

**REKAYASA KUALITAS MENGGUNAKAN *DESIGN OF
EXPERIMENT* PADA PRODUK SEPATU DI CV. KOTAMA**

SKRIPSI

OLEH:

**WAHYU QURAHMAN
228150019**



**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2026**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 3/7/26

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id) 3/7/26

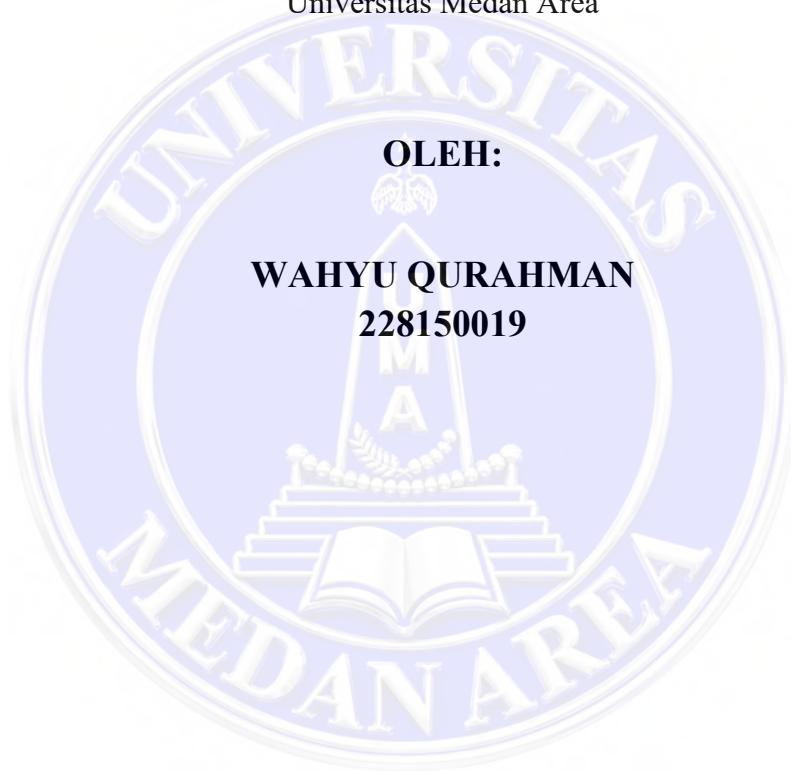
**REKAYASA KUALITAS MENGGUNAKAN *DESIGN OF
EXPERIMENT* PADA PRODUK SEPATU DI CV. KOTAMA**

SKRIPSI

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana di Fakultas Teknik
Universitas Medan Area

OLEH:

**WAHYU QURAHMAN
228150019**



**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2026**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 3/7/26

Access From (repository.uma.ac.id)3/7/26

LEMBAR PENGESAHAN

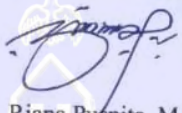
Judul Skripsi : *Rekayasa Kualitas Menggunakan Design of Experiment Pada Produk Sepatu di CV. Kotama*

Nama : Wahyu Qurahman

NPM : 228150019

Fakultas : Teknik

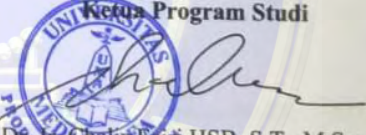
**Disetujui oleh
Dosen Pembimbing**


Ir. Riana Puspita, M.T.
NIDN: 0106096701

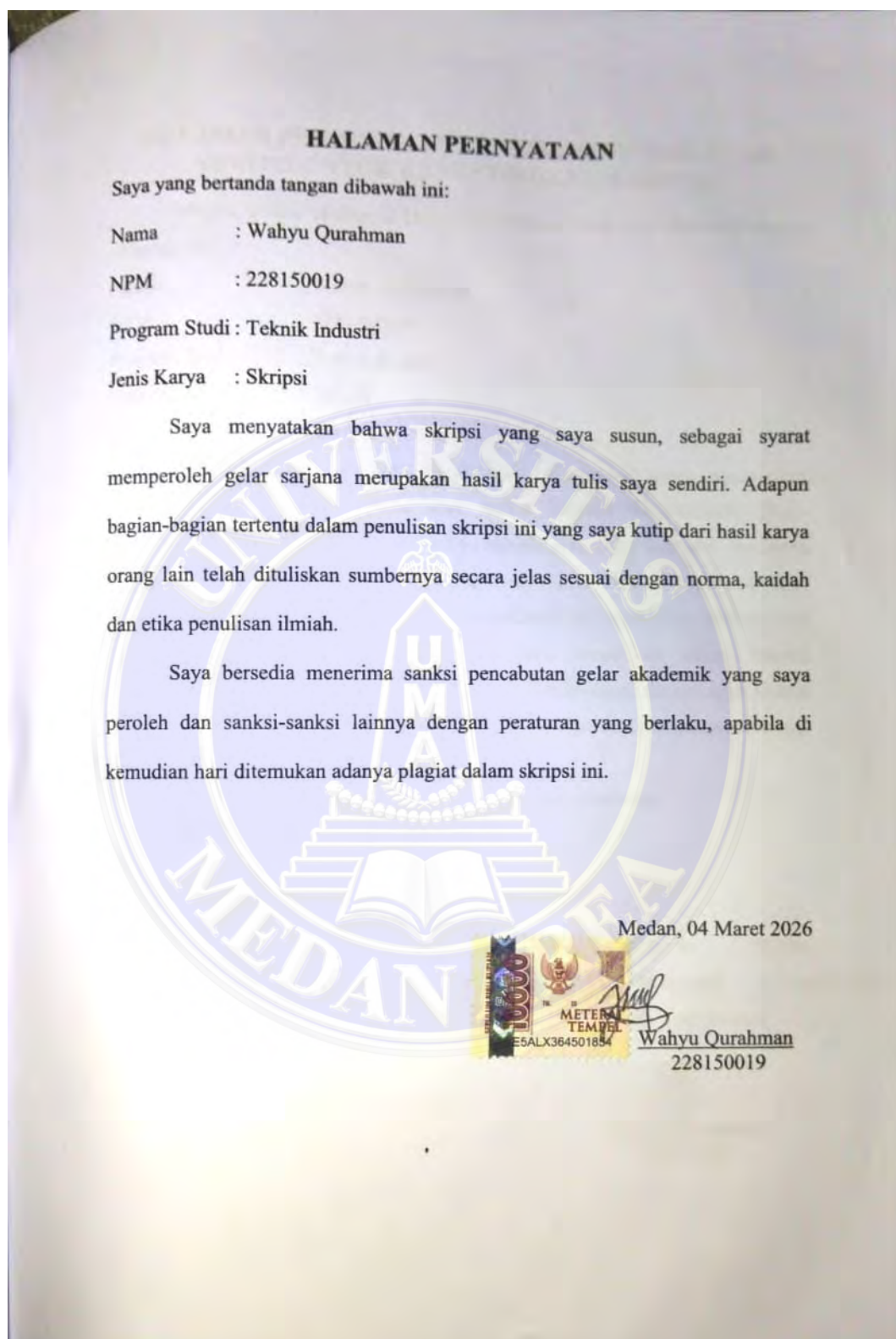
Dekan Fakultas Teknik


Dr. Orling Suprianto, S.T., M.T.
NIDN: 0102027402

Ketua Program Studi


Dr. Ir. Chalus Parto HSB, S.T., M.Sc.
NIDN: 0110068801

Tanggal Lulus: 04 Maret 2026



HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademik Universitas Medan Area, saya bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Wahyu Qurahman
NPM : 228150019
Program Studi : Teknik Industri
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul: Rekayasa Kualitas Menggunakan *Design of Experiment* Pada Produk Sepatu di CV. Kotama. Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya perbuat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Medan
Pada tanggal : 04 Maret 2026
Yang menyatakan


(Wahyu Qurahman)
228150019

ABSTRAK

Wahyu Qurahman 228150019, “Rekayasa Kualitas Menggunakan *Design of Experiment* Pada Produk Sepatu di CV. Kotama”. Dibimbing Oleh Ibu Ir. Riana Puspita, M.T.

Dalam persaingan industri manufaktur yang semakin ketat, kualitas produk menjadi faktor kunci untuk mempertahankan daya saing perusahaan. CV. Kotama sebagai produsen sepatu lokal menghadapi permasalahan tingginya tingkat pengembalian produk, yang disebabkan oleh bagian sol sepatu yang sering mengalami kerusakan akibat proses produksi yang belum optimal. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh signifikan terhadap kekuatan rekat sol sepatu serta menentukan kombinasi kondisi proses yang menghasilkan kualitas terbaik. Metode yang digunakan adalah *Design of Experiment* (DoE) dengan desain faktorial 2^3 , yang melibatkan tiga faktor utama yaitu jumlah lem (50 ml dan 100 ml), tekanan perekat (0,5 bar dan 1 bar), serta suhu pengeringan (60°C dan 80°C). Data hasil uji tarik (*tensile strength*) diuji menggunakan Analisis of Variance (ANOVA), *main effects plot* dan *interaction plot* untuk mengetahui pengaruh masing-masing faktor utama dan interaksinya terhadap kualitas sambungan sol sepatu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lem, tekanan perekat, dan suhu pengeringan berpengaruh signifikan terhadap kekuatan rekat sol sepatu ($F \geq 5.75$). Faktor lem memberikan pengaruh paling dominan, diikuti oleh suhu pengeringan dan tekanan perekat. Kombinasi parameter terbaik diperoleh pada lem 100 ml, tekanan perekat 1 bar, dan suhu pengeringan 80°C, yang menghasilkan kekuatan tarik tertinggi sebesar 194,5 N/cm². Implikasi penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan metode *Design of Experiment* (DoE) efektif untuk merekayasa dan mengendalikan kualitas produk secara sistematis. Dengan menerapkan kombinasi proses optimal tersebut, CV. Kotama dapat menurunkan tingkat pengembalian produk, meningkatkan efisiensi produksi, serta memperkuat daya saing di pasar industri alas kaki.

Kata kunci: *Design of experiment*, desain faktorial, sol sepatu, kualitas sepatu, uji tarik.

ABSTRACT

Wahyu Qurahman 228150019, “Quality Engineering Using Design of Experiment on Shoes Products at CV. Kotama”. Supervised by Mrs. Ir. Riana Puspita, M.T.

In the increasingly competitive manufacturing industry, product quality has become a key factor in maintaining a company's competitiveness. CV. Kotama, as a local shoe manufacturer, faces the issue of a high product return rate caused by frequent damage to the shoe sole, which results from suboptimal production processes. This study aims to identify the factors that significantly influence the adhesive strength of shoe soles and to determine the combination of process conditions that yields the best quality. The method used is the Design of Experiment (DoE) with a 2^3 factorial design, involving three main factors: the amount of adhesive (50 ml and 100 ml), bonding pressure (0.5 bar and 1 bar), and drying temperature (60°C and 80°C). The tensile strength test results were analyzed using Analysis of Variance (ANOVA), main effects plot, and interaction plot to identify the influence of each main factor and their interactions on the quality of the shoe sole bonding. The results show that adhesive amount, bonding pressure, and drying temperature significantly affect the adhesive strength of the shoe sole ($F \geq 5.75$). The adhesive amount provides the most dominant effect, followed by drying temperature and bonding pressure. The optimal combination of parameters is obtained with 100 ml of adhesive, 1 bar bonding pressure, and a drying temperature of 80°C, producing the highest tensile strength of 194.5 N/cm². The implications of this study indicate that the application of the Design of Experiment (DoE) method is effective for systematically engineering and controlling product quality. By implementing this optimal process combination, CV. Kotama can reduce product return rates, improve production efficiency, and strengthen competitiveness in the footwear industry market.

Keywords: Design of Experiment, factorial design shoes sole, shoes quality, tensile test.

