RANCANG BANGUN PURWARUPA RUANG PENGERING KERAMIK DENGAN PENGENDALIAN SUHU BERBASIS MIKROKONTROLER SEBAGAI UPAYA PENINGKATAN PRODUKTIVITAS PADA INDUSTRI KERAMIK *TABLEWARE*

(Studi Kasus: IKM Bumi Mentari Art)

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Strata-1
Program Studi Teknik Industri - Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia

Nama : Dhinar Elma Arifa
No. Mahasiswa : 21522329

PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI PROGRAM SARJANA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2025

PERNYATAAN KEASLIAN

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya mengakui bahwa tugas akhir ini adalah hasil karya saya sendiri kecuali kutipan dan ringkasan yang seluruhnya sudah saya jelaskan sumbernya. Jika dikemudian hari ternyata terbukti pengakuan saya ini tidak benar dan melanggar peraturan yang sah maka saya bersedia ijazah yang telah saya terima ditarik kembali oleh Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, 05– 04 - 2025



(Dhinar Elma Arifa)

21522329

SURAT BUKTI PENELITIAN

buntari ceramic studio	BUNTARI CERAMIC STUDIO Jl. Kopen II Jl. Banteng Raya, Banteng, Sinduharjo, Kec. Ngaglik, Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta 55281		
	SURAT KETERANGAN SELESAI KERJA PRAKTEK / MAGANG / PENELITIAN		
	Nomor Dokumen: Form KP-06	Edisi: April 2025	Revisi: 06

Nomor : BMA/001/IV/2025
Perihal : Surat Keterangan Selesai ~~Kerja Praktek~~ / ~~Magang~~ / Penelitian*)
Lampiran : 1 lembar

Yang bertanda tangan di bawah ini:
Nama : **Rizal Salim**
Jabatan : *Head of Management*

Menyatakan bahwa mahasiswa Universitas Islam Indonesia dengan nama berikut:

Nama : Dhinar Elma Arifa
NIM : 21522329
Jurusan : Teknik Industri
Dosen Pembimbing : Ir. Muchamad Sugarindra, S.T., M.T.I., IPM

Menyatakan bahwa mahasiswa tersebut di atas telah melaksanakan penelitian tugas akhir di perusahaan/instansi kami dengan judul:

"Rancang Bangun Purwarupa Ruang Pengering Keramik Pada Industri Keramik Tableware Untuk Meningkatkan Produktivitas IKM".

Yang dilaksanakan pada tanggal 01 Desember 2024 sampai dengan 01 Maret 2025 dengan dibimbing oleh **Sidik Purnomo** dengan jabatan *Head of Production*.

Demikian surat keterangan penelitian ini dibuat agar dapat digunakan sebagaimana mestinya.

Yogyakarta, 10 Maret 2025
Head Of Management

buntari

Rizal Salim

Catatan:
1. *) Coret yang tidak sesuai.
2. Formulir ini wajib dilampirkan di laporan Kerja Praktek atau laporan Magang.

BUNTARI CERAMIC STUDIO	Halaman: 1 dari 1

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

RANCANG BANGUN PURWARUPA RUANG PENGERING KERAMIK DENGAN PENGENDALIAN SUHU BERBASIS MIKROKONTROLER SEBAGAI UPAYA PENINGKATAN PRODUKTIVITAS PADA INDUSTRI KERAMIK *TABLEWARE*

(Studi Kasus: IKM Bumi Mentari Art)

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh:

Nama : Dhinar Elma Arifa

No. Mahasiswa : 21522329

Yogyakarta, 15 April 2025

Dosen Pembimbing



(Ir. Muchamad Sugarindra, S.T., M.T.I., IPM.)

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

RANCANG BANGUN PURWARUPA RUANG PENGERING KERAMIK DENGAN PENGENDALIAN SUHU BERBASIS MIKROKONTROLER SEBAGAI UPAYA PENINGKATAN PRODUKTIVITAS PADA INDUSTRI KERAMIK *TABLEWARE*

(Studi Kasus: IKM Bumi Mentari Art)

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh:

Nama : Dhinar Elma Arifa

No. Mahasiswa : 21 522 329

Telah dipertahankan di depan sidang penguji sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata-1 Teknik Industri Fakultas Tekonologi Industri Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, 24 April 2025

Tim Penguji

Ir. Muchamad Sugarindra, S.T., M.T.I., IPM.	
Ketua	
Ir. Ali Parkhan, M.T.	
Anggota I	
Dr. Drs. Imam Djati Widodo, M.Eng.Sc.	
Anggota II	

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Industri Program Sarjana
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia

Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM
NIK 015220101

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirabbil alaamiin, puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan berkah dan rahmatnya sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Dengan penuh rasa syukur, karya kecil ini kupersembahkan kepada Kedua Orang Tua, kakak yang selalu mencurahkan cinta, doa, dan pengorbanan tanpa batas. Serta tak lupa saya mengucapkan terima kasih kepada Bapak Ir. Muchamad Sugarindra, S.T., M.T.I., IPM selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah banyak membimbing saya dalam penyususnan Tugas Akhir ini. Serta semua pihak yang membantu dalam setiap dukungan, sekecil apa pun, begitu berarti. Dan yang terakhir untuk diriku sendiri yang telah berjuang, bertahan, dan terus melangkah hingga titik ini.

MOTTO

“Barang siapa menempuh jalan untuk mencari ilmu, maka Allah akan memudahkan baginya jalan menuju surga.” (HR. Muslim)

“Tidaklah lelah seorang hamba karena usahanya, kecuali Allah akan menggantinya dengan kebaikan.” (HR. Bukhari dan Muslim)

"Sesungguhnya Allah mencintai orang-orang yang bertawakal setelah berusaha."
(QS. Ali Imran: 159)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabaraakaatuh

Alhamdulillahirabbil'alamiin, segala puji dan syukur penulis sampaikan kepada Allah SWT atas berkah rahmat serta nikmat-Nya sehingga penelitian dan penyusunan laporan tugas akhir dengan judul "Rancang Bangun Purwarupa Ruang Pengering Keramik dengan Pengendalian Suhu Berbasis Mikrokontroler sebagai Upaya Peningkatan Produktivitas Pada Industri Keramik *Tableware* (Studi Kasus: Ikm Bumi Mentari Art)" sebagai persyaratan untuk mendapat gelar sarjana telah selesai. Tidak lupa shalawat dan salam tercurah kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW yang telah membimbing kita dari zaman kegelapan hingga ke zaman yang terang dan penuh dengan ilmu.

Tugas Akhir ini penulis susun berdasarkan hasil penelitian pada IKM Bumi Mentari Art yaitu mengatasi permasalahan mengenai pengeringan keramik dengan mengaplikasikan teori ataupun keilmuan Teknik Industri. Penulis sadar bahwa semua tidak akan berjalan dengan lancar tanpa bimbingan dan dorongan dari semua pihak.

Pada kesempatan kali ini, penulis ingin mengucapkan teirma kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada semua pihak yang telah berjasa memberikan bimbingan dan motivasi dalam menyelesaikan laporan ini. Maka dari itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, M.T., IPU., ASEAN.Eng. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM selaku Ketua Program Studi Teknik Industri Program Sarjana Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Ir. Muchamad Sugarindra, S.T., M.T.I., IPM. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan bimbingan serta arahan, motivasi, dan ilmu yang telah beliau berikan sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
4. Bapak Ir. Ali Parkhan, M.T. yang telah memberikan bimbingan serta arahan sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
5. Bapak Sidik Purnomo selaku owner dari IKM Buntari yang telah membantu penulis dalam memberikan informasi seputar IKM.
6. Mas Asrif, Mas Bintang, dan seluruh karyawan Buntari yang telah membantu dalam pengumpulan data penelitian dan penyusunan laporan tugas akhir ini.
7. Superhero dan cinta pertamaku, Bapak Puji Santosa, terima kasih telah berjuang untuk kehidupan penulis, terima kasih telah mampu mendidik putri kecilnya sehingga mampu menyelesaikan studinya sampai sarjana. Sehat selalu dan panjang umur Bapak.
8. Pintu Surgaku, Ibu Andri Irawati, yang tiada henti-hentinya memberikan kasih sayang dengan penuh cinta dan selalu memberikan motivasi serta doa sehingga penulis mampu menyelesaikan studinya sampai sarjana. Sehat selalu dan panjang umur Ibu.
9. Panutanku, Bachtiar Rakagandhi, Rina Sari Utami, dan Bagas Arya Wichaksana yang selalu memberikan doa, motivasi, dan dukungan moril maupun material kepada penulis.
10. Kepada seseorang yang tak kalah penting kehadirannya, Zhafif Radithya Nugroho yang telah berkontribusi banyak dalam penulisan karya tulis ini, baik tenaga maupun waktu. Terima kasih telah mendukung, menghibur, serta memberikan semangat kepada penulis. Kepada teman-teman asisten Baiq Putri Rizka Aulia, Latifah Fitri Wibowo, Nabila Lintang Kirana, Nabila Aulia Azizah, Rifki Nurul Mukarim, dan Zaki Abdurrahman yang senantiasa telah memberikan support untuk menyelesaikan tugas akhir ini. Kepada teman-

teman seperjuangan Tita Safira, Yulia Rahma Aswan, dan Mutia Putri Gaisani yang turut serta memberikan dukungan kepada penulis. Tak lupa kepada Muhammad Iryad Hammam, Defan Faiz Adytama, dan Muhammad Syaifullah Maibara yang telah membantu dan memberikan masukan kepada penulis untuk menyelesaikan prototipe.

11. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian laporan tugas akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Sekali lagi penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang terkait dalam penulisan serta penyusunan laporan Tugas Akhir ini. Semoga segala doa, motivasi, dan dukungan yang diberikan oleh semua pihak dapat menjadi amal ladang pahala yang senantiasa akan digantikan oleh Allah Subhanahu Wa Ta'ala.

Yogyakarta, 6 April 2025



Dhinar Elma Arifa

ABSTRAK

Proses pengeringan merupakan tahap penting dalam produksi keramik, karena ketidaktepatan dalam pengeringan dapat menyebabkan produk mengalami keretakan atau cacat. Saat ini, IKM melakukan proses pengeringan konvensional yang memakan waktu 3 sampai 5 hari sesuai dengan kondisi cuaca. Dengan demikian untuk meningkatkan produktivitasnya, perlu dibuat suatu alat untuk memperpendek waktu pengeringan keramik. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor yang memengaruhi proses pengeringan keramik, menentukan kombinasi parameter optimal, serta menganalisis sensitivitas masing-masing faktor terhadap variabel respon. Metode yang digunakan adalah eksperimen *full faktorial* dengan dua faktor kendali: suhu pengeringan (35°C, 40°C, 45°C) dan kecepatan aliran udara (3 m/s, 4 m/s, 5 m/s), masing-masing dengan dua replikasi. Prototipe alat pengering dibuat menggunakan box pengering yang dilengkapi *heater* PTC dan blower, dengan sistem pengaturan *on off* suhu otomatis berbasis Arduino. Kecepatan blower diatur dan dikonfirmasi dengan anemometer sebelum setiap eksperimen. Variabel respon yang diamati adalah waktu pengeringan tercepat dan produk tidak mengalami *defect* yang berupa keretakan keramik. Berdasarkan hasil eksperimen, seluruh kombinasi perlakuan tidak menghasilkan produk cacat. Hasil ANOVA menunjukkan bahwa suhu dan kecepatan udara memiliki pengaruh signifikan terhadap waktu pengeringan, sedangkan interaksi antara kedua faktor tidak signifikan. Dengan demikian, kedua faktor bekerja secara independen dalam memengaruhi proses pengeringan. Berdasar analisis *Signal to Noise Ratio* (SNR) diperoleh kombinasi optimal yang sama yaitu pada level ke 3 disetiap faktor kendalinya. Kombinasi parameter optimal diperoleh pada suhu 45°C dan kecepatan udara 5 m/s, yang menghasilkan waktu pengeringan tercepat yaitu dalam waktu 5 jam tanpa cacat.

Kata kunci: Pengeringan, Keramik, Suhu, Kecepatan Udara, Full Faktorial

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN ..... **ii**
SURAT BUKTI PENELITIAN ..... **iii**
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING ..... **iv**
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI ..... **v**
HALAMAN PERSEMBAHAN ..... **vi**
MOTTO ..... **vii**
KATA PENGANTAR ..... **viii**
ABSTRAK ..... **x**
DAFTAR ISI ..... **xi**
DAFTAR TABEL ..... **xiv**
DAFTAR GAMBAR ..... **xv**
BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 4
1.3 Tujuan Penelitian 4
1.4 Manfaat Penelitian 5
1.5 Batasan Penelitian 5
1.6 Sistematika Penelitian 5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA **7**
2.1 Kajian Literatur 7
2.2 Landasan Teori 14
2.2.1 Jenis, Sifat, Fungsi Tanah Liat 14
2.2.2 Sifat Plastis 17
2.2.3 Susut Kering dan Susut Bakar 17
2.2.4 *Design of Experiments* (DoE) 19
2.2.5 *Full Faktorial Design* 22
2.2.6 Uji Normalitas 22
2.2.7 Uji Homogenitas 24
2.2.8 Uji Analisis Varians (ANOVA) 25
2.2.9 *Ratio Signal to Noise* (S/N Rasio) 28
2.2.10 Efek Tiap Faktor 29
2.2.11 *Multi Respon Signal To Noise* (MRSN) 29
2.2.12 Rancang Bangun 31
2.2.13 Arduino Uno 31
2.2.14 Modul LCD 32
2.2.15 *Heater* PTC 33
2.2.16 Sensor DHT11 33
2.2.17 Blower 34
2.2.18 Adaptor 35
2.2.19 Relay 35
2.2.20 Catu Daya 36
2.2.21 *Breadboard Power supply* 36
2.2.22 Anemometer 37
BAB III METODE PENELITIAN **38**
3.1 Diagram Penelitian 38

3.2 Pengumpulan Data 39
3.2.1 Teknik Pengumpulan Data 39
3.2.2 Jenis dan Sumber Data 40
3.3 Perancangan Experimen *Full* Faktor*ial* 41
3.3.1 Identifikasi faktor tujuan yang akan dioptimalkan 41
3.3.2 Pembuatan Prototipe 41
3.3.3 Identifikasi faktor kendali dan levelnya 42
3.3.4 Penentuan Kombinasi Eksperimen 43
3.3.5 Pelaksanaan Eksperimen 43
3.4 Pengolahan Data Eksperimen 43
3.4.1 Uji Normalitas 43
3.4.2 Uji Homogenitas 44
3.4.3 Uji ANOVA 44
3.4.4 Perhitungan Nilai SNR dan Efek Tiap Faktor 44
3.4.5 Perhitungan *Multi respon signal to ratio* (MRSN) 45
3.5 Analisa dan Pembahasan 45
3.6 Kesimpulan dan Saran 46
BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA 47
4.1 Pengumpulan Data 47
4.1.1 Penentuan Objek Eksperimen 47
4.1.2 Penentuan Variabel Respon 47
4.1.3 Pembuatan Prototipe 47
4.1.4 Penentuan Faktor dan Level Eksperimen 50
4.1.5 Penentuan Kombinasi Eksperimen 51
4.1.6 Pelaksanaan Eksperimen 51
4.2 Pengolahan Data 53
4.2.1 Uji Normalitas 53
4.2.2 Uji Homogenitas 56
4.2.3 Uji ANOVA 57
4.2.4 Perhitungan Rasio S/N Terhadap Respon Waktu Pengeringan 60
4.2.5 Penentuan Efek Tiap Faktor 61
4.3 Variabel Respon Kualitas Keramik 62
4.4 Plan the Future Action 62
BAB V PEMBAHASAN 64
5.1 Analisis Pengumpulan Data 64
5.1.1 Analisis Penentuan Variabel Respon 64
5.1.2 Analisis Pembuatan Prototipe 65
5.1.3 Analisis Penentuan Faktor dan Level Eksperimen 66
5.1.4 Analisis Penentuan Kombinasi Eksperimen 66
5.1.5 Analisis Eksperimen *Full* Faktor*ial* 67
5.2 Analisis Pengolahan Data 67
5.2.1 Analisis Perhitungan Uji Normalitas 67
5.2.2 Analisis PerhitunganUji Homogenitas 68
5.2.3 Analisis Perhitungan Uji ANOVA 68
5.2.4 Analisis Perhitungan SNR dan Efek Tiap Faktor 69
5.3 Analisis *Plan the Future Action* 69
5.4 Analisis Kekurangan Penelitian 70

BAB VI PENUTUP 71
6.1 Kesimpulan 71
6.2 Saran 72
DAFTAR PUSTAKA 73
LAMPIRAN A-1

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 *State of The Art*.....9
Tabel 2. 2 *Analysis of Varian*.....25
Tabel 4. 1 Faktor kendali dan eksperimen 50
Tabel 4. 2 Kombinasi Eksperimen.....51
Tabel 4. 3 Data Waktu Pengeringan Keramik.....51
Tabel 4. 4 Data Kondisi Keramik Setelah Pengeringan.....52
Tabel 4. 5 Tabel Uji Normalitas Waktu Pengeringan Keramik 55
Tabel 4. 6 Uji Homogenitas Data Waktu Pengeringan Keramik 57
Tabel 4. 7 Hasil Perhitungan ANOVA Waktu Pengeringan Keramik.....59
Tabel 4. 8 Hasil Perhitungan SNR Waktu Pengeringan Keramik.....61
Tabel 4. 9 Parameter Optimal 61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Rak pengering keramik 2
Gambar 1. 2 *Defect* produk saat pengeringan 3
Gambar 2. 1 Kaolin 14
Gambar 2. 2 *Ball Clay* 14
Gambar 2. 3 *Stoneware* 15
Gambar 2. 4 *Earthenware* 15
Gambar 2. 5 *Fire Clay* 16
Gambar 2. 6 *Bentonite* 16
Gambar 2. 7 Partikel dan struktur tanah liat plastis 17
Gambar 2. 8 Tahap penyusutan kering tanah liat 18
Gambar 2. 9 Tahap penyusutan bakar tanah liat 19
Gambar 2. 10 *Full* Faktor*ial Design* 22
Gambar 2. 11 Arduino Uno 32
Gambar 2. 12 Modul LCD I2C 32
Gambar 2. 13 *Heater* PTC 33
Gambar 2. 14 Sensor DHT11 34
Gambar 2. 15 Blower 34
Gambar 2. 16 Adaptor 5V 2A 35
Gambar 2. 17 Adaptor 12 volt 35
Gambar 2. 18 Relay 35
Gambar 2. 19 Catu Daya 36
Gambar 2. 20 *Breadboard Power supply* 36
Gambar 2. 21 Anemometer 37
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian (A) 38
Gambar 3. 2 Diagram Penelitian (B) 39
Gambar 4. 1 Skema Prototipe 48
Gambar 4. 2 *Temp Control Heater Code* (1) 49
Gambar 4. 3 *Temp Control Heater Code* (2) 49
Gambar 4. 4 *Temp Control Heater Code* (3) 50
Gambar 4. 5 Kondisi Keramik setelah eksperimen 53
Gambar 4. 6 *Controller Inkbird* ITC-1000 62
Gambar 4. 7 *Heater* PTC 1500 W 62
Gambar 4. 8 EC Blower 63
Gambar 4. 9 Gambaran Ruangan Pengering 63
Gambar 4. 10 *Isometric View* Ruang Pengering 63
Gambar 4. 11 *Top View* Ruangan Pengering 63
Gambar 5. 1 Prototipe Ruang Pengering 65
Gambar 5. 2 Gambar Teknik Ruangan Pengering 70

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri manufaktur memegang peranan penting dalam mendukung pertumbuhan ekonomi Indonesia. Sektor ini menjadi salah satu komponen utama yang berkontribusi signifikan terhadap total *output* nasional sekaligus penggunaan energi secara keseluruhan di tingkat nasional (Supriandi & Masela, 2023). Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS), industri manufaktur menjadi sektor unggulan yang memberikan kontribusi sebesar 18,67 persen terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) pada tahun 2023, yang artinya industri sebagai pendorong utama pertumbuhan ekonomi nasional (BPS, 2024). Industri manufaktur hampir selalu menjadi fokus utama dalam strategi pembangunan negara berkembang. Sebuah negara bisa mempercepat pertumbuhan ekonominya dengan mendorong ekspansi sektor industri manufaktur, yang dinilai mampu mendukung dan menggerakkan ekonomi (Cahya & Yasin, 2024). Salah satu langkah dalam mendorong pembangunan ekonomi adalah dengan mendukung keberadaan pelaku usaha mikro, kecil, dan menengah (IKM).

