &= \frac{SS_B}{Df_B} \\
 &= \frac{15,167}{2} \\
 &= 7,583
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 7. \text{ Fratio} &= \frac{MS_B}{MS_{error}} \\
 &= \frac{7,583}{0,583} \\
 &= 13
 \end{aligned}$$

8. Pure Sum of Square faktor (SS')

$$\begin{aligned}
 SS'_B &= SS_B - (Df_B \times MS_{error}) \\
 &= 15,167 - (2 \times 7,583) \\
 &= 14
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SS'_{error} &= SS_t - (SS'_B + SS'_C) \\
 &= 28 - (14 + 9,333) \\
 &= 4,667
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 \rho\% B &= \frac{SS'_B}{SS_t} \times 100\% \\
 &= \frac{14}{28} \times 100\%
 \end{aligned}$$

$$= 54,17\%$$

$$\begin{aligned} 10. F_{\text{tabel}} &= \alpha_{0,05(2;4)} \\ &= 6,94 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan *Analysis of Variance* (ANOVA) didapatkan nilai F hitung dari masing-masing faktor. Selanjutnya penarikan kesimpulan dengan menentukan H_0 dan H_1 sebagai berikut:

H_0 = Tidak ada pengaruh perlakuan dari faktor eksperimen terhadap jumlah cacat genteng

H_1 = Terdapat pengaruh perlakuan dari faktor eksperimen terhadap jumlah cacat genteng

Setelah menentukan hipotesis didapatkan kesimpulan bahwa $F_{\text{hitung B}} > F_{\text{tabel}}$ sebesar $13 > 6,94$, maka H_0 ditolak dan H_1 gagal tolak yang artinya terdapat pengaruh perlakuan dari faktor B (lama pengeringan) terhadap jumlah cacat genteng dan $F_{\text{hitung C}} > F_{\text{tabel}}$ sebesar $9 > 6,94$, maka H_0 ditolak dan H_1 gagal tolak yang artinya terdapat pengaruh perlakuan dari faktor C (lama penjemuran) terhadap jumlah cacat genteng. Kemudian untuk faktor A (tanah liat) didapatkan hasil $F_{\text{hitung A}} < F_{\text{tabel}}$ sebesar $1 < 6,94$, maka H_0 gagal tolak dan H_1 ditolak yang artinya tidak ada pengaruh perlakuan dari faktor A (tanah liat) terhadap jumlah cacat genteng. Kemudian faktor D (lama pembakaran) didapatkan hasil $F_{\text{hitung D}} < F_{\text{tabel}}$ sebesar $1 < 6,94$, maka H_0 gagal tolak dan H_1 ditolak yang artinya tidak ada pengaruh perlakuan dari faktor D (lama pembakaran) terhadap jumlah cacat genteng. Selain itu didapatkan juga hasil perhitungan *Analysis of Variance* (ANOVA) terhadap nilai *Signal Noise to Ratio* (SNR) pada Gambar 29.

Analysis of Variance							
Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
B	2	48,9687	59,62%	48,9687	24,4844	191,38	0,005
C	2	29,7527	36,22%	29,7527	14,8763	116,28	0,009
D	2	3,1602	3,85%	3,1602	1,5801	12,35	0,075
Error	2	0,2559	0,31%	0,2559	0,1279		
Total	8	82,1375	100,00%				

Gambar 29. *Analysis of Variance* (ANOVA) Nilai SNR

Contoh perhitungan:

1. Jumlah kuadrat total (SS_{total})

$$\begin{aligned} SS_{total} &= \sum y^2 \\ &= (-13,522)^2 + (-13,118)^2 + (-17,243)^2 + \dots + (-16,990)^2 \\ &= 1969,821 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} SS_{mean} &= n \times \bar{y}^2 \\ &= 9 \times \left(\frac{\text{Total SNR}}{n} \right)^2 \\ &= 9 \times \left(\frac{(-13,522) + (-13,118) + (-17,243) + \dots + (-16,990)}{9} \right)^2 \\ &= 1887,684 \end{aligned}$$

3. Jumlah kuadrat masing-masing faktor

$$\begin{aligned} SS_B &= ((\bar{B1})^2 \times n_1) + ((\bar{B2})^2 \times n_2) + ((\bar{B3})^2 \times n_3) \\ &= ((-16,14)^2 \times 3) + ((-11,18)^2 \times 3) + ((-16,13)^2 \times 3) \\ &= 48,9687 \end{aligned}$$

4. Derajat kebebasan faktor (D_f)

$$\begin{aligned} Df_B &= (\text{Number of level} - 1) \\ &= (3 - 1) \\ &= 2 \end{aligned}$$

5. Derajat kebebasan total

$$\begin{aligned} Df_{SS_t} &= (\text{Number of experiment} - 1) \\ &= (9 - 1) \\ &= 8 \end{aligned}$$

11. Rata-rata jumlah kuadrat (MS)

$$\begin{aligned} MS_B &= \frac{SS_B}{Df_B} \\ &= \frac{48,9687}{2} \\ &= 24,484 \end{aligned}$$

12. Fratio
- $$\begin{aligned} &= \frac{MS_B}{MS_{error}} \\ &= \frac{24,484}{0,1279} \end{aligned}$$

$$= 191,385$$

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

$$\begin{aligned} SS'_B &= SS_B - (Df_B \times MS_{error}) \\ &= 48,9687 - (2 \times 24,484) \\ &= 48,713 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SS'_{error} &= SS_t - (SS'_B + SS'_C + SS'_D) \\ &= 82,3933 - (48,713 + 29,497 + 2,904) \\ &= 1,279 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \rho\% B &= \frac{SS'_B}{SS_t} \times 100\% \\ &= \frac{48,713}{82,3933} \times 100\% \\ &= 59,12\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 15. F_{tabel} &= \alpha_{0,05(2;2)} \\ &= 19 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan *Analysis of Variance* (ANOVA) terhadap nilai *Signal Noise to Ratio* (SNR) diketahui bahwa faktor-faktor yang berpengaruh yaitu faktor B (lama pengeringan) dan faktor C (lama penjemuran). Penentuan hipotesis pada ANOVA SNR dapat ditarik kesimpulan bahwa $F_{hitung B} > F_{tabel}$ sebesar $191,38 > 19$, maka H_0 ditolak dan H_1 gagal tolak yang artinya terdapat pengaruh perlakuan dari faktor B (lama pengeringan) terhadap jumlah cacat genteng, $F_{hitung C} > F_{tabel}$ sebesar $116,28 > 19$, maka H_0 ditolak dan H_1 gagal tolak yang artinya terdapat pengaruh perlakuan dari faktor C (lama penjemuran) terhadap jumlah cacat genteng, $F_{hitung D} < F_{tabel}$ sebesar $12,35 < 19$, maka H_0 gagal tolak dan H_1 ditolak yang artinya tidak adanya pengaruh perlakuan dari faktor D (lama pembakaran) terhadap jumlah cacat genteng.

j. Strategi *pooling up*

Strategi *pooling up* ANOVA terhadap nilai *Signal Noise to Ratio* (SNR) yang dilakukan untuk mengestimasi variansi *error* pada analisis variansi dengan mengumpulkan faktor-faktor yang tidak signifikan sebagai *error*.

Berikut merupakan hasil perhitungan *pooling up* faktor B (lama pengeringan) dapat dilihat pada Tabel 28.

Tabel 28. Analysis of Variance (ANOVA) Nilai SNR Pooling Up

Sumber	SS	Df	MS	Fratio	SS'	Rasio%
B	48,969	2	24,484	28,669	47,261	57,54%
C	29,753	2	14,876	17,419	28,045	34,14%
<i>Pooled e</i>	3,416	4	0,854	1,000	6,832	8,32%
SSt	82,1375	6				100,00%
Mean	1887,684	2				
Sstotal	1969,821	8				

Contoh perhitungan:

1. Jumlah kuadrat *pooled e* ($SS_{pooled e}$)

$$\begin{aligned} SS_{pooled e} &= SS_{error} + SS_D \\ &= 0,2559 + 3,1602 \\ &= 3,416 \end{aligned}$$

2. Degree of Freedom *pooled e* ($Df_{pooled e}$)

$$\begin{aligned} Df_{(pooled e)} &= Df_{error} + Df_D \\ &= 2 + 2 \\ &= 4 \end{aligned}$$

3. Rata-rata jumlah kuadrat *pooled e* ($MS_{pooled e}$)

$$\begin{aligned} MS_{pooled e} &= \frac{SS_{pooled e}}{Df_{pooled e}} \\ &= \frac{3,416}{4} \\ &= 0,854 \end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 28 dapat diketahui bahwa faktor B dan faktor C telah di *pooling up* dan dapat ditarik kesimpulan hipotesis dari masing-masing faktor yaitu nilai $F_{hitung B} > F_{tabel}$ sebesar $28,669 > 6,94$, maka H_0 ditolak dan H_1 gagal tolak yang artinya terdapat pengaruh perlakuan dari faktor B (lama pengeringan) terhadap jumlah cacat genteng dan $F_{hitung C} > F_{tabel}$ sebesar $17,419 > 6,94$, maka H_0 ditolak dan H_1 gagal tolak yang artinya terdapat pengaruh perlakuan dari faktor C (lama penjemuran) terhadap jumlah cacat genteng.

k. Penentuan *setting* level optimal

Pada tahapan ini menentukan *setting* level optimal sebagai upaya untuk meningkatkan kualitas produk genteng dengan mencari kombinasi pengaturan level agar produk tersebut sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Berikut merupakan tabel kombinasi level faktor yang optimal dalam peningkatan kualitas produk genteng dapat dilihat pada Tabel 29.

Tabel 29. *Setting* Level Optimal

Faktor	Pengaruh	<i>Setting</i> Level	Keterangan
A	Tidak signifikan dan pengaruh kecil	A2	Tanah Liat (1 kg)
B	Signifikan dan pengaruh besar	B2	Lama Pengeringan (8 jam)
C	Signifikan dan pengaruh besar	C1	Lama Penjemuran (24 jam)
D	Tidak signifikan dan pengaruh kecil	D3	Lama Pembakaran (10 jam)

Berdasarkan Tabel 29 dapat diketahui bahwa kondisi level optimal yang mampu meningkatkan kualitas produk genteng pada UMKM AR Genteng KTL yaitu faktor B dengan level 2 (lama pengeringan 8 jam) dan faktor C dengan level 1 (lama penjemuran 24 jam).

l. Penentuan nilai prediksi dan selang kepercayaan

Setelah mendapatkan *setting* level optimum, kemudian dilakukan perhitungan nilai prediksi dan selang kepercayaan terhadap kondisi optimal tersebut. Jika nilai prediksi dan hasil eksperimen nilainya hampir sama atau mendekati, maka dapat disimpulkan bahwa rancangan eksperimen Taguchi sudah memenuhi syarat eksperimen Taguchi. Interval kepercayaan bertujuan untuk menentukan nilai toleransi yang mampu dicapai pada eksperimen dengan kombinasi level parameter yang optimum. Tingkat kepercayaan yang digunakan pada eksperimen ini sebesar 95% dengan α 0,05 atau 5%. Berikut hasil perhitungan selang kepercayaan untuk nilai rata-rata dan rasio S/N:

1. Perkiraan kondisi optimal dan interval kepercayaan untuk nilai rata-rata

- a. Perhitungan nilai prediksi rata-rata

$$\begin{aligned}\mu_{predicted} &= \bar{y} + (\overline{B2} - \bar{y}) + (\overline{C1} - \bar{y}) \\ &= 5,5 + (3,667 - 5,5) + (4 - 5,5) \\ &= 2,167\end{aligned}$$

- b. Perhitungan interval kepercayaan nilai rata-rata

$$\begin{aligned}Cl_{mean} &= \pm \sqrt{\left(F_{\alpha, v1, v2} \times MSe \times \frac{1}{n_{eff}} \right)} \\ &= \pm \sqrt{\left(F_{0,05, 2,4} \times 0,583 \times \frac{1}{7,2} \right)} \\ &= \pm 0,75\end{aligned}$$

Sehingga selang kepercayaan nilai rata-rata pada kondisi optimal yaitu:

$$\begin{aligned}\mu_{predicted} - Cl_{mean} &\leq \mu_{predicted} \leq \mu_{predicted} + Cl_{mean} \\ 2,167 - 0,75 &\leq \mu_{predicted} \leq 2,167 + 0,75 \\ 1,417 &\leq \mu_{predicted} \leq 2,917\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan nilai prediksi kondisi optimum nilai rata-rata diperoleh bahwa nilai $\mu_{predicted}$ sebesar 2,167 maka didapatkan rentang nilai selang kepercayaan yaitu $1,417 \leq \mu_{predicted} \leq 2,917$. Apabila nilai eksperimen konfirmasi berada pada batas selang kepercayaan tersebut, maka hasil eksperimen Taguchi dapat diterima.