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Kota Medan Pada tanggal 01 November 2004 dari ayah Ragianto Sulaiman dan ibu Raudah Nasution Penulis merupakan putra kelima dari lima bersaudara.

Tahun 2009, penulis pertama kali menumpuh pendidikan di Taman Kanak-kanak Nur Hasanah hingga selesai pada tahun 2010, dan pada tahun 2010-2016 penulis menumpuh pendidikan sekolah dasar di SDN 068085 Medan. Pada tahun 2016-2019, penulis menempuh pendidikan di SMPN 2 Medan yang merupakan sekolah favorit di Medan hingga sekarang. Pada masa itu penulis memperoleh beragam prestasi mulai dari akademik hingga ekstrakurikuler yaitu paskibra kemudian pada tahun 2019 penulis menempuh pendidikan di SMAS Istiqlal Jakarta hingga lulus pada tahun 2022 penulis kembali aktif dalam berbagai kegiatan sekolah salah satunya paskibra dan menjabat juga sebagai wakil ketua paskibra pada masa itu yang meroleh prestasi signifikan.

Pada tahun 2022 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Medan Area, prodi Teknik Industri. Selama mengikuti perkuliahan, penulis aktif dalam berbagai kegiatan kampus mulai dari organisasi, ukm, serta pengabdian masyarakat dan juga pernah ikut seleksi perlombaan akademik salah satunya lomba debat. Pada tahun 2024 tepatnya di semester 5 Penulis diterima pada program Kemendikbudristek yaitu Magang Studi Independen Bersertifikat di PT. Asosiasi Pengusaha Indonesia pada posisi *Bussiness Consultant*.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah Swt atas segala karunia-Nya sehingga penelitian ini berhasil diselesaikan. Adapun judul yang penulis pilih dalam penelitian ini ialah “Rekayasa Kualitas Menggunakan *Design of Experiment* Pada Produk Sepatu di CV. Kotama”

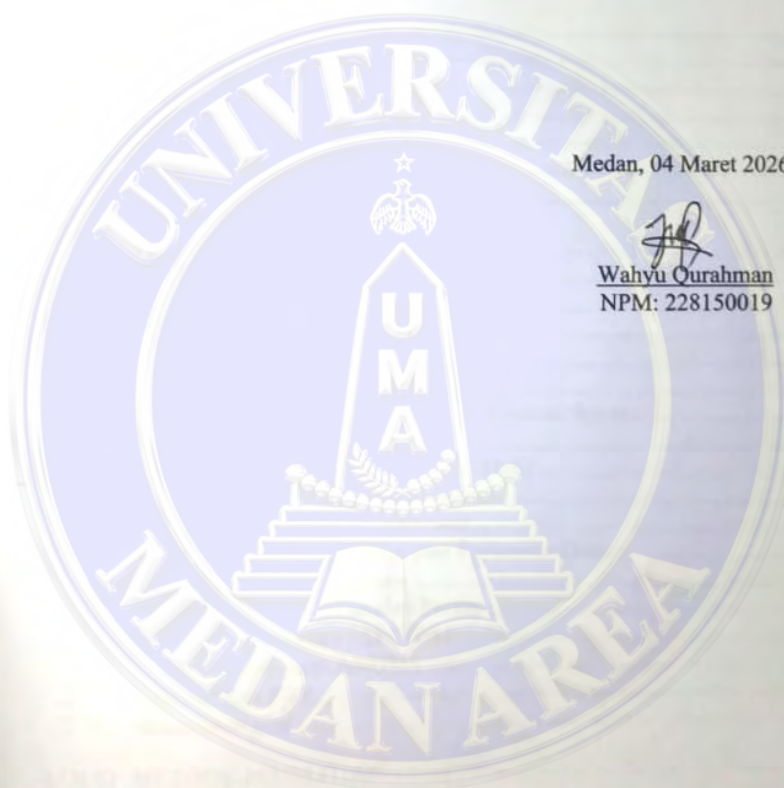
Penulisan skripsi ini adalah salah satu syarat untuk mahasiswa dalam menyelesaikan studinya di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Industri Universitas Medan Area. Dalam penyusunan skripsi, penulis telah banyak memperoleh bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Maka pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng, M.Sc., selaku Rektor Universitas Medan Area.
2. Bapak Dr. Eng., Supriatno, S.T, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
3. Bapak Dr. Ir. Chalis Fajri Hasibuan, S.T., M.Sc., selaku Ketua Program Studi Teknik Industri Universitas Medan Area.
4. Ibu Ir. Riana Puspita, M.T., selaku pembimbing skripsi penulis yang telah mengarahkan dan memberikan bimbingan yang terbaik kepada penulis.
5. Ibu Dr. Ir. Hj. Haniza, M.T., selaku ketua seminar penulis yang selalu memberikan arahan dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan penyusunan skripsi ini.
6. Bapak Yudi Daeng Polewangi, S.T, M.T., selaku sekretaris seminar

penulis yang selalu memberikan arahan dalam menyelesaikan skripsi ini.

7. Ibu Nukhe Andri Silviana, S.T., M.T., selaku pembanding seminar penulis yang memberikan arahan dan juga kelancaran penulis selama masa perkuliahan.
8. Seluruh Staf Teknik Universitas Medan Area, yang telah banyak memberikan bantuan kepada penulis.
9. Bapak Azri Smak, S.E., selaku Direktur CV. Kotama yang telah memberikan kesempatan melaksanakan penelitian dan memberikan sedikit motivasi kepada penulis.
10. Ibu Yuliansari, selaku Ka. Produksi yang membantu terjalkannya proses penelitian di CV. Kotama.
11. Seluruh karyawan CV. Kotama yang telah membantu dalam mengamati serta membimbing selama penelitian berlangsung.
12. Kepada orang tua & saudara laki laki serta perempuan penulis yang selalu memberikan dukungan materi maupun non materi dan semangat dalam segala hal.
13. Kepada pasangan penulis Minar Br Hombing yang telah memberikan motivasi kepada penulis untuk melancarkan pengerjaan skripsi penulis dan juga membangun semangat dan senantiasa menemani penulis dikala suka maupun duka.
14. Kepada teman-teman organisasi, teman perkuliahan, teman-teman semua yang berpartisipasi di hidup penulis yang memberikan dorongan serta motivasi kepada penulis.

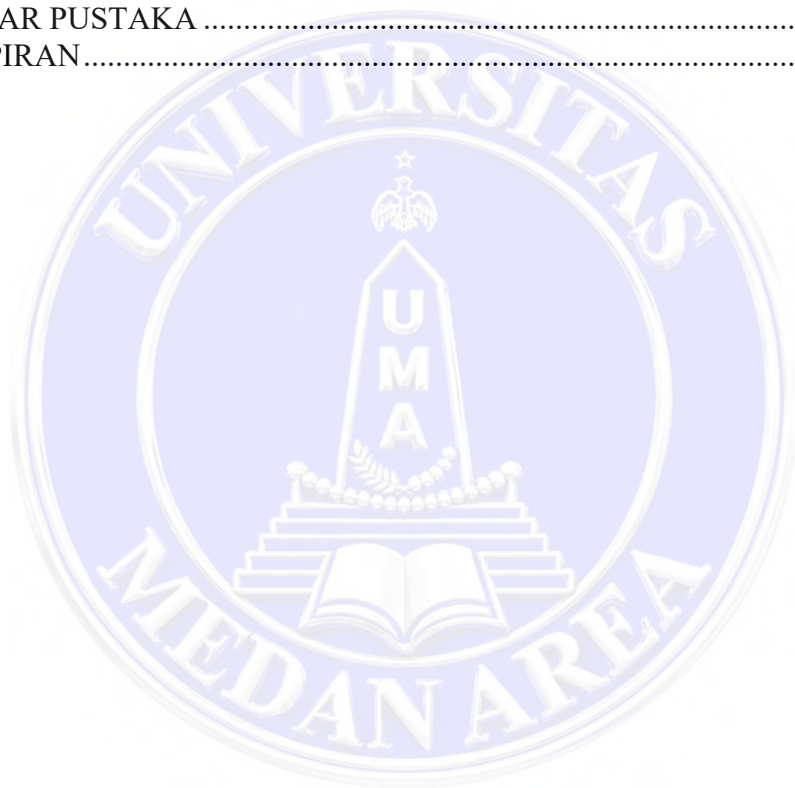
Penulis menyadari bahwa tugas skripsi ini masih memiliki kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan tugas skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat baik untuk kalangan pendidikan maupun masyarakat. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih.



DAFTAR ISI

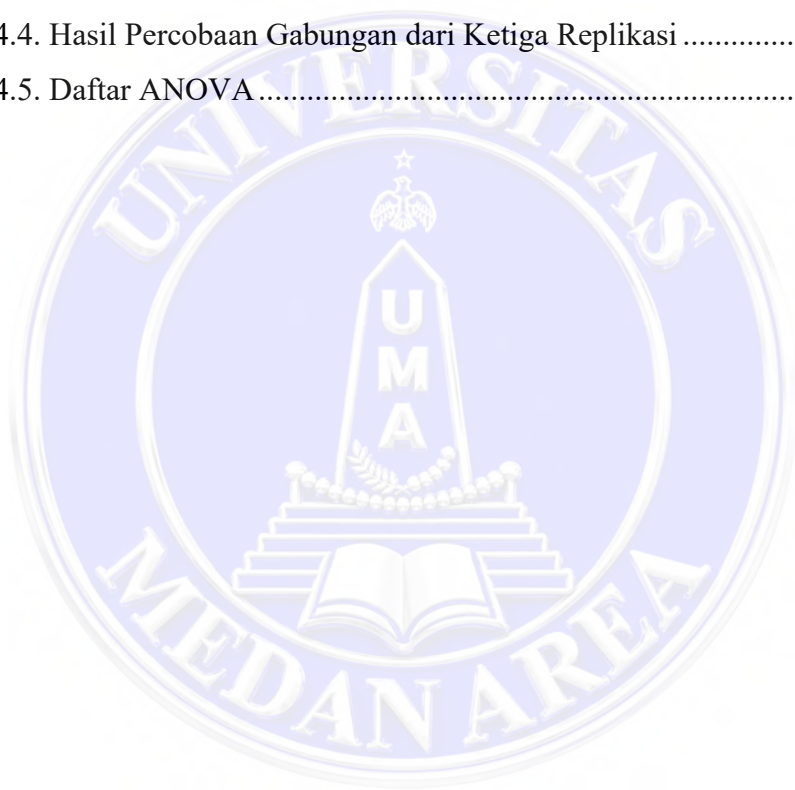
LEMBAR PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
 BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Batasan Masalah	4
1.5. Manfaat Penelitian	5
1.6. Asumsi-Asumsi Penelitian	5
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Pengertian Kualitas	6
2.2. Rekayasa Kualitas	7
2.3. Dimensi Kualitas	7
2.4. Pengertian Sepatu	10
2.5. Pembuatan Sepatu	10
2.6. Faktor-Faktor Yang Memengaruhi Kualitas Sepatu	12
2.7. Uji Tarik	13
2.8. Pengertian <i>Design of Experiment</i> (DoE)	14
2.9. Prinsip Dasar <i>Design of Experiment</i>	15
2.10. Jenis-Jenis <i>Design of Experiment</i>	17
2.11. Pemilihan Variabel Proses atau Parameter Desain	21
2.12. Klasifikasi variabel proses	22
2.13. Menentukan Level Variabel Proses	22
2.14. Analisis of <i>Variance</i> (ANOVA)	23
2.14.1. Macam-macam ANOVA	24
2.15. <i>Main Effects Plot</i>	26
2.16. <i>Interaction plot</i>	27
 BAB III METODE PENELITIAN	28
3.1. Waktu dan Lokasi Penelitian	28
3.2. Jenis Penelitian	28
3.3. Variabel Penelitian	28
3.4. Parameter Penelitian	29
3.5. Kerangka Berfikir	30
3.6. Pengumpulan Data	31
3.7. Pengolahan Data	32