Undang-Undang Nomor 20 Tahun 2008 yang mengatur tentang IKM memberikan dasar hukum yang kuat untuk menjadikan sektor ini sebagai bagian penting dari perekonomian nasional (Bernadeth & Simangunsong, 2022). IKM dianggap memiliki potensi besar untuk diberdayakan dan dikembangkan guna memberikan kontribusi nyata terhadap pertumbuhan ekonomi negara. Untuk menghadapi persaingan yang ketat dan perubahan permintaan konsumen yang beraneka ragam, perusahaan manufaktur perlu memahami kekuatan pasar serta terus mengikuti tren pasar dalam pengembangan produk, salah satunya dengan memperhatikan proses produksinya. Proses produksi yang baik akan menghasilkan produk yang berkualitas.

Di tingkat Industri Kecil dan Menengah (IKM), tantangan dalam proses produksi sering kali berasal dari kurangnya teknologi modern. Contoh kasus terjadi pada IKM Bumi Mentari Art (Buntari), Buntari berfokus pada produksi keramik *tableware* seperti cangkir, gelas, piring, dan lain-lain dengan segmentasi pasar utama yaitu restoran. Proses produksi keramik diawali dengan pencampuran tanah liat dengan silika, bentonite (tanah liat yang berasal dari batu vulkanis), dan grog (bahan tanah liat yang telah dibakar biskuit kemudian digiling halus) untuk meningkatkan plastisitas, kekuatan, serta mengurangi penyusutan. Setelah itu, tanah liat dibentuk sesuai dengan pesanan pelanggan, lalu didiamkan hingga setengah kering sebelum

memasuki tahap *trimming*, yaitu pemangkasan dan perapihan bentuk guna memastikan presisi produk. Selanjutnya, produk dikeringkan lebih lanjut agar kadar air benar-benar hilang sebelum memasuki pembakaran pertama pada suhu sekitar 800℃ selama 7-8 jam. Pembakaran ini bertujuan untuk menghilangkan sisa air dan mengubah tanah liat menjadi keras, sehingga siap untuk tahap berikutnya. Setelah melalui pembakaran pertama, produk diberi lapisan glasir yang berfungsi untuk memberikan warna, kilap, serta perlindungan pada permukaannya. Produk yang telah dilapisi glasir kemudian memasuki pembakaran kedua pada suhu 1150-1200℃ selama 8-9 jam. Proses ini bertujuan untuk menguatkan produk serta mengoptimalkan hasil glasir, menghasilkan keramik dengan kualitas yang lebih baik, siap untuk digunakan atau dipasarkan.

Salah satu tantangan yang dihadapi Buntari yaitu pada proses pengeringan (pendiaman) sebelum pembakaran pertama, dimana Buntari masih melakukan proses pengeringan keramik hanya dengan menempatkan keramik pada rak terbuka hingga kadar airnya menyusut dan siap untuk dilakukan pembakaran.



Gambar 1. 1 Rak pengering keramik

Pengeringan tersebut dapat memakan waktu sekitar 3-5 hari. Pengeringan tersebut juga mengandalkan kondisi cuaca, risiko terjadi *defect* retak juga sering terjadi. Parameter proses pengeringan perlu diteliti untuk mempersingkat masa pengeringan agar memiliki hasil produk yang berkualitas. Pengeringan dilakukan hingga kelembapan keramik tersisa 2-3% (Nait-Ali, Alzina, Lauro, & Smit, 2024). Apabila keramik masih mengandung kadar air lebih dari 3% keramik akan beresiko cacat atau *defect*. Pada tiap produksinya, Buntari memproduksi dengan menambahkan 10-15% dari jumlah permintaan untuk mengantisipasi terjadinya *defect* keramik. Namun, langkah ini justru menyebabkan pemborosan sumber daya, baik dari segi bahan baku, energi, maupun waktu, sehingga efisiensi produksi menjadi tantangan utama yang perlu diatasi.



Gambar 1. 2 *Defect* produk saat pengeringan

Permasalahan tersebut menunjukkan pentingnya menerapkan teknologi untuk meningkatkan produktivitas pada proses produksi. Penelitian ini mengusulkan penerapan sistem pengering otomatis dengan memanfaatkan prototipe model eksperimen untuk meningkatkan produktivtas dengan memperpendek waktu pengeringan dan mengurangi *defect* akibat proses pengeringan.

Metode *Design of Experiment* (DoE) adalah suatu metode matematis yang digunakan untuk mengetahui hubungan antara variable independent dan variable respon (Sabbagh, et al., 2020). DoE sendiri adalah bagian dari ilmu statistika yang berfokus pada perencanaan, pengumpulan, dan analisis data dari eksperimen untuk mendapatkan hasil yang valid dan objektif dalam bidang rekayasa. Secara umum DoE yang sering digunakan oleh Perusahaan manufaktur yaitu desain faktorial penuh pada 2 atau 3 tingkat. Desain faktorial akan membantu peneliti ntuk mempelajari efek dari faktor-faktor atau parameter dengan variabel respon (Antony, 2023). DoE digunakan untuk menentukan kombinasi parameter terbaik dalam proses pengeringan gabah dengan alat terfluidisasi (Sukardi, Syahrul, & Mirmanto, 2017). Hasil penelitian mengungkap bahwa peningkatan kecepatan aliran udara serta suhu udara pengering dapat mempercepat proses pengeringan hingga kadar air gabah mencapai 14%. Kondisi optimal ditemukan pada kecepatan udara 5 m/s dan suhu 50°C, yang membuktikan bahwa kombinasi faktor-faktor tersebut secara efektif mempercepat pengeringan sekaligus meningkatkan efisiensi proses. Sedangkan menurut Yani dan Fajrin (Yani & Fajrin, 2013), DoE diterapkan untuk mengidentifikasi kombinasi parameter optimal dalam proses pengeringan biji kopi menggunakan *solar dryer* tipe aktif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan aliran udara mempercepat laju pengeringan dibandingkan dengan metode tradisional. Pengeringan tercepat terjadi pada kecepatan udara 4,5 m/s. Hal ini membuktikan bahwa pengaturan kecepatan udara pada *solar dryer* berperan penting dalam efisiensi dan kualitas hasil pengeringan.

Dalam konteks eksperimen, penting untuk memilih uji coba yang mewakili agar dapat mengambil sampel area eksplorasi secara efektif. Setelah eksperimen dilakukan, hasilnya perlu diproses dengan metode khusus untuk mendapatkan informasi tentang dampak variabel independen terhadap variabel dependen, baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Setelah data eksperimen dikumpulkan, analisis dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh faktor-faktor tersebut terhadap respon. Salah satu metode analisis yang digunakan adalah Analisis Varians (ANOVA). ANOVA membantu menentukan apakah perbedaan rata-rata antar kelompok data hanya terjadi karena kebetulan atau disebabkan oleh faktor tertentu (Jankovic, Chaudhary, & Goia, 2021).

Dengan DoE penelitian ini akan mengkombinasikan faktor kendali pada pengeringan keramik guna meningkatkan produktivitas IKM dengan mempersingkat waktu pengeringan dan mengurangi *defect* produk. Pendekatan ini diharapkan dapat meningkatkan kualitas produk sekaligus mengurangi waktu dan biaya operasional. Dalam jangka panjang, solusi ini dapat meningkatkan kualitas produk serta memperkuat daya saing IKM melalui operasional yang lebih efisien dan berkelanjutan tetapi juga dapat menjadi model bagi IKM lain di sektor manufaktur yang menghadapi kendala serupa, sehingga berpotensi memperkuat daya saing industri manufaktur Indonesia secara keseluruhan

1.2 Rumusan Masalah

IKM Bumi Mentari Art (Buntari), yang berfokus pada pembuatan keramik *tableware*, menghadapi tantangan dalam proses pengeringan sebelum pembakaran, yang masih dilakukan secara manual tanpa kontrol lingkungan yang memadai. Hal ini menyebabkan waktu pengeringan yang tidak pasti, risiko cacat produk yang tinggi, serta pemborosan sumber daya akibat strategi overproduksi. Berdasarkan permasalahan tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Apa saja faktor yang mempengaruhi proses pengeringan keramik?
2. Bagaimana kombinasi parameter yang optimal untuk pengeringan keramik?
3. Bagaimana desain ruang pengering keramik *tableware*?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi faktor pengeringan dalam proses pengeringan keramik.
2. Menentukan kombinasi parameter optimal untuk pengeringan keramik.

3. Memberikan gambaran desain ruang pengering keramik *tableware.*

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dapat diberikan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membantu "IKM Bumi Mentari Art" untuk mengidentifikasi penyebab kegagalan pengeringan serta memberikan Solusi untuk meningkatkan produktivitas.
2. Memberikan bahan pertimbangan dan rekomendasi strategis bagi perusahaan dalam menentukan kebijakan yang tepat untuk meningkatkan kualitas dan efisiensi dalam pengeringan keramik, sehingga dapat mengoptimalkan hasil produksi, serta meningkatkan daya saing perusahaan di pasar.

1.5 Batasan Penelitian

Untuk memastikan pembahasan pada bab-bab berikut tetap fokus dan terarah serta menghindari cakupan masalah yang terlalu luas atau penyimpangan yang tidak diinginkan, diperlukan pembatasan masalah. Pembatasan ini bertujuan agar hasil analisis dapat dilakukan secara mendalam dan selaras dengan tujuan penelitian yang telah ditetapkan. Dengan demikian, penelitian akan lebih terarah dan memberikan solusi yang relevan dan aplikatif. Batasan-batasan masalah yang digunakan adalah:

1. Penelitian dilaksanakan pada tanggal 1 Desember 2024 – 29 Februari 2025.
2. Data jenis kesalahan dan faktor penyebab diperoleh berdasarkan dari hasil eksperimen dan wawancara langsung dengan pihak terkait pada "IKM Bumi Mentari Art'.
3. Penelitian ini tidak membahas biaya produksi

1.6 Sistematika Penelitian

Sistematika penulisan pada laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. BAB 1 PENDAHULUAN: Pada bab ini berisikan penjelasan umum permasalahan yang terdapat pada IKM Bumi Mentari Art yang meliputi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan penelitian serta sistematika penelitian.
2. BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA: Pada bab ini berisi kajian Pustaka dan menjelaskan teori yang akan digunakan dalam penelitian, contohnya *Design of Experiment* (DoE)
3. BAB 3 METODE PENELITIAN: Pada bab ini menjelaskan prosedur, langkah-langkah, dan metode yang diterapkan dalam penelitian. Isinya mencakup pembahasan tentang objek dan

subjek penelitian, sumber data, alat dan bahan yang digunakan, teknik pengumpulan data, pengolahan data, analisis data, serta penyajian bagan alir proses penelitian.

4. BAB 4 PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA: Pada bab ini menyajikan data dan menjelaskan proses pengolahan data sesuai dengan metode yang telah ditetapkan sebelumnya.
5. BAB 5 PEMBAHASAN: Pada bab ini membahas hasil dari pengolahan data secara kritis mengenai kekurangan desain awalan dan pembahasan perancangan desain usulan berdasarkan hasil eksperimen. Pembahasan pada penelitian ini menganalisis secara terperinci masalah berdasarkan dengan rumusan masalah serta tujuan yang telah dibuat.
6. BAB 6 PENUTUP: Pada bab ini berisi kesimpulan yang dibuat berdasarkan rumusan masalah dan tujuan penelitian yang telah ditentukan. Selain itu, bab ini juga menyajikan saran berdasarkan pengalaman peneliti yang dapat dijadikan rekomendasi untuk pengembangan penelitian di masa mendatang.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Literatur

Rumusan masalah dalam kajian ini bertujuan untuk menambah referensi terkait metode *Design of Experiment* (DoE) yang digunakan untuk mencapai solusi optimal, mengidentifikasi parameter-parameter yang akan diteliti, serta mengevaluasi kualitas hasil produk agar sesuai dengan kebutuhan dan permintaan konsumen.

Pada kajian pertama membahas pemanfaatan mikrokontroler dalam automasi alat pengering. Teknologi ini, khususnya Arduino, telah dimanfaatkan oleh berbagai peneliti untuk menyederhanakan proses pengeringan. Arduino berperan sebagai penghubung yang menerjemahkan kondisi rangkaian secara *real-time* kepada peneliti atau pengguna, sehingga meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam pengelolaan sistem pengeringan. Penelitian yang sudah memanfaatkan Arduino pada alat pengering diantaranya untuk mengontrol suhu dan kelembaban dalam proses pengeringan daun kelor (Dethan, 2024), pengeringan asam jawa (Ifmalinda, Fahmi, & Putri, 2022), pengendalian suhu ruang pengering hybrid tipe rak berputar (Setiawati, Hakim, & Sukmawaty, 2020), pengering biji kopi (Sihombing, Sumarno, Kirana, Poningsih, & Irawan, 2022), pengering bawang merah (Safitri & Simurangkir, 2024), pengering sepatu otomatis menggunakan sensor kelembaban suhu (Baskaran, Mukramin, & Sulaeman, 2024), dan pengering produk hasil pertanian (Laba, Musa, & Abdussamad, 2024).

Dalam proses pengeringan produk, optimisasi menjadi langkah penting untuk memastikan bahwa produk yang dihasilkan melewati parameter yang optimal. Berbagai penelitian sebelumnya telah mengkaji metode optimisasi menggunakan pendekatan yang beragam. Salah satu metode yang paling sering diterapkan adalah metode DoE dengan full faktorial eksperimen, yang dikenal efektif dalam menentukan solusi optimal dengan memanfaatkan faktor dan level tertentu yang disesuaikan dengan kebutuhan penelitian. Berikut ini adalah beberapa penelitian yang menggunakan Metode DoE *full* faktor*ial experiments* diantaranya pada penelitian pengoptimalan komposisi (*body formulation*) dan suhu pembakaran keramik (Teo, et al., 2021), pengeringan bawang menggunakan pipa panas (Kholikov, Jumaev, Hikmatov, & Kuvvatov, 2021), pengeringan tanaman herbal (Castillo, Baltodano, Ramírez, Vargas, & Hanley, 2020), pengeringan jus nanas-mint (Braga, Guidi, Santana, & Zotarelli, 2020); pengeringan ekstrak akar lobak (Hamedi, MehdiAfsahi, Riahi-Madvar, & Mohebbi,

2021) dan pengeringan Sugammadex, suatu bahan farmasi aktif (*Active Pharmaceutical Ingredient*, API) (Lamberto & Neuhaus, 2021).

Pada dasarnya, optimisasi yang dilakukan sangat bergantung pada variabel yang ingin diteliti serta pengaruhnya terhadap kualitas produk. Parameter yang diteliti bisa berupa suhu atau kecepatan udara. Dengan menggunakan metode DOE, peneliti dapat menemukan hasil yang optimal, yakni parameter-parameter yang paling sesuai dengan variabel respon yang telah ditentukan. Beberapa penelitian yang telah mengkaji mengenai parameter suhu pengering yaitu penelitian pengeringan produk hasil pertanian (Laba, Musa, & Abdussamad, 2024), proses pengeringan mesin pengering permen jelly (Hakim, 2024), pengaruh suhu pengeringan terhadap mutu teh cascara dari kulit kopi arabika (Ariva, Widyasanti, & Nurjanah, 2020) dan pengerndalian suhu pada mesin pengering gabah (Laksmita, Andromeda, & Triwiyatno, 2018). Dari penelitian tersebut rata-rata suhu yang dapat digunakan untuk pengeringan sekitar 30-45$°C$. Sedangkan beberapa penelitian yang telah mengkaji mengenai parameter kecepatan aliran udara yaitu penelitian tentang pengaruh variasi kecepatan dan temperatur udara terhadap waktu pengeringan gabah (Sukardi, Syahrul, & Mirmanto, 2017); pengeringan biji kopi berdasarkan variasi kecepatan udara (Yani & Fajrin, 2013), dan proses pengeringan mesin pengering permen jelly (Hakim, 2024). Penelitian tersebut menghasilkan beberapa parameter kecepatan aliran udara pada rentang 2-5m/s.

Tabel 2. 1 *State of The Art*

No	Penulis	Judul	Metode/Model				
			DOE	*Full* Faktor*ial*	ANOVA	Automasi	Rancang Bangun
1.	(Dethan, 2024)	*Automated Drying Of Moringa Leaves Using An Arduino Uno Microcontroller*				✓	
2.	(Ifmalinda, Fahmi, & Putri, 2022)	*Implementation of Arduino Uno-Based Temperature Control for Drying Tamarind (Garcinia xanthochymus)*				✓	
3.	(Setiawati, Hakim, & Sukmawaty, 2020)	Rancang Bangun Sistem Pengendalian Suhu Ruang Pengering *Hybrid* Tipe Rak Berputar Berbasis Mikrokontroler Arduino Mega				✓	
4.	(Sihombing, Sumarno, Kirana, Poningsih, & Irawan, 2022)	Rancang Bangun Alat Pengering Biji Kopi Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno				✓	✓

No	Penulis	Judul	Metode/Model				
			DOE	*Full* Faktor*ial*	ANOVA	Automasi	Rancang Bangun
5.	(Safitri & Simurangkir, 2024)	Rancang Bangun Alat Pengering Bawang Merah Berbasis Mikrokontroler				✓	✓
6.	(Baskaran, Mukramin, & Sulaeman, 2024)	Rancang Bangun Sistem Pengering Sepatu Otomatis Menggunakan Sensor Kelembaban Suhu Berbasis Arduino				✓	✓
7.	(Laba, Musa, & Abdussamad, 2024)	Rancang Bangun Model Alat Pengering Indoor Otomatis Hasil Pertanian Berbasis Arduino Uno				✓	✓
8.	(Teo, et al., 2021)	*Application of General Full* Faktor*ial Statistical Experimental Design's Approach for the Development of Sustainable Clay-Based Ceramics Incorporated with Malaysia's Electric Arc Furnace Steel Slag Waste*	✓	✓	✓		

No	Penulis	Judul	Metode/Model				
			DOE	*Full* Faktor*ial*	ANOVA	Automasi	Rancang Bangun
9.	(Kholikov, Jumaev, Hikmatov, & Kuvvatov, 2021)	*Optimization of onion drying process parameters using the full* faktor*ial experiment method*	✓	✓			
10.	(Castillo, Baltodano, Ramírez, Vargas, & Hanley, 2020)	*Design of Experiments Assessment for the Determination of Moisture Content in Five Herbal Raw Materials Contained in Tea Products*	✓	✓	✓		
11.	(Braga, Guidi, Santana, & Zotarelli, 2020)	*Production and characterization of pineapple-mint juice by spray drying*	✓	✓			

No	Penulis	Judul	Metode/Model				
			DOE	*Full* Faktor*ial*	ANOVA	Automasi	Rancang Bangun
12.	(Hamedi, MehdiAfsahi, Riahi-Madvar, & Mohebbi, 2021)	*Modeling and optimization of radish root extract drying as peroxidase source using spouted bed dryer*	✓	✓	✓		
13.	(Lamberto & Neuhaus, 2021)	*Robust Process Scale-Up Leveraging Design of Experiments to Map Robust Process Scale-Up Leveraging Design of Experiments to Map*	✓	✓			
14.	(Hakim, 2024)	Analisa Pengaruh Kecepatan Udara Panas Terhadap Kecepatan Proses Pengeringan Mesin Pengering Permen Jelly	✓				
15.	(Ariva, Widyasanti, & Nurjanah, 2020)	*The Effect Of Drying Temperature To The Quality Of Cascara Tea From Arabica Pulp (Coffea Arabica)*	✓				

No	Penulis	Judul	Metode/Model				
			DOE	*Full* Faktor*ial*	ANOVA	Automasi	Rancang Bangun
16.	(Laksmita, Andromeda, & Triwiyatno, 2018)	Pengendalian Suhu Menggunakan Kontroler Pid Pada Prototipe Mesin Pengering Fluidisasi Gabah	✓			✓	
17.	(Sukardi, Syahrul, & Mirmanto, 2017)	Pengaruh Variasi Kecepatan Dan Temperatur Udara Terhadap Waktu Pengeringan Gabah Menggunakan Alat Terfluidisasi	✓				
18.	(Arifa, 2025)	Rancang Bangun Purwarupa Ruang Pengering Keramik Pada Industri Keramik *Tableware* Untuk Meningkatkan Produktivitas IKM (Studi Kasus: IKM Bumi Mentari Art)	✓	✓	✓	✓	✓

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Jenis, Sifat, Fungsi Tanah Liat

Dalam pembentukan keramik, tanah liat harus memenuhi persyaratan tertentu karena sifatnya berpengaruh pada proses pembentukan dan hasil akhir. Keberhasilan atau kegagalan pembuatan keramik bergantung pada pemilihan dan pengolahan tanah liat yang sesuai. Berikut ini merupakan jenis atau bahan tanah liat:

1. ***Kaolin (China clay)***

   Kaolin termasuk ke dalam jenis tanah liat primer yang digunakan sebagai komponen utama pada pembuatan porselin serta pada keramik *stoneware* dan e*arthenware* putih. Fungsi *kaolin* yaitu sebagai pengikat agar keramik menjadi kuat. Sifat *kaolin* sendiri memiliki butiran yang kasar, tidak plastis, relative murni, dan warnanya putih.