2. Perkiraan kondisi optimal dan interval kepercayaan untuk nilai *Signal Noise to Ratio* (SNR)

- a. Perhitungan nilai prediksi rata-rata

$$\begin{aligned}\mu_{predicted} &= \bar{\eta} + (\overline{B2} - \bar{\eta}) + (\overline{C1} - \bar{\eta}) \\ &= (-14,482) + (3,667 - (-14,482)) + (4 - (-14,482)) \\ &= -8,635\end{aligned}$$

- b. Perhitungan interval kepercayaan nilai rata-rata

$$\begin{aligned}Cl_{mean} &= \pm \sqrt{\left(F_{\alpha, v1, v2} \times MS_{pooled\ e} \times \frac{1}{n_{eff}} \right)} \\ &= \pm \sqrt{\left(F_{0,05, 2,4} \times 0,854 \times \frac{1}{7,2} \right)}\end{aligned}$$

$$= \pm 0,91$$

Sehingga selang kepercayaan nilai rata-rata pada kondisi optimal yaitu:

$$\begin{aligned} \mu_{predicted} - CI_{mean} &\leq \mu_{predicted} \leq \mu_{predicted} + CI_{mean} \\ -8,635 - 0,91 &\leq \mu_{predicted} \leq -8,635 + 0,91 \\ -9,542 &\leq \mu_{predicted} \leq -7,727 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan nilai prediksi kondisi optimum nilai *Signal Noise to Ratio* (SNR) diperoleh bahwa nilai $\mu_{predicted}$ sebesar -8,635 maka didapatkan rentang nilai selang kepercayaan yaitu $-9,542 \leq \mu_{predicted} \leq -7,727$. Apabila nilai eksperimen konfirmasi berada pada batas selang kepercayaan tersebut, maka hasil eksperimen Taguchi dapat diterima.

n. Eksperimen konfirmasi

Eksperimen konfirmasi dilakukan berdasarkan hasil eksperimen yang telah dilakukan sebelumnya untuk membuktikan data tersebut sebagai penentuan kesimpulan. Pada tahap ini eksperimen konfirmasi dilakukan sebanyak 8 kali pada kondisi optimal dari masing-masing faktor dan level, yaitu faktor B (lama pengeringan) level 2 (8 jam), faktor C (lama penjemuran) level 1 (24 jam), faktor D (lama pembakaran) level 3 (10 jam), dan faktor A (tanah liat) level 2 (1 kg). Berikut merupakan data hasil eksperimen konfirmasi dapat dilihat pada Tabel 30.

Tabel 30. Data Hasil Eksperimen Konfirmasi

Percobaan ke-	Hasil Eksperimen Jumlah Cacat
1	2
2	4
3	1
4	2
5	1
6	1
7	2
8	3
9	4
10	2
Rata-rata	2,2
Standar Deviasi	1,14
Signal Noise to Ratio	-7,87

Berdasarkan Tabel 30 dapat diketahui nilai rata-rata dan *Signal Noise to Ratio* (SNR) dari data hasil eksperimen konfirmasi sebesar 2,2 dan -7,87. Selanjutnya melakukan perhitungan interval kepercayaan untuk eksperimen konfirmasi dari nilai rata-rata dan rasio S/N. Berikut merupakan perhitungan interval kepercayaan untuk eksperimen konfirmasi:

1. Perkiraan kondisi optimal dan interval kepercayaan nilai rata-rata untuk eksperimen konfirmasi
 - a. Perhitungan interval kepercayaan nilai rata-rata

$$\begin{aligned}
 Cl_{mean} &= \pm \sqrt{\left(F_{\alpha, v1, v2} \times MSe \times \left(\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right) \right)} \\
 &= \pm \sqrt{\left(F_{0,05, 2, 4} \times 0,583 \times \left(\frac{1}{7,2} + \frac{1}{10} \right) \right)} \\
 &= \pm 0,98
 \end{aligned}$$

Sehingga selang kepercayaan nilai rata-rata pada kondisi optimal yaitu:

$$\begin{aligned}
 \mu_{konfirmasi} - Cl_{mean} &\leq \mu_{konfirmasi} \leq \mu_{konfirmasi} + Cl_{mean} \\
 2,22 - 0,98 &\leq \mu_{konfirmasi} \leq 2,22 + 0,98 \\
 1,22 &\leq \mu_{konfirmasi} \leq 2,88
 \end{aligned}$$

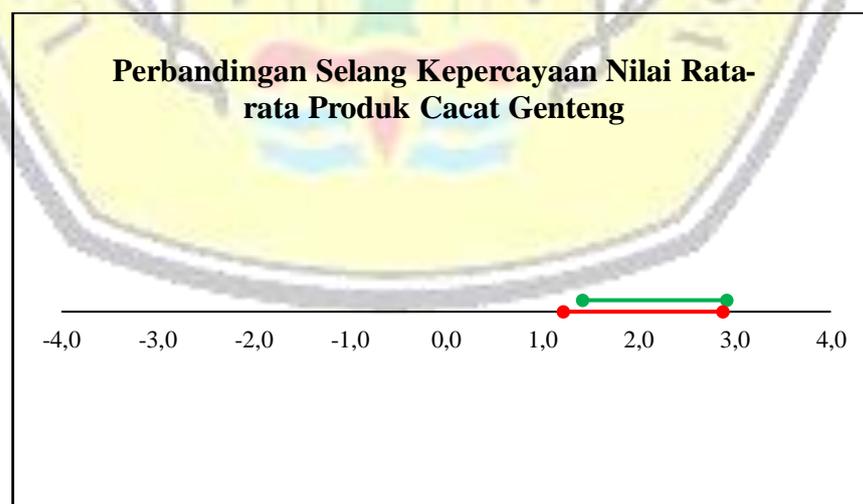
2. Perkiraan kondisi optimal dan interval kepercayaan nilai *Signal Noise to Ratio* (SNR) untuk eksperimen konfirmasi
- a. Perhitungan interval kepercayaan nilai rasio S/N

$$\begin{aligned}
 Cl_{mean} &= \pm \sqrt{\left(F_{\alpha, v1, v2} \times MS_{pooled\ e} \times \left(\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right) \right)} \\
 &= \pm \sqrt{\left(F_{0,05, 2, 4} \times 0,854 \times \left(\frac{1}{7,2} + \frac{1}{10} \right) \right)} \\
 &= \pm 1,19
 \end{aligned}$$

Sehingga selang kepercayaan nilai SNR pada kondisi optimal yaitu:

$$\begin{aligned}
 \mu_{konfirmasi} - Cl_{mean} &\leq \mu_{konfirmasi} \leq \mu_{konfirmasi} + Cl_{mean} \\
 -7,87 - 1,19 &\leq \mu_{konfirmasi} \leq -7,87 + 1,19 \\
 -9,06 &\leq \mu_{konfirmasi} \leq -6,68
 \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan hasil perhitungan selang kepercayaan nilai rata-rata dan nilai SNR pada eksperimen Taguchi serta perhitungan selang kepercayaan untuk eksperimen konfirmasi, lalu dibandingkan hasil keduanya tersebut untuk mengetahui bahwa eksperimen Taguchi dapat diterima atau tidak. Perbandingan nilai selang kepercayaan eksperimen Taguchi dan eksperimen konfirmasi dapat dilihat pada Gambar 30.



Gambar 30. Perbandingan Selang Kepercayaan Nilai Rata-rata

Berdasarkan Gambar 30 dapat diketahui bahwa hasil eksperimen konfirmasi untuk nilai rata-rata dapat diterima dengan pertimbangan

selang kepercayaan antara eksperimen Taguchi yang berwarna hijau dan eksperimen konfirmasi yang berwarna merah. Hasil yang dapat disimpulkan bahwa nilai eksperimen konfirmasi rata-rata masih berada dalam selang kepercayaan hasil optimal. Oleh karena itu, keputusan eksperimen metode Taguchi diterima berarti hasil *setting* level optimal pada eksperimen Taguchi dapat dijadikan acuan dalam proses produksi genteng di UMKM AR Genteng KTL. Selain itu terdapat pula perbandingan selang kepercayaan untuk nilai *Signal Noise to Ratio* (SNR) dari eksperimen Taguchi dengan eksperimen konfirmasi dapat dilihat pada Gambar 31.



Gambar 31. Perbandingan Selang Kepercayaan Nilai SNR

Berdasarkan Gambar 31 menunjukkan bahwa hasil eksperimen konfirmasi untuk nilai *Signal Noise to Ratio* (SNR) dapat diterima karena hasil eksperimen konfirmasi masih berada didalam selang kepercayaan hasil optimal. Oleh karena itu, keputusan eksperimen metode Taguchi diterima berarti hasil *setting* level optimal pada eksperimen tersebut dapat dijadikan acuan dalam proses produksi genteng di UMKM AR Genteng KTL.

4.2.5 Tahap *Control*

Tahap *control* merupakan tahap terakhir dalam siklus DMAIC peningkatan kualitas dengan *Six Sigma*. Tahapan ini bertujuan untuk memastikan bahwa perbaikan pada proses produksi genteng. Pada tahap ini dilakukan penerapan hasil eksperimen yang telah dilakukan sebelumnya. Berdasarkan hasil *setting* level

optimal menggunakan eksperimen Taguchi, yaitu faktor B (lama pengeringan) dengan level 2 (8 jam) dan faktor C (lama penjemuran) dengan level 1 (24 jam) untuk meminimalisir cacat produk genteng di UMKM AR Genteng KTL. Berdasarkan hasil usulan tersebut, maka dilakukan implementasi pada proses produksi genteng selama 4 kali pengamatan. Berikut merupakan hasil pengamatan setelah menerapkan eksperimen Taguchi dapat dilihat pada Tabel 31.

Tabel 31. Data Produksi Genteng Setelah Implementasi

No.	Jumlah Produksi	Jumlah Cacat	Persentase Cacat	CTQ	DPU	DPO	DPMO	<i>Sigma</i>
1	1300	4	0,31%	4	0,003	0,0008	769,23	4,67
2	2000	6	0,30%	4	0,003	0,0008	750,00	4,67
3	2500	12	0,48%	4	0,005	0,0012	1200,00	4,54
4	1500	9	0,60%	4	0,006	0,0015	1500,00	4,47
Total	7300	31	1,69%				4219	18,35
Rata-rata	1825	7,75	0,42%				1055	4,59

Berdasarkan Tabel 31 dapat diketahui hasil rancangan eksperimen Taguchi yang diimplementasikan pada proses produksi genteng diperoleh nilai rata-rata persentase cacat produk sebesar 0,42%, nilai rata-rata DPMO sebesar 1055, dan nilai *sigma* sebesar 4,59. Nilai rata-rata DPMO menjelaskan bahwa dalam memproduksi genteng terdapat 1055 buah genteng yang cacat per satu juta kesempatan. Adapun perbandingan sebelum dan setelah dilakukannya perbaikan pada proses produksi genteng di UMKM AR Genteng KTL sebagai berikut.

Tabel 32. Hasil Perbandingan Sebelum dan Sesudah Perbaikan

Parameter	Sebelum Perbaikan	Setelah Perbaikan
Persentase cacat	0,65%	0,42%
Nilai DPMO	1627	1055
Nilai <i>Sigma</i>	4,47	4,59

Berdasarkan Tabel 32 dapat dilihat bahwa terjadi penurunan persentase cacat produk genteng sebesar 0,23% setelah melakukan perbaikan dengan menerapkan *setting* level optimal eksperimen Taguchi. Nilai DPMO juga mengalami penurunan menjadi 1055, artinya dalam memproduksi genteng akan terdapat 1055 buah genteng yang cacat per satu juta kesempatan. Kemudian nilai *sigma* terjadi peningkatan menjadi 4,59 yang berarti UMKM AR Genteng KTL termasuk rata-rata industri kelas dunia. Tahap pengendalian ini diterapkan agar kualitas produk menjadi lebih baik dan mencapai target yang diinginkan. Jika

pengendalian kualitas tidak dilakukan dengan baik, maka UMKM tersebut rugi serta mengalami peningkatan inflasi dari biaya yang dihasilkan oleh produk cacat. Oleh karena itu, UMKM AR Genteng KTL harus mengurangi pemborosan dari segi biaya produksi maupun material lainnya. Berikut hasil perhitungan *Cost of Poor Quality* (COPQ) dari nilai DPMO yang memberikan gambaran tentang biaya kualitas buruk berdasarkan tingkat cacat dalam proses produksi.

Tabel 33. Kerugian Produk Genteng per Produksi Sebelum Perbaikan

No.	Jumlah Cacat	Harga Jual per Produk	<i>Cost of Poor Quality</i> (COPQ)	
1	10	Rp 700	Rp	7.000
2	15	Rp 700	Rp	10.500
3	15	Rp 700	Rp	10.500
4	19	Rp 700	Rp	13.300
5	12	Rp 700	Rp	8.400
6	12	Rp 700	Rp	8.400
7	11	Rp 700	Rp	7.700
8	10	Rp 700	Rp	7.000
Total			Rp	72.800
Rata-rata			Rp	9.100

Contoh perhitungan:

$$\begin{aligned} \text{COPQ} &= \text{Jumlah Produk Cacat} \times \text{Harga Jual per Produk} \\ &= 10 \times \text{Rp}700 \\ &= \text{Rp}7000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rata-rata COPQ} &= \sum \frac{\text{Total Kerugian per Minggu}}{n} \\ &= \sum \frac{\text{Rp}7000 + \text{Rp}10500 + \text{Rp}10500 + \dots + \text{Rp}7000}{8} \\ &= \text{Rp}9100 \end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 33 dapat diketahui bahwa total kerugian produk genteng yang dialami oleh UMKM AR Genteng KTL setiap kali produksi sebelum perbaikan sebesar Rp72.800 dengan rata-rata kerugian setiap kali produksi sebesar Rp9.100. Biaya kerugian tersebut terkait dengan produk atau proses produksi genteng yang tidak memenuhi standar kualitas yang diinginkan. Adapun biaya kerugian produk genteng setelah perbaikan dilakukan dapat dilihat pada Tabel 34.

Tabel 34. Kerugian Produk Genteng per Produksi Setelah Perbaikan

No.	Jumlah Cacat	Harga Jual per Produk	<i>Cost of Poor Quality (COPQ)</i>		
1	4	Rp 700	Rp	2.800	
2	6	Rp 700	Rp	4.200	
3	12	Rp 700	Rp	8.400	
4	9	Rp 700	Rp	6.300	
Total			Rp	21.700	
Rata-rata			Rp	5.425	

Berdasarkan Tabel 34 dapat diketahui bahwa total kerugian produk genteng yang dialami oleh UMKM AR Genteng KTL setiap kali produksi setelah perbaikan sebesar Rp21.700 dengan rata-rata kerugian setiap kali produksi sebesar Rp5.425. Biaya kerugian tersebut terkait dengan produk atau proses produksi genteng yang tidak memenuhi standar kualitas yang diinginkan. Adapun perbandingan biaya kerugian produk genteng sebelum perbaikan dan setelah perbaikan dapat dilihat pada Tabel 35.