3.8. <i>Flowchart</i> Penelitian	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1. Parameter Proses dan Level.....	34
4.2. Kombinasi Percobaan.....	34
4.3. Hasil Percobaan.....	35
4.4. Hasil ANOVA dan Hipotesa	37
4.5. Hasil <i>Main Effects Plot</i>	39
4.6. Hasil <i>Interaction Plot</i>	42
BAB V SIMPULAN DAN SARAN	43
5.1. Simpulan.....	43
5.2. Saran.....	44
DAFTAR PUSTAKA	45
LAMPIRAN.....	47



DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Data Tingkat Persentase Ketidaksesuaian Produk Sepatu <i>Sneakers</i> CV. Kotama per tahun 2024	2
Tabel 2.1. <i>Factorial Design</i>	19
Tabel 2.2. Contoh Hasil Percobaan	20
Tabel 2.3. Tanda Koefisien efek untuk desain faktorial 2^3	20
Tabel 4.1. Parameter Proses	34
Tabel 4.2. Kombinasi Percobaan	35
Tabel 4.3. Hasil Percobaan Ketiga Replikasi	35
Tabel 4.4. Hasil Percobaan Gabungan dari Ketiga Replikasi	36
Tabel 4.5. Daftar ANOVA	37



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. <i>Quality Management</i>	7
Gambar 3.1. Kerangka penelitian.....	30
Gambar 3.2. <i>flowchart</i> Penelitian.....	33
Gambar 4.2. Grafik <i>Main Effects Plot</i> untuk sol sepatu	39
Gambar 4.3. Grafik <i>Interaction Plot</i> untuk sol sepatu	42



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel distribusi F	47
Lampiran 2. Dokumentasi Penelitian.....	48
Lampiran 3. Surat keputusan riset.....	50
Lampiran 4. Surat selesai penelitian	51



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dalam era persaingan industri manufaktur yang semakin kompetitif, kualitas produk menjadi salah satu faktor krusial yang menentukan keberhasilan suatu perusahaan dalam mempertahankan eksistensi dan meningkatkan daya saing di pasar. Demikian juga halnya dengan industri alas kaki karena dampak meningkatnya impor sepatu murah dari Cina yang membanjiri pasar domestik. Hal ini tidak hanya menuntut ketepatan desain dan tren mode, tetapi juga kualitas produk yang konsisten dan sesuai dengan harapan konsumen.

CV. Kotama adalah salah satu perusahaan yang bergerak dalam sektor manufaktur sepatu. Dalam menjalankan usahanya, perusahaan dituntut untuk menjaga kestabilan mutu produknya agar dapat memenuhi standar kualitas yang diinginkan untuk dapat bersaing secara optimal di pasar lokal maupun nasional.

Selama ini, proses produksi di CV. Kotama masih menghadapi berbagai kendala terkait kualitas hasil akhir produk. Salah satu nya adalah kerusakan pada sol sepatu. Berikut merupakan data yang diambil langsung dari CV. Kotama.

Data dari CV. Kotama per tahun 2024 menjelaskan bahwa tingkat ketidaksesuaian produk mencapai rata-rata 7,23 % dari total produksi rata-rata sepatu sebanyak 1000 pasang/bulan. Data tersebut merupakan informasi permasalahan di CV. Kotama seperti kerusakan sol sepatu, ketidakrapian jahitan, perbedaan dimensi ukuran sepatu sehingga yang paling dominan adalah kerusakan sol pada sepatu. Permasalahan-permasalahan tersebut berdampak langsung pada tingkat pengembalian produk dari konsumen yang melakukan pengadaan barang

mencapai 7% dari total penjualan tahunan, dimana 65% diantaranya disebabkan oleh kualitas yang kurang optimal pada material proses produksi yang tidak terstandarisasi. Tingkat kepuasan pelanggan dan dapat menimbulkan kerugian bagi perusahaan, baik dari sisi finansial maupun reputasi. Berikut merupakan data dari CV. Kotama per tahun 2024:

Tabel 1.1. Data Persentase Tingkat Ketidaksesuaian Produk Sepatu *Sneakers* CV. Kotama per tahun 2024

Bulan	Produksi (pasang)	Persentase jahitan (%)		Persentase sol (%)		Persentase Dimensi (%)		Persentase Total (%)
Januari	980	2.04	%	4.08	%	1.22	%	7.35 %
Februari	1050	2.10	%	3.62	%	1.33	%	7.05 %
Maret	1120	2.23	%	4.02	%	1.34	%	7.59 %
April	940	1.91	%	3.62	%	1.28	%	6.81 %
Mei	1000	2.00	%	3.60	%	1.20	%	6.80 %
Juni	1020	2.06	%	3.73	%	1.27	%	7.06 %
Juli	1100	2.18	%	4.00	%	1.27	%	7.45 %
Agustus	1080	2.13	%	3.89	%	1.20	%	7.22 %
September	970	1.96	%	3.71	%	1.24	%	6.91 %
Oktober	1030	2.04	%	3.79	%	1.26	%	7.09 %
November	1090	2.11	%	3.94	%	1.28	%	7.34 %
Desember	1150	2.26	%	4.00	%	1.30	%	7.57 %

(Sumber: CV. Kotama)

Oleh karena itu, dibutuhkan suatu pendekatan sistematis yang mampu merekayasa dan mengendalikan faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas produk secara menyeluruh dan terukur. Salah satunya adalah *Design of Experiment* (DoE). DoE merupakan serangkaian tahapan yang digunakan selama proses eksperimen, dimulai dari perencanaan hingga interpretasi hasil eksperimen. Metode ini bertujuan untuk mengidentifikasi hubungan sebab akibat antara variabel respon dan faktor-faktor yang mempengaruhinya (Arini et al., 2023). Dengan menerapkan DoE, perusahaan dapat mengidentifikasi kombinasi parameter proses yang optimal untuk menghasilkan produk dengan kualitas terbaik secara konsisten. Metode ini

memungkinkan perusahaan untuk melakukan perencanaan kualitas secara proaktif, bukan hanya memperbaiki cacat setelah produk jadi.

Penelitian ini memiliki urgensi untuk mengisi celah tersebut dengan menerapkan DoE guna meningkatkan kualitas produk sepatu di CV. Kotama. Penerapan DoE diharapkan mampu menjawab tantangan yang ada dalam proses produksi sepatu dengan menguji berbagai faktor-faktor yang mempengaruhinya, guna menemukan kondisi produksi yang paling efektif dan efisien. Perencanaan kualitas melalui DoE tidak hanya berfungsi untuk meminimalkan cacat produk, tetapi juga untuk meningkatkan produktivitas, efisiensi penggunaan sumber daya, dan pada akhirnya memperkuat posisi kompetitif perusahaan.

1.2. Perumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Apakah ada pengaruh signifikan dari masing-masing faktor dalam proses produksi yang berdampak pada tingkat kerusakan sol sepatu di CV. Kotama?
2. Apakah ada pengaruh signifikan dari interaksi antar faktor-faktor yang berdampak pada tingkat kerusakan sol sepatu di CV. Kotama?
3. Bagaimana hasil kombinasi terbaik yang dicapai dari faktor-faktor yang memengaruhi produksi di CV. Kotama?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui ada atau tidaknya pengaruh signifikan masing-masing dari setiap faktor-faktor yaitu: jumlah lem, tekanan perekat dan suhu pengeringan yang mempengaruhi kerusakan sol sepatu di CV. Kotama yang berdampak pada kualitas produk.
2. Untuk mengetahui ada atau tidaknya pengaruh dari interaksi antar faktor-faktor yaitu: jumlah lem, tekanan perekat dan suhu pengeringan yang memengaruhi kerusakan sol sepatu di CV. Kotama
3. Untuk mengetahui kondisi kombinasi yang terbaik dari faktor-faktor seperti jumlah lem, tekanan perekat dan suhu pengeringan yang memengaruhi kualitas produksi di CV. Kotama.

1.4. Batasan Masalah

Untuk memfokuskan penelitian ini perlunya ada batasan masalah, batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini hanya berfokus pada kerusakan sol sepatu yang didapat dari proses produksi di CV. Kotama.
2. Penelitian ini tidak membahas tentang apakah kerusakan sol itu terjadi pada *supplier* (pengirim barang).
3. Penelitian ini dibatasi dengan faktor yang paling memengaruhi kualitas pada sepatu yaitu: jumlah lem, tekanan perekat dan suhu pengeringan.
4. Penelitian ini hanya merancang eksperimen jenis sepatu *sneakers* yang ada di CV. Kotama.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan rekomendasi praktis bagi manajemen CV. Kotama dalam merencanakan dan menemukan komposisi kualitas terbaik terhadap variabel-variabel kritis yang mempengaruhi kualitas produk sepatu.
2. Membantu perusahaan dalam meningkatkan efisiensi proses produksi, serta menurunkan tingkat pengembalian produk oleh konsumen.

1.6. Asumsi-Asumsi Penelitian

Asumsi–asumsi penelitian ini adalah:

1. Data mengenai parameter proses produksi yang digunakan oleh CV. Kotama selama periode penelitian diasumsikan akurat, lengkap, dan mewakili kondisi sebenarnya di lapangan.
2. Diasumsikan bahwa operator atau tenaga kerja yang terlibat dalam proses produksi telah mengikuti standar prosedur operasional yang sama dan tidak memberikan variasi yang tidak terkendali dalam pelaksanaan produksi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Kualitas

Kualitas adalah kemampuan untuk memenuhi keinginan pelanggan, seperti daya tahan, keandalan, kemudahan penggunaan, dan atribut berharga lainnya (Gunawan, 2022) dalam (Rochma et al., 2024).

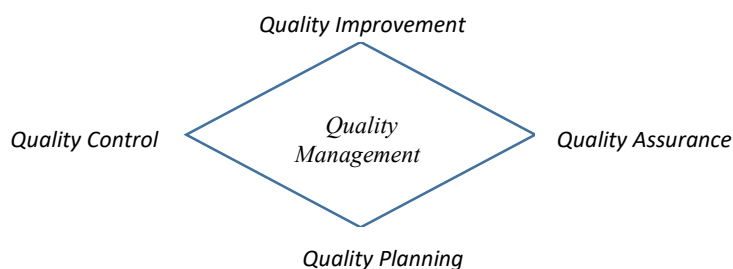
Kualitas adalah kapasitas untuk memenuhi tujuan yang dimaksudkan, termasuk kekuatan, kenyamanan, daya tahan, dan inovasi produk (sugito, 2023) dalam (Rizka et al., 2025).

Menurut (kotler & keller, 2016) dalam (Meilani et al., 2025) Kualitas adalah sejauh mana perusahaan memenuhi kebutuhan dan harapan pelanggan, yang mencakup karakteristik fungsional, estetika, dan kinerja.

Kualitas merupakan aspek utama yang dipertimbangkan konsumen dalam pengambilan keputusan membeli atau tidak suatu produk (Wahyuni & Sulistyowati, 2020).

Menurut Nanda (2005) dalam (Wahyuni & Sulistyowati, 2020), kontrol kualitas adalah kegiatan organisasi (perusahaan) merencanakan kegiatan yang berhasil mencapai tujuan kualitas untuk memastikan kepuasan pelanggan. khususnya, kegiatan dalam kontrol kualitas terdiri dari empat hal.

1. Perencanaan kualitas (*quality planning*).
2. Pengendalian kualitas (*quality control*).
3. Penjaminan kualitas (*quality assurance*).
4. Perbaikan kualitas (*quality improvement*).