Gambar 2. 1 Kaolin

2. ***Ball Clay***

   Ball Clay termasuk ke dalam jenis tanah liat sekunder yang umumnya digunakan sebagai campuran pada pembuatan keramik putih. *Ball Clay* memiliki partikel yang sangat halus sehingga kekuatan dan tingkat plastisitasnya tinggi. Sifat dari *ball clay* sendiri memiliki butiran yang halus, dan warnanya abu-abu.



Gambar 2. 2 *Ball Clay*

3. *Stoneware*

Stoneware termasuk ke dalam jenis tanah liat sekunder berbahan tanah liat refraktoris yang bersifat plastis. *Stoneware* apabila dibakar pada suhu 1250°C - 1300°C akan menghasilkan benda yang padat dan kedap air. *Stoneware* dapat langsung digunakan untuk membuat keramik tanpa campuran bahan lainnya. Sifat *stoneware* yaitu memiliki butiran yang halus, bersifat plastis, saya susut rendah, tahan api, dan warna mentahnya abu-abu, kuning kotor.



Gambar 2. 3 *Stoneware*

4. *Earthenware*

Earthenware termasuk ke dalam jenis tanah liat sekunder yang memiliki Tingkat plastisitas yang cukup dan mudah dibentuk. Kekurangan dari *earthenware* yaitu memiliki tingkat penyusutan yang tinggi dan setelah dibakar kekuatannya berkurang. Sifat *earthenware* memiliki butiran yang halus, kandungan besinya tinggi, warna mentahnya merah, coklat, abu-abu, dan hitam.



Gambar 2. 4 *Earthenware*

5. *Fire Clay*

Fire Clay termasuk ke dalam jenis tanah liat sekunder yang berfungsi sebagai bahan pembuat barang *refractory* atau barang yang tahan api. *Fire clay* dapat digunakan sebagai campuran pada produk *stoneware* atau porselin. Sifat dari *fire clay* yaitu cenderung tidak plastis, memiliki butiran yang kasar, tahan terhadap suhu tinggi, berwarna terang ke abu-abu gelap menuju ke hitam.



Gambar 2. 5 *Fire Clay*

6. *Bentonite*

Bentonite termasuk ke dalam tanah liat sekunder yang digunakan untuk menambah keplastisan keramik. *Bentonite* berasal dari pelapukan batu vulkanis. Sifat dari *bentonite* yaitu memiliki tingkat plastisitas yang tinggi, dan butirannya halus.

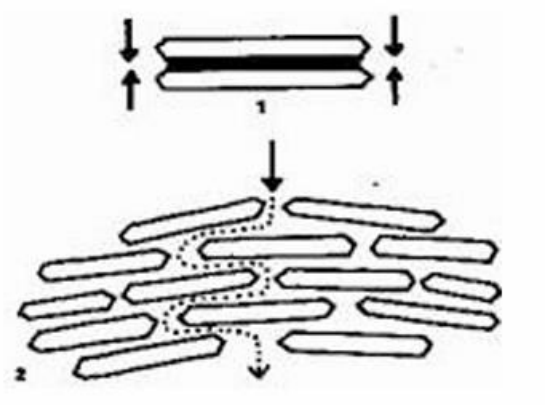


Gambar 2. 6 *Bentonite*

2.2.2 Sifat Plastis

Plastisitas tanah liat merupakan sifat yang berkaitan dengan keterikatan antar partikel tanah liat, yang dipengaruhi oleh kandungan mineral serta tingkat kehalusan butirannya. Sifat ini berperan sebagai perekat dalam proses pembentukan, sehingga benda yang dibuat tidak mudah retak, pecah, atau berubah bentuk. Plastisitas menjadi syarat utama dalam pembentukan keramik, dan untuk mencapai tingkat keplastisan yang sesuai, tanah liat sering kali perlu dicampur dengan bahan yang lebih plastis.

Ketika dua partikel tanah liat yang rata bersentuhan dan dibasahi dengan air, keduanya akan saling melekat dengan sempurna, meningkatkan plastisitas serta kekuatan material. Struktur partikel tanah liat yang tersusun seperti susunan batu bata membuatnya lebih tahan terhadap retakan



Gambar 2. 7 Partikel dan struktur tanah liat plastis

2.2.3 Susut Kering dan Susut Bakar

Tanah liat merupakan bahan utama dalam pembuatan batu bata merah yang memiliki karakteristik plastis dan mengalami penyusutan saat mengering. Sifat plastis tanah liat sangat berperan dalam mempermudah proses awal pembentukan batu bata. Namun, jika tingkat plastisitasnya terlalu tinggi, keramik yang dihasilkan akan memiliki kekuatan kering yang besar, yang dapat memengaruhi tingkat penyusutan, kekuatan akhir, serta kualitas hasil setelah proses pembakaran (Handayani, 2010).

Susut bakar merupakan perubahan ukuran atau volume suatu bahan setelah melalui proses pembakaran. Salah satu indikator terjadinya sintering adalah penyusutan yang disebabkan oleh perubahan mikrostruktur, seperti butiran dan batas butir. Tanah liat mengalami dua tahap penyusutan, yaitu penyusutan dari kondisi basah ke kering yang disebut susut kering, serta

penyusutan selama proses pembakaran yang dikenal sebagai susut bakar. Total penyusutan yang ideal susut kering dan susut bakar sebaiknya berada dalam kisaran 5%–15%. Tingkat penyusutan tanah liat bervariasi, di mana semakin tinggi plastisitasnya, semakin besar pula penyusutannya (Masthura, Palupi, & Daulay, 2019). Berikut merupakan perhitungan untuk susut kering dan susut bakar:

$$Susut\ kering = \frac{panjang\ plastis - panjang\ kering}{panjang\ plastis}\ x\ 100\% \quad (2.1)$$

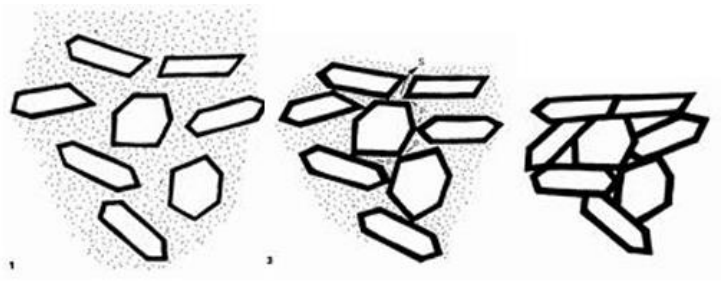
Pendekatan untuk susut volume apabila diketahui berat keramik basah dan keramik kering:

$$Susut\ volume = \frac{berat\ basah - berat\ kering}{berat\ basah}\ x\ 100\% \quad (2.2)$$

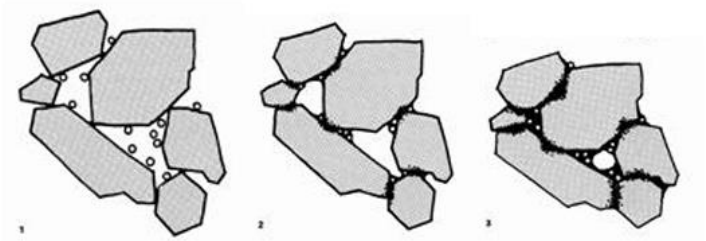
Rumus susut linear berdasarkan susut volume:

$$Susut\ linear = 1 - \left(1 - \frac{berat\ basah - berat\ kering}{berat\ basah}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (2.3)$$

$$Susut\ bakar = \frac{panjang\ plastis - panjang\ bakar}{panjang\ plastis}\ x\ 100\% \quad (2.4)$$



Gambar 2. 8 Tahap penyusutan kering tanah liat



Gambar 2. 9 Tahap penyusutan bakar tanah liat

2.2.4 *Design of Experiments* (DoE)

Design of Experiments (DoE) dikembangkan oleh Sir Ronald Fisher pada awal tahun 1920-an. DoE adalah metode penelitian yang dirancang untuk menguji dampak suatu perlakuan terhadap *output* yang dihasilkan. DoE merupakan suatu metode sistematis dalam penelitian yang digunakan untuk mengetahui hubungan antara variabel independen dan variabel respon (Sabbagh, et al., 2020). Penelitian ini digunakan untuk mengidentifikasi hubungan sebab-akibat antara dua variabel yang sedang diteliti, dengan menghilangkan pengaruh dari faktor-faktor pengganggu (Effendi, 2013). DoE mengacu pada proses perencanaan, perancangan, hingga analisis eksperimen yang menghasilkan kesimpulan yang valid dan objektif (Antony, 2023). Melalui pendekatan ini, peneliti dapat menemukan bukti yang kuat mengenai efek satu variabel terhadap variabel lainnya. Ada berbagai jenis DoE diantaranya faktor*ial designs, fractional* faktor*ial designs, full* faktor*ial designs (FFD), Plackett–Burman designs, central composite designs (Box–Wilson designs), Box–Behnken designs (BBD), Taguchi designs (TD), dan response surface designs (RSD*). Terdapat urutan proses eksperimen sebagai berikut (Antony, 2023):

1. Hipotesis yaitu membuat asumsi hasil percobaan atau eksperimen.
2. Eksperimen yaitu serangkaian percobaan untuk menyelidiki hipotesis.
3. Analisis yaitu memahami data dan melakukan analisis statistik dari data yang dikumpulkan dari percobaan.
4. Interpretasi yaitu memahami hasil dari analisis eksperimen.
5. Kesimpulan yaitu menyatakan apakah hipotesis benar atau salah.

Metode DoE memiliki 4 tahap sebagai berikut (Antony, 2023):

1. Tahap Perencanaan
    a. Pengenalan dan Perumusan Masalah

       Proses perumuskan masalah yang dibuat secara singkat dan jelas dapat membantu memperjelas pemahaman mengenai langkah-langkah yang harus diambil. isi dari rumusan masalah tersebut harus mencakup tujuan yang spesifik serta memberikan manfaat bagi perusahaan.
    b. Pemilihan respons atau karakteristik kualitas

       Pemilihan respons yang tepat untuk sangat penting untuk keberhasilan eksperimen. Sebelum melakukan eksperimen, perlu dilakukan penentuan sistem pengukuran untuk memahami apa yang harus diukur, di mana yang harus diukur, siapa yang melakukan pengukuran, dan lain-lain. Kualitas sistem pengukuran biasanya ditentukan oleh sifat statistik dari data yang dihasilkan.
    c. Pemilihan variable respons atau parameter desain

       Identifikasi variable dilakukan dengan menggunakan pengetahuan Teknik dari proses, data historis, analisis sebab akibat, dan *brainstorming*. Apabila faktor-faktor penting ditinggalkan maka hasil eksperimen tidak akurat.
    d. Klasifikasi variable proses

       Terdapat 2 klasifikasi, yaitu variable yang dapat dikontrol dan tidak dapat dikontrol. Variable control adalah variable yang dapat dikontrol oleh peneliti, sedangkan variable kebisingan (*noise variable*) adalah variable yang sulit dikendalikan dalam lingkungan produksi. Contoh cari variable kebisingan diantaranya fluktuasi suhu sekitar, kelembapan, variasi bahan baku, dan lain-lain. efek dari variable gangguan tersebut dapat diminimalkan dengan penerapan prinsip DoE yang efektif.
    e. Menentukan level variable proses

       Jumlah level tergantung pada sifat variable proses yang akan dipelajari untuk eksperimen, apakah bersifat kualitatif (jenis katalis, jenis bahan, dll) atau kuantitatif (suhu, kecepatan, tekanan, dll).
    f. Membuat kombinasi antar variable

       Proses menyusun berbagai kemungkinan pasangan atau kelompok dari faktor-faktor yang digunakan dalam suatu eksperimen. Tujuannya adalah untuk melihat bagaimana pengaruh setiap kombinasi variabel terhadap hasil (variabel respon).

2. Tahap Desain

   Desain dalam eksperimen bergantung pada jumlah faktor, jumlah Tingkat atau level, sumber daya, anggaran untuk eksperimen, dan masalah serta tujuan yang harus dicapai. Eksperimen dapat dirancang secara statistik yang dianjurkan oleh Sir Ronald Fisher, menggunakan pendekatan susunan orthogonal yang dianjurkan oleh Dr Genichi Taguchi atau menggunakan pendekatan variable oleh Dr Dorian Shainin. Pada tahap desain, penting untuk mempertimbangkan struktur dan resolusi dari desain yang akan dibuat. Pada tahap ini alangkah baiknya untuk menyiapkan matriks sebagai acuan eksperimen. Matriks tersebut memuat faktor dan level yang berbeda untuk menjalankan sebuat eksperimen.

3. Tahap Eksperimen

   Pada tahap ini eksperimen yang direncanakan dilakukan dan hasilnya akan dievaluasi. Beberapa hal yang harus dipertimbangkan sebelum melakukan eksperimen adalah sebagai berikut:

   a. Pemilihan lokasi eksperimen yang cocok. Lokasi tidak terpengaruh oleh gangguan seperti getaran, kelembapan, dan lain-lain.
   b. Ketersediaan bahan, operator, mesin dan lain-lain yang diperlukan untuk pelaksanaan eksperimen.
   c. Penilaian kelayakan untuk memverifikasi bahwa eksperimen adalah satu-satunya Solusi untuk memecahkan masalah yang ada.

   Agar eksperimen berjalan sesuai matriks yang telah dibuat, hal yang perlu diperhaikan ialah:

   a. Operator yang bertanggungjawab terhadap eksperimen harus hadir hingga eksperimen selesai. Agar terhindar dari kesalahan, disarankan untuk menggunakan operator yang sama untuk keseluruhan eksperimen.
   b. Selalu memantau eksperimen, apabila terdapat perbedaan dianjurkan untuk menghentikan eksperimen.
   c. Mencatat respon yang diamati pada lembar yang disiapkan atau langsung ke komputer.
   d. Setiap penyimpangan percobaan atau kejadian harus dicatat dan dianalisis.

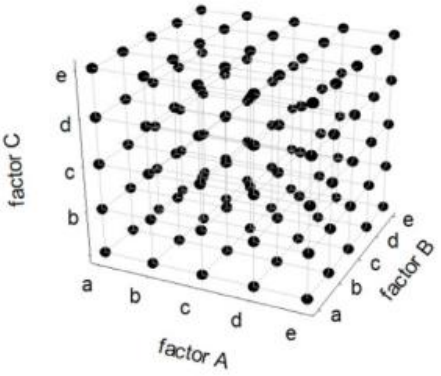
4. Tahap Analisis

   Setelah melakukan eksperimen, tahap selanjutnya adalah tahap analisis dan menafsirkan hasilnya sehingga kesimpulannya valid dan masuk akal. Dalam DoE, tujuan yang mungkin dicapai pada tahap analisis yaitu:

a. Menentukan parameter desain atau variable proses yang mempengaruhi eksperimen rata-rata.
b. Menentukan parameter desain atau variable proses yang mempengaruhi variabilitas eksperimen.
c. Menentukan kombinasi yang optimal.
d. Menentukan perbaikan yang mungkin dilakukan.

2.2.5 *Full Faktorial Design*

Desain percobaan faktorial yang mencakup semua kemungkinan kombinasi dari faktor dan level yang telah ditentukan disebut sebagai *Full Faktorial Design* (FFD). Dalam FFD, seluruh pengaruh faktor utama serta interaksi antar faktor sangat diperhitungkan.



Gambar 2. 10 *Full Faktorial Design*

Secara umum desain eksperimen yang digunakan pada perusahaan manufaktur adalah desain faktorial penuh dan fraksional pada tingkat 2 dan tingkat 3. Desain faktorial memudahkan peneliti untuk mempelajari respon dari faktor-faktor. Desain faktorial dapat berupa faktorial penuh atau fraksional. Eksperimen yang dirancang faktorial penuh memiliki kombinasi level untuk semua faktor. Jumlah total eksperimen untuk mempelajari faktor (k) pada tingkat 2 adalah (2k). desain faktorial penuh (2k) akan sangat berguna apabila jumlah parameter atau faktor kurang dari atau sama dengan 4 (Effendi, 2013).

2.2.6 Uji Normalitas

Uji normalitas yang paling sederhana dilakukan dengan membuat grafik distribusi frekuensi berdasarkan data yang ada. Pengujian ini bergantung pada kemampuan kita dalam mengamati pola penyebaran data melalui plot. Jika jumlah data cukup besar tetapi distribusinya tidak

sepenuhnya normal, maka kesimpulan yang diambil berisiko tidak akurat. Saat ini, telah banyak metode yang dikembangkan oleh para ahli untuk melakukan uji normalitas secara lebih akurat dan objektif (Usmadi, 2020). Langkah-langkah melakukan uji normalitas menggunakan *Kolmogorov Smirnov* sebagai berikut:

1. Menghitung nilai empiris (fe)

$$Fe(x) = \frac{i}{n} \tag{2.5}$$

2. Menghitung rata-rata sampel ($\bar{x}$)

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n} \tag{2.6}$$

3. Menghitung simpangan baku sampel (s)

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \tag{2.7}$$

4. Menghitung nilai z-score

$$z = \frac{x - \bar{x}}{s} \tag{2.8}$$

5. Mencari nilai Ft(x) menggunakan tabel distribusi normal kumulatif
6. Menghitung Selisih Absolut

$$D = |Fe(x) - Ft(x)| \tag{2.9}$$

7. Menentukan Nilai D Maksimum

$$Dmaks = max\ (|Fe(x) - Ft(x)|) \tag{2.10}$$

8. Menentukan Nilai Kritis Kolmogorov-Smirnov (D Kritis)

$$D_{kritis} = \frac{c(\alpha)}{\sqrt{n}} \tag{2.11}$$

9. Pengambilan Keputusan

   Jika $D_{maks} < D_{kritis}$: H0 Diterima (Data berdistribusi normal)

   Jika $D_{maks} \geq D_{kritis}$: H0 Ditolak (Data tidak berdistribusi normal)

2.2.7 Uji Homogenitas

Uji homogenitas bertujuan untuk menentukan apakah beberapa varian populasi memiliki kesamaan atau tidak. Pengujian ini merupakan prasyarat dalam analisis seperti independent sample t-test dan ANOVA. Uji homogenitas dapat dilakukan jika data yang dianalisis memiliki distribusi normal. Tujuan utama uji ini adalah memastikan bahwa perbedaan yang terdeteksi pada analisis statistik parametrik (seperti uji t, ANOVA, atau ANCOVA) benar-benar disebabkan oleh perbedaan antar kelompok, bukan akibat variasi dalam kelompok (Usmadi, 2020). Perhitungan uji homogenitas dapat dilakukan dengan berbagai cara dan metode, beberapa yang cukup populer dan sering digunakan antara lain: uji Harley, Cochran, levene dan Barlett. Uji Bartlett digunakan untuk menguji homogenitas varians 43 lebih dari dua kelompok data. Langkah-langkah uji homogenitas menggunakan uji *Barlett* sebagai berikut:

1. Menghitung dejarat kebebasan (dk) masing-masing kelompok.

$$dk = n - 1 \tag{2.12}$$

2. Menghitung varians (s) masing-masing kelompok

$$S_i^2 = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \mu)^2}{N}} \tag{2.13}$$

3. Menghitung besarnya log S^2 untuk masing-masing kelompok
4. Menghitung besarnya dk.log S^2 untuk masing-masing kelompok

$$\text{dk.log S2} = dk\ x\ LogS_i^2 \tag{2.14}$$

5. Menghitung nilai varians gabungan semua kelompok

$$S_{gab}^2 = \frac{(\sum dkS_i^2)}{\sum dk} \tag{2.15}$$

6. Menghitung nilai B (nilai Barlett)

$$B = \sum dk(logS_{gab}^2) \tag{2.16}$$

7. Menghitung nilai X^2

$$x^2 = (ln10)[B - (\sum dk \log S_i^2)] \tag{2.17}$$

8. Setelah nilai *Chi Square* hitung diperoleh, maka nila *Chi Square* tersebut dibandingkan dengan Chi-Kuadrat tabel. Kriteria Homogen ditentukan jika *Chi Square* hitung < *Chi Square* tabel.
   a. Hipotesis pengujian: $H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2 = \cdots = \sigma_n^2$

      H_1 : paling sedikit salah satu tanda tidak sama

   b. Kriteria pengujian: jika $X^2_{hitung} > X^2_{tabel}\ (1-\alpha; db = n-1)$ maka H_0 ditolak

      Jika $X^2_{hitung} < X^2_{tabel}\ (1-\alpha; db = n-1)$ maka H_0 diterima

2.2.8 Uji Analisis Varians (ANOVA)

Analisis Varians (ANOVA) adalah metode statistik untuk membandingkan rata-rata dari dua atau lebih kelompok. ANOVA termasuk pendekatan statistik parametrik yang biasa digunakan pada data interval atau rasio. Metode ini berguna untuk menguji hipotesis tentang perbedaan rata-rata dari beberapa kelompok sampel sekaligus, sambil meminimalkan risiko kesalahan. Tujuan utama ANOVA adalah memudahkan pengguna dalam menganalisis kelompok data yang berbeda dan menentukan apakah perbedaan rata-rata antar kelompok tersebut signifikan (Dewi, et al., 2023). Hasil akhir dari analisis ANOVA adalah nilai F test atau F hitung. Nilai F Hitung ini yang nantinya akan dibandingkan dengan nilai pada tabel f.