Tabel 35. Perbandingan Rata-rata COPQ Produk Genteng per Minggu

Rata-rata COPQ Produk Genteng	Sebelum Perbaikan	Setelah Perbaikan
	Rp 9.100	Rp 5.425

Berdasarkan Tabel 35 dapat diketahui rata-rata kerugian produk genteng per minggu sebelum dan setelah perbaikan mengalami penurunan biaya kerugian produk genteng sebesar Rp3.675 yang menunjukkan bahwa tindakan perbaikan yang diimplementasikan dari tahap *improve* berhasil mengurangi jumlah cacat dan kualitas produk yang dihasilkan meningkat serta UMKM ini dapat menghemat biaya yang cukup besar untuk menangani jumlah cacat.

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Analisis dan Pembahasan Tahap *Define*

Tahapan dalam metode *six sigma* terdiri dari 5 tahapan penyelesaian. Salah satunya tahap awal yang dilakukan yaitu tahap *define*. Tahap ini berkaitan dengan mengidentifikasi masalah proses produksi atau produk yang mengalami kesalahan atau kegagalan sehingga perlu dilakukan perbaikan pada produk genteng di UMKM AR Genteng KTL (Dewi dan Ummah, 2019). Pada tahap *define* dalam penelitian ini berupa penjelasan mengenai permasalahan yang ada di UMKM AR Genteng KTL, pembuatan *project charter* untuk mengetahui informasi penelitian yang telah dilakukan, pembuatan diagram SIPOC untuk mengetahui alur proses pembuatan produk genteng dari *supplier* sampai dengan konsumen, dan penentuan karakteristik kualitas dari produk genteng yang akan diperbaiki.

Project charter yang dibuat dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui ringkasan penelitian yang telah dilakukan. *Project charter* berisikan identitas peneliti, yaitu Dian Elnia Kusuma Ningrum dari Universitas Sultan Ageng Tirtayasa sebagai institusi berasal. Penelitian di UMKM AR Genteng KTL dimulai sejak tanggal 07 Januari 2024 sampai dengan 01 Maret 2024. Pada waktu penelitian tersebut dilakukan pengambilan data berupa data primer dan data sekunder. Permasalahan dan tujuan yang diteliti juga dijelaskan secara ringkas pada *project charter*, yaitu berdasarkan data jumlah produksi dan jumlah cacat produk pada periode bulan Januari 2024 hingga Februari 2024 masih terdapat produk yang mengalami kegagalan (*reject*) pada genteng. Kecacatan ini menimbulkan waktu tambahan dalam memperbaiki produk (*rework*), sehingga dibutuhkan metode perbaikan kualitas yang mendukung permasalahan tersebut agar kepuasan konsumen dapat tercapai dengan baik dan meningkatkan reputasi UMKM tersebut.

Diagram SIPOC digunakan untuk menyajikan informasi mengenai aliran kerja proses produksi yang memuat lima elemen utama dalam sistem kualitas

dimulai dari pengadaan bahan baku (*supplier*), bahan baku yang digunakan (*input*), proses produksi (*process*), produk yang dihasilkan (*output*) hingga produk dipasarkan ke konsumen (*customer*) (Ulfah dan Auliandri, 2019). UMKM AR Genteng KTL memiliki bahan baku tanah liat, tanah merah, pasir, air, kayu bakar, minyak solar, dan minyak *press*. Bahan baku tanah liat didapatkan dari Daerah Cigading, Citangkil, dan Mancak yang dijual perorangan atau individu, bahan baku tanah merah didapatkan dari sawah Daerah Mancak yang dijual perorangan atau individu, bahan baku pasir didapatkan dari toko bangunan Jeffry, bahan baku air didapatkan dari sumur pribadi atau milik sendiri, bahan baku kayu bakar didapatkan secara perorangan yang dijual, bahan baku minyak solar didapatkan dari Daerah Ciwandan yang dijual oleh perorangan, dan minyak *press* didapatkan dari Daerah Palembang yang dijual oleh perorangan. Selanjutnya proses produksi yang mencakup pembuatan genteng seperti pencampuran dan pengadukan, penggilingan, pencetakan, peng-anginan dan pengeringan, pembakaran, pemilahan genteng, dan penyimpanan produk genteng. Produk yang dihasilkan berupa genteng yang berukuran $30 \times 10 \times 3$ cm. Kemudian produk genteng tersebut dipasarkan ke toko material bangunan Daerah Pandeglang dan distribusikan kepada semua kalangan masyarakat Daerah Banten.

Selanjutnya menentukan *Critical to Quality* (CTQ) yang terjadi pada proses produksi genteng di UMKM AR Genteng KTL. *Critical to Quality* (CTQ) merupakan atribut terpenting dalam kualitas yang berhubungan langsung dengan spesifikasi yang diinginkan oleh pelanggan (Utomo, Jumali dan Salsabila, 2022). Tujuan CTQ untuk menentukan unsur-unsur kritis pada kualitas produk yang dapat mengakibatkan kecacatan produk. Tahap menentukan *Critical to Quality* (CTQ) terdapat dua pendekatan, yaitu pendekatan pertama dilakukan dengan mengidentifikasi cacat yang paling dominan dengan kumulatif 80% pada diagram Pareto dan pendekatan kedua dilakukan dengan menetapkan keseluruhan karakteristik cacat untuk penggunaan *six sigma* menjadi CTQ sesuai dengan kebutuhan dan ekspektasi pelanggan (Zulkarnain dan Wicaksono, 2021). Pada penelitian ini menentukan *Critical to Quality* (CTQ) dengan pendekatan kedua yaitu penetapan semua karakteristik *defect* pada produk genteng. CTQ yang terjadi

dalam proses produksi genteng terdapat 4 jenis, seperti cacat pecah, retak, gompal, dan warna gosong. Cacat pecah pada produk genteng biasanya terpisah menjadi dua atau lebih bagian genteng. Cacat retak merupakan keadaan dimana adanya garis retakan yang muncul pada permukaan genteng diakibatkan proses pembakaran dengan suhu yang tidak merata. Cacat gompal merupakan keadaan dimana adanya lubang kecil atau rongga yang besar, terutama pada bagian tengah atau pangkal genteng. Cacat warna gosong merupakan keadaan warna pada permukaan genteng yang tidak merata atau terlihat seperti terbakar gosong atau menghitam.

5.2 Analisis dan Pembahasan Tahap *Measure*

Setelah mengidentifikasi masalah yang terjadi dalam proses produksi genteng di UMKM AR Genteng KTL, maka langkah selanjutnya yaitu tahap *measure*. Tahap *measure* dilakukan untuk mengukur seberapa jauh kinerja UMKM AR Genteng KTL pada saat ini yang mana akan ditetapkan sebagai kinerja dasar. Pada tahap ini dilakukan pengolahan data dengan perhitungan peta kendali atribut dengan jenis peta kendali p dan perhitungan nilai *Defect per Million Opportunities* (DPMO) dan nilai *sigma*.

5.2.1 Analisis Peta Kendali p

Peta kendali merupakan salah satu alat pengendalian proses statistika yang digunakan untuk menganalisa hasil dari suatu proses apakah terkendali secara statistik. Pada peta kendali terdapat batas kendali yang menjadi titik-titik kritis dari data yang diolah, seperti *Upper Control Limit* (UCL), *Center Line* (CL), dan *Lower Control Limit* (LCL) (Prabudy, 2000). Peta kendali terbagi menjadi dua macam, yaitu peta kendali variabel dan peta kendali atribut. Pada penelitian ini menggunakan peta kendali atribut yang digunakan untuk mengendalikan proses dengan data berupa karakteristik yang memenuhi atau tidak memenuhi spesifikasi. Peta kendali atribut yang digunakan yaitu jenis peta kendali p. Peta kendali p termasuk kedalam cacat *defect* yang bertujuan untuk mengetahui proporsi atau persentase cacat produk dalam setiap *batch* produk. Peta kendali tersebut mempunyai jumlah sampel tiap inspeksi diambil secara periodik dan jumlah sampelnya berbeda-beda tiap inspeksi atau pengamatan (Amalia, Suharsono dan Paramita, 2019).

Pada tahap *measure* ini dilakukan pengolahan data dengan membuat peta kendali p seperti pada Gambar 18. Berdasarkan hasil pengolahan data peta kendali tersebut memberikan gambaran terkait kinerja produksi genteng di UMKM AR Genteng KTL selama periode Bulan Januari 2024 sampai dengan Bulan Februari 2024 cukup stabil namun belum terkendali. Hal ini dapat dilihat karena masih terdapat 1 data proporsi yang keluar dari batas kendali atas yaitu data produksi pada minggu ke-3 dengan nilai CL sebesar 0,014 dan UCL sebesar 0,013, sehingga perlu dilakukan perbaikan dengan mengeliminasi data produksi minggu ke-3. Setelah melakukan perbaikan pada peta kendali p yang dapat dilihat pada Gambar 19. Berdasarkan gambar peta kendali p perbaikan tersebut memberikan gambaran bahwa kinerja produksi genteng di UMKM AR Genteng KTL sudah stabil dan terkendali secara statistik karena nilai proporsi masih berada dalam batas kendali atas dan batas kendali bawah.

5.2.2 Analisis Defect per Million Opportunities (DPMO) dan Nilai Sigma

Berdasarkan hasil analisis pengolahan data peta kendali p guna mengetahui proses terkendali secara statistik atau tidak, selanjutnya dilakukan perhitungan nilai *Defect per Million Opportunities* (DPMO) dan nilai *sigma* untuk mengetahui ukuran performansi aktual UMKM berdasarkan tingkat pencapaian *sigma*. *Defect per Million Opportunities* (DPMO) adalah ukuran kegagalan dalam peningkatan kualitas *six sigma* yang menunjukkan jumlah cacat atau kegagalan per satu peluang (Saputri, Vitasari dan Adriantantri, 2022). Nilai *sigma* merupakan pencapaian level *sigma* yang diperoleh dalam suatu proses yang diteliti berdasarkan tingkat pencapaian *sigma* yang telah ditetapkan. Semakin mendekati nilai 6 tingkat pencapaian *sigma*, maka semakin baik kinerja perusahaan. Sebaliknya, semakin tinggi nilai DPMO, maka semakin buruk kinerja perusahaan (Gaspersz, 2002).

Adapun hasil pengolahan data nilai DPMO dan nilai *sigma* pada Tabel 14, dapat diketahui nilai rata-rata DPMO dari hasil produksi genteng sebesar 1627. Artinya dalam setiap satu juta produk genteng yang diproduksi terdapat 1627 buah genteng yang dinyatakan sebagai produk *reject*. Kemudian hasil nilai DPMO dikonversi menjadi nilai rata-rata *sigma* pada produk genteng sebesar 4,47. Berdasarkan hasil rata-rata nilai *sigma* menunjukkan bahwa tingkat pencapaian

sigma pada proses produksi genteng di UMKM AR Genteng KTL termasuk ke dalam rata-rata industri USA. Meskipun nilai tersebut menunjukkan bahwa UMKM ini sudah termasuk ke dalam kondisi baik, namun masih ada kemungkinan produk yang dihasilkan tidak selalu konsisten. Maka dari itu, UMKM AR Genteng KTL harus tetap meningkatkan kualitas proses produksi hingga mencapai tingkat 6 *sigma* agar usaha tersebut bisa dikatakan sempurna.

Hal tersebut sejalan dengan penelitian Kusumawati dan Fitriyeni (2017) mengenai pengendalian kualitas proses pengemasan gula dengan pendekatan *six sigma*. Berdasarkan hasil pengolahan data dengan menggunakan metode *six sigma* berupa pengukuran *baseline* kinerja perusahaan pada tahap pengukuran yaitu rata-rata nilai *sigma* sebesar 5,12 dengan rata-rata DPMO sebesar 162,4532. Secara penilaian *sigma* dapat diartikan bahwa proses pengendalian kualitas yang telah dilakukan sudah berjalan dengan baik. Akan tetapi, pengendalian kualitas masih tetap diperlukan untuk meningkatkan nilai *sigma* yang diperoleh dalam rangka meminimalkan kemungkinan cacat terulang kembali. Nilai DPMO berpengaruh terhadap perubahan nilai *sigma*, semakin rendah nilai DPMO maka semakin tinggi nilai *sigma* yang dihasilkan.

5.3 Analisis dan Pembahasan Tahap *Analyze*

Tahap *Analyze* merupakan tahapan ketiga dalam metode *six sigma*. Pada tahap ini yang dilakukan yaitu menganalisis hubungan sebab akibat terjadinya cacat produk genteng di UMKM AR Genteng KTL. *Output* sebab paling utama pada diagram *fishbone* menjadi input pada metode FMEA yang digunakan untuk menganalisis risiko kegagalan yang terjadi pada proses produksi genteng.

5.3.1 Analisis Diagram *Fishbone*

Setelah mengetahui analisis terhadap kinerja dasar UMKM AR Genteng KTL dengan perhitungan peta kendali p dan DPMO serta nilai *sigma*, selanjutnya mencari akar penyebab masalah yang dihadapi oleh UMKM tersebut dengan menggunakan diagram *fishbone*. Diagram *fishbone* bertujuan untuk mengidentifikasi sebab dan akibat dari suatu permasalahan. Diagram ini dibuat berdasarkan *brainstorming* dengan pekerja dengan beberapa faktor-faktor utama pada umumnya, yaitu mesin (*machine*), metode (*method*), manusia (*man*), bahan

baku (*material*), dan lingkungan (*environment*). Diagram ini sangat berguna dalam peningkatan kualitas dikarenakan dapat menggambarkan akar-akar permasalahan ke dalam bentuk yang sederhana (Setybudhi, 2020).