Gambar 2.1. *Quality Management*

Sumber : (Wahyuni & Sulistyowati, 2020)

2.2. Rekayasa Kualitas

Rekayasa kualitas merupakan disiplin teknik yang berfokus pada perencanaan, pengendalian, dan peningkatan mutu produk serta proses produksi agar sesuai dengan spesifikasi dan kebutuhan pelanggan. Menurut (Liu et al., 2023), rekayasa kualitas berkembang dari pendekatan Total *Quality Management* (TQM) menuju konsep *Quality 4.0*, yang mengintegrasikan teknologi digital seperti *Internet of Things* (IoT), analitik data besar, dan kecerdasan buatan untuk meningkatkan kinerja mutu secara prediktif dan berkelanjutan.

Salah satu pendekatan populer dalam rekayasa kualitas adalah metode *Design of Experiments* (DoE) juga banyak digunakan untuk menentukan parameter proses optimal, misalnya dalam produksi plastik melalui teknik *injection molding* (Aslam et al., 2025)

2.3. Dimensi Kualitas

Menurut Garvin (1987) dalam (Baali et al., 2023), terdapat delapan dimensi kritis atau kategori kualitas yang dapat berfungsi sebagai kerangka kerja untuk analisis strategis diantaranya: kinerja (*performance*), fitur (*features*), keandalan (*reliability*), kesesuaian (*conformance*), daya tahan (*durability*), kemudahan

layanan (*serviceability*), estetika (*aesthetics*), dan kualitas yang dirasakan (*perceived quality*).

1. Kinerja (*performance*)

Karakteristik operasi utama produk disebut kinerja. Misalnya, mobil Performa akan mencakup fitur seperti kenyamanan, kecepatan jelajah, penanganan, dan akselerasi. Merek biasanya dapat diberi peringkat secara objektif berdasarkan aspek kinerja individu karena dimensi kualitas ini melibatkan atribut yang dapat diukur. Namun, lebih sulit untuk membuat peringkat kinerja keseluruhan, terutama ketika melibatkan manfaat yang tidak dibutuhkan setiap pelanggan.

2. Fitur

Dalam kebanyakan kasus, fitur merupakan komponen kinerja sekunder dari produk dan layanan, fitur yang melengkapi fungsi utamanya. Gambaran garis yang membedakan fitur kinerja primer dari fitur sekunder seringkali sulit. Yang penting adalah bahwa fitur melibatkan sifat yang objektif dan terukur, kebutuhan individu yang objektif, bukan prasangka, memengaruhi terjemahannya menjadi perbedaan kualitas.

3. Keandalan

Dimensi ini menunjukkan kemungkinan bahwa produk akan gagal atau tidak berfungsi dalam jangka waktu tertentu. Tingkat kegagalan per satuan waktu, waktu rata-rata antara kegagalan, dan waktu rata-rata untuk kegagalan pertama adalah beberapa ukuran keandalan yang paling umum. Karena langkah-langkah ini membutuhkan produk untuk digunakan dalam jangka waktu tertentu, mereka lebih relevan untuk barang yang bertahan

lama daripada barang atau layanan yang dikonsumsi segera.

4. Kesesuaian

Kesesuaian didefinisikan sebagai sejauh mana desain produk dan fitur operasi memenuhi standar yang ditetapkan. Dua jenis kegagalan kesesuaian yang paling umum adalah tingkat kecacatan di pabrik dan panggilan layanan setelah produk sampai di tangan konsumen. Penyimpangan lain dari standar, seperti label yang salah eja atau konstruksi yang buruk, tidak menyebabkan perbaikan atau servis.

5. Daya tahan

Daya tahan produk memiliki aspek teknis dan ekonomi. Secara teknis, daya tahan dapat didefinisikan sebagai jumlah penggunaan yang didapat dari suatu produk sebelum rusak atau sebagai jumlah penggunaan yang didapat seseorang dari suatu produk sebelum rusak dan penggantian lebih baik daripada perbaikan lanjutan.

6. Kemudahan layanan

Kecepatan, kesopanan, kemampuan, dan kemudahan perbaikan adalah ciri layanan yang baik. Konsumen tidak hanya khawatir tentang kerusakan produk, tetapi juga tentang waktu sebelum layanan dipulihkan, ketepatan waktu janji layanan disimpan, cara berurusan dengan personel layanan, dan jumlah panggilan atau perbaikan yang tidak dilakukan untuk memperbaiki masalah. Evaluasi pelanggan tentang kualitas produk dan layanan juga dapat dipengaruhi oleh proses penanganan pengaduan perusahaan jika masalah tidak segera diselesaikan dan pengaduan diajukan.

7. Estetika

Faktor pribadi yang memengaruhi kualitas dikenal sebagai estetika. Bagaimana suatu produk terlihat, terasa, terdengar, teraba, atau tercium bergantung pada penilaian individu dan cerminan preferensi mereka. Mungkin sulit bagi setiap orang untuk menyenangkan kualitas ini.

8. Kualitas yang dirasakan

Konsumen mungkin tidak memiliki pengetahuan lengkap tentang fitur barang atau jasa; ukuran tidak langsung mungkin satu-satunya alasan mereka untuk membandingkan merek. Misalnya, daya tahan produk biasanya harus disimpulkan dari berbagai aspek yang berwujud dan tidak berwujud, karena jarang dapat diamati secara langsung. Dalam situasi seperti itu, gambar, iklan, dan nama merek menentukan kualitas lebih dari realitas itu sendiri.

2.4. Pengertian Sepatu

Sepatu merupakan salah satu jenis alas kaki yang biasanya terdapat bagian sol, kap, tali sepatu, *outsole*, *vamp* atau *upper*, *welt*, *tongue* (lidah sepatu), *lancing* (tempat mengikat tali sepatu) dan lain–lain (Iriani et al., 2024). Setiap jenis sepatu memiliki bagian-bagian sepatu yang kadang berbeda dari sepatu jenis lainnya. Untuk bahan utama sepatu sangat beragam jenisnya yaitu kulit/*leather*, kulit sintesis, kulit lak, *suede*, *canvas*, karet, *nylon*, bludru, denis dan masing banyak lagi. Kegunaan sepatu untuk melindungi kaki dari benda tajam dan bebatuan di jalan. Sepatu kebanyakan digunakan untuk keperluan *fashion*, sekolah, kerja, olahraga, pesta dan sebagainya (Wulandari & Prasetyo, 2022) dalam (Iriani et al., 2024).

2.5. Pembuatan Sepatu

Menurut (Wulandari et al., 2022), proses pembuatan sepatu umumnya melalui tahapan sebagai berikut:

1. *Cutting*

adalah proses pemotongan bahan baku sebelum dibentuk menjadi *upper* sepatu. Bahan baku yang berupa kain ataupun kulit dipotong membentuk pola yang telah ditentukan sebelumnya.

2. *Jahit*

Proses penjahitan pada kulit yang disesuaikan dengan detail *design* sepatu yang dibuat, proses penjahitan dilakukan dengan teliti dan tingkat kerapihan yang tinggi agar sesuai hasil yang diinginkan.

3. *Lasting*

merupakan proses penyatuan *upper* (kap sepatu) dengan *insole* (sol sepatu) dimana penyatuan ini menggunakan mesin *lasting*.

4. *Stroble*

merupakan proses penjahitan bagian belakang sepatu setelah sepatu melalui proses *lasting*.

5. *Vulkanize*

merupakan proses lanjutan penyatuan *upper* dan sol sepatu dengan metode *dipress* dengan mesin *Vulkanize* yang dipanaskan dengan suhu 150 derajat *celcius*, sehingga kap dan sol benar benar menyatu dan tidak mudah copot.

6. *Finishing & Packing*

proses ini merupakan akhir dari semua proses produksi yang dikerjakan, sepatu hasil produksi yang telah melewati pemeriksaan *quality* kemudian akan dikemas kedalam dus karton sepatu dan dikirim ke gudang sebagai

persediaan.

2.6. Faktor-Faktor Yang Memengaruhi Kualitas Sepatu

Menurut (Menz & Bonanno, 2021), faktor-faktor yang memengaruhi sepatu dari sisi kualitas, yaitu:

1. Kesesuain (*fit*)

Sepatu yang terlalu sempit atau longgar dapat menurunkan kenyamanan secara keseluruhan, meskipun toleransi bisa berbeda antar gaya hidup (misalnya dansa vs olahraga).

2. *Midsole/cushioning*

Struktur *midsole* dengan gradien densitas (*in-plane density gradation*) menawarkan tingkat bantalan yang dioptimalkan dan berat lebih ringan, memberikan potensi kenyamanan unggul.

3. Tinggi tumit (*Heel elevation*)

Untuk sepatu bertumit tinggi, meningkatnya tinggi tumit secara konsisten menurunkan tingkat kenyamanan, kecuali pengguna sudah terbiasa.

4. Berat sepatu

Sepatu yang lebih ringan cenderung memberikan kenyamanan dan kinerja yang lebih baik, sedangkan penambahan berat (≥ 150 g) meningkatkan gaya reaksi vertikal, potensial meningkatkan risiko cedera.

5. Ketahanan sol

Ketahanan sol pada sepatu merupakan salah satu indikator utama dalam penilaian kualitas produk alas kaki. Sol yang berkualitas ditinjau berdasarkan tahan aus, tidak mudah retak, dan mampu mempertahankan integritas strukturalnya selama pemakaian intensif menunjukkan tingkat

kualitas material dan proses produksi yang tinggi. Selain itu, jika sepatu mengalami kerusakan sol akan menimbulkan kualitas yang minim. Kerusakan sol biasanya disebabkan oleh bahan dan perekat serta kurangnya inspeksi di lini produksi.

6. *Insole* (lapisan dalam)

Insole yang lembut dan fleksibel, terutama yang sesuai dengan struktur kaki, dapat meningkatkan kenyamanan tetapi perlu kompatibilitas dengan ukuran sepatu atau bentuk kaki pengguna.

2.7. Uji Tarik

Setiap material atau bahan memiliki sifat (kekerasan, kelenturan, kekuatan, dan sebagainya) yang berbeda-beda. Untuk mengetahui sifat dari suatu material maka diperlukan suatu pengujian. Salah satu pengujian yang paling sering dilakukan yaitu uji tarik (*tensile test*). Pengujian ini memiliki fungsi untuk mengetahui tingkat kekuatan suatu material dan untuk mengenali karakteristik pada material tersebut. Prinsipnya, uji tarik ini memberikan gaya tarik yang cukup kuat pada material dan juga memberikan cengkaman yang kencang sehingga material tidak terlepas ketika diberikan gaya tarik. Ada banyak hal yang bisa didapatkan dari uji tarik, dengan memberikan gaya tarik pada material sampai putus, maka semua susunan struktur material bisa diketahui dengan jelas sehingga dapat menentukan kualitas dari material tersebut (Wiryosumarto, 2000).

Bonding sol sepatu disebut bahwa bonding *resistance* harus “setidak-nya 50 N/cm² (yang jika dikonversi sekitar 50 N/cm² = 0.5 MPa) hingga 10 MPa dalam kondisi uji tertentu tergantung jenis lem, substrat, kondisi uji.

2.8. Pengertian *Design of Experiment* (DoE)

Desain Eksperimen (DoE) merupakan teknik ampuh yang digunakan untuk mengeksplorasi proses baru dan memperoleh pengetahuan lebih banyak tentang proses yang ada, diikuti dengan mengoptimalkan proses tersebut untuk mencapai kinerja kelas dunia (Antony, 2023). Desain Eksperimen (DoE) dikembangkan pada awal tahun 1920-an oleh *Sir Ronald Fisher* di stasiun penelitian lapangan pertanian *Rothamsted* di London, Inggris. Percobaan awalnya berkaitan dengan penentuan efek berbagai pupuk pada petak tanah yang berbeda. Kondisi akhir tanaman tidak hanya bergantung pada pupuk tetapi juga pada sejumlah faktor lain (seperti kondisi tanah dasar, kadar air tanah, dll.) di setiap petak.