Tabel 2. 2 *Analysis of Varian*

Sumber variasi	**Derajat bebas (db)**	**SS**	**MS**	**F Hitung**	**% Kontribusi**
Faktor A	*VA*	*SSA*	*MSA*	*MSA/MSe*	*SS'A/SST*
Faktor B	*VB*	*SSB*	*MSB*	*MSB/MSe*	*SS'B/SST*
Interaksi	*VA x B*	*SSA x B*	*MSA x B*	*MSA x B/MSe*	*SS'AxB/SST*
Residual	*Ve*	*SSe*	*MSe*		*SS'e/SST*
Total	*VT*	*SST*			*100%*

Dimana:

$V_A = n_A - 1$

$V_B = n_B - 1$

$V_A \, X \, V_B = (n_A - 1)(n_B - 1)$

$V_T = n - 1$

$V_e = \ V_T - \ V_A - \ \ V_B - \ V_A \, X \, _B$

Dengan:

n_A= jumlah perlakuan untuk faktor A

n_B= jumlah perlakuan untuk faktor B

V_A= derajat kebebasan untuk faktor A

V_B=derajat kebebasa untuk faktor B

V_{AXB}= derajat kebebasan untuk interaksi faktor AxB

V_T= derajat kebebasan total

V_e= derajat kebebasan kesalahan (error)

CF = correction faktor

Langkah-langkah perhitungan analisis variansi multi faktor sebagai berikut:

1. Menghitung *Sum of Square* (SS) atau jumlah juadrat (JK)
   a. Total *Sum of Square* (SST) atau jumlah kuadrat total

$$SS_T = \left[\sum_{i=1}^{k} \sum_{j=1}^{n} {y_{ij}}^2\right] - CF \qquad (2.18)$$

Dimana:

CF = *Correction* Faktor = T^2/N

T = jumlah hasil keseluruhan pengamatan

N= jumlah pengamatan

   b. *Sum of Square* atau jumlah kuadrat untuk suatu faktor, misal faktor A

$$SS_A = \left[\sum_{i=1}^{k} \left(\frac{A_i^2}{n_A}\right)\right] - CF \qquad (2.19)$$

ssʌ = *sum of square* faktor a

ai = jumlah nilai pengamatan di bawah level ke-i fsktor a

nʌi = banyaknya data pengamatan di bawah level ke-i faktor a

ai^2 = rata-rata nilai pengamatan di bawah level ke-i faktor a

kʌ = banyaknya level faktor a

c. *Sum of Square* (SSAxB) atau jumlah kuadrat interaksi antar faktor

$$SS_{AxB} = \left[\sum_{i=1}^{k} \left(\frac{A\ X\ B}{n_{A\ x\ B}}\right)^2\right] - CF - SS_A - SS_B \quad (2.20)$$

d. *Sum of Square error* atau jumlah kuadrat kesalahan

$$SS_e = SST - SSA - SSB - SSinteraksi \quad (2.21)$$

2. Menghitung *degree of freedom* (df) atau derajat bebas

a. *Degree of Freedom total* (dfT)

$$df_T = N - 1 \quad (2.22)$$

b. *Degree of Freedom* suatu faktor

$$df_A = K_A - 1 \quad (2.23)$$

c. Degree of Freedom Error

$$df_e = df_T - df_{faktor} \quad (2.24)$$

3. Menghitung *mean of square* (Mq)

$$Mq_A = \frac{SSA}{df_A} \quad (2.25)$$

4. Menghitung F ratio

$$F_{ratio} = \frac{Mq}{M_{qe}} \quad (2.26)$$

5. Menghitung *pure of square* (SS')

$$SS' = SS - (df\ x\ M_{qe}) \quad (2.27)$$

6. Menghitung persen kontribusi (P) faktor A

$$P = \left[\frac{SS\prime}{SS_T}\right] x100\% \quad (2.28)$$

2.2.9 *Ratio Signal to Noise* (S/N Rasio)

Signal to noise ratio (SNR) digunakan pada eksperimen yang melibatkan banyak faktor, seperti eksperimen multifaktor. SNR biasanya dinyatakan sebagai angka tunggal dalam satuan desibel (dB), dengan rasio yang lebih tinggi mengindikasikan kualitas sinyal yang lebih baik (Widyastuti, 2023). Terdapat beberapa jenis S/N Ratio yaitu:

1. SN *ratio smaller the better* (STB)

   Karakteristik kualitas menunjukkan bahwa semakin tinggi nilainya, semakin baik kualitasnya. Namun, dalam menentukan level faktor optimal, nilai S/N Ratio yang terbesar tetap menjadi pilihan (Belavendram, 1995).

   Nilai S/N untuk STB adalah:

$$\frac{S}{N_{STB}} = -10.\log_{10}\left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i^2\right] \quad (2.29)$$

   Dimana:

   n = jumlah tes didalam percobaan

   yi = nilai respon dari suplikan ke-i untuk jenis eksperimen tertentu

2. SN *ratio nominal the better* (NTB)

   Karakteristik kualitas ini ditentukan oleh suatu nilai nominal tertentu, di mana kualitasnya dianggap semakin baik jika nilainya semakin mendekati nilai nominal tersebut.

   Nilai S/N untuk NTB adalah:

$$\eta = 10\log_{10}\left[\frac{\mu^2}{\sigma^2}\right] \quad (2.30)$$

$$\mu = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(yi - \mu)^2 \quad (2.31)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(yi - \mu)^2 \quad (2.32)$$

Dimana:

η = *signal to noise ratio* yang memiliki satuan decibel

n = jumlah tes di dalam percobaan (trial)

yi = nilai respon dari suplikan ke-I untuk jenis eksperimen tertentu

3. SN *ratio large the better* (LTB)

$$\frac{S}{N_{LTB}} = -10.\log_{10}\left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{y_i^2}\right] \quad (2.33)$$

2.2.10 Efek Tiap Faktor

Perhitungan efek setiap faktor kendali bertujuan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi desain kualitas produk, sehingga hasil akhir dapat mendekati target yang diinginkan. Proses ini juga membantu menentukan parameter terbaik untuk mencapai target tersebut. Analisis dapat dilakukan dengan menghitung rata-rata efek dari masing-masing faktor, baik berdasarkan nilai respon langsung maupun nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR), yang menjadi data penting untuk analisis lanjutan. Rumus untuk menghitung efek tiap-tiap faktor pada level tertentu adalah:

$$efek\ faktor = \frac{1}{a}(\sum \eta_0) \quad (2.34)$$

Dimana:

0 = nomor eksperimen yang akan mempunyai 1 level yang sama

a = jumlah munculnya tiap level dalam suatu kolom matriks orthogonal

η = SNR yang digunakan

2.2.11 *Multi Respon Signal to Noise* (MRSN)

Multi Respon Signal to Noise diterapkan ketika terdapat lebih dari satu variabel respon yang harus dianalisis, minimal dua variabel. Setiap variabel respon mungkin memiliki kombinasi faktor optimal yang berbeda, sehingga diperlukan analisis tambahan untuk menemukan solusi terbaik yang dapat memenuhi kebutuhan semua variabel secara bersamaan. Biasanya, metode ini menggunakan pendekatan gabungan, seperti normalisasi atau pembobotan, untuk menyatukan berbagai respon menjadi satu indeks kinerja. Langkah-langkah yang sistematis

dalam melakukan eksperimen multi respon dengan menggunakan MRSN terdiri dari beberapa tahapan yaitu:

1. Menghitung *quality loss* untuk setiap karakteristik kualitas:
   a. *Large is better*

$$L_y = k \sum_{k=1}^{n_i} \frac{1}{y_{ijk}^2} \quad (2.35)$$

   b. *Nomimal The Best*

$$L_y = k \frac{1}{n_i} \sum_{k=1}^{n_i} (y_{ijk} - m)^2 \quad (2.36)$$

   c. *Smaller The Best*

$$L_{ijk} = k \frac{1}{n_i} \sum_{k=1}^{n_i} y_{ijk}^2 \quad (2.37)$$

Dimana:

L_y = *quality loss* untuk respon ke-I, trial ke-j

L_{ijk} = data untuk respon ke-I, replikasi ke-k

n_i = replikasi untuk respon ke-i

k = koefisien dari *quality loss*

m = nilai target

2. Menentukan nilai *respon to noise* ratio (MRSN)
   a. Menentukan *quality loss* maksimum untuk tiap respon
   b. Normalisasi *quality loss* tiap eksperimen

$$C_{ij} = \frac{L_{ij}}{L_i} \quad (2.38)$$

Dimana:

C_{ij} = *normalized quality loss* untuk respon ke-I, pada trial ke-j

L_{ij} = max $\{L_{i1}, L_{i2}, \dots, L_{ij}\}$

   c. Menghitung *total normalized quality loss* (TNQL) setiap eksperimen.

$$TQNL_i = \sum_{i=1}^{m} w_i x C_{ij} \quad (2.39)$$

Dimana:

w_i = bobot normalisasi respon ke-i

d. Menghitung MRSN ratio setiap eksperimen

$$MRSN_j = -10 \log(TNQL_j) \quad (2.40)$$

3. Menentukan kombinasi level faktor yang optimal berdasarkan nilai MRSN terbesar, berikut tahapannya:
   a. Membuat tabel respon dan grafik respon dari MRSN.
   b. Menentukan faktor kontrol yang memiliki efek yang signifikan terhadap MRSN.
   c. Menentukan level optimal dari faktor kontrol berdasarkan nilai MRSN terbesar.
4. Melakukan eksperimen konfirmasi

   Hasil eksperimen konfirmasi digunakan untuk memastikan apakah level faktor optimal yang diperoleh dapat diterapkan secara luas dalam skala industri.

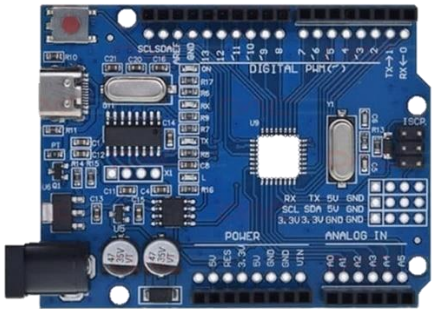
2.2.12 Rancang Bangun

Rancang bangun sistem adalah sebuah proses yang bertujuan untuk menerjemahkan desain sistem ke dalam bentuk kode pemrograman. Proses ini bertujuan untuk menjabarkan secara detail bagaimana setiap komponen sistem diimplementasikan. Sementara itu, pembangunan sistem merujuk pada kegiatan menciptakan sistem baru, memperbaiki, atau menggantikan sistem yang sudah ada, baik secara keseluruhan maupun sebagian. Dalam pelaksanaannya, rancang bangun melibatkan tahap perencanaan dan pembangunan sistem yang terintegrasi, sehingga memungkinkan pengembangan sistem yang lebih terstruktur dan efisien (Surahman, Prastowo, & Aziz, 2022).

2.2.13 Arduino Uno

Arduino Uno merupakan salah satu jenis dari Arduino *Microcontroller*, Dimana benda ini salah satu *open-source* yang dapat diprogram dengan mudah dan dapat diperbarui kapan saja. Arduino pertama kali diperkenalkan pada tahun 2005. *Microcontroller* Arduino awalnya dirancang untuk profesional dan pelajar untuk mengembangkan perangkat yang dapat berinteraksi dengan lingkungan menggunakan sensor. *Microcontroller* Arduino memiliki input dan output yang dapat digunakan untuk mendapatkan informasi, dan berdasarkan data yang

diterima, Arduino dapat mengirimkan output. *Microcontroller* Arduino juga dapat mengirimkan dan menerima data melalui internet menggunakan permintaan HTTP (Ismailov & Jo‘rayev, 2022).



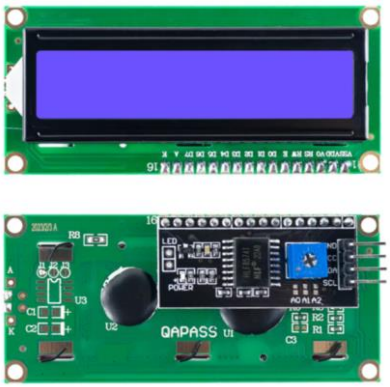
Gambar 2. 11 Arduino Uno

2.2.14 Modul LCD

LCD merupakan istilah singkatan dari *Liquid Crystal Display* yang tergolong dalam jenis komponen elektronika dengan fungsi sebagai perangkat tampilan yang memuat informasi berupa data baik karakter, huruf, atau grafik. Secara penamaan, disebut dengan *Liquid Crystal Display* dikarenakan perangkat ini memanfaatkan silikon dan galium dalam bentuk kristal cair sebagai elemen pengendali cahaya (Jupita, Tio, Rifaini, Saputri, & Fahrizal, 2021)

Biasanya pada perangkat LCD sudah *include* modul I2C yang terpasang dibelakang LCD untuk mempermudah koneksi, sehingga hanya perlu 4 pin:

1. VCC: *Power supply* (5V atau 3.3V tergantung modul).
2. GND: *Ground*.
3. SDA: *Data serial* (koneksi ke pin SDA mikrokontroler, biasanya A4 pada Arduino UNO).
4. SCL: *Clock serial* (koneksi ke pin SCL mikrokontroler, biasanya A5 pada Arduino UNO).



Gambar 2. 12 Modul LCD I2C

2.2.15 *Heater* PTC

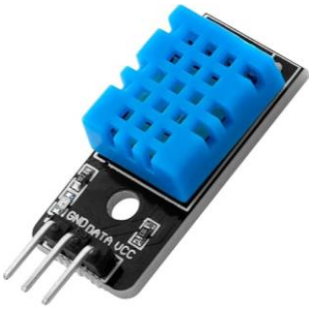
Heater PTC (*Positive Temperature Coefficient*) 12V adalah perangkat pemanas yang menggunakan elemen pemanas berbahan dasar keramik dengan karakteristik resistansi yang meningkat seiring dengan kenaikan suhu. *Heater* ini dirancang untuk bekerja dengan tegangan suplai sebesar 12 volt dan umumnya digunakan pada berbagai aplikasi pemanasan kecil. *Heater* PTC 12V banyak digunakan pada perangkat seperti pengering, alat pemanas udara, dan aplikasi lainnya yang memerlukan pemanasan yang konsisten dan efisien.



Gambar 2. 13 *Heater* PTC

2.2.16 Sensor DHT11

DHT11 adalah sensor yang dirancang untuk mengukur suhu dan kelembapan udara di sekitar dengan tingkat stabilitas dan akurasi kalibrasi yang tinggi. Sensor ini memiliki keunggulan dalam hal respons yang cepat, kemampuan pembacaan data yang andal, serta ketahanan terhadap gangguan (anti-interference) (Pratifi, Sasongko, & Afandi, 2024). Dengan desain yang kompak, DHT11 mampu mentransmisikan sinyal hingga jarak 20 meter, menjadikannya mudah digunakan untuk berbagai kebutuhan pengukuran suhu dan kelembapan. Sensor ini bekerja dengan tegangan suplai sebesar 5 V dan memiliki konsumsi daya maksimum rata-rata sekitar 0,5 mA, sehingga tergolong hemat energi. Dengan karakteristik tersebut, DHT11 sangat cocok digunakan dalam aplikasi yang memerlukan pengukuran suhu dan kelembapan secara efisien dan andal.



Gambar 2. 14 Sensor DHT11

2.2.17 Blower

Blower 12V adalah perangkat yang berfungsi untuk menggerakkan aliran udara menggunakan kipas yang didesain untuk bekerja dengan sumber daya listrik bertegangan 12V. Blower ini umumnya digunakan untuk pendinginan atau ventilasi udara pada berbagai aplikasi, seperti perangkat elektronik, sistem pendinginan, atau pengeringan. Blower ini juga dapat dikontrol kecepatan putarannya menggunakan modul PWM (*Pulse Width Modulation*), yang memungkinkan pengaturan aliran udara sesuai kebutuhan. Dalam sistem pengering otomatis, blower digunakan untuk mendinginkan suhu ruangan atau membantu distribusi panas secara merata, sehingga mempercepat proses pengeringan.



Gambar 2. 15 Blower

2.2.18 Adaptor

Adaptor adalah perangkat yang berfungsi sebagai sumber daya listrik. Adaptor ini dirancang untuk mengubah tegangan listrik dari sumber AC (arus bolak-balik), seperti stopkontak rumah, menjadi tegangan DC (arus searah) yang stabil dan sesuai untuk perangkat elektronik. Adaptor ini sering digunakan pada perangkat yang membutuhkan suplai daya stabil, seperti mikrokontroler (Arduino), modul sensor, perangkat IoT, dan alat-alat elektronik lainnya.



Gambar 2. 16 Adaptor 5V 2A



Gambar 2. 17 Adaptor 12 volt

2.2.19 Relay

Relay merupakan komponen elektronik yang berfungsi sebagai saklar elektrik yang dioperasikan secara otomatis. Dalam sistem kontrol suhu, relay digunakan untuk mengatur aliran arus listrik ke pemanas (*heater*) berdasarkan sinyal dari Arduino. Prinsip kerja relay melibatkan kumparan elektromagnetik yang akan menarik kontak mekanis untuk menutup (on) atau membuka (off) rangkaian. Ketika suhu yang terdeteksi oleh sensor, seperti DHT11 mencapai nilai yang telah ditentukan, arduino akan mengirimkan sinyal logika ke relay. Sinyal ini mengaktifkan kumparan elektromagnetik pada relay, sehingga kontak terhubung dan *heater* menyala. Sebaliknya, ketika suhu melampaui batas target, Arduino memutus sinyal ke relay, sehingga kontak terbuka dan *heater* mati.



Gambar 2. 18 Relay

2.2.20 Catu Daya

Catu daya 12V adalah perangkat yang berfungsi untuk mengubah tegangan AC (arus bolak-balik) dari sumber listrik utama menjadi tegangan DC (arus searah) yang stabil dengan keluaran 12 volt. Catu daya ini merupakan komponen penting dalam sistem elektronik yang memerlukan suplai daya konstan untuk menghidupkan berbagai perangkat berbasis tegangan 12V. Catu daya ini umumnya memiliki desain berbentuk kotak dengan rangka logam berlubang untuk mendukung ventilasi dan mencegah overheating. Terminal inputnya terdiri dari konektor untuk arus AC, yaitu L (Live), N (Neutral), dan Ground. Sementara itu, terminal outputnya menyediakan arus DC dengan koneksi positif (+) dan negatif (-). Dalam sistem elektronik, catu daya ini sering digunakan untuk mengoperasikan perangkat seperti motor DC, blower, *heater* PTC, dan perangkat kontrol berbasis Arduino. Keunggulannya adalah kemampuan untuk menyediakan daya stabil, melindungi perangkat dari lonjakan tegangan, dan mendukung berbagai kebutuhan daya dengan kapasitas arus yang bervariasi, misalnya 2A, 5A, atau lebih.



Gambar 2. 19 Catu Daya

2.2.21 *Breadboard Power supply*

Breadboard Power supply 5V/3.3V adalah modul yang digunakan untuk memberi listrik ke rangkaian di *breadboard*, khususnya saat membuat proyek dengan Arduino. Alat ini bisa menyediakan dua jenis tegangan, yaitu 5 volt dan 3.3 volt, yang sering dibutuhkan oleh berbagai komponen elektronik. modul ini memiliki dua jalur keluaran yang dapat disesuaikan, serta dilengkapi dengan konektor input seperti *jack barrel* atau *header* untuk sumber daya eksternal (misalnya adaptor 9V atau USB).