Pada penelitian ini diagram *fishbone* dibuat untuk semua jenis CTQ yang terjadi pada *defect* produk genteng. Dengan menganalisis keempat cacat utama yang teridentifikasi pada

Tabel 12 dapat memastikan bahwa semua penyebab potensial teridentifikasi pada proses produksi genteng dan meningkatkan kepuasan pelanggan. Pada Gambar 20 dapat diketahui bahwa faktor-faktor utama penyebab masalah cacat pecah disebabkan oleh lima faktor, yaitu mesin (*machine*), metode (*method*), bahan baku (*material*), manusia (*man*), dan lingkungan (*environment*). Pada faktor mesin yang menjadi penyebab terjadinya cacat pecah adalah kondisi mesin molen aus disebabkan efektivitas mesin berkurang akibat kurang perawatan dan pemeliharaan yang disebabkan karena tidak ada pengecekan mesin secara rutin, penyebab lain yaitu *setting* mesin molen tidak sesuai dengan adukan jenis tanah liat disebabkan oleh teknik pemrosesan yang tidak tepat karena ketidakuratan dalam pengaturan mesin molen. Pada faktor metode, cacat pecah disebabkan oleh pengeringan yang tidak merata pada rak penyimpanan saat proses pengeringan disebabkan metode pengeringan masih manual karena keterbatasan penggunaan metode pendukung, penyebab lainnya yaitu perbedaan persepsi produk cacat antar pekerja diakibatkan kurang pengetahuan pekerja terhadap jenis produk cacat akibat belum adanya standar *reject* produk. Pada faktor bahan baku, cacat pecah disebabkan oleh kualitas bahan baku yang tidak sesuai dikarenakan pemasok bahan baku yang berbeda menyebabkan tidak ada pemeriksaan bahan baku yang datang, penyebab lainnya yaitu komposisi bahan baku yang tidak standar diakibatkan bahan baku terkontaminasi karena kualitas bahan baku yang beragam. Pada faktor manusia, cacat pecah disebabkan oleh pekerja yang kurang teliti saat proses QC diakibatkan kurang fokus dan kurang pelatihan karena intensitas ngobrol dengan pekerja lainnya cukup tinggi dan disebabkan oleh tidak ada informasi untuk mengikuti pelatihan terkait proses QC, penyebab lainnya yaitu konsentrasi menurun dikarenakan jumlah produksi tidak merata yang menyebabkan operator kelelahan

karena beban kerja yang berlebihan. Pada faktor lingkungan, cacat pecah disebabkan oleh tempat penjemuran yang terbuka menyebabkan paparan sinar matahari secara langsung pada genteng.

Pada Gambar 21 dapat diketahui bahwa faktor-faktor utama penyebab masalah cacat retak disebabkan oleh lima faktor, yaitu mesin (*machine*), metode (*method*), bahan baku (*material*), manusia (*man*), dan lingkungan (*environment*). Pada faktor mesin, cacat retak disebabkan oleh akurasi mesin berkurang dikarenakan kondisi mesin cetak aus akibat kurang pemeliharaan dan perawatan yang disebabkan tidak adanya pengecekan mesin cetak secara rutin, penyebab lainnya yaitu *setting* kecepatan putaran mesin terlalu tinggi atau terlalu rendah disebabkan oleh kecepatan gulungan mesin belum stabil saat dioperasikan karena kalibrasi mesin yang tidak tepat. Pada faktor metode, cacat retak disebabkan oleh pengeringan yang tidak merata atau terlalu cepat diakibatkan metode pengeringan masih manual karena tidak ada penggunaan metode pendukung. Pada faktor bahan baku, cacat retak disebabkan oleh kualitas bahan baku yang tidak sesuai diakibatkan pemasok bahan baku yang berbeda akibat tidak ada pemeriksaan saat bahan baku datang, penyebab lain yaitu komposisi pasir dengan bahan baku tidak standar diakibatkan pasir terkontaminasi dengan bahan asing karena kurangnya pemeriksaan oleh pemasok. Pada faktor manusia, cacat retak disebabkan oleh ketebalan yang tidak merata akibat pekerjaan yang terburu-buru disebabkan operator mengejar target produksi karena kurangnya tenaga kerja menyebabkan jam kerja yang tidak teratur. Pada faktor lingkungan, cacat retak disebabkan oleh kondisi cuaca yang berubah-ubah diakibatkan perubahan suhu yang tidak stabil yang menyebabkan kelembapan tinggi.

Pada Gambar 22 dapat diketahui bahwa faktor-faktor utama penyebab masalah cacat gompal disebabkan oleh empat faktor, yaitu metode (*method*), manusia (*man*), lingkungan (*environment*), dan mesin (*machine*). Pada faktor metode, cacat gompal disebabkan oleh kadar air yang tinggi diakibatkan bahan pengencer yang terlalu berlebihan karena tidak ada alat ukur untuk mengukur jumlah bahan pengencer, penyebab lain yaitu pengeringan yang tidak merata dikarenakan metode pengeringan masih manual akibat tidak ada penggunaan

metode pendukung. Pada faktor manusia, cacat gompal disebabkan oleh kurang hati-hati saat memindahkan genteng diakibatkan operator tergesa-gesa karena kurangnya sumber daya manusia dan kurang hati-hati saat mengangkat dan meletakkan genteng diakibatkan kurangnya pemahaman cara pegangkatan karena operator kurang pelatihan yang diakibatkan tidak ada informasi mengenai pelatihan terkait, penyebab lainnya yaitu kurang hati-hati saat memindahkan genteng diakibatkan operator tergesa-gesa karena kurang sumber daya manusia. Pada faktor lingkungan, cacat gompal disebabkan oleh kelembapan yang tinggi karena sirkulasi udara yang kurang baik akibat ruang pengeringan yang tertutup, penyebab lain yaitu genteng terkontaminasi bahan-bahan asing diakibatkan rak pengeringan kurang bersih karena sirkulasi udara yang tidak teratur. Pada faktor mesin, cacat gompal disebabkan oleh ketidaksesuaian proporsi bahan saat proses pencampuran diakibatkan penggunaan alat ukur yang tidak akurat karena alat ukur masih manual atau perkiraan.

Pada Gambar 23 dapat diketahui bahwa faktor-faktor utama penyebab masalah cacat warna gosong disebabkan oleh empat faktor, yaitu mesin (*machine*), manusia (*man*), lingkungan (*environment*), dan metode (*method*). Pada faktor mesin, cacat warna gosong disebabkan oleh kondisi suhu pembakaran yang kurang terkontrol akibat tidak adanya alat pengontrol suhu. Pada faktor manusia, cacat warna gosong disebabkan oleh kurangnya pemantauan terhadap proses pembakaran diakibatkan oleh respon lambat terhadap perubahan waktu pembakaran karena kurangnya pemahaman tentang proses pembakaran akibat operator kurang pelatihan karena tidak ada informasi terkait pelatihan. Pada faktor lingkungan, cacat warna gosong disebabkan oleh pemanasan yang tidak merata terhadap genteng akibat ruang pembakaran genteng yang terbatas. Pada faktor metode, cacat warna gosong disebabkan oleh pembakaran yang tidak merata dikarenakan metode pembakaran masih manual akibat keterbatasan teknologi canggih karena tidak ada biaya untuk meng-*upgrade* metode tersebut, penyebab lainnya yaitu peningkatan risiko penumpukkan panas disebabkan oleh penempatan genteng yang terlalu rapat karena penyusunan genteng yang bertumpuk-tumpuk mengakibatkan kurangnya perencanaan penyusunan genteng.

5.3.2 Analisis *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) merupakan suatu metode yang digunakan untuk menganalisis risiko kegagalan dan mengurangi potensi mode kegagalan suatu masalah serta eror yang terjadi pada sistem, desain, dan proses yang dihasilkan sebelum hasil produksi sampai ke tangan konsumen. Identifikasi kegagalan potensial dilakukan dengan cara pemberian nilai atau skor dari masing-masing mode kegagalan berdasarkan tingkat keparahan (*severity*), tingkat kejadian (*occurrence*), dan tingkat deteksi (*detection*). Secara umum terdapat dua macam FMEA, yaitu FMEA desain dan FMEA proses. FMEA desain difokuskan pada desain produk yang akan dikembangkan, sedangkan FMEA proses melakukan pengamatan pada kegiatan proses produksi untuk dikembangkan.

Pada penelitian ini menggunakan metode FMEA proses untuk menghasilkan beberapa modifikasi terhadap penggunaan analisis risiko kegagalan pada proses produksi genteng yang sedang berlangsung. Tujuan penerapan metode ini untuk meminimasi kemungkinan terjadi proses produksi yang tidak sesuai. Metode FMEA ini akan mengidentifikasi risiko kegagalan mengenai produk *defect* genteng dari masing-masing CTQ. Hal tersebut ditunjukkan pada Tabel 15 dapat diketahui *ranking* berdasarkan nilai RPN yang sudah dihitung pada cacat pecah genteng. Berdasarkan hasil analisis FMEA diketahui bahwa efek kegagalan dari cacat pecah genteng memiliki nilai tingkat keparahan antara 5-9, artinya tingkat keparahan berkisar dari rendah hingga berbahaya tanpa peringatan sehingga operator akan mengalami dampak yang cukup serius. Hal tersebut menyebabkan terjadinya penurunan performa yang mengakibatkan produk cacat terulang kembali. Kemudian nilai tingkat kejadian (*occurrence*) antara 2-9 yang menunjukkan frekuensi terjadinya kegagalan produk kisaran rendah hingga sangat tinggi. Nilai tingkat deteksi (*detection*) antara 2-4 yang menunjukkan kemampuan untuk mendeteksi kegagalan produk kisaran sangat tinggi hingga menengah. Berdasarkan tingkat keparahan, kejadian, dan deteksi, maka nilai RPN tertinggi sebesar 144 yaitu kualitas bahan baku yang beragam sehingga menyebabkan komposisi bahan baku tidak standar yang menimbulkan efek kegagalan genteng mudah pecah. Berdasarkan nilai RPN tertinggi dapat ditarik kesimpulan bahwa perbaikan

penyebab kegagalan produk akibat faktor tersebut harus menjadi prioritas utama. Akan tetapi, nilai RPN dari faktor lainnya berada pada kisaran 140-20, maka harus dilakukan perbaikan juga.

Pada Tabel 16 diketahui hasil analisis FMEA untuk jenis cacat retak genteng bahwa efek kegagalan dari cacat tersebut memiliki tingkat keparahan antara 5-7 yang menunjukkan dampak permasalahan dari efek yang terjadi kisaran rendah hingga tinggi. Kemudian nilai tingkat kejadian (*occurrence*) antara 2-8 yang menunjukkan frekuensi terjadinya kegagalan produk kisaran rendah hingga tinggi dalam proses produksi genteng berlangsung. Nilai tingkat deteksi (*detection*) antara 2-4 yang menunjukkan kemampuan untuk mendeteksi kegagalan produk kisaran sangat tinggi hingga menengah. Berdasarkan tingkat keparahan, kejadian, dan deteksi, maka nilai RPN tertinggi sebesar 112 yaitu kondisi cuaca yang berubah-ubah sehingga menyebabkan kelembapan yang tinggi yang menimbulkan efek kegagalan genteng mudah retak. Nilai RPN dari faktor lainnya kisaran 100-36 yang menunjukkan harus dilakukan perbaikan juga.

Pada Tabel 17 diketahui hasil analisis FMEA untuk jenis cacat gompal pada genteng bahwa efek kegagalan dari cacat tersebut memiliki tingkat keparahan antara 4-6 yang menunjukkan dampak permasalahan dari efek kegagalan yang terjadi kisaran sangat rendah hingga sedang. Kemudian nilai tingkat kejadian (*occurrence*) antara 3-9 yang menunjukkan frekuensi terjadinya kegagalan produk selama produksi berlangsung kisaran rendah hingga sangat tinggi. Nilai tingkat deteksi (*detection*) antara 2-5 yang menunjukkan kemampuan untuk mendeteksi kerusakan produk selama proses produksi berlangsung kisaran sangat tinggi hingga sedang. Berdasarkan tingkat keparahan, kejadian, dan deteksi, maka nilai RPN tertinggi sebesar 108 yaitu sirkulasi udara yang tidak teratur sehingga menyebabkan genteng terkontaminasi bahan-bahan asing yang menimbulkan efek genteng tercampur dengan material lain. Nilai RPN dari faktor lainnya kisaran 100-54 yang menunjukkan harus dilakukan perbaikan juga.

Pada Tabel 18 diketahui hasil analisis FMEA untuk jenis cacat warna gosong pada genteng bahwa efek kegagalan dari cacat tersebut memiliki tingkat keparahan (*severity*) antara 5-6 yang menunjukkan dampak permasalahan dari efek

yang ditimbulkan terjadi kisaran rendah hingga sedang. Kemudian nilai tingkat kejadian (*occurrence*) antara 2-9 yang menunjukkan frekuensi terjadinya kegagalan produk selama produksi berlangsung kisaran rendah hingga sangat tinggi. Nilai tingkat deteksi (*detection*) antara 2-4 yang menunjukkan kemampuan untuk mendeteksi kerusakan produk selama proses produksi berlangsung kisaran sangat tinggi hingga menengah. Berdasarkan tingkat keparahan, kejadian, dan deteksi, maka nilai RPN tertinggi sebesar 162 yaitu kurangnya perencanaan penyusunan genteng sehingga menyebabkan peningkatan risiko penumpukkan panas yang menimbulkan efek warna genteng hitam. Nilai RPN faktor lainnya kisaran 72-36 yang menunjukkan harus dilakukan perbaikan juga.

5.4 Analisis dan Pembahasan Tahap *Improve*

Tahap *Improve* merupakan tahapan keempat yang dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan kualitas dalam metode *six sigma*. Pada tahap ini dilakukan upaya untuk mengetahui usulan perbaikan kualitas produk genteng di UMKM AR Genteng KTL. Usulan perbaikan pada penelitian ini menggunakan *action planning* FMEA dan metode Taguchi.