Dalam proses manufaktur, seringkali menjadi minat utama untuk mengeksplorasi hubungan antara variabel proses masukan utama atau faktor dan karakteristik kinerja keluaran atau karakteristik kualitas. Pemikiran statistik memberi tahu kita cara menangani variabilitas, dan cara mengumpulkan serta menggunakan data sehingga keputusan yang efektif dapat dibuat tentang proses atau sistem yang kita hadapi. Ketika beberapa variabel memengaruhi karakteristik tertentu dari suatu produk, strategi terbaik adalah merancang eksperimen sehingga kesimpulan yang valid, andal, dan masuk akal dapat ditarik secara efektif, efisien, dan ekonomis. Penting untuk dicatat bahwa tidak semua variabel memengaruhi kinerja dengan cara yang sama. Beberapa mungkin memiliki pengaruh yang kuat pada kinerja *output*, beberapa mungkin memiliki pengaruh sedang, dan beberapa mungkin tidak memiliki pengaruh sama sekali. Oleh karena itu, tujuan dari eksperimen yang dirancang dengan cermat adalah untuk memahami rangkaian variabel mana dalam suatu proses yang paling memengaruhi kinerja dan kemudian

menentukan level terbaik untuk variabel-variabel ini guna memperoleh kinerja fungsional *output* yang memuaskan dalam produk (Clements, 1995) dalam (Antony, 2023).

Aplikasi potensial DoE dalam proses manufaktur meliputi (Montgomery et al., 1998) dalam (Antony, 2023):

1. Peningkatan hasil dan stabilitas proses.
2. Peningkatan laba dan pengembalian investasi.
3. Peningkatan kapabilitas proses.
4. Pengurangan variabilitas proses.
5. Pengurangan biaya manufaktur.
6. Pengurangan waktu desain dan pengembangan proses.

2.9. Prinsip Dasar *Design of Experiment*

Tiga prinsip desain eksperimen dapat digunakan dalam eksperimen industri untuk meningkatkan efisiensi eksperimen. Prinsip-prinsip desain eksperimen ini diterapkan untuk mengurangi atau bahkan menghilangkan bias eksperimen. Penting untuk dicatat bahwa bias eksperimen yang besar dapat mengakibatkan pengaturan optimal yang salah. Dalam beberapa kasus, dapat menutupi efek dari faktor-faktor yang benar-benar signifikan. Tiga prinsip desain eksperimen yaitu: pengacakan, replikasi, dan pemblokiran (Antony, 2023).

1. Pengacakan

Pengacakan merupakan metode yang sering diandalkan oleh para peneliti untuk mengurangi efek bias eksperimen. Tujuan pengacakan adalah untuk menghilangkan semua sumber variasi asing yang tidak dapat dikendalikan dalam kegiatan suatu produksi. (Leon et al., 1993) dalam (Antony, 2023).

Jika Anda yakin sistem atau proses Anda stabil, Anda tidak perlu mengacak uji coba eksperimental. Di sisi lain, jika Anda yakin proses Anda tidak stabil dan tanpa pengacakan, hasilnya tidak akan berarti dan menyesatkan. Anda perlu memikirkan pengacakan uji coba eksperimental (Box, 1990) dalam (Antony, 2023).

2. Replikasi

Replikasi adalah proses menjalankan uji coba percobaan dalam urutan acak. Replikasi berarti pengulangan seluruh percobaan atau sebagian darinya, dalam lebih dari satu kondisi (Antony, 2023).

Menurut (Antony, 2023), replikasi memiliki tiga sifat penting, yaitu:

a. Sifat pertama

Memungkinkan peneliti untuk memperoleh perkiraan kesalahan eksperimen yang lebih akurat. Istilah ini menunjukkan perbedaan yang akan diamati jika pengaturan eksperimen yang sama diterapkan berulang kali pada unit eksperimen yang sama (operator, mesin, material, pengukur, dll.).

b. Sifat kedua

Memungkinkan peneliti untuk memperoleh perkiraan yang lebih akurat tentang dampak faktor dan interaksi.

c. Sifat ketiga

Replikasi memiliki kemampuan untuk meningkatkan presisi eksperimen dengan mengurangi kesalahan.

3. Pemblokiran

Pemblokiran adalah suatu metode untuk menghilangkan pengaruh variasi asing yang disebabkan oleh faktor kebisingan dan dengan demikian meningkatkan efisiensi desain eksperimen. Tujuan utamanya adalah untuk menghilangkan sumber variabilitas yang tidak diinginkan seperti *batch-to-batch*, hari ke hari, *shift-to-shift*, dll. Idennya adalah untuk mengatur eksperimen yang serupa atau homogen menjadi blok atau kelompok (Antony, 2023). Secara umum, blok adalah serangkaian kondisi eksperimen yang relatif homogen. Blok dapat berupa batch bahan baku, operator yang berbeda, vendor yang berbeda, dll. Pengamatan yang dikumpulkan dalam kondisi eksperimen yang sama, yaitu: hari yang sama, shift yang sama, dll dikatakan berada di blok yang sama. Variabilitas antara blok harus dihilangkan dari kesalahan eksperimen, yang mengarah pada peningkatan presisi eksperimen (Bisgaard, 1994) dalam (Antony, 2023).

2.10. Jenis-Jenis *Design of Experiment*

Menurut (Montgomery, n.d, 2021) desain eksperimen dapat diklasifikasikan menjadi tiga kategori utama: *true experimental*, *quasi-experimental*, dan *pre-experimental*.

1. *True experimental design*

Pada *true experimental design*, subjek atau unit percobaan dikelompokkan secara acak (*randomized*), seperti dalam *Completely Randomized Design (CRD)*, *Randomized Block Design (RBD)*, dan *Factorial Design*. CRD cocok digunakan dalam kondisi homogen, sementara RBD digunakan ketika terdapat variabilitas yang perlu dikendalikan melalui pengelompokan blok. Desain *factorial* memungkinkan peneliti mengevaluasi dua atau lebih

faktor secara simultan dan menganalisis interaksinya, seperti 2×2 *factorial* atau *fractional factorial design*. Desain ini sangat efektif untuk studi optimasi proses dan telah banyak diterapkan dalam rekayasa industri. Sementara itu, *Response Surface Methodology (RSM)* digunakan untuk mencari kombinasi optimal dari berbagai variabel input (Reza et al., 2024).

a. *Completely Randomized Design (CRD)*

Dalam CRD, semua unit percobaan diacak secara sempurna ke dalam semua perlakuan tanpa pengelompokan sebelumnya. Hal ini memastikan setiap unit memiliki kesempatan yang sama untuk mendapatkan tiap perlakuan (Montgomery, n.d, 2021).

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij}$$

Keterangan:

Y_{ij} : Observasi ke-j dari perlakuan ke-i

μ : *Mean* keseluruhan

T_i : Efek perlakuan i

ε_{ij} : Galat acak (iid, *mean nol*, varians σ^2)

Jika ada satu faktor $k=1$, dengan L level, dan masing-masing direplikasi n, maka total run adalah $N=L \times n$ (Montgomery, n.d, 2021).

b. *Randomized Block Design (RBD)*

RBD atau RCBD mengelompokkan unit percobaan ke dalam blok berdasarkan karakteristik homogen (misalnya waktu, lokasi), kemudian tiap perlakuan diacak ke unit dalam setiap blok *simultaneously* (Antony, 2023).

$$Y_{ij} = \mu + B_i + T_j + \varepsilon_{ij}$$

B_i : Efek blok i

T_j : Efek perlakuan j

Sisanya sama dengan model CRD.

Mengontrol variabilitas blok, sehingga error residual menjadi lebih kecil dan presisi meningkat.

c. *Factorial Design*

Desain *factorial* mengevaluasi dua atau lebih faktor secara simultan dengan semua kombinasi levelnya. Contoh paling sederhana: 2×2 *factorial*, menghasilkan 4 kombinasi (Montgomery, n.d, 2021).

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

A_i, B_j : efek utama faktor A dan B

$(AB)_{ij}$: interaksi A×B

ε_{ijk} : *error* acak

Desain *factorial* tidak hanya dapat mendeteksi efek utama, tapi juga interaksi antar faktor, lebih efisien daripada eksperimen satu-per-satu.

Berikut adalah contoh tabel *factorial design*:

Tabel 2.1. *Factorial Design*

<i>Factors</i>	<i>Labels</i>	<i>Low-Level Setting</i>	<i>High-Level Setting</i>
<i>Paste temperature</i>	A	130°F	160°F
<i>Amount of additive</i>	B	0.2%	0.5%
<i>Press roll pressure</i>	C	40 psi	80 psi
<i>Paper moisture</i>	D	<i>Low</i>	<i>High</i>
<i>Paste type</i>	E	<i>No clay</i>	<i>With clay</i>
<i>Cure time</i>	F	10 days	5 days
<i>Machine speed</i>	G	120 fpm	200 fpm

Sumber: (Antony, 2023).

Menurut (Sudjana.M.A, 1991) dalam desain faktorial ada beberapa sub desain tergantung faktor dan jumlah levelnya. Dapat dikategorikan sebagai berikut:

1. Desain faktorial 2^2

Jika masing-masing faktor terdiri dari dua buah taraf, dan dilakukan secara acak sempurna maka desain tersebut merupakan desain faktorial 2^2 . Sebagai contoh eksperimen mengenai hasil semacam zat kimia karena kondisi temperatur dan konsentrasi larutan yang berlainan, hasilnya akan dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.2. Contoh Hasil Percobaan

Temperatur	Kombinasi	
	40%	50%
50 °C	44.8	45.7
60 °C	43.2	45.9

Sumber: (Sudjana.M.A, 1991)

2. Desain Faktorial 2^3

Jika eksperimen dilakukan yang melibatkan tiga buah faktor dan tiap faktor mempunyai dua buah taraf, Desain yang diperoleh merupakan desain faktorial 2^3 . Kombinasi perlakuan akan diperoleh 8 buah kombinasi, yaitu: (1), a, b, ab, ac, bc, dan abc.

Hubungan antara kombinasi perlakuan tampak bila disusun dalam daftar tabel dibawah ini.

Tabel 2.3. Tanda Koefisien efek untuk desain faktorial 2^3

Kombinasi Perlakuan	Efek							
	Total	A	B	AB	C	AC	BC	ABC
(1)	+	-	-	+	-	+	+	-
A	+	+	-	-	-	-	+	+
B	+	-	+	-	-	+	-	+

Ab	+	+	+	+	-	-	-	-
C	+	-	-	+	+	-	-	+
Ac	+	+	-	-	+	+	-	-
Bc	+	-	+	-	+	-	+	-
Abc	+	+	+	+	+	+	+	+

Sumber: (Sudjana.M.A, 1991)

Daftar diatas merupakan sistem kontras ortogonal dengan mudah dapat dibentuk sedangkan jumlah kuadrat-kuadrat tiap efek yang membentuk kontras dihitung dengan aturan

$$JK (\text{efek}) = \frac{(\text{Kontras})^2}{r \cdot 2^3}$$

Dimana r menyatakan banyak replikasi dalam tiap sel kombinasi perlakuan. Metoda yates dapat digunakan untuk menghitung kontras dan JK tiap kombinasi perlakuan.

2. Desain quasi-experimental

Pada desain quasi experimental dibagi menjadi 2 kategori, seperti *Nonequivalent Control Group Design* dan *Interrupted Time Series (ITS)*. Desain ini umum digunakan dalam penelitian sosial dan pendidikan di mana kendala etika atau praktis menghambat proses randomisasi (Shadish & Cook, n.d. 2021).

3. Pre-experimental design

Pre-experimental design seperti *One-Group Pretest-Posttest Design* atau *One-Shot Case Study*, meskipun sederhana, desain ini memiliki kelemahan dari sisi validitas internal karena tidak adanya kelompok kontrol (Shadish & Cook, n.d. 2021).