Gambar 2. 20 *Breadboard Power supply*

2.2.22 Anemometer

Anemometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan dan arah angin. Dalam konteks penelitian atau eksperimen seperti pengeringan keramik, anemometer digunakan untuk memastikan bahwa kecepatan aliran udara dari blower sesuai dengan yang dibutuhkan, misalnya 3 m/s, 4 m/s, atau 5 m/s. Ada beberapa jenis anemometer, namun yang umum digunakan untuk eksperimen laboratorium atau industri kecil adalah anemometer digital dengan sensor baling-baling atau kipas kecil. Alat ini akan menunjukkan angka kecepatan angin secara langsung dalam satuan m/s (meter per detik) atau km/jam.

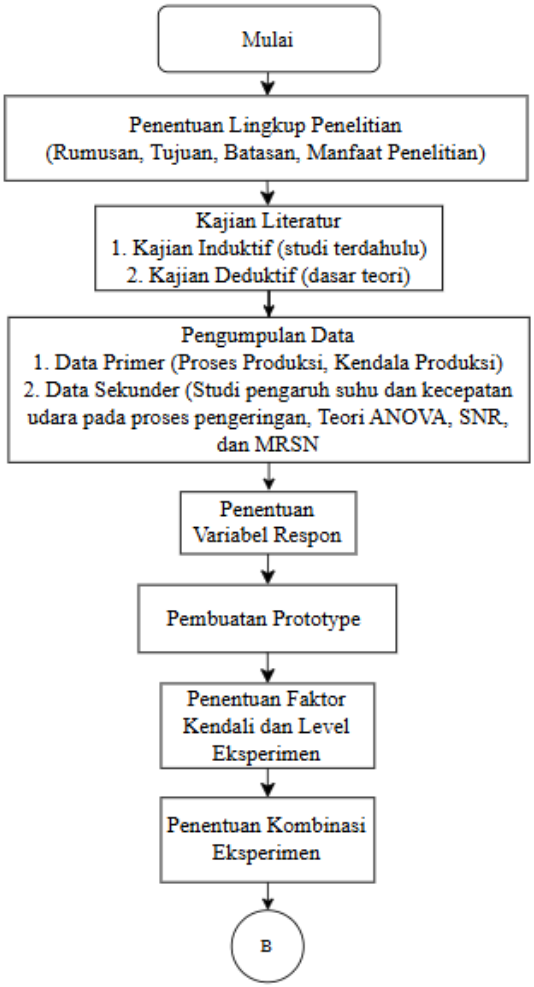


Gambar 2. 21 Anemometer

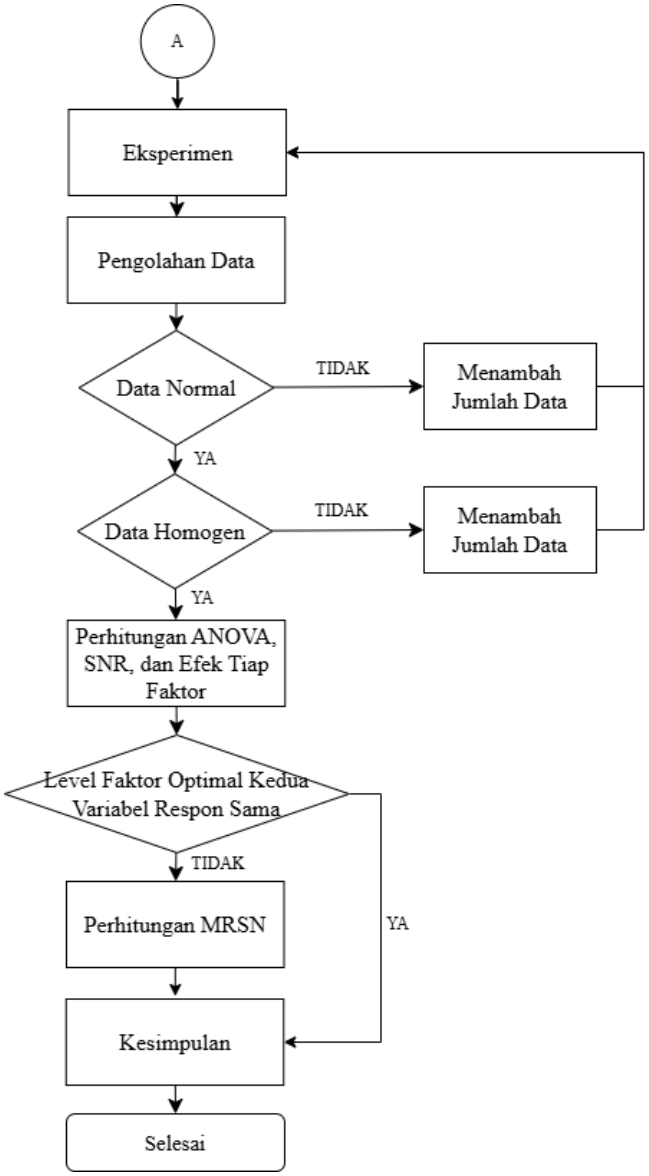
BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Penelitian

Diagram alir penelitian adalah gambaran langkah-langkah penelitian secara berurutan. Dengan adanya diagram ini, proses penelitian jadi lebih terarah dan mempermudah dalam menyusun laporan. Berikut merupakan langkah-langkah penelitian yang akan dilaksanakan:



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian (A)



Gambar 3. 2 Diagram Penelitian (B)

3.2 Pengumpulan Data

3.2.1 Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data adalah proses memperoleh data yang diperlukan untuk keperluan penelitian. Langkah ini merupakan bagian yang sangat penting dalam metode ilmiah, karena data yang dikumpulkan umumnya digunakan untuk menguji hipotesis yang telah dirumuskan sebelumnya. Pengumpulan data menjadi elemen krusial dalam penelitian, karena kualitas dan ketepatan data yang dikumpulkan akan sangat memengaruhi hasil penelitian. Adapun teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Wawancara

   Pengumpulan data dengan metode wawancara dalam penelitian ini dilakukan dengan cara tanya jawab secara langsung kepada owner maupun pekerja di lapangan untuk mendapatkan informasi yang dibutuhkan terkait dengan permasalahan yang diteliti. Informasi yang diperoleh yaitu berupa jenis-jenis tanah liat yang digunakan, proses pembuatan, lama waktu pengeringan, dan lain-lain
2. Observasi dan Eksperimen

   Observasi adalah teknik pengumpulan data yang dilakukan dengan mengamati secara langsung objek yang di eksperimen. Observasi didefinisikan sebagai proses pemilihan, pencatatan, pengubahan, dan pengodean serangkaian perilaku serta kondisi yang terkait. Dalam penelitian ini, teknik observasi dilakukan dengan mengamati langsung untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi hasil pengeringan keramik. Selain itu, percobaan dilakukan berdasarkan kombinasi level faktor yang telah dirancang yang dipilih.
3. Studi Pustaka

   Studi pustaka dilakukan untuk memperluas wawasan dan pemahaman mengenai berbagai konsep yang menjadi dasar atau pedoman dalam proses penelitian. Teknik ini juga digunakan sebagai metode pengumpulan data sekunder untuk mendukung penelitian. Studi pustaka melibatkan pengumpulan informasi dari berbagai sumber, buku, dan karya ilmiah dari penelitian sebelumnya, yang berkaitan dengan alat pengering, suhu yang digunakan, kecepatan aliran udaranya dan penerapan metode DoE. Tujuan dari studi pustaka ini adalah untuk menemukan fakta dan memahami konsep metode yang digunakan dalam penelitian.
4. Dokumentasi

   Dokumentasi adalah teknik non-interaksi yang digunakan oleh peneliti untuk memperkuat data yang telah diperoleh. Dalam penelitian ini, dokumentasi dilakukan selama proses observasi dan eksperimen, untuk mencatat dan merekam setiap langkah serta hasil yang relevan dengan penelitian.

3.2.2 Jenis dan Sumber Data

Sumber data merupakan elemen yang sangat penting dalam penelitian, karena data tersebut akan digunakan untuk mengolah informasi dan menghasilkan analisis serta kesimpulan dari penelitian yang dilakukan. Sumber data dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu data primer dan data sekunder.

1. Data Primer

   Data primer adalah data yang diperoleh langsung oleh peneliti melalui eksperimen yang telah dilakukan. Data ini dikumpulkan untuk menjawab rumusan masalah dalam penelitian. Pengumpulan data primer merupakan bagian internal dari proses penelitian yang sering kali diperlukan untuk mendukung pengambilan Keputusan. Dalam penelitian ini, data primer yang digunakan mencakup catatan hasil wawancara, hasil observasi lapangan, dan data eksperimen yang relevan. Data primer yang digunakan dalam penelitian ini meliputi wawancara mengenai permasalahan IKM, proses produksi keramik, serta data hasil observasi eksperimen yang mencakup kombinasi suhu dan kecepatan aliran udara yang paling efisien untuk proses produksi.

2. Data Sekunder

   Data sekunder adalah data yang diperoleh atau dikumpulkan oleh peneliti dari sumber-sumber yang sudah ada sebelumnya. Data ini digunakan untuk memperkuat informasi yang telah diperoleh dari data primer dan biasanya bersumber dari bahan pustaka, literatur, penelitian terdahulu, buku, dan sebagainya.

3.3 Perancangan Experimen *Full* Faktor*ial*

3.3.1 Identifikasi faktor tujuan yang akan dioptimalkan

Setelah karakteristik kualitas dan faktor noise ditentukan serta metode pengukurannya jelas, langkah selanjutnya adalah mengidentifikasi faktor tujuan atau variabel respon. Secara umum, setiap karakteristik kualitas memiliki suatu target yang ingin dicapai. Respon atau karakteristik kualitas biasanya dapat diukur dan dibandingkan dengan standar yang telah ditetapkan. Respon ini mencerminkan parameter performa yang menunjukkan keberhasilan eksperimen yang dilakukan. Dalam penelitian ini, respon yang digunakan adalah waktu pengeringan yang singkat, dan kadar air produk sesuai dengan standar.

3.3.2 Pembuatan Prototipe

Prototipe adalah sebuah model percobaan atau versi awal dari produk, sistem, atau ide yang dibuat untuk menguji dan menunjukkan bagaimana desain akhir akan bekerja. Pembuatan prototipe bertujuan untuk mendapatkan masukan awal dari pengguna atau penguji, sehingga memungkinkan perbaikan atau pengembangan lebih lanjut sebelum memproduksi versi final. Prototipe dapat berbentuk model fisik, digital, atau interaktif, sesuai dengan jenis produk atau

sistem yang sedang dikembangkan. Pada penelitian ini prototipe yang dibuat adalah ruang pengering keramik dalam skala kecil, komponen yang digunakan antara lain heater, blower, sensor DHT11, *Power supply*, relay, Adaptor, Arduino Uno, Box Akrilik, dan lain-lain.

3.3.3 Identifikasi faktor kendali dan levelnya

Faktor terkontrol (*control* faktors) adalah faktor-faktor yang nilainya dapat diatur atau dikendalikan, atau faktor yang ingin kita atur atau kontrol. Setelah mengetahui variabel respon, seperti waktu pengeringan dan kondisi keramik, langkah berikutnya adalah menentukan faktor kendali dan level faktor yang dapat memengaruhi kedua variabel tersebut. Dalam proses pengeringan keramik, terdapat banyak faktor yang dapat dijadikan sebagai faktor kendali dalam eksperimen. Beberapa di antaranya adalah jenis lempung dan kadar air awal, di mana komposisi bahan dasar serta jumlah air yang dikandung keramik sangat memengaruhi kecepatan dan kestabilan proses pengeringan (Sudarnanto, 2022). Selain itu, temperatur udara sekitar juga berperan penting, karena suhu lingkungan dapat mempercepat atau memperlambat laju evaporasi. Faktor cuaca dan intensitas matahari, khususnya pada sistem pengeringan terbuka, turut memberikan pengaruh besar terhadap hasil akhir pengeringan. Dimensi dan ukuran produk keramik juga menentukan lamanya waktu pengeringan, karena produk yang lebih besar atau lebih tebal membutuhkan waktu lebih lama untuk benar-benar kering. Di samping itu, suhu udara dalam ruang pengering dan kecepatan udara pengeringan menjadi faktor teknis yang sangat krusial, suhu udara yang lebih tinggi menyediakan energi lebih besar untuk evaporasi, sementara kecepatan udara membantu membawa uap air keluar dari permukaan keramik secara lebih efektif.

Pemilihan suhu udara sebagai faktor kendali didasarkan pada fakta bahwa semakin tinggi suhu, semakin banyak energi panas yang tersedia untuk mengubah air menjadi uap, sehingga proses pengeringan dapat berlangsung lebih cepat. Meski begitu, pengaturan suhu harus dilakukan dengan baik agar tidak menyebabkan keretakan akibat pengeringan yang terlalu cepat.

Sementara itu, kecepatan aliran udara memiliki peranan penting dalam mengangkut uap air yang telah menguap keluar dari ruang pengeringan. Semakin cepat aliran udara, maka proses evaporasi juga semakin meningkat karena uap air lebih cepat dibawa keluar dari permukaan keramik ke lingkungan. Hal ini membantu mempercepat proses pengeringan sekaligus menjaga distribusi suhu yang merata di dalam ruang pengering.

Ditentukanlah 2 faktor kendali yaitu suhu udara dan kecepatan udara pengeringan untuk eksperimen pada penelitian ini. Pada pemilihan level dilakukan berdasarkan penelitian terdahulu yang menghasilkan rata-rata pada eksperimen *full factorial* memiliki 3 level pada setiap faktor kendalinya.

3.3.4 Penentuan Kombinasi Eksperimen

Penentuan kombinasi yang tepat bergantung pada jumlah faktor, interaksi yang diharapkan, dan nilai level dari tiap faktor. Penting untuk mempertimbangkan jumlah level dari faktor yang diamati. Karena dalam penelitian ini digunakan 2 faktor dengan 3 level, maka kombinasi eksperimen yang dipilih yaitu ($\mathbf{3^2}$) atau full faktorial, dengan mengkombinasikan seluruh faktor kendali dan level faktornya.

3.3.5 Pelaksanaan Eksperimen

Pelaksanaan eksperimen dilakukan sesuai dengan jumlah kombinasi yang didapatkan, serta jumlah percobaan disesuaikan dengan jumlah replikasi dan urutan yang telah diacak. Pada tahap ini, eksperimen dilaksanakan dan data dikumpulkan dengan menggunakan 2 faktor kendali yang memiliki 3 level, serta 2 replikasi dalam proses pengeringan keramik. Hasil eksperimen berupa lama waktu pengeringan keramik, kemudian akan diolah dan dianalisis.

3.4 Pengolahan Data Eksperimen

Dalam pengolahan data hasil eksperimen, beberapa uji statistik dilakukan untuk menganalisis data secara lebih mendalam. Uji statistik yang diterapkan meliputi uji normalitas, uji homogenitas, uji ANOVA. Selain uji statistik, perhitungan *Signal to Noise Ratio* (SNR) juga dilakukan untuk menentukan kombinasi level optimal, dan Multi Response Signal to Noise Ratio (MRSN) digunakan untuk mencari kombinasi level faktor pada multi respon. Berikut adalah penjelasan mengenai masing-masing tahapan pengolahan data hasil eksperimen.

3.4.1 Uji Normalitas

Uji normalitas bertujuan untuk menentukan apakah distribusi data mengikuti atau mendekati distribusi normal, yang merupakan syarat untuk penggunaan statistik parametrik. Jika analisis menggunakan metode parametrik, maka persyaratan normalitas harus dipenuhi, yaitu data yang digunakan harus berasal dari distribusi normal. Setelah hasil eksperimen dengan replikasi yang

telah ditentukan diperoleh untuk masing-masing respon, langkah selanjutnya adalah melakukan uji normalitas.

Dalam penelitian ini, data yang diuji menggunakan uji normalitas adalah data dari waktu pengeringan yang diperoleh dari kombinasi eksperimen yang telah ditentukan pada tahap penelitian sebelumnya. Uji normalitas bertujuan untuk memastikan bahwa data yang diperoleh berdistribusi normal, sehingga dapat dilanjutkan dengan uji homogenitas.

3.4.2 Uji Homogenitas

Uji homogenitas adalah prosedur statistik yang digunakan untuk memastikan bahwa dua atau lebih kelompok data sampel berasal dari populasi dengan variansi yang serupa. Dengan kata lain, homogenitas menunjukkan bahwa data yang diteliti memiliki karakteristik yang konsisten. Pengujian ini bertujuan untuk memberikan keyakinan bahwa data yang dikumpulkan dalam analisis berasal dari populasi yang memiliki tingkat variasi yang tidak terlalu berbeda.

Dalam penelitian ini, data yang diuji menggunakan uji homogenitas adalah data dari waktu pengeringan yang diperoleh dari kombinasi eksperimen yang telah ditentukan pada tahap penelitian sebelumnya. Uji homogenitas bertujuan untuk memastikan bahwa data yang diperoleh bersifat homogen, sebelum dilanjutkan dengan uji ANOVA.

3.4.3 Uji ANOVA

ANOVA (*Analysis of Variance*) adalah uji komparasi multivariabel yang digunakan untuk menguji apakah terdapat perbedaan rata-rata antara tiga kelompok atau lebih dengan cara membandingkan variansinya. ANOVA dapat diterapkan untuk menganalisis sejumlah sampel, baik yang memiliki jumlah data yang sama pada tiap kelompok maupun yang jumlah datanya berbeda. Dalam penggunaan ANOVA, data penelitian harus dikelompokkan berdasarkan kriteria tertentu. Sampel yang berbeda dianalisis berdasarkan variabilitasnya, yang diukur dengan nilai variansi dan simpangan baku (*standard deviation*).

3.4.4 Perhitungan Nilai SNR dan Efek Tiap Faktor

Setelah dilakukan uji normalitas dan uji homogenitas, serta dipastikan bahwa data hasil eksperimen berdistribusi normal, langkah selanjutnya adalah perhitungan nilai SNR dan efek tiap faktor. Nilai SNR dihitung berdasarkan karakteristik yang ditentukan, seperti LTB (*Lower-the-Better*), STB (*Smaller-the-Better*), atau NTB (*Nominal-the-Best*). Perhitungan efek tiap

faktor kendali dilakukan untuk menilai sejauh mana setiap faktor mempengaruhi pengurangan noise dalam setiap respon yang telah ditentukan. Jika eksperimen melibatkan multi-respon, yang memiliki lebih dari satu variabel respon, maka kombinasi optimal untuk setiap variabel respon bisa berbeda. Oleh karena itu, diperlukan analisis lebih lanjut menggunakan perhitungan *Multi Response Signal to Ratio* (MRSN).

3.4.5 Perhitungan *Multi respon signal to ratio* (MRSN)

Dari nilai MRSN, setiap prediksi hasil eksperimen dihitung berdasarkan nilai terbesar, yang kemudian digunakan untuk menentukan kondisi optimal pada eksperimen multi-respon. Setelah memperoleh kondisi optimal, eksperimen konfirmasi dilakukan untuk memverifikasi hasilnya. Dalam perhitungan MRSN, langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Menghitung *Quality loss* untuk menentukan *Quality loss* maksimum untuk tiap respon *Quality loss* digunakan untuk mengevaluasi atribut dan fungsi kerugian pada setiap respon yang berbeda.
2. Menghitung Normalisasi *Quality loss*
3. Dalam mengurangi variabilitas dibutuhkan normalisasi skala *Quality loss* setiap respon. Penurunan kualitas yang ternormalisasi berkisaran antara 0 hingga 1. Dengan begitu *Quality loss* disetiap respon dapat secara langsung dijumlahkan.
4. Menghitung Total *Normalized Quality loss* (TNQL)
5. Menghitung jumlah dari normalisasi masing-masing respon, dengan mempertimbangkan seberapa penting dan dominannya setiap respon, yang dilakukan dengan pembobotan.
6. Menghitung MRSN ratio setiap eksperimen.

3.5 Analisa dan Pembahasan

Pada tahap ini, dilakukan analisis terhadap hasil pengolahan data, yang mencakup uji normalitas, uji homogenitas, uji ANOVA, perhitungan SNR, dan analisis efek tiap faktor, serta analisis hasil perhitungan MRSN. Selain itu, dijelaskan pula hasil level optimal dari faktor kendali yang diperoleh berdasarkan nilai MRSN tertinggi dan analisis hasil uji beda yang menunjukkan bahwa kondisi optimal dapat meningkatkan kualitas respon secara signifikan.