5.4.1 Analisis *Action Planning* FMEA

Setelah mengetahui nilai *severity*, *occurrence*, dan *detection* dari masing-masing mode kegagalan FMEA, maka tahap selanjutnya adalah membuat usulan perbaikan menggunakan *action planning* terhadap permasalahan yang diidentifikasi sebelumnya berdasarkan *ranking* nilai RPN dari masing-masing jenis CTQ produk genteng. Pada Tabel 19 diketahui hasil usulan perbaikan dari masing-masing mode kegagalan untuk cacat pecah genteng bahwa berdasarkan mode kegagalan peringkat 1 yaitu komposisi bahan baku yang tidak standar disebabkan kualitas bahan baku yang beragam dengan usulan perbaikan yang direkomendasikan adalah menetapkan standar spesifikasi bahan baku yang jelas dan rinci, serta mengukur kebutuhan tiap bahan baku dengan alat ukur. Mode kegagalan peringkat 2 yaitu kualitas bahan baku yang tidak sesuai disebabkan tidak ada pemeriksaan saat bahan baku datang dengan rekomendasi perbaikannya adalah membuat SOP mengenai kontrol kualitas setelah bahan baku datang dan menjalin kerja sama yang erat dengan pemasok bahan baku terkait spesifikasi yang

diinginkan. Mode kegagalan peringkat 3 yaitu *setting* mesin molen tidak sesuai dengan adukan jenis tanah liat disebabkan ketidakuratan dalam pengaturan mesin molen dengan rekomendasi perbaikannya yaitu membuat SOP untuk pengaturan *setting* mesin dan mengadakan pelatihan pekerja terkait pengaturan mesin molen. Mode kegagalan peringkat 4 yaitu pengeringan yang tidak merata disebabkan keterbatasan penggunaan metode pendukung dengan rekomendasi perbaikan yaitu menjalin kerja sama dengan pemasok teknologi canggih untuk mendapatkan saran penggunaan teknologi canggih. Mode kegagalan peringkat 5 yaitu perbedaan persepsi produk cacat disebabkan tidak ada standar *reject* produk dengan rekomendasi perbaikan yaitu membuat standar kriteria produk yang spesifik menentukan suatu produk diterima atau ditolak dan memberikan pelatihan kepada pekerja. Mode kegagalan peringkat 6 yaitu tempat pencampuran bahan baku kotor disebabkan ruang pencampuran tidak dibersihkan secara rutin dengan rekomendasi perbaikan yaitu membuat jadwal pembersihan rutin untuk ruangan tersebut. Mode kegagalan peringkat 7 yaitu kondisi mesin molen aus disebabkan tidak ada pengecekan mesin secara rutin dengan rekomendasi perbaikan yaitu melakukan pengecekan mesin molen secara berkala. Mode kegagalan peringkat 8 yaitu pekerja kurang teliti saat proses QC disebabkan operator mengobrol dengan rekomendasi perbaikan yaitu meningkatkan pengawasan langsung terhadap operator dan memberikan pelatihan. Mode kegagalan peringkat 9 yaitu pekerja kurang teliti saat proses QC disebabkan tidak ada informasi terkait pelatihan dengan rekomendasi perbaikan yaitu memberikan informasi terkait pelatihan tentang QC kepada pekerja. Mode kegagalan peringkat 10 yaitu konsentrasi menurun disebabkan tidak ada kebijakan produksi dengan rekomendasi perbaikan yaitu membuat kebijakan produksi serta melakukan pemantauan dan peninjauan secara berkala untuk kepatuhan terhadap kebijakan produksi.

Pada Tabel 20 diketahui hasil usulan perbaikan dari masing-masing mode kegagalan untuk cacat retak genteng bahwa berdasarkan mode kegagalan peringkat 1 yaitu kondisi cuaca yang berubah-ubah menyebabkan kelembapan yang tinggi dengan rekomendasi perbaikan yaitu meminimalkan waktu antara proses produksi dan penjemuran genteng. Mode kegagalan peringkat 2 yaitu kualitas bahan baku

yang tidak sesuai disebabkan tidak ada pemeriksaan saat bahan baku datang dengan rekomendasi perbaikan yaitu membuat SOP dan menjadi kerja sama yang erat dengan pemasok bahan baku terkait spesifikasi bahan baku. Mode kegagalan peringkat 3 yaitu pengeringan yang tidak merata disebabkan tidak ada penggunaan metode pendukung dengan rekomendasi perbaikan yaitu menjalin kerja sama dengan pemasok teknologi canggih untuk mendapatkan saran penggunaan teknologi canggih. Mode kegagalan peringkat 4 yaitu kondisi mesin cetak aus disebabkan tidak ada pengecekan mesin secara rutin dengan rekomendasi perbaikan yaitu melakukan pengecekan secara berkala dan membuat SOP jadwal perawatan mesin. Mode kegagalan peringkat 5 yaitu komposisi pasir dengan bahan baku tidak standar disebabkan kurangnya pemeriksaan oleh pemasok dengan rekomendasi perbaikan yaitu menetapkan syarat kualitas untuk bahan baku dan memberikan pelatihan. Mode kegagalan peringkat 6 yaitu ketebalan yang tidak merata disebabkan operator mengejar target produksi dengan rekomendasi perbaikan yaitu menetapkan jadwal produksi yang sesuai dengan kapasitas tenaga kerja dan mesin serta menambahkan pekerja atau Sumber Daya Manusia (SDM). Mode kegagalan peringkat 7 yaitu *setting* kecepatan putaran mesin terlalu tinggi atau terlalu rendah disebabkan kalibrasi mesin yang tidak tepat dengan rekomendasi perbaikan yaitu membuat SOP pengatur mesin molen dan memberikan pelatihan kepada pekerja.

Pada Tabel 21 diketahui hasil usulan perbaikan dari masing-masing mode kegagalan untuk cacat gompal genteng bahwa berdasarkan mode kegagalan peringkat 1 yaitu genteng terkontaminasi bahan-bahan asing disebabkan sirkulasi udara yang tidak teratur dengan rekomendasi perbaikan yaitu membuat jadwal pembersihan secara rutin pada rak pengeringan genteng. Mode kegagalan peringkat 2 yaitu kurang hati-hati saat mengangkat dan meletakkan genteng disebabkan tidak ada informasi terkait pelatihan untuk pekerja dengan rekomendasi perbaikan yaitu memberikan informasi pelatihan. Mode kegagalan peringkat 3 yaitu kelembapan yang tinggi disebabkan ruang pengeringan yang tertutup dengan rekomendasi perbaikan yaitu mengatur rak-rak genteng di dalam ruang pengeringan. Mode kegagalan peringkat 4 yaitu pengeringan yang tidak merata disebabkan kurangnya penggunaan metode pendukung dengan rekomendasi perbaikan yaitu menjalin

kerja sama dengan pemasok teknologi canggih. Mode kegagalan peringkat 5 yaitu ketidaksesuaian proporsi bahan saat proses pencampuran disebabkan alat ukur masih manual atau perkiraan dengan rekomendasi perbaikan yaitu menggunakan alat timbangan digital untuk menentukan proporsi bahan baku. Mode kegagalan peringkat 6 yaitu kurang hati-hati saat memindahkan genteng disebabkan kurang Sumber Daya Manusia (SDM) dengan rekomendasi perbaikan yaitu menambahkan pekerja atau SDM. Mode kegagalan peringkat 7 yaitu kadar air yang tinggi disebabkan tidak ada alat ukur untuk mengukur jumlah bahan pengencer dengan rekomendasi perbaikan yaitu membuat SOP mengenai standar komposisi kadar air.

Pada Tabel 22 diketahui hasil usulan perbaikan dari masing-masing mode kegagalan untuk cacat warna gosong genteng bahwa berdasarkan mode kegagalan peringkat 1 yaitu peningkatan risiko penumpukkan panas disebabkan kurangnya perencanaan susunan genteng dengan rekomendasi perbaikan yaitu menyusun genteng dengan jarak yang cukup antar genteng. Mode kegagalan peringkat 2 yaitu pembakaran yang tidak merata atau terlalu cepat disebabkan tidak ada biaya dengan rekomendasi perbaikan yaitu melakukan rotasi penyusunan genteng di dalam tungku selama proses pembakaran. Mode kegagalan peringkat 3 yaitu kondisi suhu pembakaran yang kurang terkontrol disebabkan tidak adanya alat pengontrol suhu dengan rekomendasi perbaikan yaitu memasang sensor suhu di berbagai titik dalam tungku. Mode kegagalan peringkat 4 yaitu kurangnya pemantauan terhadap proses pembakaran disebabkan tidak ada informasi terkait pelatihan bagi pekerja dengan rekomendasi perbaikan yaitu membuat SOP terhadap proses pembakaran dan memberikan pelatihan. Mode kegagalan peringkat 5 yaitu pemanasan yang tidak merata disebabkan ruang pembakaran yang terbatas dengan rekomendasi perbaikan yaitu menyusun genteng dengan menetapkan batasan tumpukkan agar suhu panasnya rata.

5.4.2 Analisis Metode Taguchi

Metode Taguchi merupakan suatu metodologi yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses dalam waktu bersamaan menekan biaya dan sumber daya seminimal mungkin. Metode ini menjadikan produk atau proses bersifat kokoh (*robust*) terhadap faktor gangguan (*noise*). Rancangan usulan

perbaikan pada penelitian ini dilakukan menggunakan desain eksperimen Taguchi. Usulan perbaikan ini mengupayakan untuk memperbaiki kualitas produk genteng dengan mengurangi produk genteng yang tidak sesuai dengan spesifikasi. Pada umumnya desain eksperimen Taguchi dibagi menjadi tiga tahap, yaitu tahap perencanaan, tahap pelaksanaan, dan tahap analisa eksperimen.

Pada tahap perencanaan eksperimen melakukan penentuan karakteristik kualitas dari produk genteng. karakteristik kualitas yang diukur berupa jumlah cacat per produk. Karakteristik kualitas yang diamati termasuk ke dalam klasifikasi *smaller the better*. Suatu produk dikatakan berkualitas baik apabila karakteristik kualitas tertentu memiliki nilai yang semakin rendah disebut *smaller the better*. Langkah selanjutnya yaitu menentukan variabel bebas dan variabel terikat yang akan digunakan. Variabel terikat pada penelitian ini adalah jumlah produk genteng yang tidak sesuai spesifikasi dan variabel bebas berupa tanah liat, lama pengeringan, lama penjemuran, dan lama pembakaran. Kemudian menentukan faktor dan level yang berpengaruh yang akan digunakan berdasarkan diagram *fishbone*. Faktor ditentukan berdasarkan *setting* yang biasa diatur oleh UMKM AR Genteng KTL yaitu faktor tanah liat, lama pengeringan, lama penjemuran, dan lama pembakaran dengan setiap faktor menggunakan masing-masing tiga level. Faktor tanah liat menggunakan level 0,5 kg, 1 kg, dan 1,5 kg. Faktor lama pengeringan menggunakan level 6 jam, 8 jam, dan 10 jam. Faktor lama penjemuran menggunakan level 24 jam, 48 jam, dan 72 jam. Faktor lama pembakaran menggunakan level 8 jam, 9 jam, dan 10 jam. Langkah selanjutnya yaitu menentukan derajat kebebasan dan matriks ortogonal. Nilai derajat kebebasan dari faktor-faktor kontrol eksperimen sebesar 8 dan matriks ortogonal yang sesuai dengan eksperimen berdasarkan tabel triangular yaitu $L_9 (3^4)$. Kemudian tahap pelaksanaan eksperimen melakukan penentuan jumlah replikasi guna menghasilkan taksiran yang lebih akurat terhadap efek rata-rata suatu faktor pada penelitian dihasilkan sebesar 2 untuk setiap kali eksperimen.

Pada tahap analisa eksperimen menghasilkan nilai *Signal Noise to Ratio* (SNR) dan rata-rata dari masing-masing eksperimen. Langkah selanjutnya yaitu menentukan faktor-faktor yang berpengaruh dengan karakteristik kualitas *smaller*

the better. Berdasarkan perhitungan nilai SNR dan rata-rata kombinasi faktor-faktor yang optimum untuk meminimalisir cacat produk genteng adalah B2C1D3A2 yang digambarkan pada tabel respon SNR dan rata-rata. Kombinasi faktor tersebut yaitu faktor B (lama pengeringan) dengan level 2 (8 jam), faktor C (lama penjemuran) dengan level 1 (24 jam), faktor D (lama pembakaran) dengan level 3 (10 jam), dan faktor A (tanah liat) dengan level 2 (1 kg). Langkah selanjutnya yaitu membuat *main effect plot* terhadap nilai SNR dan rata-rata guna mengetahui efek faktor utama terhadap level faktor eksperimen. Langkah selanjutnya melakukan perhitungan ANOVA terhadap nilai SNR dan rata-rata guna mengidentifikasi kontribusi faktor kontrol, sehingga akurasi perkiraan eksperimen dapat ditentukan. Pada perhitungan nilai ANOVA akan dihitung nilai *sum squares* (SS), *mean square* (MS), Fhitung, Ftabel, dan persen kontribusi dari masing-masing perlakuan dari faktor kontrol. Nilai Fhitung diperoleh berdasarkan pembagian antara nilai *mean square* (MS) faktor dengan *mean square* (MS) error, sedangkan nilai Ftabel diperoleh berdasarkan tabel F dengan α sebesar 0,05 serta nilai derajat kebebasan (dk) faktor dan derajat kebebasan (dk) error. Berdasarkan hasil nilai ANOVA rata-rata dapat ditarik kesimpulan bahwa Fhitung B > Ftabel sebesar $13 > 6,94$ maka H_0 ditolak dan H_1 gagal tolak yang artinya terdapat pengaruh perlakuan dari kondisi faktor B (lama pengeringan) dengan level 2 terhadap jumlah cacat genteng, Fhitung C > Ftabel sebesar $9 > 6,94$ maka H_0 ditolak dan H_1 gagal tolak yang artinya terdapat pengaruh perlakuan dari kondisi faktor C (lama penjemuran) dengan level 1 terhadap jumlah cacat genteng, Fhitung A < Ftabel sebesar $1 < 6,94$ maka H_0 gagal tolak dan H_1 ditolak yang artinya tidak ada pengaruh perlakuan dari kondisi faktor A (tanah liat) dengan level 2 terhadap jumlah cacat genteng, dan Fhitung D < Ftabel sebesar $1 < 6,94$ maka H_0 gagal tolak dan H_1 ditolak yang artinya tidak ada pengaruh perlakuan dari kondisi faktor D (lama pembakaran) dengan level 3 terhadap jumlah cacat genteng. Hal tersebut menunjukkan bahwa faktor-faktor yang berpengaruh yaitu faktor B dan faktor C. Selain itu, nilai ANOVA terhadap SNR setiap eksperimen dapat ditarik kesimpulan bahwa Fhitung B > Ftabel sebesar $191,38 > 19$ maka H_0 ditolak dan H_1 gagal tolak yang artinya terdapat pengaruh perlakuan dari kondisi faktor B (lama pengeringan) dengan level 2 terhadap jumlah cacat