2.11. Pemilihan Variabel Proses atau Parameter Desain

Variabel proses yang potensial adalah penggunaan pengetahuan teknik tentang proses, data historis, analisis sebab-akibat, dan curah pendapat. Ini adalah langkah yang sangat penting dari prosedur desain eksperimen. Jika faktor-faktor penting tidak diikutsertakan dalam eksperimen, maka hasil eksperimen tidak akurat atau tidak berguna untuk tindakan perbaikan apa pun (Antony, 2023).

2.12. Klasifikasi variabel proses

Setelah mengetahui parameter desain, langkah selanjutnya adalah mengklasifikasikannya menjadi variabel yang dapat dikontrol dan tidak dapat dikontrol. Variabel kontrol adalah variabel yang dapat dikontrol oleh insinyur proses/insinyur produksi dalam lingkungan produksi. Variabel yang tidak dapat dikontrol (atau variabel gangguan) adalah variabel yang sulit atau mahal untuk dikontrol dalam lingkungan produksi aktual. Variabel seperti fluktuasi suhu sekitar, fluktuasi kelembaban, variasi bahan baku, dll. adalah contoh variabel gangguan. Variabel-variabel ini mungkin memiliki dampak yang sangat besar pada variabilitas proses dan karenanya harus ditangani untuk meningkatkan pemahaman proses kita. Dampak dari variabel pengganggu tersebut dapat diminimalkan dengan penerapan prinsip DOE yang efektif seperti pemblokiran, pengacakan, dan replikasi (Antony, 2023).

2.13. Menentukan Level Variabel Proses

Untuk variabel proses kuantitatif dua level umumnya diperlukan pada tahap awal eksperimen. Namun, untuk variabel kualitatif mungkin diperlukan lebih dari

dua level. Jika fungsi non-linier diharapkan oleh eksperimenter, maka disarankan untuk mempelajari variabel pada tiga level atau lebih. Ini akan membantu dalam mengukur efek non-linier (atau kelengkungan) variabel proses pada fungsi respons (Antony, 2023). Untuk menafsirkan hasil eksperimen secara efektif, sangat penting untuk memiliki pemahaman yang baik tentang interaksi antara dua variabel proses. Cara terbaik untuk menghubungkan interaksi adalah dengan melihatnya sebagai efek, seperti efek faktor atau variabel proses. Karena bukan input yang dapat Anda kendalikan, tidak seperti faktor atau variabel proses, interaksi tidak masuk ke dalam deskripsi kondisi uji coba. Dalam konteks DoE terdapat interaksi dua orde (Marilyn, 1993) dalam (Antony, 2023).

Jumlah interaksi dua orde dalam suatu percobaan dapat diperoleh dengan mudah menggunakan persamaan sederhana:

$$N = \frac{n \times (n-1)}{2}$$

Keterangan:

n = jumlah faktor.

2.14. Analisis of Variance (ANOVA)

ANOVA adalah perawatan atau tingkat yang berbeda dari satu faktor yang ingin kita bandingkan. Respon yang diamati dari masing-masing perlakuan merupakan variabel acak (Montgomery, n.d, 2021).

1. Model untuk Data

$$Y_{ij} = \mu_i + \varepsilon_{ij} \quad \begin{matrix} i = 1, 2, \dots, a \\ j = 1, 2, \dots, n \end{matrix}$$

Dimana y_{ij} adalah observasi ke- ij , rata-rata tingkat faktor atau perlakuan ke i , dan ϵ_{ij} komponen kesalahan acak ij yang menggabungkan semua sumber variabilitas lain dalam percobaan termasuk pengukuran, variabilitas yang timbul karena faktor-faktor yang tidak terkontrol, perbedaan antara unit eksperimen (seperti bahan uji, dll).

2. Model rata-rata.

$$\mu_i = \mu + T_i, \quad i = 1, 2, \dots, a$$

Sehingga menjadi,

$$y_{ij} = \mu_i + T_i + \epsilon_{ij} \quad \begin{cases} i = 1, 2, \dots, a \\ j = 1, 2, \dots, n \end{cases}$$

Dalam bentuk model ini, terdapat parameter umum untuk semua perawatan yang disebut rata-rata keseluruhan, dengan artian parameter unik untuk perlakuan ke i yang disebut efek perlakuan ke i biasanya disebut model efek.

Untuk pengujian hipotesis, kesalahan model diasumsikan sebagai variabel acak yang terdistribusi secara normal dan independen dengan mean nol dan varians σ^2 . Varians σ^2 diasumsikan konstan untuk semua tingkat faktor. Ini menyiratkan bahwa pengamatan saling independen (Montgomery, n.d, 2021).

$$y_{ij} \sim N(\mu + T_i, \sigma^2)$$

2.14.1. Macam-macam ANOVA

Menurut (Wijaya, dkk, 2021) ANOVA dibagi menjadi dua macam, yaitu:

1. ANOVA Satu jalur

ANOVA satu jalur ialah ANOVA yang mempelajari perbedaan antara satu

variabel bebas dengan satu variabel terikat.

2. ANOVA dua jalur

ANOVA dua jalur adalah ANOVA yang mengetahui perbedaan atau kesamaan antara dua variabel bebas dan satu variabel terikat.

a. Langkah-langkah ANOVA dua jalur

Menurut (Wijaya, dkk, 2021), terdapat beberapa langkah-langkah untuk mengerjakan ANOVA dua jalur dan juga cara untuk memperoleh hipotesa, antara lain:

1. Pernyataan hipotesa:

H_0 : varians populasi kedua faktor tidak sama ($\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$).

H_a : varians populasi kedua faktor sama ($\sigma_1^2 = \sigma_2^2$).

2. Taraf Nyata (signifikansi)

Umumnya pada statistik jika menggunakan tingkat kepercayaan 95% maka taraf nyatanya adalah α : 0.05

$$F_{\alpha/2} = F_{0.025}$$

3. Uji Statistik

$$dk_{\text{faktor}} = \text{level angka} - 1$$

$$dk_i = \text{jumlah percobaan} - 1$$

$$F_{\text{hitung}} = \frac{S_1^2}{S_2^2} \text{ atau } F_{\text{hitung}} = \frac{MS_{\text{faktor}}}{MS_{\text{error}}}$$

Keterangan:

dk : derajat kebebasan

MS : rata-rata variasi

S^2 : variasi sampel atau sebaran data

4. Kriteria Pengujian

H_0 : tidak signifikan

H_a : signifikan

H_0 ditolak dan H_a diterima jika, $F_{hitung} > F_{tabel}$

H_0 diterima dan H_a ditolak jika, $F_{hitung} \leq F_{tabel}$

5. Kesimpulan

H_0 : karena $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka H_0 ditolak dan H_a diterima. Jadi, terdapat adanya pengaruh signifikan antara faktor a terhadap faktor b.

H_a : karena $F_{hitung} \leq F_{tabel}$, maka H_0 diterima dan H_a ditolak. Jadi, tidak terdapat pengaruh signifikan antara faktor a terhadap faktor b.

Jika anova didapatkan dari *software minitab* maka keterangannya adalah sebagai berikut:

Source, faktor atau interaksi yang diuji (misalnya Lem, Tekanan_Perekat, Suhu_Pengeringan).

DF (*Degree of Freedom*), derajat kebebasan, menunjukkan jumlah level – 1 (untuk tiap faktor).

Adj SS (*Adjusted Sum of Squares*), besarnya variasi pada respon yang dijelaskan oleh faktor tersebut.

Adj MS (*Mean Square*), SS dibagi DF, menggambarkan rata-rata variasi untuk faktor itu.

F-value, rasio antara *variasi faktor* dengan *variasi error* ($MS \text{ faktor} \div MS \text{ error}$).

Semakin besar nilai F, semakin besar pengaruh faktor terhadap respon.

Biasanya dibandingkan dengan $\alpha = 0.05$.

2.15. Main Effects Plot

Menurut (Andrade, 2024), *main effects plot* digunakan untuk melihat pengaruh masing-masing faktor utama terhadap rata-rata nilai respon.

Plot ini membantu menentukan:

1. Faktor mana yang paling berpengaruh, dan
2. Level faktor mana yang menghasilkan nilai respon tertinggi.

2.16. *Interaction plot*

Menurut (Andrade, 2024), *interaction plot* digunakan untuk melihat apakah ada interaksi antar faktor artinya, apakah pengaruh satu faktor tergantung pada level faktor lainnya terhadap nilai respon

Dengan kata lain:

Grafik ini menunjukkan apakah efek dari satu faktor berubah ketika faktor lain dinaikkan atau diturunkan.

1. Cara membaca grafik

Setiap garis dan warna mewakili level dari satu faktor tertentu. Garis biru mewakili level rendah. Garis merah putus-putus mewakili level tinggi.

2. Makna pola garis

Jika garis-garis sejajar, berarti tidak ada interaksi antara faktor. Jika garis-garis bersilangan atau menjauh/menyempit, berarti terjadi interaksi (pengaruh gabungan antar faktor terhadap respon).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada pelaku usaha sepatu bernama CV. Kotama yang dikelola oleh pak Azri, S.E dan berlokasi di JL. Arief Rahman Hakim No. 206-C, sukaramai I, Medan Area, Medan. Waktu penelitian ini dilakukan pada bulan Agustus-September 2025.

3.2. Jenis Penelitian

Penelitian ini dikategorikan sebagai sifat kuantitatif. Penelitian kuantitatif merupakan suatu pendekatan untuk menguji teori-teori objektif dengan menguji hubungan antar variabel (Boari et al., 2023).

Dalam penelitian ini, pendekatan kuantitatif ini berfokus pada pengukuran yang cermat (atau manipulasi eksperimental), penelitian ini berfokus pada komponen penting dari bagian metode dalam studi eksperimental.

3.3. Variabel Penelitian

Pada penelitian ini variabel dibagi menjadi 2 bagian, yaitu: variabel bebas dan variabel terikat.

1. Variabel bebas (*Independent Variable*)

Variabel bebas merujuk pada pendekatan kuantitatif atau kualitatif yang dimanipulasi secara deliberatif oleh peneliti dalam rangka menelaah efek kausalnya terhadap variabel lain dalam kerangka eksperimental atau observasional. Dalam penelitian ini variabel bebasnya yaitu: jumlah lem, tekanan perekat, suhu pengeringan.

2. Variabel Terikat (*Dependent Variable*)

Variabel terikat adalah fenomena yang diobservasi atau diukur yang diasumsikan mengalami fluktuasi sebagai konsekuensi dari manipulasi variabel bebas. Pada penelitian ini variabel terikatnya adalah: Kombinasi terbaik produk sepatu.

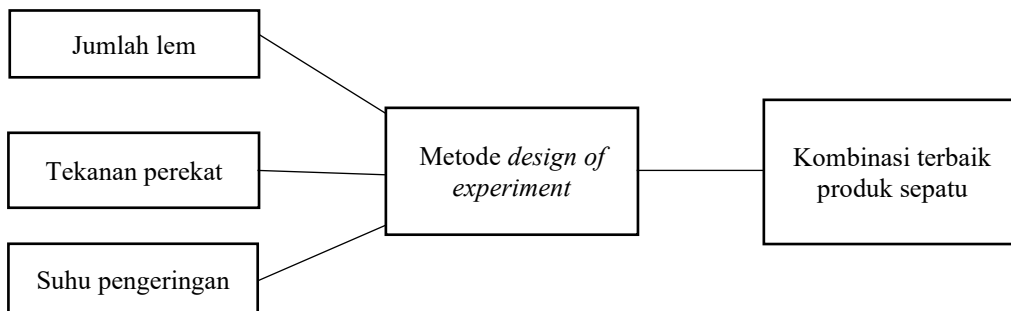
3.4. Parameter Penelitian

Dalam penelitian ini, paramaternya yaitu:

1. Jumlah lem:
 - a. Jumlah lem 100 ml
 - b. Jumlah lem 50 ml
2. Tekanan perekat
 - a. Tekanan perekat 0.5 bar
 - b. Tekanan perekat 1.0 bar
3. Suhu pengeringan
 - a. Suhu pengeringan 60 derajat *celcius*
 - b. Suhu pengeringan 80 derajat *celcius*

Pada produksi di CV. Kotama lem diaplikasikan menggunakan kuas, faktor-faktor dan level diatas diperoleh sesuai dengan pengalaman pengrajin sepatu. Ketiga faktor ini dipilih karena secara praktis berpengaruh langsung terhadap kualitas kekuatan rekat produk, sehingga layak untuk diteliti melalui metode DoE. Dengan penetapan faktor dan level tersebut, penelitian ini dapat menguji secara sistematis pengaruh tiap parameter maupun interaksinya terhadap respon yang diamati.