3.6 Kesimpulan dan Saran

Pada tahap kesimpulan dan saran, akan disajikan jawaban yang diperoleh berdasarkan rumusan masalah dalam penelitian ini, beserta usulan perbaikan yang dapat diterapkan oleh perusahaan untuk meningkatkan kualitas produk. Selain itu, akan diberikan beberapa saran yang berguna bagi peneliti selanjutnya untuk melanjutkan dan mengembangkan penelitian ini lebih lanjut.

BAB IV
PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data pada penelitian ini terdiri dari dara kuantitatif dan data kualitatif. Data kuantitatif berisi data pelaksanaan eksperimen dengan melakukan pengeringan keramik berdasarkan kombinasi faktor dan level yang sudah dirumuskan sebelumnya. Sedangkan data kualitatif yaitu proses produksi, perancangan respon, penentuan faktor kendali, penentuan level faktor, serta penentuan kombinasi parameter eksperimen.

4.1.1 Penentuan Objek Eksperimen

Berdasarkan hasil observasi melalui metode wawancara dengan owner dan karyawan, didapatkan hasil berupa jenis jenis material atau bahan baku yang digunakan oleh Buntari, diantaranya Stoneware dan Earthenware. Objek yang digunakan untuk eksperimen ialah keramik dari material stoneware dengan jenis mug, alasan pemilihan keramik tersebut dikarenakan rata-rata keramik yang diproduksi Buntari berbahan stoneware.

4.1.2 Penentuan Variabel Respon

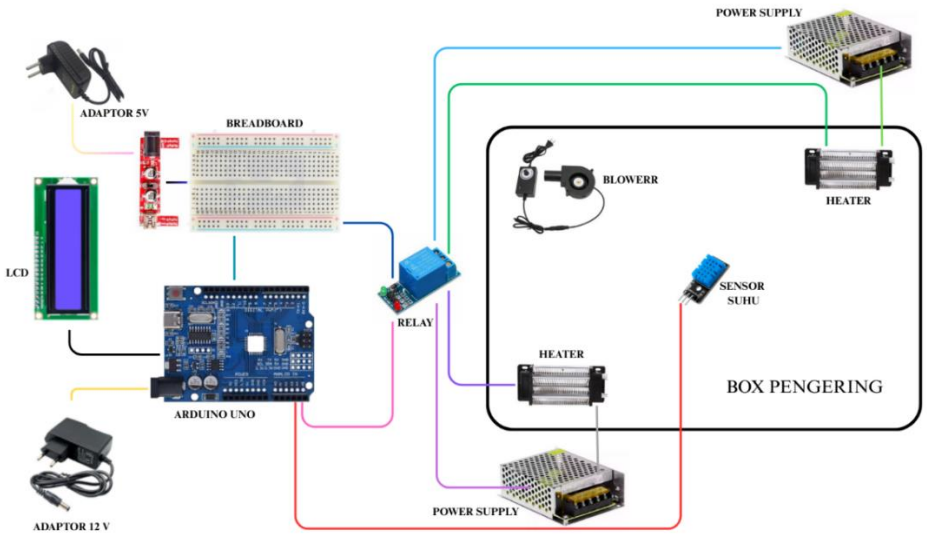
variabel respons, merupakan variabel dependen yang dipengaruhi oleh tingkat faktor atau kombinasi tingkat faktor. Secara umum, setiap karakteristik kualitas memiliki target tertentu yang harus dicapai. Karakteristik ini biasanya dapat diukur dan disesuaikan dengan standar yang telah ditetapkan. Selain itu, respons juga diartikan sebagai parameter yang menunjukkan keberhasilan performa dalam suatu eksperimen. Berdasarkan permasalahan yang dialami oleh Buntari, penelitian ini mengambil variable respon yang digunakan yaitu lama pengeringan keramik tercepat dengan hasil yang tidak retak.

4.1.3 Pembuatan Prototipe

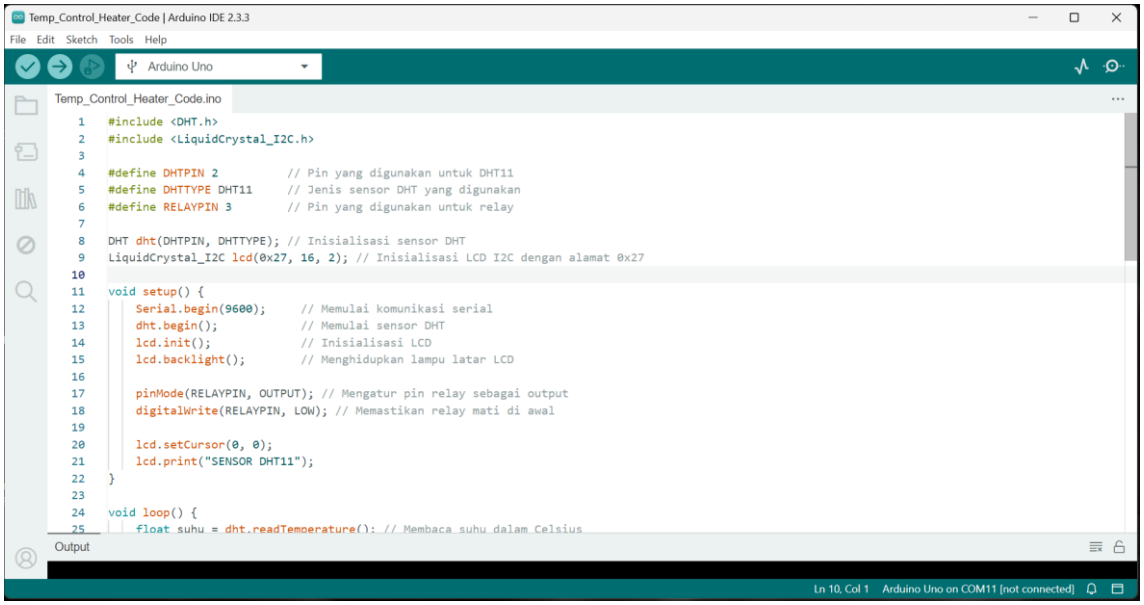
Setelah menentukan faktor kendali dan level yang digunakan dalam penelitian, langkah selanjutnya adalah mempersiapkan prototipe alat pengering yang akan digunakan dalam proses eksperimen. Adapun dua faktor kendali utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah suhu pengeringan dan kecepatan udara, masing-masing dengan tiga level variasi.

Untuk pengaturan suhu, digunakan *heater* jenis PTC yang dikendalikan melalui mikrokontroler Arduino. Arduino diprogram sedemikian rupa agar dapat membaca suhu di dalam box pengering menggunakan sensor suhu DHT11, lalu mengatur kerja relay sebagai saklar otomatis untuk menghidupkan dan mematikan *heater*. Prinsip kerjanya yaitu apabila suhu dalam box pengering telah mencapai nilai yang ditentukan dalam *coding* (misalnya 35°C), maka relay akan memutus aliran listrik ke *heater* sehingga *heater* mati. Sebaliknya, jika suhu turun di bawah ambang batas tersebut, maka relay akan kembali menghubungkan aliran listrik ke *heater* dan memanaskan box kembali. Sistem ini juga berlaku untuk pengaturan suhu 40°C dan 45°C sesuai level yang telah ditentukan. (codingan dapat dilihat pada lampiran)

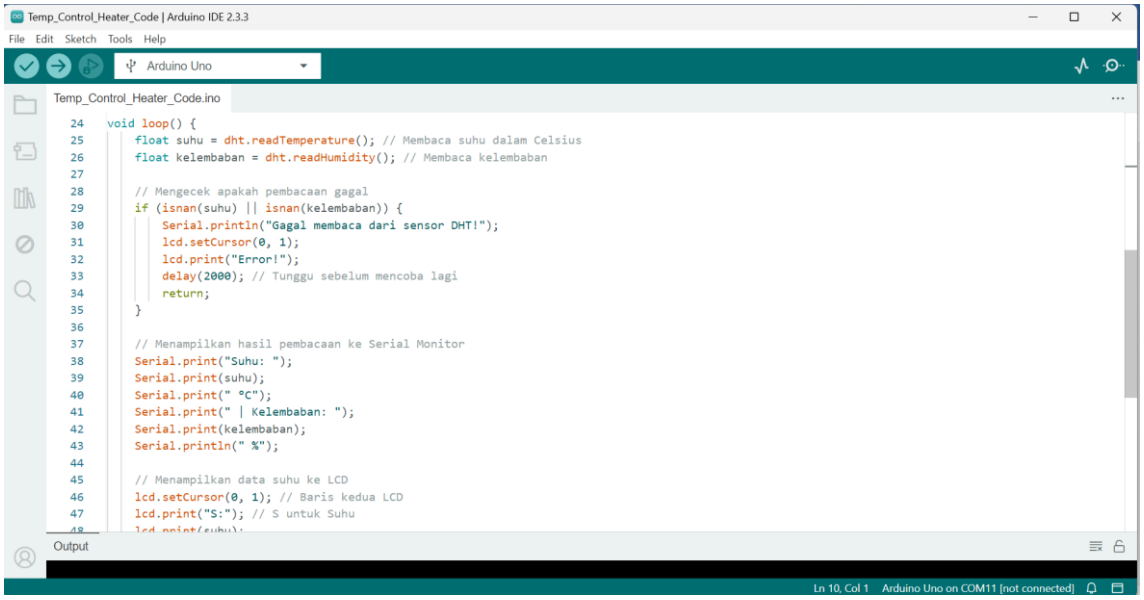
Sementara itu, untuk mengatur kecepatan udara, digunakan blower yang kecepatannya diatur secara manual sebelum eksperimen dimulai. Pengukuran kecepatan angin dilakukan menggunakan alat anemometer hingga didapatkan kecepatan udara sebesar 3 m/s, 4 m/s, dan 5 m/s sesuai dengan level faktor kendali yang ditentukan.



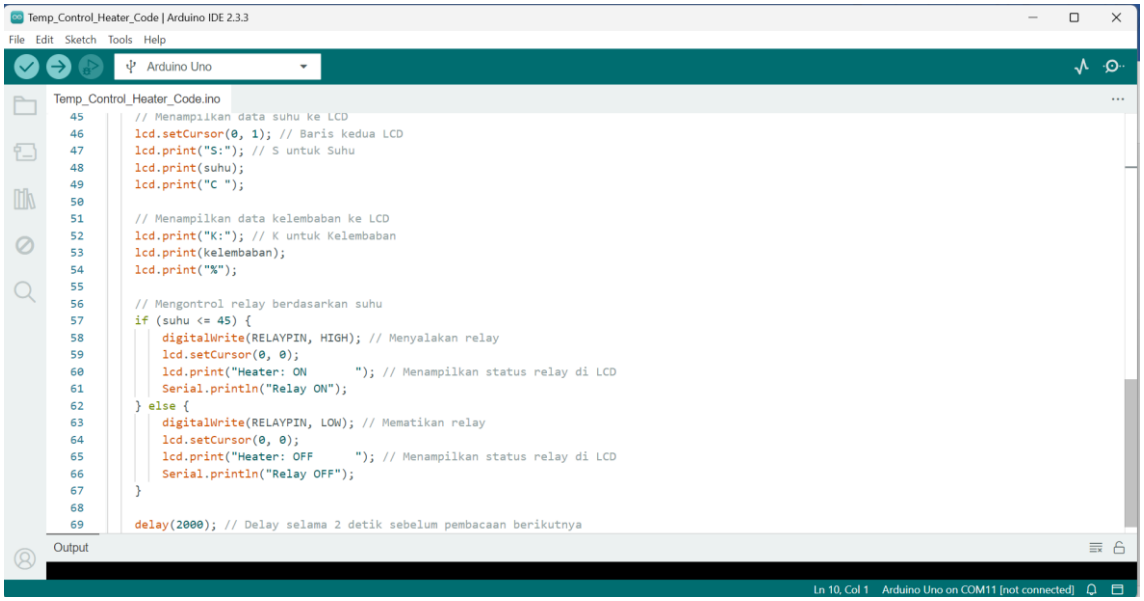
Gambar 4. 1 Skema Prototipe



Gambar 4. 2 *Temp Control Heater Code* (1)



Gambar 4. 3 *Temp Control Heater Code* (2)



Gambar 4. 4 *Temp Control Heater Code* (3)

4.1.4 Penentuan Faktor dan Level Eksperimen

Dibawah ini merupakan tabel yang berisi faktor kendali eksperimen dan tingkat levelnya. Berdasarkan studi literatur yang dilakukan mendapatkan data atau acuan yang digunakan untuk menentukan suhu dan kecepatan udara yang digunakan untuk pengeringan. Terdapat beberapa studi yang membahas mengenai pengaruh suhu dan kecepatan udara untuk pengeringan, contohnya pada penelitian (Sukardi, Syahrul, & Mirmanto, 2017) menggunakan kecepatan udara 3m/s, 4m/s dan 5m/s pada proses pengeringan gabah, kemudian suhu yang digunakan yaitu 40°C, 45°C dan 50°C. sedangkan penelitian (Hakim, 2024) suhu yang digunakan untuk mengeringkan permen jelly yaitu 30°C, 35°C dan 40°C. Oleh karena itu, ditentukanlah faktor dan level yang akan digunakan pada eksperimen sebagai berikut:

Tabel 4. 1 Faktor kendali dan level eksperimen

Faktor Kendali	Kode	Level		
		1	2	3
Suhu Udara	A	35	40	45
Kecepatan Udara	B	3 m/s	4 m/s	5 m/s

4.1.5 Penentuan Kombinasi Eksperimen

Design of Experiments dengan *full* faktor*ial experiments* yaitu 3^2, atau terdapat 9 kali percobaan dengan 2 kali replikasi. Dimana eksperimen ini memiliki 2 faktor yaitu suhu dan kecepatan udara. Setiap faktor memiliki 3 level. Untuk suhu sendiri menggunakan suhu 35°C, 40°C, 45°C. dan kecepatan udara pada 3 m/s, 4 m/s, 5 m/s. Berikut merupakan kombinasi berdasarkan faktor kendali dan level faktor disetiap trial:

Tabel 4. 2 Kombinasi Eksperimen

Trial no	Coloum No	
	A	B
1	1	1
2	1	2
3	1	3
4	2	1
5	2	2
6	2	3
7	3	1
8	3	2
9	3	3

4.1.6 Pelaksanaan Eksperimen

Tahap pelaksanaan eksperimen merupakan tahap pengumpulan data hasil eksperimen berdasarkan pada kombinasi parameter yang sudah dirancang. Data hasil eksperimen diperoleh dari hasil pengeringan sesuai dengan variabel respon yang telah ditentukan,

Tabel 4. 3 Data Waktu Pengeringan Keramik

WAKTU PENGERINGAN				
Trial No	Coloum No 1 2		Data Percobaan	
	Faktor Kendali		Rep 1	Rep 2
	A	B	Total Waktu (detik)	Total Waktu (detik)
1	1	1	50440	39633
2	1	2	46830	32407
3	1	3	28859	32417
4	2	1	43228	36027
5	2	2	28800	25253
6	2	3	21607	25215

WAKTU PENGERINGAN				
Trial No	Coloum No 1 2		Data Percobaan	
	Faktor Kendali		Rep 1	Rep 2
	A	B	Total Waktu (detik)	Total Waktu (detik)
7	3	1	18030	18032
8	3	2	21625	21623
9	3	3	21610	18000

Setelah dilakukan eksperimen pengeringan berdasarkan kombinasi faktor dan level, dilakukanlah pengecekan terhadap kondisi keramik. Keramik yang memiliki cacat berupa retak termasuk kedalam *defect* produk. Pengecekan retak keramik dapat dilakukan dengan pengamatan visual dengan pencahayaan yang cukup, Retakan biasanya terlihat sebagai garis tipis atau pecahan halus di permukaan. Apabila ingin lebih teliti bisa gunakan alat bantu seperti lampu sorot kecil atau kaca pembesar. Pengecekan dilakukan karena keramik yang memiliki retak walaupun kecil sudah tidak dapat digunakan lagi.

Tabel 4. 4 Data Kondisi Keramik Setelah Pengeringan

KONDISI KERAMIK				
Trial No	Coloum No 1 2		Data Percobaan	
	Faktor Kendali		Rep 1	Rep 2
	A	B	Kondisi	Kondisi
1	1	1	Baik	Baik
2	1	2	Baik	Baik
3	1	3	Baik	Baik
4	2	1	Baik	Baik
5	2	2	Baik	Baik
6	2	3	Baik	Baik
7	3	1	Baik	Baik
8	3	2	Baik	Baik
9	3	3	Baik	Baik



Gambar 4. 5 Kondisi Keramik setelah eksperimen

4.2 Pengolahan Data

4.2.1 Uji Normalitas

Uji normalitas adalah langkah umum yang biasanya dilakukan sebelum menerapkan metode statistik. Uji ini bertujuan untuk mengetahui apakah distribusi data sampel sudah dapat merepresentasikan distribusi populasi secara akurat.

1) Bentuk uji hipotesis sebagai berikut:
   a. H0 : Tidak ada perbedaan antara dugaan dengan data hasil eksperimen
   b. H1 : Ada perbedaan antara dugaan dengan data hasil eksperimen
2) Kriteria pengujian uji normalitas sebagai berikut:
   a. Nilai $D_{max} \leq D_{kritis}$, maka H0 Diterima (data berdistribusi normal)
   b. Nilai $D_{max} \geq D_{kritis}$, maka H0 Ditolak (data tidak berdistribusi normal)

Beriktu merupakan perhitungan uji normalitas menggunakan kolmogoros smirnov.

1. Contoh perhitungan nilai empiris (fe)

$$Fe(x) = \frac{1}{18} = 0{,}056$$

2. Menghitung rata-rata sampel ($\bar{x}$)

$$\bar{x} = \frac{(18000 + 18030 + 18032 + \cdots + 50440)}{18} = 29424{,}22$$

3. Menghitung simpangan baku sampel (s)

$$s = \sqrt{\frac{(18000 - 29424{,}22)^2 + (18030 - 29424{,}22)^2 + \cdots + (50440 - 29424{,}22)^2}{17}}$$

$= 10205{,}67$

4. Contoh perhitungan nilai z-score

$$z = \frac{18000 - 29424{,}2}{10205{,}6} = -1{,}119$$

Kemudian menghitung nilai Z untuk semua kelas, hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel.

5. Contoh nilai Ft(x)

$$Ft(x) = 0{,}131$$

Kemudian menghitung nilai Ft(x) untuk semua kelas, hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel.

6. Contoh perhitungan Selisis Absolut

$$D = |0{,}056 - 0{,}131| = -0{,}075$$

Kemudian menghitung selisih absolut untuk semua kelas, hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel.

7. Nilai D maksimum

$$D_{max} = 0{,}166$$

8. Nilai Kritis Kolmogorov-Smirnov (Dkritis)

$$D_{kritis} = 0{,}309$$

Tabel 4. 5 Tabel Uji Normalitas Waktu Pengeringan Keramik

xi	fi	fkum	fs	z	Ft(x)	ft-fs	|ft-fs|
18000	1	1	0,055556	-1,1194	0,131485	0,075929	0,075929
18030	1	2	0,111111	-1,11646	0,132113	0,021001	0,021001
18032	1	3	0,166667	-1,11626	0,132154	-0,03451	0,034512
21607	1	4	0,222222	-0,76597	0,221847	-0,00037	0,000375
21610	1	5	0,277778	-0,76567	0,221935	-0,05584	0,055843
21623	1	6	0,333333	-0,7644	0,222314	-0,11102	0,111019
21625	1	7	0,388889	-0,76421	0,222373	-0,16652	0,166516
25215	1	8	0,444444	-0,41244	0,340009	-0,10444	0,104436
25253	1	9	0,5	-0,40872	0,341374	-0,15863	0,158626
28800	1	10	0,555556	-0,06116	0,475614	-0,07994	0,079941
28859	1	11	0,611111	-0,05538	0,477917	-0,13319	0,133195
32407	1	12	0,666667	0,292267	0,614959	-0,05171	0,051708
32417	1	13	0,722222	0,293247	0,615333	-0,10689	0,106889
36027	1	14	0,777778	0,646972	0,741175	-0,0366	0,036603
39633	1	15	0,833333	1,000305	0,841419	0,008085	0,008085
43228	1	16	0,888889	1,35256	0,911902	0,023013	0,023013
46830	1	17	0,944444	1,705501	0,95595	0,011505	0,011505
50440	1	18	1	2,059227	0,980264	-0,01974	0,019736

Meskipun uji *Kolmogorov-Smirnov* secara umum lebih disarankan untuk jumlah data yang cukup besar (biasanya di atas 30), namun pada kondisi tertentu dengan jumlah data kecil (seperti 18 data), *Kolmogorov smirnov* masih dapat digunakan untuk sampel kecil (Sintia, Pasarella, & Nohe, 2022). Uji *Kolmogorov Smirnov* memberikan informasi yang cukup rinci untuk membandingkan distribusi data dengan distribusi teoritis (misalnya normal).