genteng, $F_{hitung} C > F_{tabel}$ sebesar $116,28 > 19$ maka H_0 ditolak dan H_1 gagal tolak yang artinya terdapat pengaruh perlakuan dari kondisi faktor c (lama penjemuran) dengan level 1 terhadap jumlah cacat genteng, $F_{hitung} D < F_{tabel}$ sebesar $12,35 < 19$ maka H_0 gagal tolak dan H_1 ditolak yang artinya tidak ada pengaruh perlakuan dari kondisi faktor D (lama pembakaran) dengan level 3 terhadap jumlah cacat genteng. Kemudian melakukan strategi *pooling up* terhadap nilai ANOVA SNR untuk mengestimasi variansi *error* pada analisis variansi dengan mengumpulkan faktor-faktor yang tidak signifikan sebagai *error*. Berdasarkan hasil strategi *pooling up* diketahui bahwa faktor B dan faktor C terdapat pengaruh perlakuan dan faktor D tidak terdapat pengaruh perlakuan dari faktor tersebut. Selain itu, dapat ditinjau juga dari hasil persen kontribusi masing-masing faktor. Persen kontribusi antara faktor B, faktor C, dan faktor D dapat disimpulkan bahwa faktor D mempunyai nilai persen kontribusi yang rendah. Oleh karena itu, faktor D dapat dihilangkan atau eliminasi. Langkah selanjutnya menentukan hasil *setting* level optimal dari perhitungan sebelumnya didapatkan hasil kondisi level optimal yaitu faktor B (lama pengeringan) dengan level 2 (8 jam) dan faktor c (lama penjemuran) dengan level 1 (24 jam).

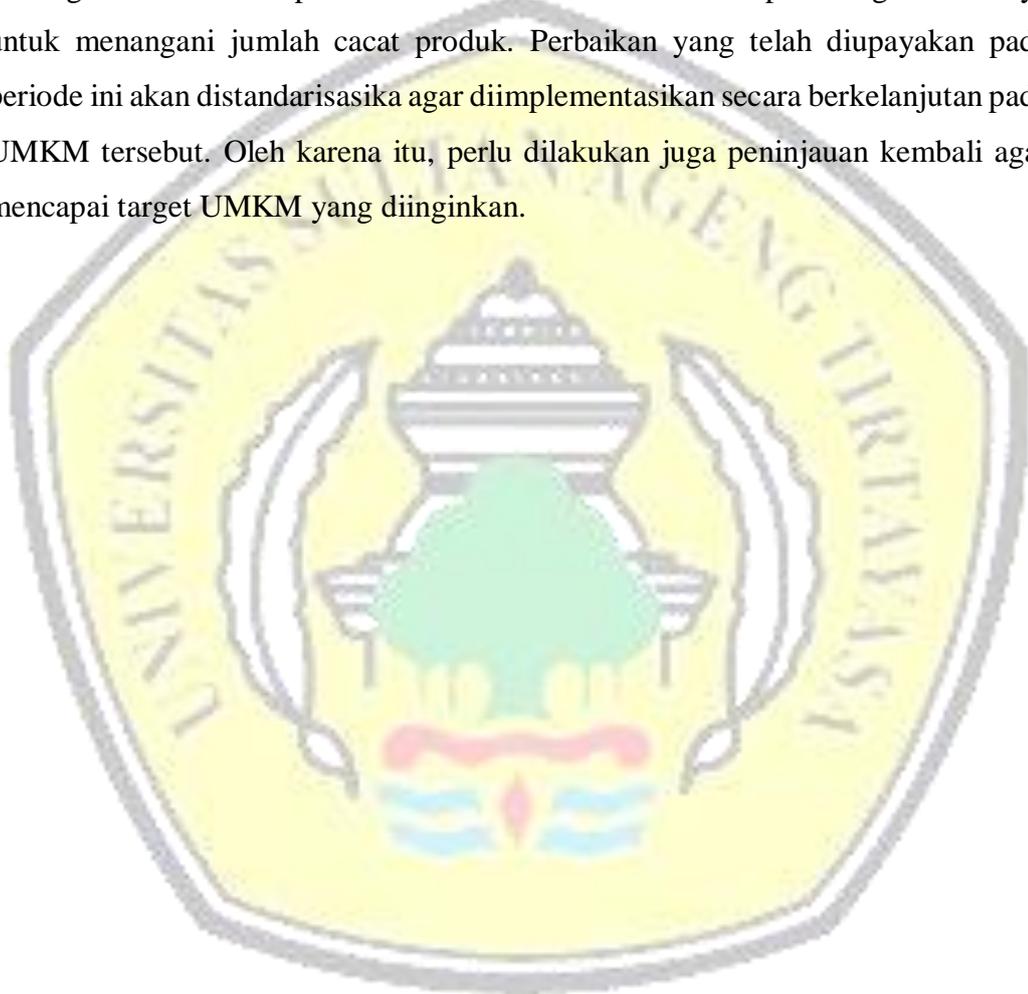
Setelah mengetahui hasil faktor dan level yang optimal dari eksperimen Taguchi, selanjutnya melakukan perhitungan nilai prediksi dan selang kepercayaan terhadap kondisi optimal eksperimen Taguchi guna mengetahui rancangan eksperimen Taguchi sudah memenuhi syarat eksperimen Taguchi. Tingkat kepercayaan yang digunakan pada eksperimen ini sebesar 95% dengan *alpha* sebesar 5% atau 0,05. Berdasarkan hasil yang diperoleh dapat diketahui rentang nilai selang kepercayaan kondisi optimum terhadap nilai rata-rata sebesar $1,417 \leq \mu_{predicted} \leq 2,917$ dan rentang nilai selang kepercayaan terhadap nilai SNR sebesar $-9,542 \leq \mu_{predicted} \leq -7,727$. Kemudian melakukan perhitungan eksperimen konfirmasi berdasarkan hasil eksperimen yang telah dilakukan sebelumnya guna memvalidasi bahwa eksperimen Taguchi dapat diterima atau tidak. Hasil yang diperoleh yaitu rentang nilai selang kepercayaan terhadap nilai rata-rata dan nilai SNR pada kondisi eksperimen konfirmasi. Hasil rentang nilai selang kepercayaan terhadap nilai rata-rata sebesar $1,22 \leq \mu_{konfirmasi} \leq 2,88$ dan hasil rentang nilai selang

kepercayaan terhadap nilai SNR sebesar $-9,06 \leq \mu_{konfirmasi} \leq -6,68$. Hal ini menunjukkan bahwa hasil dari eksperimen Taguchi dapat diterima dan *setting* faktor level optimal yang telah ditetapkan bisa dijadikan sebagai acuan dalam proses produksi genteng di UMKM AR Genteng KTL. Karena hasil nilai selang kepercayaan eksperimen konfirmasi masih berapa pada batas selang kepercayaan eksperimen Taguchi (Sekartaji dan Sumartono, 2021).

5.5 Analisis dan Pembahasan Tahap *Control*

Tahap *control* merupakan tahap keempat dalam metode *six sigma* guna memastikan bahwa hasil usulan perbaikan dari tahap *improve* dapat diimplementasikan pada UMKM AR Genteng KTL. Hal tersebut dilakukan untuk meningkatkan performa dan meningkatkan hasil kualitas dari produk genteng. Selain itu, tahap *control* juga digunakan sebagai evaluasi atas semua tindakan dan perbaikan yang telah diupayakan untuk mengetahui keberhasilan atas upaya yang telah diterapkan. Pada tahap ini dilakukan peninjauan strategi mingguan terhadap proses produksi genteng di UMKM AR Genteng KTL menggunakan usulan perbaikan yang diimplementasikan dengan melakukan perhitungan rata-rata persentase cacat produk, nilai DPMO dan nilai *sigma*, serta rata-rata kerugian UMKM produk genteng. Berdasarkan Tabel 32 dapat dilihat bahwa perbandingan dari masing-masing nilai yang diteliti saat sebelum dan sesudah *improvement*. Hasil rata-rata persentase cacat produk sebelum dan sesudah *improvement* dengan mengimplementasikan usulan perbaikan dari tahap sebelumnya didapatkan bahwa terjadi penurunan persentase cacat dari 0,65% menjadi 0,42% sebesar 0,23% yang menunjukkan adanya peningkatan kualitas yang cukup signifikan pada produk genteng. Selanjutnya hasil nilai *Defect per Million Opportunities* (DPMO) sesudah perbaikan mengalami penurunan dari 1627 menjadi 1055, artinya dalam satu juta produk genteng yang diproduksi masih terdapat sekitar 1055 buah produk genteng yang *reject*. Selain itu, mengukur nilai *sigma* sebagai acuan utama untuk mengetahui performa kinerja dasar UMKM dalam memproduksi genteng berdasarkan tingkat pencapaian *sigma* setelah mengimplementasi *improvement* sebesar 4,59 masih termasuk ke dalam kategori rata-rata industri USA. Berdasarkan hasil rata-rata tingkat *sigma* setelah *improvement* diketahui UMKM memiliki

kinerja yang sudah baik, tetapi masih perlu langkah-langkah perbaikan untuk meningkatkan nilai *sigma* hingga mencapai 6 *sigma* yang dapat dikatakan sempurna kinerjanya. Selanjutnya ditinjau dari rata-rata kerugian biaya produk cacat genteng sebelum dan sesudah dilakukan *improvement* terjadi penurunan dari Rp9.100 menjadi Rp5.425 yang menunjukkan bahwa tindakan perbaikan yang diimplementasikan berhasil meminimalisir jumlah cacat produk genteng dan meningkatkan kualitas produk secara keseluruhan serta dapat menghemat biaya untuk menangani jumlah cacat produk. Perbaikan yang telah diupayakan pada periode ini akan distandarisasi agar diimplementasikan secara berkelanjutan pada UMKM tersebut. Oleh karena itu, perlu dilakukan juga peninjauan kembali agar mencapai target UMKM yang diinginkan.



BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan pada UMKM AR Genteng KTL dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. *Critical to Quality* (CTQ) berdasarkan data atribut produk genteng terdapat empat jenis cacat pada produk tersebut, yaitu cacat pecah, cacat retak, cacat gompal, dan cacat warna gosong. Jumlah cacat yang paling dominan diantara keempat jenis tersebut yaitu cacat pecah genteng sebesar 46 buah.
2. Nilai *Defect per Million Opportunities* (DPMO) pada proses produksi genteng diperoleh sebesar 1627 dengan rata-rata tingkat pencapaian *sigma* yang diperoleh sebesar 4,47 yang tergolong ke dalam rata-rata industri USA.
3. Faktor-faktor penyebab utama pada produk genteng *reject* disebabkan oleh faktor material, lingkungan, dan metode yang mempengaruhi jumlah produk genteng yang diproduksi. Berdasarkan nilai RPN dari masing-masing jenis cacat dapat diketahui hasil nilai RPN *ranking* 1 cacat pecah sebesar 144, nilai RPN *ranking* 1 cacat retak sebesar 112, nilai RPN *ranking* 1 cacat gompal sebesar 108, dan nilai RPN *ranking* 1 cacat warna gosong sebesar 162.
4. Faktor dan level yang digunakan adalah faktor A (tanah liat) dengan level 0,5 kg, 0,1 kg, 1,5 kg, faktor B (lama pengeringan) dengan level 6 jam, 8 jam, 10 jam, faktor C (lama penjemuran) dengan level 24 jam, 48 jam, 72 jam, dan faktor D (lama pembakaran) dengan level 8 jam, 9 jam, 10 jam. Kemudian hasil kombinasi faktor dan level yang optimal berdasarkan hasil dari tabel rspan yang memiliki tingkat signifikansi yang tinggi dan kontribusi besar terhadap penurunan persentase cacat produk pada

eksperimen ini yaitu faktor B (lama pengeringan) dengan level 2 (8 jam) dan faktor C (lama penjemuran) dengan level 1 (24 jam).

5. Hasil yang diperoleh bahwa eksperimen Taguchi dapat diterima karena nilai rentang selang kepercayaan eksperimen konfirmasi masih berada dalam batas selang kepercayaan eksperimen Taguchi.
6. Nilai rata-rata persentase cacat produk sebelum dan sesudah *improvement* berturut-turut sebesar 0,65% menjadi 0,42% yang menunjukkan terjadi penurunan sebesar 0,23%. Nilai *Defect per Million Opportunities* (DPMO) sebelum dan sesudah *improvement* berturut-turut sebesar 1627 menjadi 1055 yang menunjukkan terjadi penurunan sebesar 572. Nilai rata-rata tingkat pencapaian *sigma* sebelum dan sesudah *improvement* berturut-turut sebesar 4,47 menjadi 4,59.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan terdapat beberapa saran untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut:

1. Penelitian sejenis disarankan menggunakan objek penelitian genteng dengan jenis genteng yang berbeda seperti genteng keramik dan genteng beton berdasarkan SNI atau ISO sehingga standar yang digunakan peneliti tidak hanya mengacu pada Sentra Industri bersangkutan yaitu karakteristik kualitas data atribut saja.
2. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat menambahkan faktor atau level yang digunakan pada eksperimen Taguchi dengan objek produk genteng. Faktor yang dapat ditambahkan seperti faktor suhu pembakaran dan komposisi bahan baku (tanah liat, air, dan pasir).