3.5. Kerangka Berfikir



Gambar 3.1. Kerangka penelitian

Definisi Operasional:

1. Jumlah lem merupakan jenis bahan perekat yang digunakan dalam proses penyambungan antara sol dan *upper* sepatu. Dalam penelitian ini, tipe lem yang digunakan terdiri atas dua rentang, yaitu 50 ml dan 100 ml. Variabel ini bersifat kategorik yang diuji berdasarkan label produk perekat yang digunakan oleh perusahaan.
2. Tekanan perekat adalah besar tekanan yang diterapkan pada proses pengepresan bagian sol sepatu menggunakan mesin *press*. Tekanan ini diukur dalam satuan bar dan dalam penelitian ini digunakan dua tingkat tekanan, yaitu 0,5 bar dan 1 bar. Nilai tekanan dikontrol dan dicatat melalui indikator tekanan pada alat yang digunakan, sehingga bersifat numerik dan berskala rasio.
3. Suhu pengeringan merujuk pada suhu yang digunakan dalam proses pemanasan sepatu setelah proses pengepresan selesai. Suhu ini bertujuan untuk memperkuat daya rekat antara sol dan *upper* sepatu. Dalam penelitian ini, digunakan dua tingkatan suhu, yaitu 60°C dan 80°C. Pengukuran suhu

dilakukan menggunakan termometer digital pada mesin pengering dan berskala rasio.

4. Metode *Design of Experiment* (DoE) digunakan dalam penelitian ini sebagai pendekatan sistematis untuk merancang dan menganalisis eksperimen yang melibatkan beberapa variabel proses produksi sepatu. Penerapan DoE mengevaluasi pengaruh individu maupun interaksi dari faktor-faktor seperti lem, tekanan perekat, dan suhu pengeringan, terhadap kualitas sambungan sol sepatu. Dengan bantuan desain faktorial, penelitian ini bertujuan untuk merekayasa kombinasi parameter yang optimal, sehingga dapat meningkatkan kualitas sepatu secara signifikan.
5. Kombinasi terbaik produk sepatu sebagai variabel terikat diukur berdasarkan hasil akhir produk setelah melewati proses produksi. Indikator utama dari kualitas sepatu adalah tingkat keberhasilan sambungan sol dan *upper* sepatu. Penilaian dilakukan dengan memperoleh bagian terbaik model dari ketiga variabel bebas tersebut.

3.6. Pengumpulan Data

Data kuantitatif dalam penelitian bisa dibagi menjadi primer dan sekunder. Pembagian tersebut didasarkan atas cara pengambilan/pengumpulan data serta jenis data (Boari et al., 2023).

1. Data primer

Pada umumnya data primer diperoleh dengan cara survei lapangan. Dalam penelitian ini data primernya adalah:

- a. Observasi langsung selama proses produksi.
- b. Wawancara dengan *staff* atau pemilik.

2. Data Sekunder

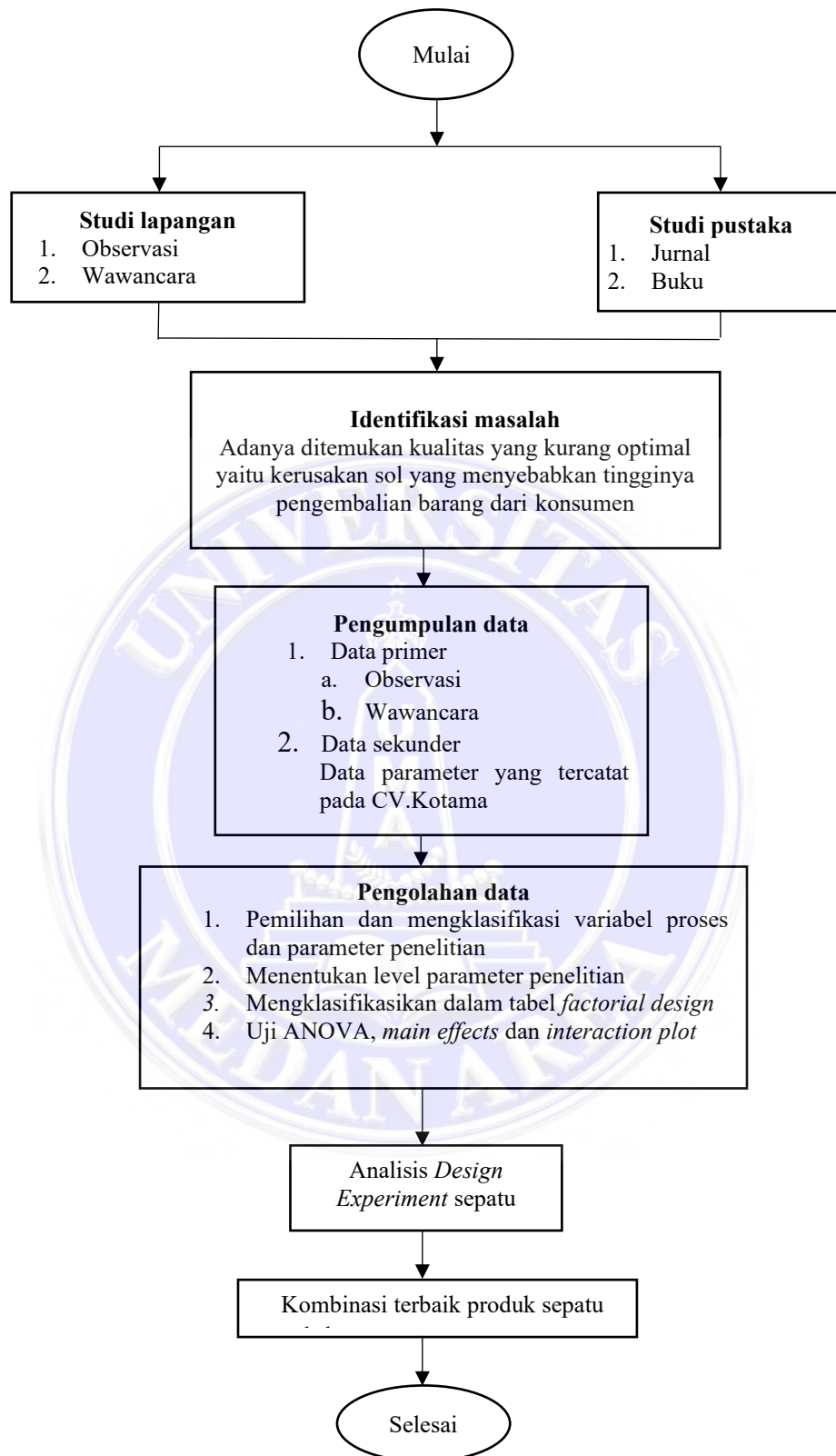
untuk pengumpulan data jenis ini secara garis besar dikenal dengan studi pustaka/dokumentasi (*library research*). Dalam penelitian ini data sekunder yang diambil adalah: data parameter yang tercatat pada CV. Kotama.

3.7. Pengolahan Data

Pada penelitian ini, setelah data yang telah diperoleh dari pengumpulan data akan melewati langkah- langkah berikut ini :

1. Pemilihan variabel proses dan parameter penelitian.
2. Mengklasifikasikan variabel proses dan parameter penelitian.
3. Menentukan level parameter penelitian.
4. Selanjutnya data yang telah diperoleh akan diklasifikasikan di tabel *factorial design* atau tabel matriks (3 faktor dan 2 level).
5. Jumlah percobaan yang akan dilakukan sejumlah $2^k = 2^3 = 8$ kali percobaan, dimana 2 itu sebagai level dan K adalah jumlah faktornya.
6. Percobaan dilakukan dengan 3 kali replikasi dengan menggunakan respon yaitu uji tarik (*tensile strength*).
7. Setelah diklasifikasikan dalam tabel matriks, selanjutnya dilakukan uji analisis *of variance* (ANOVA) kemudian dilakukan uji hipotesis dimana H_0 dan H_a ditolak atau diterima.
8. Kemudian menentukan grafik *main effects plot* dan *interaction plots*.

3.8. Flowchart Penelitian

Gambar 3.2. *flowchart* Penelitian

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis menggunakan metode *Design of Experiment (DoE)* pada proses produksi sepatu di CV. Kotama, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Faktor-faktor yang berpengaruh signifikan terhadap kualitas sol sepatu melalui respon uji tarik adalah jumlah lem, tekanan perekat, dan suhu pengeringan.
2. Interaksi yang berpengaruh signifikan terhadap kualitas sol sepatu melalui respon uji tarik adalah interaksi jumlah lem dan suhu pengeringan, tekanan perekat dan suhu pengeringan, jumlah lem dan tekanan perekat serta suhu pengeringan. Interaksi yang tidak berpengaruh signifikan terhadap kualitas sol sepatu melalui respon uji tarik hanya interaksi jumlah lem dan tekanan perekat.
3. Jadi kondisi kombinasi komposisi untuk menghasilkan kualitas sepatu terbaik yaitu, hasil interaksi kombinasi jumlah lem 100 ml, tekanan perekat 1 bar, dan suhu pengeringan 80°C menghasilkan kekuatan tarik tertinggi dengan nilai rata-rata sekitar 194,5 N/cm².

Dengan demikian, penerapan metode *Design of Experiment (DoE)* terbukti efektif untuk menganalisis dan merekayasa kualitas produk sepatu di CV. Kotama secara sistematis, serta dapat dijadikan dasar dalam pengendalian mutu dan peningkatan efisiensi proses produksi.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil kesimpulan di atas, maka dapat diberikan beberapa saran sebagai berikut:

1. CV. Kotama disarankan untuk menerapkan kombinasi parameter proses terbaik yaitu penggunaan jumlah lem 100 ml, tekanan perekat 1 bar, dan suhu pengeringan 80°C secara konsisten dalam proses produksi, karena kombinasi ini menghasilkan daya rekat paling kuat. Faktor seperti interaksi jumlah lem dan tekanan perekat tidak ada pengaruh signifikan maka tidak menjadi fokus dalam penerapan di bagian produksi pada CV. Kotama.
2. Pada saat produksi ketika proses perekatan dilakukan sebaiknya di diamkan beberapa jam agar lem merekat sempurna sebelum dilakukan uji tarik.
3. Penelitian selanjutnya disarankan untuk memakai metode selain *design of experiment* yaitu *taguchi* dan menghitung biaya produksi.
4. Penelitian selanjutnya disarankan menganalisis variasi faktor lain dan menggunakan 3 level yaitu (-1;0;1).