Berdasarkan hasil uji *Kolmogorov-Smirnov* dengan tingkat kepercayaan 95%, nilai D maksimum (D_{max}) sebesar 0,166 lebih kecil dibandingkan dengan nilai D kritis (D_{kritis}) sebesar 0,309. Hal ini menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan signifikan antara distribusi data sampel dengan distribusi teoretis yang diharapkan (normal). Dengan demikian, H0 diterima, artinya, data yang digunakan dalam analisis ini dapat dianggap berdistribusi normal, sehingga

penggunaan metode statistik parametrik dalam analisis lebih lanjut, seperti Uji Homogenitas dan ANOVA dapat dilakukan secara valid.

4.2.2 Uji Homogenitas

Setelah hasil uji normalitas berdistribusi normal maka selanjutnya dilakukan uji homogenitas. Uji homogenitas bertujuan untuk mengetahui apakah data waktu pengeringan bersifat homogenitas. Berikut ini merupakan perhitungan yang dilakukan untuk uji homogenitas waktu pengeringan keramik.

1) Bentuk uji hipotesisnya adalah sebagai berikut:

a. H0: Tidak ada perbedaan proporsi antara data replikasi (data bersifat homogen).

b. H1: Ada perbedaan proporsi antara data replikasi (data tidak homogen).

2) Kriteria pengujian adalah sebagai berikut:

a. Nilai $X^2 hitung \leq X^2 tabel$, maka H0 diterima (data bersifat homogen)

b. Nilai $X^2 hitung \geq X^2 tabel$, maka H0 ditolak (data tidak homogen)

Berikut ini merupakan perhitungan yang dilakukan untuk uji homogenitas waktu pengeringan keramik:

1. Derajat kebebasan (db) = 9 – 1 = 8
2. Contoh perhitungan varians (S_i^2)

$$Si^2 = \sqrt{\frac{\sum(50440 - 529636)^2 + (46830 - 529636)^2 + \cdots + (21610 - 529636)^2}{18}}$$

= 152438127

Kemudian dilakukan perhitungan untuk varians kedua dari data replikasi pengeringan, data perhitungan dari varians dapat dilihat pada tabel

3. Contoh perhitungan $db\ x\ LogSi^2 = 8\ x\ log\ 152438127 = 65{,}4647488$ untuk data waktu pengeringan replikasi 1.

Kemudian dilakukan perhitungan pada replikasi kedua, hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel.

4. Nilai varians gabungan semua kelompok

$$S^2 gab = \frac{(8\ x\ 152438127) + (8\ x\ 61592647{,}8)}{8 + 8}$$

$= 107015387{,}1$

5. Nilai Barlett (B) $= (8 + 8) \log 107015387{,}1 = 128{,}47114$

6. Nilai Chi-Square (X^2) $= (ln10)[128{,}4711396 - 127{,}78098] = 1{,}58915171$

Tabel di bawah ini merupakan tabel perhitungan nilai varians, Chi-Square untuk 2 replikasi pengeringan keramiki.

Tabel 4. 6 Uji Homogenitas Data Waktu Pengeringan Keramik

Si^2	db = n-1	(ni -1) Si^2	S^2gab	B	(n-1) logSi	X^2 Hitung	X^2 Tabel (0,05,8)
152438127	8	1219505012	107015387	128,47114	65,4647488	1,58915171	15,5073131
6159267	8	492741182			62,316231		
Total	16	1712246194			127,78098		

Probabilitas kesalahan yang digunakan dalam analisis ini adalah α = 0,05, yang setara dengan tingkat kepercayaan 95%. Dengan demikian, probabilitas kesalahan yang diterapkan dalam uji homogenitas waktu pengeringan keramik dihitung sebagai (1 – α) = 1 – 95% = 0,05. Nilai Chi-Square tabel dengan derajat kebebasan (db) = 9-1 = 8 adalah 15,5073131. Berdasarkan hasil perhitungan uji homogenitas, diperoleh hasil untuk Chi-Square hitung sebesar 1,58915171 sehingga $X^2hitung < X^2tabel$, dengan semikian H0 diterima. Dapat disimpulkan bahwa data waktu pengeringan bersifat homogen atau tidak terdapat perbedaan yang signifikan antar data replikasi. Sehingga dapat dilakukan pengolahan data menggunakan ANOVA.

4.2.3 Uji ANOVA

Setelah data melalui uji normalitas dan uji homogenitas, tahap selanjutnya adalah melakukan uji ANOVA terhadap dua faktor kendali. Analisis varians (ANOVA) digunakan untuk menentukan apakah faktor-faktor yang telah diidentifikasi memiliki pengaruh terhadap respons. Berdasarkan tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh dari faktor kendali terhadap rata-rata hasil eksperimen respon.

Bentuk uji hipoteis:

1) Faktor A (Suhu pengeringan)
   a. H0: tidak ada pengaruh faktor suhu pengeringan terhadap respon
   b. H1: ada pengaruh faktor suhu pengeringan terhadap respon

2) Faktor B (Kecepatan Udara)
   a. H0: tidak ada pengaruh kecepatan udara terhadap respon
   b. H1: ada pengaruh kecepatan udara terhadap respon

3) Kriteria pengujian ANOVA:
   a. Apabila $Fhitung \leq Ftabel$: H0 diterima (tidak ada pengaruh)
   b. Apabila $Fhitung > Ftabel$: H0 ditolak (ada pengaruh)

Untuk mengetahui faktor berpengaruh terhadap variable respon dilakukan perhitungan sebagai berikut:

1. Nilai harga Sum of Square (SS) atau jumlah kuafrat total
2. Total Sum of Square (SST)

$$T = (50440 + 46830 + 28859 + 42928 + 28800 + \cdots + 1800 = 529636$$

$$CF = \frac{T^2}{N} = \frac{529636^2}{18} = 15584127360{,}9$$

$$SST = [50440^2 + 46830^2 + \ldots + 18000^2] - 15584127360{,}9 = 1770645421$$

3. Sum of Square untuk faktor A (SSA)

Perhitungan faktor A

$$SSA = \left[\frac{230586^2}{6} + \frac{180130^2}{6} + \frac{118920^2}{6} - \frac{529636^2}{18}\right] = 1042320421{,}8$$

Untuk perhitungan Sum of Square A dan B dapat dilihat pada tabel.

4. *Sum of Square error* (SSE)

$$SSE = 1770645421 - 1042320421{,}8 - 277267773{,}8 - 237077763{,}6$$
$$= 213979462$$

5. Menghitung *degree of Freedom* (df) atau derajat bebas
   a. *Degree of Freedom Total* (dfT)

      $df_T = N - 1$ = 18 - 1 = 17

   b. *Degree of Freedom* untuk faktor A (dfA)

      $df_A = KA - 1$ = 3 - 1 = 2

c. *Degree of Freedom error* (dfe)

$df_e = df_T - df_{faktor}$ = 17 - 8 = 9

6. Menghitung *mean of square* (Mq) atau rata-rata kuadrat suatu faktor

$$Mq_A = \frac{SSA}{df_A} = \frac{1042320421,8}{2} = 521160210,9$$

Kemudian dilakukan perhitungan Mq pada faktor lain, hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel.

7. Menghitung F ratio suatu faktor

$$F_{ratio} = \frac{Mq}{Mqe} = \frac{521160210,9}{23775495,8} = 21,9$$

Kemudian dilakukan perhitungan F ratio pada faktor lain, hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel.

8. Menghitung *pure of square* (SS')

$$SS' = 1042320421,8 - (2\ x\ 23775495,8) = 994769430,2$$

Kemudian dilakukan perhitungan SS' pada faktor lain, hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel.

9. Menghitung persen kontribusi (P) suatu faktor

$$P = \left[\frac{994769430,2}{1770645421}\right] x100\% = 56\%$$

Kemudian dilakukan perhitungan persen kontribusi pada faktor lain, hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel.

Tabel 4. 7 Hasil Perhitungan ANOVA Waktu Pengeringan Keramik

Sumber variasi	Derajat bebas (db)	SS	MS	F Hitung	F Tabel	Keputusan	SS'	% Kontribusi
Suhu	2	1042320421,8	521160210,9	21,9	4,26	Ditolak	994769430,2	56%
Kecepatan Udara	2	277267773,8	138633886,9	5,8	4,26	Ditolak	229716782,2	13%
Interaksi	4	237077763,6	59269440,9	2,5	3,63	Diterima	141975780,4	8%

Sumber variasi	Derajat bebas (db)	SS	MS	F Hitung	F Tabel	Keputusan	SS'	% Kontribusi
Residual	9	213979462	23775495,8				237754965,8	13%
Total	17	1770645421						91%

Hasil perhitungan ANOVA menunjukkan bahwa suhu dan kecepatan udara berpengaruh signifikan terhadap waktu pengeringan keramik, dengan kontribusi masing-masing 56% dan 13%, sementara interaksi antara keduanya tidak berpengaruh secara signifikan (8%). Ini berarti suhu dan kecepatan udara bekerja secara independen tanpa efek sinergis dalam mempercepat pengeringan.

Faktor suhu menjadi yang paling dominan, diikuti oleh kecepatan udara, sedangkan variabilitas lainnya (13%) kemungkinan berasal dari faktor yang tidak terkontrol seperti kelembaban lingkungan. Dengan demikian, peningkatan suhu dan kecepatan udara dapat mempercepat pengeringan, tetapi kombinasi keduanya tidak memberikan efek tambahan yang lebih besar.

4.2.4 Perhitungan Rasio S/N Terhadap Respon Waktu Pengeringan

Untuk perhitungan *Signal to Noise Ratio* waktu pengeringan menggunakan SN *Smaller The Better* (STB). Hal tersebut dikarenakan semakin cepat waktu pengeringan maka akan semakin baik. Berikut merupakan rumus perhitungan:

$$S/N_STB = -10.\log_{10}\left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i^2\right]$$

Berikut merupakan cotoh perhitungan namual SNR

$$S/N_STB = -10.\log_{10}\left[\frac{1}{2}x(50440^2 + 39633^2)\right] = -93.1334$$

Tabel di bawah ini merupakan hasil SNR untuk semua eksperimen pada respon waktu pengeringan keramik.

Tabel 4. 8 Hasil Perhitungan SNR Waktu Pengeringan Keramik

Trial	*Full* Faktor*ial*		$y1^2$	$y2^2$	$\frac{1}{n}x\sum Y^2$	SNR
	Coloum Number					
	1	2				
1	1	1	2544193600	1570774689	2057484145	-93,1334
2	1	2	2193048900	1050213649	1621631275	-92,0995
3	1	3	832841881	1050861889	941851885	-89,7398
4	2	1	1868659984	1297944729	1583302357	-91,9956
5	2	2	829440000	637714009	733577004,5	-88,6545
6	2	3	466862449	635796225	551329337	-87,4141
7	3	1	325080900	325153024	325116962	-85,1204
8	3	2	467640625	467554129	467597377	-86,6987
9	3	3	466992100	324000000	395496050	-85,9714

4.2.5 Penentuan Efek Tiap Faktor

Rumus efek tiap faktor perhitungan:

$$efek\ faktor = \frac{1}{a}(\sum SNR)$$

Contoh perhitungan Efek Faktor A level 1

$$efek\ faktor = \frac{1}{3}(-93{,}133365 + (-92{,}0995211) + (-89{,}7398261) = -91{,}65757073$$

Kemudian dilakukan perhitungan untuk setiap efek faktor dan levelnya, hasil perhitungan bisa dilihat pada tabel.

Tabel di bawah ini adalah efek faktor untuk SNR waktu pengeringan keramik, yang memuat tentang sebarapa besar efek yang dapat mempengaruhi waktu pengeringan oleh masing-masing faktor.

Tabel 4. 9 Parameter Optimal

Tabel Respon		
	A	**B**
Level 1	-91,65757073	-90,083133
Level 2	-89,35473557	-89,1509
Level 3	-85,93017948	-87,708453
Optimal	A3	B3

Formulasi terbaik diperoleh dengan memilih nilai SNR pada level faktor tertinggi, meskipun menggunakan pendekatan SNR *Smaller-the-Better*. Sehingga untuk mendapatkan waktu pengeringan tercepat didapatkan formulasi level faktor optimal A3 dan B3.

4.3 Variabel Respon Kualitas Keramik

Berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan, tidak ditemukan *defect* pada produk, yang berarti semua trial berhasil tanpa kegagalan. Karena variabel respon untuk *defect* produk tidak menunjukkan adanya cacat, maka perhitungan MRSN (*Multi Response Signal-to-Noise Ratio*) tidak diperlukan. Oleh karena itu, kombinasi optimal dalam penelitian ini ditentukan berdasarkan hasil perhitungan SNR (*Signal-to-Noise Ratio*) untuk mendapatkan kondisi terbaik dalam proses pengeringan keramik.

4.4 Plan the Future Action

Terdapat gambaran yang dapat digunakan perusahaan untuk merealisasikan sistem ruangan pengeringan keramik. Sistem ini akan menggunakan *heater* dengan pengatur suhu digital otomatis, seperti temperature *controller Inkbird* ITC-1000 atau Omron E5CC, yang mampu menjaga kestabilan suhu sesuai pengaturan. Selain itu, Menggunakan 2 *PTC Heater Strip* dengan 1000-1500 W serta akan digunakan 2 blower Ziehl-Abegg EC Blower berkapasitas sekitar 700-900m^3/h daya sekitar 100–150 watt, serta pengatur kecepatan elektronik (*speed controller*) sehingga operator tidak perlu lagi mengatur suhu dan kecepatan angin secara manual selama proses pengeringan berlangsung.



Gambar 4. 6 *Controller Inkbird* ITC-1000



Gambar 4. 7 *Heater* PTC 1500 W



Gambar 4. 8 EC Blower



Gambar 4. 9 Gambaran Ruangan Pengering



Gambar 4. 10 *Isometric View* Ruang Pengering



Gambar 4. 11 *Top View* Ruangan Pengering

BAB V
PEMBAHASAN

5.1 Analisis Pengumpulan Data

Setelah melakukan wawancara dengan pemilik dan karyawan, ditemukan permasalahan dalam proses produksi keramik, yaitu *waste* produk yang terjadi pada setiap siklus produksi. *Waste* ini berupa produk cacat atau retak yang diakibatkan oleh proses pengeringan yang kurang optimal. Masalah ini muncul karena perusahaan masih menggunakan metode pengeringan manual tanpa adanya parameter yang terkontrol. Saat ini, perusahaan hanya meletakkan keramik di rak pengering dan membiarkannya mengering secara alami. Jika proses pengeringan tidak dilakukan dengan benar, maka risiko keramik retak saat pembakaran menjadi lebih tinggi. Tidak hanya itu, waktu pengeringan juga tidak dapat di prediksi karena hanya mengandalkan cuaca, apabila kemarau pengeringan dapat dilakukan selama 3 hari, apabila musin penghujan bisa sampai 5 hari, hal tersebut dapat mempengaruhi alur produksi dan menghambat pengerjaan pada proses selanjutnya.

Karena setiap produksi pasti menghasilkan *waste* atau *defect*, perusahaan mengatasi hal ini dengan melakukan overproduksi untuk memastikan jumlah pesanan pelanggan tetap terpenuhi. Namun, strategi ini berdampak pada peningkatan biaya produksi dan penggunaan bahan baku yang lebih besar dari yang seharusnya. Oleh karena itu, perlu dilakukan perbaikan pada proses produksi, terutama dalam tahap pengeringan, agar kualitas produk lebih terjaga, meminimalkan jumlah keramik yang rusak, serta mengurangi ketergantungan pada overproduksi.

5.1.1 Analisis Penentuan Variabel Respon

Penentuan variabel respon dalam penelitian ini didasarkan pada hasil pengumpulan data yang mengidentifikasi permasalahan utama dalam proses pengeringan keramik. Permasalahan tersebut meliputi waktu pengeringan yang tidak menentu serta tingginya jumlah produk *defect* akibat proses pengeringan.

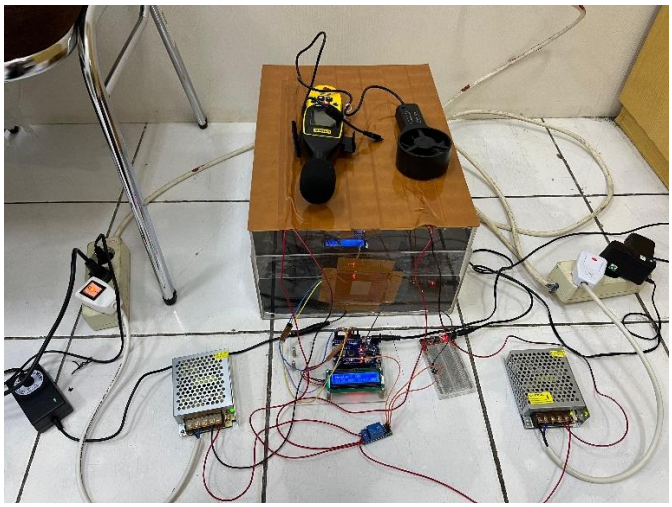
Dalam penelitian ini, variabel respon yang ditetapkan adalah waktu pengeringan tercepat dan jumlah produk yang tidak mengalami *defect*. Waktu pengeringan akan dicatat pada setiap eksperimen, sedangkan tingkat *defect* produk akan dievaluasi setelah proses pengeringan dan pembakaran.

5.1.2 Analisis Pembuatan Prototipe

Sebelum eksperimen dimulai, terdapat beberapa tahapan penting yang harus dilakukan untuk memastikan kesesuaian alat dan validitas data yang diperoleh. Salah satu langkah awal adalah melakukan pengecekan kecepatan blower menggunakan anemometer. Hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa kecepatan aliran udara berada pada level yang ditentukan dalam desain eksperimen, yaitu 3 m/s, 4 m/s, atau 5 m/s. Karena pengaturan kecepatan dilakukan secara manual, pengecekan awal ini menjadi krusial agar kondisi eksperimen antar trial tetap konsisten dan terkontrol.

Selain itu, pengaturan suhu pada box pengering juga harus disesuaikan dengan level suhu yang digunakan pada tiap kombinasi eksperimen, yaitu 35°C, 40°C, dan 45°C. Karena sistem kontrol suhu dikendalikan oleh program Arduino, maka sebelum menjalankan eksperimen pada suhu yang berbeda, peneliti perlu mengunggah ulang coding baru ke dalam Arduino yang berisi parameter suhu sesuai level yang diinginkan. Hal ini dilakukan karena suhu kerja relay sepenuhnya ditentukan oleh batas suhu yang tertulis dalam program Arduino.

Selama proses pengeringan berlangsung, monitoring berat keramik dilakukan secara berkala. Keramik diambil dari dalam box pengering dan ditimbang untuk mengetahui apakah proses pengeringan telah mencapai titik stabil. Pengecekan dilakukan hingga berat keramik tidak menunjukkan penurunan signifikan, yang menandakan bahwa air di dalam material tanah liat telah sepenuhnya menguap. Titik ini dianggap sebagai akhir dari proses pengeringan dan digunakan sebagai data waktu pengeringan.



Gambar 5. 1 Prototipe Ruang Pengering

5.1.3 Analisis Penentuan Faktor dan Level Eksperimen

Pada proses pengeringan keramik, peran aliran udara sangat penting karena menjadi sarana utama dalam menghantarkan panas dari pemanas (*heater*) ke permukaan keramik. Sirkulasi udara yang optimal dapat mempercepat proses penguapan air baik dari permukaan maupun pori-pori keramik, sehingga pengeringan berlangsung lebih cepat dan merata. Selain itu, aliran udara yang membawa panas secara konveksi juga membantu menjaga kestabilan suhu di dalam ruang pengering. Hal ini penting untuk menghindari terjadinya retak pada keramik akibat ketidakseimbangan dalam proses pengeringan.

Sebelum menentukan faktor kendali dan level yang akan digunakan dalam penelitian ini, dilakukan studi literatur terkait teori serta penelitian terdahulu mengenai pengeringan keramik yang dapat memengaruhi variabel respon dalam penelitian ini. Dari hasil studi literatur, diperoleh dua faktor kendali dengan masing-masing tiga level yang akan digunakan dalam eksperimen.