DAFTAR PUSTAKA

Ahadya Silka Fajaranie dan Khairi, A.N. (2022) 'Pengamatan Cacat Kemasan Pada Produk Mie Kering Menggunakan Peta Kendali Dan Diagram Fishbone di Perusahaan Produsen Mie Kering Semarang, Jawa Tengah', *Jurnal Pengolahan Pangan*, 7(1), pp. 7–13. Available at: <https://doi.org/10.31970/pangan.v7i1.69>.

Ahsan, M. *et al.* (2023) 'Optimasi Produk Plastik Pendekatan Taguchi Mixed Level Pada Faktor Interaksi Injeksi Molding', *J Statistika*, 16(1), pp. 371–383.

Alkatiri, H.A., Adiarto, H. dan Novirani, D. (2015) 'Implementasi Pengendalian Kualitas Untuk Mengurangi Jumlah Produk Cacat Tekstil Kain Katun Menggunakan Metode Six Sigma Pada PT. SSP', *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*, Vol 03(03), pp. 148–159.

Amalia, I.N., Suharsono, A. dan Paramita, N.L.P.S.P. (2019) 'Pengendalian Kualitas Proses Penetasan Telur Ayam di PT X Unit Hatchery Malang Menggunakan Peta Kendali Multiatribut', *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 7(2), pp. 23337–3520. Available at: <https://doi.org/10.12962/j23373520.v7i2.33152>.

Amalia Yunia Rahmawati (2020) 'Penerapan Six Sigma Dengan Menggunakan Pendekatan Taguchi Untuk Proses Elektroplating Produk Spring Tension 35086 Pada PT. Tetra Mitra Sinergis', 1(July), pp. 1–23.

Andriyani, A. dan Rumita, R. (2017) 'Analisis Upaya Pengendalian Kualitas Kain Dengan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Pada Mesin Shuttel Proses Weaving PT Tiga Manunggal Synthetic Industries', *Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro*, 6(1), pp. 1–8.

Arianto B. (2013) 'Analisis Pengendalian Kualitas Produksi Seng Lembaran Jenis B2G 0,20 X 914 Dengan Menggunakan Seven Tools Pada Pt Kerismas Witicko Makmur', *Jurnal Teknik Industri*, 4(1), pp. 22–30. Available at: <https://doi.org/10.35968/jtin.v4i1.825>.

Arifin, Z. dan Leonanda, B.D. (2021) 'Menurunkan Jumlah Kecacatan Produk Pada Proses Produksi Dengan Menggunakan Metode Six Sigma Dan Pengendalian Statistik Di Pt. Xyz Indonesia', *Sigma Teknika*, 4(1), pp. 106–114. Available at: <https://doi.org/10.33373/sigmateknika.v4i1.3227>.

Cahaya Mulia, N.A. dan Rochmoeljati, R. (2021) 'Pengendalian Kualitas Pengelasan Menggunakan Metode Statistical Quality Control (SQC) dan Failure Mode Effect Analysis (FMEA) di PT. PAL Indonesia', *Juminten*, 2(6), pp. 60–71. Available at: <https://doi.org/10.33005/juminten.v2i6.346>.

Casban, C. dan Zulfikar, S.R. (2022) 'Analisis Cost of Poor Quality Proses Painting Produk Pan Oil TD', *Jurnal INTECH Teknik Industri Universitas Serang Raya*, 8(1), pp. 9–16. Available at: <https://doi.org/10.30656/intech.v8i1.4458>.

Derry, S. *et al.* (2014) 'Usulan Kombinasi Terbaik Faktor Yang Berpengaruh Terhadap Penyerapan Air Ubin Earthenware Berglasir Dengan Metode Perancangan Eksperimen 3k', *Reka Integra*, 02(03), pp. 36–47.

Dewi, S.K. dan Ummah, D.M. (2019) *Perbaikan Kualitas Pada Produk Genteng Dengan Metode Six Sigma*, *J@ti Undip: Jurnal Teknik Industri*. Available at: <https://doi.org/10.14710/jati.14.2.87-92>.

Dinas Koperasi Usaha Mikro Kecil dan Menengah, 2024.

Dorothea wahyu Ariani (2021) 'Manajemen Kualitas', p. 15. Available at: http://eprints.mercubuana-yogya.ac.id/id/eprint/12996/1/2020-ARIANI-MANAJEMEN_KUALITAS.pdf.

Ekawati, R. dan Rachman, R.A. (2017) 'Analisa Pengendalian Kualitas Produk Horn Pt . Mi Menggunakan Six Sigma', *Journal Industrial Services*, 3(Vol. 3 No. 1a Oktober 2017), pp. 32–38.

Erlangga, R.B. dan Wahyuni, H.C. (2023) 'Application of Quality Control using Six Sigma and Taguchi Method on UMKM Kerupuk Tahu Bangil in Pandemic Period (Case Study: UD. Sanusi)', *Procedia of Engineering and Life Science*, 3(December). Available at: <https://doi.org/10.21070/pels.v3i0.1331>.

Fajrin, J., Pathurahman, P. dan Pratama, L.G. (2016) 'Aplikasi Metode Analysis of Variance (Anova) Untuk Mengkaji Pengaruh Penambahan Silica Fume Terhadap Sifat Fisik Dan Mekanik Mortar', *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, 12(1), p. 11. Available at: <https://doi.org/10.25077/jrs.12.1.11-24.2016>.

Gaspersz, V. (2002) *Pedoman Implementasi Program Six Sigma Terintegrasi Dengan ISO 9001:2000, MBNQA, DAN HACCP*, Gramedia.

Hairiyah, N., Amalia, R.R. dan Luliyanti, E. (2019) 'Analisis Statistical Quality Control (SQC) pada Produksi Roti di Aremania Bakery', *Industria: Jurnal Teknologi dan Manajemen Agroindustri*, 8(1), pp. 41–48. Available at: <https://doi.org/10.21776/ub.industria.2019.008.01.5>.

Halimah, P. dan Ekawati, Y. (2020) 'Penerapan Metode Taguchi untuk Meningkatkan Kualitas Bata Ringan pada UD. XY Malang', *Jiems (Journal of Industrial Engineering and Management Systems)*, 13(1), pp. 13–26. Available at: <https://doi.org/10.30813/jiems.v13i1.1694>.

Haryanto, E. (2019) 'Analisis Pengendalian Kualitas Produk Bos Rotor Pada Proses Mesin Cnc Lathe Dengan Metode Seven Tools', *Jurnal Teknik*, 8(1). Available at: <https://doi.org/10.31000/jt.v8i1.1595>.

Hermawan, A. dan Yusran H. L. (2017). *Penelitian Bisnis*

Jenifer Paulin, Ahmad, A. (2022) 'Pengendalian Kualitas Proses Printing Kemasan Polycellonium Menggunakan Metode Six Sigma di PT . ACP', *Jurnal Mitra Teknik Industri*, 1(1), pp. 60–72.

Khamaludin, K. (2020) 'Evaluasi Kinerja Kualitas Pemasok Bahan Baku di PT. X Menggunakan Peta Kendali dan Analisis Kemampuan Proses', *Unistek*, 7(2), pp. 98–103. Available at: <https://doi.org/10.33592/unistek.v7i2.629>.

Khoiri, N. (2021) *Buku Statistika Konseptual dan Aplikatif Perspektif Manajemen Pendidikan*, SUKABINA Press.

Kusumawati, A. dan Fitriyeni, L. (2017) 'Pengendalian Kualitas Proses Pengemasan Gula Dengan Pendekatan Six Sigma', *Jurnal Sistem dan Manajemen Industri*, 1(1), p. 43. Available at: <https://doi.org/10.30656/jsmi.v1i1.173>.

Laricha Salomon, L., Kosasih, W. dan Oscar Angkasa, S. (2015) 'Perancangan Eksperimen untuk Meningkatkan Kualitas Ketangguhan Material dengan Pendekatan Analisis General Factorial Design (Studi Kasus: Produk Solid Surface)', *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, 4(1), pp. 1–7.

M Derajat, A. dan Kristiyono, A. (2011) 'Usulan Mengurangi Jumlah Cacat Tutup Kaleng 301 Easy Open End Line Waxing Menggunakan Metode Six Sigma Di Pt Cuc Jakarta', *Jurnal Inovisi (Teknik Industri)*, 7(Vol 7, No 02 (2011): INOVISI), p. 1. Available at: <http://ejurnal.esaunggul.ac.id/index.php/inovisi/article/view/916>.

Maulidia, P.R., Adriantantri, E. dan Budiharti, N. (2020) 'Analisis Pengendalian Kualitas Menggunakan Metode Taguchi Pada Umkm Rubber Seal Rm Products Genuine Parts Sukun, Malang', *Industri Inovatif : Jurnal Teknik Industri*, 10(2), pp. 82–91. Available at: <https://doi.org/10.36040/industri.v10i2.2823>.

Mayangsari, D.F., Adianto, H. dan Yuniati, Y. (2015) 'Usulan Pengendalian Kualitas Produk Isolator Dengan Metode Failure Mode And Effect Analysis (FMEA) dan Fault Tree Analysis (FTA)', *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*, 13(2), pp. 81–91.

McDermott, R.E., Mikulak R.J., dan Beauregard M.R. (2008). *The Basics of Economics*.

Montgomery, D.C. (2012). *Introduction to Statistical Process Control*.

Muttaqin, B.I.A. (2019) 'Telaah Kajian dan Literature Review Design of Experiment (DoE)', *Journal of Advances in Information and Industrial Technology*, 1(1), pp. 33–40. Available at: <https://doi.org/10.52435/jaiit.v1i1.10>.

Prabudy, L.M. (2000) 'Studi Tentang Peta Kendali p yang Distandarisasi Untuk Proses Pendek Kualitas', *Jurnal Teknik Industri*, 2(1), pp. 53–64.

Pujiyanto, E. *et al.* (2022) 'Meningkatkan Kualitas Genteng Hasil Produksi IKM Kebakkramat Karanganyar untuk Memenuhi SNI 03-2095-1998', *Jurnal Pengabdian Masyarakat Indonesia*, 2(1), pp. 25–31. Available at: <https://doi.org/10.52436/1.jpmi.415>.

Puspitasari, N.B. dan Martanto, A. (2019) 'Analisis Kecelakaan Kerja Dengan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Studi Kasus : Automotive Workshop Semarang', *Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri Universitas Trisakti*, IX(2), pp. 93–98. Available at: <http://journal.student.uny.ac.id/ojs/index.php/mekatronika/article/viewFile/13596/pdf%0Ahttps://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/poros/article/download/14864/14430>.

Rachman, F.R. *et al.* (2019) 'Penerapan Metode Taguchi Dalam Optimasi Parameter Pada Proses Electrical Discharge Machining (EDM)', *J Statistika: Jurnal Ilmiah Teori dan Aplikasi Statistika*, 12(1), pp. 7–12. Available at: <https://doi.org/10.36456/jstat.vol12.no1.a1991>.

Rahayu P., S.J. (2020) 'Analisis Pengendalian Kualitas Produk Menggunakan Metode Statistical Quality Control (SQC) Pada Divisi Curing Plant D PT.Gajah Tunggal,Tbk', 9(1).

Ramayanti, G. *et al.* (2019) 'Usulan Peningkatan Kualitas Batu Bata Merah dengan Metode Six Sigma dan Taguchi', *Jurnal Penelitian dan Aplikasi Sistem & Teknik Industri (PASTI)*, XIII(1), pp. 9–16.

Ratnadi, R. dan Suprianto, E. (2016) 'Pengendalian Kualitas Produksi Menggunakan Alat Bantu Statistik (Seven Tools) Dalam Upaya Menekan Tingkat Kerusakan Produk', *Jurnal Indept*, 6(2), p. 11. s.

Rinoza, M. dan Ahmad Kurniawan, F. (2021) 'Analisa Rpn (Risk Priority Number) Terhadap Keandalan Komponen Mesin Kompresordouble Screw Menggunakan Metode FMEA di Pabrik Semen PT. XYZ', *Buletin Utama Teknik*, 17(1), pp. 1410–4520.

Rohmadi, A.B. dan Junaedi, D. (2023) 'Implementasi Six Sigma Untuk Mengurangi Defect Produk Hijab Print Dengan Metode DMAIC', *Proceeding Mercu Buana Conference on Industrial Engineering*, 5(July), pp. 147–157.

Sakti, Y.K., W, I.A.S. dan Zuhroh, D. (2020) 'Analisis Faktor-Faktor Penyebab Tehambatnya Perkembangan Umkm Sentra Ikan Bulak (SIB) Kenjeran Dengan Pendekatan Metode Fishbone Diagram', *Seminar Nasional Hasil Penelitian dan Pengabdian 2020*, pp. 92–99.

Saputri, R., Vitasari, P. dan Adriantantri, E. (2022) 'Identifikasi Timbulnya Produk

Cacat Dengan Metode CTQ dan DPMO Pada Home Industry Keripik Tempe Sari Rasa', *Jurnal Valtech*, 5(1), pp. 94–100. Available at: <https://ejournal.itn.ac.id/index.php/valtech/article/view/4518>.

Sekartaji, N. dan Sumartono, B.A. (2021) 'Analisis Pengendalian Kualitas Produk Damper Speaker Type D-25236 B Menggunakan Metode Six Sigma Guna Meminimalisir Produk Cacat Pada Pt. X', *Jurnal Teknik Industri*, pp. 117–139.

Setyudhi. (2020) 'Perbaikan Kualitas Produk Coupling Menggunakan Metode Six Sigma Pada PT. XYZ', *Jurnal Teknik Ibnu Sina*, 5(2), pp. 36–45.

Shiyamy, A.F., Rohmat, S. dan Sopian, A. (2021) 'Artikel analisis pengendalian kualitas produk dengan', *Jurnal Ilmiah Manajemen*, 2(2), pp. 32–45.

Situngkir, D.I. (2019) 'Pengaplikasian FMEA Untuk Mendukung Pemilihan Strategi Pemeliharaan Pada Paper Machine', *FLYWHEEL : Jurnal Teknik Mesin Untirta*, 1(1), p. 39. Available at: <https://doi.org/10.36055/fwl.v1i1.5489>.