DAFTAR PUSTAKA

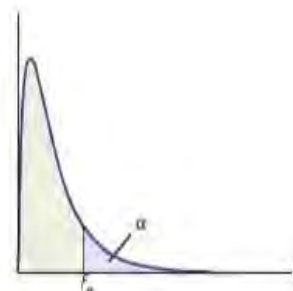
- Andrade, C. (2024). *Understanding factorial designs, main effects, and interaction effects: Simply explained with a worked example*. *Indian Journal of Psychological Medicine*, 46(2), 175-177.
- Antony, J. (2023). *Design of Experiments for Engineers and Scientists*, Third Edition. *Design of Experiments for Engineers and Scientists, Third Edition*, July, 1–276. <https://doi.org/10.1016/C2022-0-01075-8>
- Aslam, R., Khan, A. A., Akhtar, H., Saleem, S., & Ali, M. S. (2025). Optimizing injection molding parameters to reduce weight and warpage in PET preforms using Taguchi method and Analysis of Variance (ANOVA). *Next Materials*, 8(February), 100623. <https://doi.org/10.1016/j.nxmate.2025.100623>
- Baali, Y., Ade, A., Umari, S., Abi Anwar, A., Nyoman, I., Widiana, W., Sudirjo, F., Herdiansyah, D., Agung, H. B. H., Zenita, W., Fitriyani, A., Zen, A., Dulame, I. M., Widhy, K., Revita, W., & Hati, P. (n.d.). *Manajemen Kualitas Getpress Indonesia*. www.getpress.co.id
- Boari, Y., Ottow, U., & Papua, G. (2023). *METODOLOGI PENELITIAN ILMIAH (Panduan Praktis Untuk Penelitian Berkualitas)* (Issue December).
- Ekonomi, J. J., Meilani, S., Saputro, A. H., & Ekonomi, J. J. (2025). *Pengaruh Kualitas Produk, Pengalaman Pelanggan dan Kepuasan Pelanggan Terhadap Loyalitas Pelanggan (Studi Pada Pelanggan Marketplace Shopee Di Kota Bandung)* Abstrak. 11(1), 16–31.
- Iriani, J., Firman, N., & Hutabarat, R. (2024). *Penerapan Teknologi Pengering Sepatu Pada Usaha Laundry Sepatu Upkeep di Kecamatan Medan Tuntungan Kota Medan*. 2(8), 3140–3146.
- Kelamin, D. J., Sit-up, U. T., Uscha, C. M., Arini, R. W., Anna, I., & Munikhah, T. (2023). *Pendekatan Design of Experiment (DOE) untuk Menyelidiki*. 02(2), 61–67.
- Liu, H. C., Liu, R., Gu, X., & Yang, M. (2023). From total quality management to Quality 4.0. *Frontiers of Engineering Management*, 10(2), 191–205.
- Menz, H. B., & Bonanno, D. R. (2021). Footwear comfort: a systematic search and narrative synthesis of the literature. *Journal of Foot and Ankle Research*, 14(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/s13047-021-00500-9>
- Montgomery, D. C. (n.d.). *Design and Analysis of Experiments Eighth Edition*.
- Produk, P. K., Harga, D. D. A. N., Kasus, S., & Di, P. (2025). *Pengaruh kualitas produk, desain dan harga produk terhadap keputusan pembelian (studi kasus prabotmama di shopee)*. 2(1), 195–209.

- Reza, A., Chen, L., & Mao, X. (2024). Heliyon Response surface methodology for process optimization in livestock wastewater treatment : A review. *Heliyon*, 10(9), e30326. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e30326>
- Rochma, F., Sholikhah, A., Riqqoh Dini Safia, A., Louis Vernandia, A., Afandi, A., Islamiyah, I., Produk, K., Pelayanan, K., & Pelanggan, K. (2024). Analisis Pengaruh Kualitas Produk Dan Kualitas Pelayanan Terhadap Kepuasan Pelanggan Sambal Gami Jeet 81 Porong the Influence of Product Quality and Service Quality on Customer Satisfaction Sambal Gami Jeet 81 Porong. *Talijagad*, 2024(1). <https://journal.unusida.ac.id/index.php/talijagad/index%7Ce>
- Shadish, W. R., & Cook, T. D. (n.d.). *AND QUASI-EXPERIMENTAL FOR GENERALIZED DESIGNS CAUSAL INFERENCE fr Experiments Causal Generalized Inference*.
- Sudjana.M.A, P. D. (1991). *DESAIN DAN ANALISIS EKSPERIMEN*. Tarsito Bandung.
- Wahyuni, H. C., & Sulistyowati, W. (2020). Buku Ajar Pengendalian Kualitas Industri Manufaktur Dan Jasa. In *Buku Ajar Pengendalian Kualitas Industri Manufaktur Dan Jasa*.
- Wijaya, dkk, D. eric. (2021). *PENGANTAR STATISTIK* (Vol. 32, Issue 3). PT. Sonpedia Publishing Indonesia.
- Wiryosumarto, H. (2000). *TEKNOLOGI PENGELASAN LOGAM*. Pradnya Pramita.
- Wulandari, E., Prasetyo, M. S., & Purwanti, T. (2022). Pengabdian Kepada Masyarakat Di Usaha Sepatu Mojo, Pelatihan Perhitungan Harga Pokok Produksi (Hpp) Dalam Menentukan Harga Jual. *Budimas : Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 3(2), 1–7. <https://doi.org/10.29040/budimas.v4i2.5704>

LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel distribusi F

Critical Values of the F-Distribution ($\alpha = 0.025$)



		Numerator Degrees of Freedom								
Denominator Degrees of Freedom		1	2	3	4	5	6	7	8	9
	1	647.7890	709.5000	804.1630	899.5833	921.8470	937.1111	948.2160	958.0562	963.2846
	2	38.5083	39.0000	39.1655	39.2484	39.2882	39.3315	39.3552	39.3730	39.3880
	3	17.4434	16.0441	15.4392	15.1010	14.8848	14.7347	14.6244	14.5399	14.4731
	4	12.2179	10.8491	9.9792	9.0045	8.3645	8.1973	8.0741	8.0708	8.0047
	5	10.0070	8.4336	7.7836	7.3879	7.1464	6.9777	6.8531	6.7572	6.6811
	6	8.8131	7.2599	6.5988	6.2272	5.9876	5.8198	5.6955	5.5996	5.5234
	7	8.0727	6.5415	5.8898	5.5226	5.2852	5.1186	4.9940	4.8993	4.8232
	8	7.5709	6.0595	5.4100	5.0526	4.8173	4.6517	4.5286	4.4333	4.3572
	9	7.2093	5.7147	5.0781	4.7181	4.4844	4.3197	4.1970	4.1020	4.0260
	10	6.9367	5.4604	4.8256	4.4683	4.2361	4.0721	3.9498	3.8549	3.7790
	11	6.7241	5.2559	4.6300	4.2751	4.0440	3.8807	3.7586	3.6638	3.5879
	12	6.5538	5.0950	4.4742	4.1212	3.8911	3.7283	3.6065	3.5118	3.4358
	13	6.4143	4.9653	4.3472	3.9959	3.7667	3.6043	3.4827	3.3880	3.3120
	14	6.2979	4.8567	4.2417	3.8910	3.6634	3.5014	3.3799	3.2853	3.2093
	15	6.1995	4.7650	4.1528	3.8043	3.5764	3.4147	3.2934	3.1987	3.1227
	16	6.1151	4.6867	4.0768	3.7294	3.5021	3.3406	3.2194	3.1248	3.0488
	17	6.0420	4.6189	4.0112	3.6648	3.4379	3.2767	3.1556	3.0610	2.9849
	18	5.9781	4.5597	3.9539	3.6083	3.3820	3.2209	3.0999	3.0053	2.9291
	19	5.9216	4.5075	3.9034	3.5587	3.3327	3.1718	3.0509	2.9563	2.8801
	20	5.8715	4.4613	3.8587	3.5147	3.2891	3.1283	3.0074	2.9128	2.8366
	21	5.8266	4.4199	3.8188	3.4754	3.2501	3.0895	2.9686	2.8740	2.7977
	22	5.7863	4.3828	3.7820	3.4401	3.2151	3.0546	2.9338	2.8392	2.7628
	23	5.7498	4.3492	3.7505	3.4083	3.1835	3.0232	2.9023	2.8077	2.7313
	24	5.7166	4.3187	3.7211	3.3794	3.1546	2.9946	2.8738	2.7791	2.7027
	25	5.6864	4.2909	3.6943	3.3530	3.1287	2.9685	2.8478	2.7531	2.6766
	26	5.6580	4.2655	3.6697	3.3289	3.1048	2.9447	2.8240	2.7293	2.6528
	27	5.6331	4.2421	3.6472	3.3067	3.0828	2.9228	2.8021	2.7074	2.6309
	28	5.6098	4.2205	3.6264	3.2863	3.0626	2.9027	2.7820	2.6872	2.6106
	29	5.5878	4.2006	3.6072	3.2674	3.0438	2.8840	2.7633	2.6686	2.5919
	30	5.5675	4.1821	3.5894	3.2499	3.0265	2.8667	2.7460	2.6513	2.5746
	40	5.4239	4.0510	3.4633	3.1261	2.9037	2.7444	2.6238	2.5290	2.4519
	60	5.2856	3.9253	3.3425	3.0077	2.7863	2.6274	2.5068	2.4117	2.3344
	120	5.1523	3.8046	3.2269	2.8943	2.6740	2.5154	2.3948	2.2994	2.2217
	∞	5.0239	3.6889	3.1101	2.7858	2.5665	2.4082	2.2875	2.1918	2.1130

Lampiran 2. Dokumentasi Penelitian



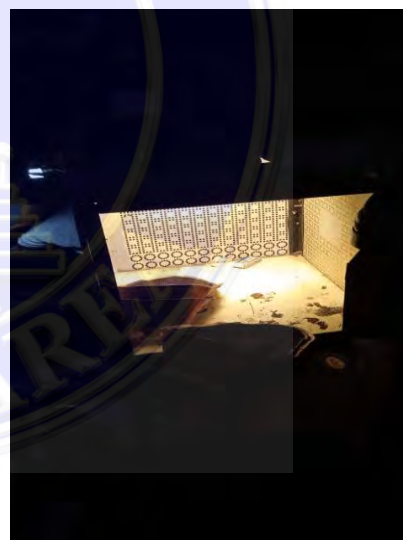
Gambar sol sepatu



Gambar Lem sepatu



Gambar proses pengeleman



Gambar proses pengeringan dibawah suhu lampu



Gambar Hasil akhir



Lampiran 3. Surat keputusan riset



UNIVERSITAS MEDAN AREA

FAKULTAS TEKNIK

Kampus I : Jalan Kolam Nomor 1 Medan Estate Jalan PBSI Nomor 1 Medan (061) 7399878, 7360166, 7364348, 7366781, Fax (061) 7399986 Medan 20222
 Kampus II : Jalan Setiabudi Nomor 70 / Jalan Sei Rengas Nomor 70 A, Medan (061) 8225002, Fax: (061) 8226331 Medan 20122
 Website: www.teknik.uma.ac.id E-mail: univ_medanarea@uma.ac.id

Nomor : 419/FT.5/01.10/VIII/2025

Lamp : -

Hal : Penelitian Dan Pengambilan Data Tugas Akhir

15 Agustus 2025

Yth. Pimpinan CV. Kotama
Jl. Arief Rahman Hakim No. 206-c Kel. Sukarama I
Di
Medan

Dengan hormat,
Kami mohon kesediaan Bapak/Ibu berkenan untuk memberikan izin dan kesempatan kepada mahasiswa kami tersebut dibawah ini :

NO	N A M A	N P M	PRODI
1	WAHYU QURAHMAN	228150019	Teknik Industri

Untuk melaksanakan Penelitian dan Pengambilan Data Tugas Akhir pada perusahaan/Instansi yang Bapak/Ibu Pimpin.

Perlu kami jelaskan bahwa Pengambilan Data tersebut adalah semata-mata untuk tujuan ilmiah dan Skripsi yang merupakan salah satu syarat bagi mahasiswa tersebut untuk mengikuti ujian sarjana pada Fakultas Teknik Universitas Medan Area dan tidak untuk dipublikasikan, dengan judul penelitian :

Rekayasa Kualitas Menggunakan Design Of Experiment Pada Produk Sepatu di CV. Kotama

Atas perhatian dan kerja sama yang baik diucapkan terima kasih.

Dekan,



Dr. Eng. Supriatno, ST, MT

Tembusan :

1. Ka. BPMPP
2. Mahasiswa
3. File



Lampiran 4. Surat selesai penelitian