Sudri, N.M., Widianty, Y. dan Fernanda, A. (2020) 'Aplikasi Six Sigma dan Design of Experiment untuk Peningkatan Mutu Proses Kain Cotton Tetoron (Studi Kasus Perusahaan Tekstil)', *Jurnal IPTEK*, 4(2), pp. 56–63. Available at: <https://doi.org/10.31543/jii.v4i2.167>.

Tambunan, D.G., Sumartono, B. dan Moektiwibowo, D.H. (2020) 'Analisis Pengendalian Kualitas Dengan Metode Six Sigma Dalam Upaya Mengurangi Kecacatan Pada Proses Produksi Koper Di PT SRG', *Jurnal Teknik Industri*, 9(1), pp. 58–77.

Tannady, H. dan Chandra, C. (2017) 'Analisis Pengendalian Kualitas dan Usulan Perbaikan pada Proses Edging di PT Rackindo Setara Perkasa dengan Metode Six Sigma', *Jiems (Journal of Industrial Engineering and Management Systems)*, 9(2), pp. 123–139. Available at: <https://doi.org/10.30813/jiems.v9i2.43>.

Telford, J.K. (2007) 'A Brief Introduction To Design Of Experiments', *Johns Hopkins APL Technical Digest (Applied Physics Laboratory)*, 27(3), pp. 224–232.

Trenggonowati, D.L. *et al.* (2020) 'Pengendalian Kualitas Continuous Tandem Cold Mill (CTCM) Menggunakan Metode Taguchi Pada Divisi Cold Rolling Mill di PT. XYZ', *Teknika: Jurnal Sains dan Teknologi*, 16(2), p. 293. Available at: <https://doi.org/10.36055/tjst.v16i2.9242>.

Trenggonowati, D.L. dan Arafiany, N.M. (2018) 'Pengendalian Kualitas Produk Baja Tulangan Sirip 25 Dengan Menggunakan Metode SPC di PT Krakatau Wajatama Tbk', *Journal Industrial Servicess*, 3(2), pp. 122–131.

Ulfah, E.M. dan Auliandri, T.A. (2019) 'Analisis Kualitas Distribusi Air Menggunakan Metode Six Sigma DMAIC Pada Pdam Surya Sembada Kota Surabaya', *INOBISS: Jurnal Inovasi Bisnis dan Manajemen Indonesia*, 2(3), pp.

315–329. Available at: <https://doi.org/10.31842/jurnal-inobis.v2i3.93>.

Ulfah, M., Ekawati, R. dan Ferdinant, P.F. (2018) ‘Penentuan setting parameter optimum proses pembuatan sabun cair pencuci piring dengan pendekatan factorial experiment dan metode taguchi’, *Jurusan Teknik Industri Fakultas teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa*, (July), pp. 1–13.

Utomo, Y., Jumali, A. dan Salsabila, N. (2022) ‘Di Pt Temprina Media Grafika (Jawa Pos Group)’, *Jurnal Teknik Waktu*, 20(02), pp. 103–109.

Del Vecchio, R.J. (2007) ‘Design of Experiments’, *Handbook of Vinyl Formulating: Second Edition*, pp. 515–527.

Wahyani, W., Chobir, A. dan Rahmanto, D.D. (2010) ‘Pengendali Kualitas’.

Winarso, K. dan Alfaris, S. (2016) ‘Efek Diameter Coil, Perbandingan Jumlah Lilitan, Jenis Coil, Pada Transmitter Receiver Terhadap Efisiensi Energi Transfer Wireless Transfer Electricity Dengan Metode Desain of Experiment (Doe)’, *Media Statistika*, 9(1), pp. 31–40. Available at: <https://doi.org/10.14710/medstat.9.1.31-40>.

Wiyono, S., Saefullah, I. dan Mutaqien, M.R. (2017) ‘Optimasi Parameter Pemesinan Tanpa Fluida Pendingin Terhadap Mutu Baja AISI 1045’, *Jurnal Teknik Mesin Untirta*, III(April), pp. 90–101.

Yusuf M., Purwanti A., dkk. (2022) ‘Analisis Peningkatan Kualitas Produk Genteng Dengan Metode Taguchi’, (November), pp. 1–10.

Zulkarnain, Z. dan Wicaksono, T. (2021) ‘Metode Six Sigma Dalam Perbaikan Cacat Botol pada Produk Personal Care’, *Jurnal Teknik Industri: Jurnal Hasil Penelitian dan Karya Ilmiah dalam Bidang Teknik Industri*, 7(1), p. 19. Available at: <https://doi.org/10.24014/jti.v7i1.10243>.



LAMPIRAN

Lampiran 1. Output Software R

```
Console Terminal x Jobs x
~/UNTIRTA/matku/SEMESTER 7/TA/BISMILLAH/peta kendali RS/peta kendali p/
> #Mengaktifkan packages
> library(readxl)
> library(qcc)
>
> #Menginput data
> genteng<-read_xlsx('datagenteng.xlsx',sheet=1)
> genteng_perbaikan<-read_xlsx('datagenteng.xlsx',sheet=3)
> #peta kendali p
> peta_p<-qcc(genteng$`Jumlah Cacat Produk`,
+             sizes = genteng$`Jumlah Produksi`,
+             type="p",
+             title="Peta Kendali p",
+             xlab="Sample",
+             ylab="Proportion",
+             add.stats=FALSE)
>
> summary(peta_p)

Call:
qcc(data = genteng$`Jumlah Cacat Produk`, type = "p", sizes = genteng$`Jumlah Produksi`,
     title = "Peta Kendali p", xlab = "Sample", ylab = "Proportion", add.stats = FALSE)

p chart for genteng$`Jumlah Cacat Produk`
```

```
Console Terminal x Jobs x
~/UNTIRTA/matku/SEMESTER 7/TA/BISMILLAH/peta kendali RS/peta kendali p/

Summary of group statistics:
      Min.   1st Qu.   Median     Mean   3rd Qu.    Max.
0.003571429 0.004312893 0.005926829 0.006508566 0.006822335 0.014018692

Summary of group sample sizes:
 sizes 1070 1250 2050 2500 2650 2800 2955 3000
 counts  1    1    1    1    1    1    1    1

Number of groups: 8
Center of group statistics: 0.005690834
Standard deviation: 0.07522266

Control limits:
      LCL          UCL
0.000000000 0.012073689
0.001177475 0.010204194
...
0.001426110 0.009955559
>
> peta_p$violations
$beyond.limits
[1] 3

$violating.runs
numeric(0)
```

```
Console Terminal x Jobs x
~/UNTIRTA/matkul/SEMESTER 7/TA/BISMILLAH/peta kendali RS/peta kendali p/

> #peta kendali p perbaikan
> peta_p_fix<-qcc(genteng_perbaikan`Jumlah Cacat Produk`,
+   sizes = genteng_perbaikan`Jumlah Produksi`,
+   type="p",
+   title="Peta Kendali p perbaikan",
+   xlab="sample",
+   ylab="Proportion",
+   add.stats=FALSE)
> summary(peta_p_fix)

Call:
qcc(data = genteng_perbaikan`Jumlah Cacat Produk`, type = "p", sizes = genteng_perbaikan`Jumlah Produksi`, title = "Peta Kendali p perbaikan", xlab = "sample", ylab = "Proportion", add.stats = FALSE)

p chart for genteng_perbaikan`Jumlah Cacat Produk`

Summary of group statistics:
      Min.      1st Qu.      Median      Mean      3rd Qu.      Max.
0.003571429 0.004097484 0.005853659 0.005435691 0.006214890 0.008000000
```

```
Summary of group sample sizes:
 sizes 1250 2050 2500 2650 2800 2955 3000
 counts  1    1    1    1    1    1    1

Number of groups: 7
Center of group statistics: 0.005172915
Standard deviation: 0.07173671

Control limits:
      LCL      UCL
0.0000000000 0.011259977
0.0008687121 0.009477118
...
0.0011058256 0.009240004
```



Lampiran 2. Tabel $F_{\alpha} = 0,05$

		$F_{0,05, v_1, v_2}$																		
		Degrees of freedom for the numerator (v_1)																		
$v_1 \backslash v_2$	v_2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
Degrees of freedom for the denominator (v_2)	1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.9	245.9	248.0	249.1	250.1	251.1	252.2	253.3	254.3
	2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49	19.50
	3	10.13	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	4.36
	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	3.18	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
	26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75	1.69
	27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73	1.67
	28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71	1.65
	29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70	1.64
	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	2.17	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.50	1.43	1.35	1.25	
∞	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	



Lampiran 3. Dokumentasi Kegiatan



Lampiran 4. Kuesioner *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

KUESIONER PENELITIAN

FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA)

A. Petunjuk Pengisian

Berikut merupakan petunjuk pengisian kuesioner mengenai *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA).

<i>Column Value</i>	Tingkat Keparahan	Frekuensi Kejadian	<i>Probability of Detection</i>
1	Tidak berpengaruh (<i>minor</i>)	Hampir tidak pernah terjadi (<i>remote</i>)	Pasti terdeteksi (<i>very high</i>)
2	Sedikit berpengaruh, tidak terlalu kritis (<i>low</i>)	Hampir tidak pernah terjadi (<i>remote</i>)	Pasti terdeteksi (<i>very high</i>)
3	Sedikit berpengaruh, tidak terlalu kritis (<i>low</i>)	Sangat jarang, <i>relative</i> (<i>low</i>)	Kemungkinan besar terdeteksi (<i>high</i>)
4	Cukup berpengaruh, cukup kritis (<i>moderate</i>)	Sangat jarang, <i>relative</i> (<i>low</i>)	Kemungkinan besar terdeteksi (<i>high</i>)
5	Cukup berpengaruh, cukup kritis (<i>moderate</i>)	Sangat jarang, <i>relative</i> sedikit (<i>low</i>)	Mungkin besar terdeteksi (<i>moderate</i>)
6	Cukup berpengaruh, cukup kritis (<i>moderate</i>)	Kadang-kadang terjadi (<i>moderate</i>)	Mungkin besar terdeteksi (<i>moderate</i>)
7	Sangat berpengaruh, kritis (<i>moderate</i>)	Kadang-kadang terjadi (<i>moderate</i>)	Kemungkinan kecil terdeteksi (<i>low</i>)
8	Sangat berpengaruh, kritis (<i>moderate</i>)	Sering terjadi (<i>high</i>)	Kemungkinan kecil terdeteksi (<i>low</i>)
9	Pasti berpengaruh, sangat merugikan, sangat kritis (<i>very high</i>)	Sulit untuk dihindari (<i>very high</i>)	Mungkin tidak terdeteksi (<i>very low</i>)
10	Pasti berpengaruh, sangat merugikan, sangat kritis (<i>very high</i>)	Sulit untuk dihindari (<i>very high</i>)	Tidak terdeteksi (<i>none</i>)

B. Data Responden

Nama Responden :

Usia :

Jabatan :

C. Lembar Kuesioner

Isilah kuesioner berikut sesuai dengan petunjuk pengisian berdasarkan angka yang telah ditentukan.

No	Mode of Failure (Mode Kegagalan)	Effect of Failure (Efek Kegagalan)	Cause of Failure (Penyebab Kegagalan)	Skor			Risk Priority Number (RPN)	Rank
				S	O	D		
1	Proses mesin molen aus	Tanah liat dan pasir menggumpal	Tidak ada SOP jadwal rutin perawatan dan pemeliharaan					
2	Setting mesin molen tidak sesuai dengan adukan jenis tanah liat	Adonan susah dibentuk	Tidak ada SOP dalam setting mesin					
3	Perbedaan persepsi produk cacat antar pekerja	Produk yang diproduksi menjadi <i>defect</i>	Tidak ada standar <i>reject</i> produk					
4	Pengeringan yang tidak merata	Kekerasan produk yang tidak konsisten	Keterbatasan penggunaan metode pendukung					
5	Komposisi bahan baku yang tidak standar	Genteng mudah pecah	Tidak ada SOP mengenai standar komposisi bahan baku					
6	Kualitas bahan baku yang tidak sesuai	Genteng mudah pecah	Tidak ada SOP dalam QC bahan baku					
7	Pekerja kurang teliti saat proses QC	Pecah tidak terdeteksi	Mengobrol					
8	Pekerja kurang teliti saat proses QC	Produk yang diproduksi menjadi <i>defect</i>	Tidak ada informasi mengenai pelatihan					
9	Konsentrasi menurun	Pecah tidak terdeteksi	Belum ada kebijakan produksi					
10	Tempat pencampuran bahan baku kotor	Tanah liat menggumpal dengan debu, kerikil	Ruang pencampuran tidak dibersihkan secara rutin					

Keterangan:

S = *Severity* (Tingkat Keparahan) (1-10)

O = *Occurence* (Tingkat Kejadian) (1-10)

D = *Detective* (Tingkat Deteksi) (1-10)

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama : Dian Elnia Kusuma Ningrum
NIM : 3333200041
Tempat/Tanggal Lahir : Bekasi, 10 Desember 2002
Jenis Kelamin : Perempuan
Agama : Islam
Alamat Email : arumelnia10@gmail.com
No. Handphone : 082258168332
Alamat : Pondok Ungu Permai Blok AN 6 No 3 RT 11 RW 11,
Kel. Kaliabang Tengah, Kec. Bekasi Utara, Kota
Bekasi 17125



Riwayat Pendidikan

2008 – 2014 SDN Kaliabang Tengah VII
2014 – 2017 SMPN 3 Babelan
2017 – 2020 SMAS Taman Harapan Baru 1 Bekasi
2020 – 2024 Teknik Industri Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Prestasi Terbaik Pribadi

1. Penerima Beasiswa PT United Tractor periode 2018 – 2020

Riwayat Organisasi

1. Asisten Laboratorium Optimasi Sistem Industri dan Kualitas FT UNTIRTA
2. Pekan Olahraga Mahasiswa Teknik Industri UNTIRTA
3. Latihan Kepemimpinan