Faktor kendali yang dipilih adalah suhu pengeringan dan kecepatan udara pengeringan. Level suhu pengeringan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 35°C, 40°C, dan 45°C, sedangkan level untuk kecepatan udara pengeringan adalah 3 m/s, 4 m/s, dan 5 m/s. Faktor-faktor ini dipilih karena berpotensi memengaruhi waktu pengeringan serta jumlah produk *defect*, yang merupakan variabel respon utama dalam penelitian ini.

5.1.4 Analisis Penentuan Kombinasi Eksperimen

Penelitian ini menerapkan dua faktor kendali, masing-masing dengan tiga level, serta dilakukan dalam dua replikasi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen full faktorial, yang memungkinkan analisis terhadap semua kombinasi faktor dan level secara menyeluruh.Pendekatan full faktorial dipilih karena memberikan pemahaman yang lebih mendalam terhadap efek utama dari setiap faktor serta interaksi antar faktor terhadap variabel respon.

Dengan metode ini, dapat diketahui bagaimana kombinasi suhu pengeringan dan kecepatan udara memengaruhi waktu pengeringan serta jumlah produk *defect*, sehingga dapat ditentukan parameter optimal untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas produksi. Eksperimen yang dilakukan yaitu sebanyak 9 kali setiap replikasi, sehingga dalam penelitian ini perlu dilakukan eksperimen sebanyak 18 kali.

5.1.5 Analisis Eksperimen *Full* Faktor*ial*

Eksperimen dilakukan untuk mengetahui pengaruh masing-masing faktor dan interaksi antar faktor terhadap waktu pengeringan keramik. Penelitian ini menggunakan dua faktor kendali, yaitu suhu pengeringan (35°C, 40°C, dan 45°C) dan kecepatan udara (3 m/s, 4 m/s, dan 5 m/s), dengan masing-masing kombinasi dilakukan sebanyak dua kali replikasi, sehingga total terdapat 18 eksperimen. Desain full faktorial dipilih karena mampu memberikan informasi yang menyeluruh mengenai pengaruh individu dari setiap faktor serta interaksi antara keduanya. Hasil analisis menunjukkan bahwa baik suhu maupun kecepatan udara memberikan pengaruh terhadap waktu pengeringan, dan kombinasi paling optimal diperoleh pada suhu 45°C dan kecepatan 5 m/s, yang menghasilkan waktu pengeringan tercepat tanpa adanya *defect*. Metode ini memungkinkan identifikasi kombinasi parameter terbaik secara efisien, serta memberikan dasar kuat dalam pengambilan keputusan untuk perbaikan proses pengeringan keramik di tahap implementasi.

5.2 Analisis Pengolahan Data

Pada bagian ini mencakup analisis Uji Normalitas, Uji Homogenitas, ANOVA (*Analysis of Variance*), SNR (*Signal to Noise Ratio*), efek setiap faktor, serta MRSN (*Multi Respon Signal Ratio*). Hasil perhitungan MRSN digunakan untuk memprediksi kombinasi level optimal dalam pengeringan keramik

5.2.1 Analisis Perhitungan Uji Normalitas

Sebelum melakukan pengolahan data untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi variabel respon, dilakukan uji normalitas terhadap data kuat tekan dan kadar air. Uji normalitas ini bertujuan untuk memeriksa apakah data eksperimen dari kombinasi faktor yang telah ditetapkan berdistribusi normal. Jika asumsi normalitas tidak terpenuhi, uji statistik yang dilakukan pada sampel dengan jumlah kecil dapat menjadi tidak valid.

Dari perhitungan yang telah dilakukan diperoleh nilai D_{max} yaitu 0,166. Berdasarkan hasil yang telah diperoleh $D_{max} = 0{,}166 < D_{kritis}, = 0{,}309$ maka dapat diperoleh kesimpulan bahwa hasil sudah berada pada daerah penerimaan maka hipotesis (H0) diterima, dengan demikian data waktu pengeringan keramik berdistribusi normal. Hasil uji normalitas merupakan data yang valid dan dapat dilakukan uji berikutnya yaitu uji homogenitas.

5.2.2 Analisis PerhitunganUji Homogenitas

Apabila uji normalitas sudah dipastikan valid atau berdistribusi normal maka perlu dilakukan uji homogenitas. Uji homogenitas dilakukan untuk mengetahui sebaran data variansi. Dari data waktu pengeringan keramik terdapat 9 populasi dari setiap replikasi eksperimen.

Berdasarkan hasil perhitungan uji homogenitas data waktu pengeringan keramik diperoleh hasil untuk *Chi-Square* hitung sebesar 1,589 sehingga hasil $X^2 hitung = 1{,}589 < X^2 tabel = 15{,}507$ dengan demikian H0 diterima. Disimpulkan bahwa waktu pengeringan keramik homogen atau tidak terdapat perbedaan yang signifikan antar replikasi.

5.2.3 Analisis Perhitungan Uji ANOVA

ANOVA (*Analysis of Variance*) adalah metode analisis statistik yang digunakan untuk membandingkan rata-rata dari tiga atau lebih kelompok dengan menganalisis variasinya. Dalam penelitian ini, ANOVA diterapkan untuk mengidentifikasi faktor kendali yang memengaruhi variabel respon.

Berdasarkan hasil perhitungan ANOVA, dapat dianalisis bahwa faktor suhu dan kecepatan udara memiliki pengaruh signifikan terhadap waktu pengeringan keramik, sementara interaksi antara kedua faktor tersebut tidak berpengaruh secara signifikan. Hal ini ditunjukkan oleh nilai F Hitung untuk suhu (21,9) dan kecepatan udara (5,8), yang lebih besar dari F Tabel (4,26), sehingga hipotesis nol (H_0) ditolak dan kedua faktor tersebut dianggap memiliki kontribusi nyata terhadap variabel respon. Kontribusi suhu mencapai 56%, yang menunjukkan bahwa suhu merupakan faktor dominan dalam mempengaruhi proses pengeringan, sedangkan kecepatan udara berkontribusi sebesar 13%.

Namun, interaksi antara suhu dan kecepatan udara memiliki nilai F Hitung (2,5) yang lebih kecil dari F Tabel (3,63), sehingga hipotesis nol untuk interaksi diterima. Ini berarti bahwa kombinasi suhu dan kecepatan udara tidak memberikan efek tambahan yang lebih besar dibandingkan pengaruh masing-masing faktor secara individu. Interaksi hanya memberikan kontribusi 8%, yang relatif kecil dibandingkan faktor utama. Hal ini menunjukkan bahwa suhu dan kecepatan udara bekerja secara independen, tanpa adanya efek sinergis atau antagonis yang signifikan dalam mempercepat pengeringan.

Selain itu, kontribusi dari residual sebesar 13% mengindikasikan bahwa masih terdapat variabilitas lain dalam data yang tidak dijelaskan oleh faktor suhu dan kecepatan udara. Variasi ini dapat berasal dari faktor lain yang tidak terkontrol dalam eksperimen, seperti kelembaban

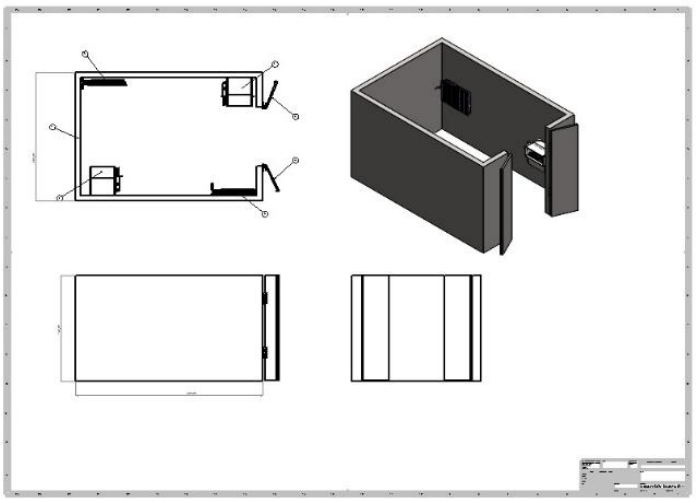
lingkungan atau ketidaksempurnaan dalam metode pengeringan. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa suhu adalah faktor utama yang paling mempengaruhi waktu pengeringan keramik, diikuti oleh kecepatan udara, sementara interaksi antara keduanya tidak memberikan dampak yang berarti.

5.2.4 Analisis Perhitungan SNR dan Efek Tiap Faktor

Perhitungan nilai *Signal to Noise* (SNR) waktu pengeringan keramik yaitu menggunakan SN *Smaller the Better* (STB) karena semakin cepat waktu pengeringan maka semakin efisien pula proses produksi keramik. Dari perhitungan SNR waktu pengeringan keramik, maka diperoleh kombinasi level optimal yaitu A3 dan B3. Dengan suhu 45°C dan kecepatan udara 5m/s.

5.3 Analisis *Plan the Future Action*

Merancang dan merealisasikan sistem pengeringan keramik yang terintegrasi dan otomatis untuk diterapkan secara langsung di lingkungan produksi industri kecil. Dengan adanya sistem tersebut akan meningkatkan efisiensi dan konsistensi hasil pengeringan, serta meminimalkan produk *defect*. Sebelum diterapkan, sistem ini perlu diuji secara terbatas di ruang simulasi berukuran lebar 2m, panjang 3m, dan tinggi 1,8m untuk mengkaji kestabilan suhu dan aliran udara. Dengan penerapan sistem ini, diharapkan dapat mengurangi tingkat *waste*, menghilangkan kebutuhan overproduksi, dan meningkatkan kualitas serta kapasitas produksi keramik secara berkelanjutan. Prediksi untuk *plan the future action* ini apabila berdasar hasil uji coba prototipe, pada ruangan riil kemungkinan akan berbeda jika menggunakan kipas kecil, maka waktu pengeringan tidak secepat eksperimen. Volume udara pada ruangan rill juga 300 kali lebih besar dari prototipe. Artinya, jumlah udara yang harus dipanaskan dan disirkulasikan lebih besar. Estimasi waktu pengeringan di ruangan rill dapat diperkirakan sekitar 8-12 jam.



Gambar 5. 2 Gambar Teknik Ruangan Pengering

5.4 Analisis Kekurangan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan untuk pengembangan ke depan. Pertama, pengujian hanya dilakukan dengan dua variabel kendali utama, yaitu suhu dan kecepatan udara. Padahal, dalam proses pengeringan keramik, masih terdapat faktor lain yang berpotensi memengaruhi hasil akhir, seperti kelembaban udara, ketebalan keramik, dan komposisi tanah liat.

Kedua, pengamatan terhadap susut kering dilakukan dengan pendekatan berat, tanpa pengukuran langsung dimensi panjang atau volume keramik secara aktual. Meskipun pendekatan ini dapat memberikan gambaran umum, namun akurasi dalam menghitung susut linier atau volumetrik bisa lebih baik jika dilengkapi dengan data dimensi fisik.

Ketiga, penggunaan sistem manual dalam pengaturan kecepatan udara, yang hanya diatur sebelum eksperimen menggunakan anemometer, berpotensi mengalami ketidakkonsistenan aliran udara selama proses pengeringan.

Keempat, pemantauan berat keramik dilakukan secara berkala dengan membuka box pengering, yang dapat menyebabkan gangguan suhu dan aliran udara dalam box, sehingga dapat memengaruhi proses pengeringan itu sendiri.

BAB VI
PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Berikut merupakan kesimpulan yang ditarik dari tujuan penelitian yang telah disusun sebelumnya:

1. Penelitian ini berhasil mengidentifikasi dua faktor utama yang memengaruhi proses pengeringan keramik, yaitu suhu pengeringan dan kecepatan aliran udara. Kedua faktor ini dipilih berdasarkan studi literatur serta relevansinya terhadap efisiensi waktu pengeringan dan kualitas produk akhir. Proses identifikasi ini didukung oleh pembuatan prototipe pengering yang dikendalikan secara otomatis menggunakan Arduino dan alat pengatur kecepatan blower.
2. Berdasarkan hasil eksperimen yang dilakukan menggunakan metode eksperimen full faktorial, diperoleh bahwa tidak terdapat produk yang mengalami cacat (*defect*) pada seluruh kombinasi eksperimen. Oleh karena itu, penentuan kombinasi optimal dilakukan berdasarkan nilai SNR (*Signal to Noise Ratio*) dari variabel waktu pengeringan tercepat. Kombinasi parameter suhu dan kecepatan udara optimal diperoleh dari nilai SNR tertinggi, karena MRSN tidak perlu dihitung akibat tidak adanya variasi pada variabel cacat produk. Hasil kombinasi optimalnya yaitu pada A3 dan B3 artinya pengeringan tercepat pada suhu $45°C$ dan kecepatan udara 5m/s. Penelitian ini tergolong sebagai salah satu penelitian terbaik karena mampu mencapai proses pengeringan yang efektif dengan tingkat defect yang sangat rendah. Keberhasilan ini diperoleh melalui pendekatan eksperimen yang terstruktur dan valid, serta menghasilkan rekomendasi parameter yang dapat diterapkan secara langsung untuk meningkatkan produktivitas proses pengeringan keramik di industri kecil dan menengah (IKM).
3. Desain ruang pengering memiliki peran penting dalam keberhasilan proses pengeringan yang efektif dan efisien. Sistem pengering dengan kontrol suhu otomatis dan pengaturan kecepatan udara yang terukur mampu menghasilkan proses pengeringan yang stabil dan merata, sehingga meminimalkan potensi keretakan pada produk keramik. Rekomendasi desain ruang pengering yang ideal mencakup ukuran ruangan lebar 2m, panjang 3m, dan tinggi 1,8m, dilengkapi dengan dua unit blower bertenaga sedang (±100–150 Watt) untuk menghasilkan sirkulasi udara sebesar 4–5 m/s, serta *heater* dengan daya sekitar 1000–1500

Watt yang mampu mempertahankan suhu pada kisaran 35–45°C. Desain ini diharapkan dapat mendukung proses pengeringan yang lebih cepat, konsisten, dan ramah terhadap produk, serta layak diterapkan pada industri kecil sebagai solusi pengeringan terintegrasi.

6.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan agar faktor-faktor tambahan yang dapat memengaruhi proses pengeringan keramik, seperti kelembaban udara, ketebalan keramik, dan komposisi tanah liat, turut dipertimbangkan agar hasil penelitian menjadi lebih menyeluruh dan akurat. Selain itu, penggunaan sistem otomatisasi yang lebih canggih seperti sensor suhu, kelembaban, dan kecepatan udara yang terintegrasi dengan mikrokontroler dapat meningkatkan presisi dan efisiensi dalam proses pengeringan. Pengamatan terhadap penyusutan keramik juga sebaiknya dilengkapi dengan pengukuran dimensi fisik (panjang, lebar, dan tinggi) agar perhitungan susut linier dan volumetrik menjadi lebih akurat, tidak hanya mengandalkan perubahan berat. Jumlah sampel dan replikasi juga sebaiknya ditambah untuk meningkatkan validitas dan reliabilitas hasil eksperimen. Penelitian lanjutan disarankan dilakukan langsung di ruang pengering nyata (berskala produksi) untuk menguji apakah kombinasi eksperimen optimal yang diperoleh dari prototipe tetap valid dan efektif saat diaplikasikan dalam kondisi riil. Terakhir, metode eksperimen alternatif seperti Taguchi atau *Response Surface Methodology* (RSM) bisa dipertimbangkan sebagai pendekatan yang lebih efisien dalam mengevaluasi banyak kombinasi parameter dengan jumlah percobaan yang lebih sedikit.

DAFTAR PUSTAKA

Antony, J. (2023). *Design of Experiments for Engineers and Scientists.* United States: Elsevier.

Ariva, A. N., Widyasanti, A., & Nurjanah, S. (2020). PENGARUH SUHU PENGERINGAN TERHADAP MUTU TEH CASCARA DARI KULIT KOPI ARABIKA (COFFEA ARABICA) . *Jurnal Teknologi dan Industri Pertanian Indonesia*.

Baskaran, Mukramin, & Sulaeman, B. (2024). RANCANG BANGUN SISTEM PENGERING SEPATU OTOMATIS MENGGUNAKAN SENSOR KELEMBABAN SUHU BERBASIS ARDUINO. *JITET (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan)* , 4072.

Belavendram, N. (1995). *Quality By Design : Taguchi Techniques For Industrial Experimentation.* New York: Prentice Hall.

Bernadeth, & Simangunsong, P. (2022). Peluang dan Tantangan Usaha Mikro Kecil dan Menengah (UMKM): Systematic Literature Review. *JURNAL EKONOMI PEMBANGUNAN*.

BPS. (2024). PERKEMBANGAN INDEKS PRODUKSI INDUSTRI MANUFAKTUR. In *Industri skala menengah (sedang) adalah perusahaan manufaktur yang* (p. 1). Jakarta: @Badan Pusat Statistik.

Braga, V., Guidi, L. R., Santana, R. C., & Zotarelli, M. F. (2020). Production and characterization of pineapple-mint juice by spray drying. *Powder Technology*.

Cahya, R. D., & Yasin, M. (2024). STRATEGI INDUSTRI MANUFAKTUR DALAM MEINGKATKAN PERCEPATAM PERTUMBUHAN EKONOMI DI INDONESIA. *JURNAL EKONOMI BISNIS DAN KEWIRAUSAHAAN*, 20.

Castillo, L., Baltodano, E., Ramírez, N., Vargas, R., & Hanley, G. (2020). Design of Experiments Assessment for the Determination of Moisture Content in Five Herbal Raw Materials Contained in Tea Products. *Borneo Journal of Pharmacy*.

Dethan, J. J. (2024). AUTOMATED DRYING OF MORINGA LEAVES USING AN ARDUINO UNOMICROCONTROLLER. *Jurnal Ilmiah Indonesia*.

Dewi, S. S., Ermina, R., Kasih, V. A., Hefiana, F., Sunarmo, A., & Widianingsih, R. (2023). ANALISIS PENERAPAN METODE ONE WAY ANOVA MENGGUAKAN ALAT STATISTIK SPSS. *JURNAL RISET AKUNTANSI SOEDIRMAN (JRAS)*, 124.

Effendi, M. S. (2013). Desain Eksperimental dalam Penelitian Pendidikan. *Jurnal Perspektif Pendidikan* .

Hakim, M. L. (2024). Analisa Pengaruh Kecepatan Udara Panas Terhadap Kecepatan Proses Pengeringan Mesin Pengering Permen Jelly. *Jurnal Ilmu Sosial, Humaniora, Teknik* .

Hamedi, S., MehdiAfsahi, M., Riahi-Madvar, A., & Mohebbi, A. (2021). Modeling and optimization of radish root extract drying as peroxidase source using spouted bed dryer. *scientific reports*.

Handayani, S. (2010). Kualitas Batu Bata Merah Dengan Penambahan Serbuk Gergaji. *Jurnal Teknik Sipil & Perencanaan*.

Ifmalinda, Fahmi, K., & Putri, S. D. (2022). Implementation of Arduino Uno-Based Temperature Control forDrying Tamarind (Garcinia xanthochymus). *JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN* .

Ismailov, A. S., & Jo‘rayev, Z. B. (2022). Study of arduino microcontroller board. *"Science and Education" Scientific Journal*.

Jankovic, A., Chaudhary, G., & Goia, F. (2021). Designing the design of experiments (DOE)–An investigation on the influence of different factorial designs on the characterization of complex systems. *Energy & Buldings*, 4.

Jupita, R., Tio, A. N., Rifaini, A., Saputri, C., & Fahrizal, M. (2021). Otomatisasi Penyiraman Tanaman dengan Sensor Soil Moisture. *Portaldata*.

Kholikov, A., Jumaev, J., Hikmatov, D., & Kuvvatov, K. (2021). Optimization of onion drying process parameters using the full factorial experiment method. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*.

Laba, A., Musa, W., & Abdussamad, S. (2024). Rancang Bangun Model Alat Pengering Indoor Otomatis Hasil Pertanian Berbasis Arduino Uno. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 5.

Laksmita, A. K., Andromeda, T., & Triwiyatno, A. (2018). PENGENDALIAN SUHU MENGGUNAKAN KONTROLER PID PADA PROTOTIPE MESIN PENGERING FLUIDISASI GABAH. *TRANSIENT*.

Lamberto, D. J., & Neuhaus, J. (2021). Robust Process Scale-Up Leveraging Design of Experiments to Map Robust Process Scale-Up Leveraging Design of Experiments to Map. *Organic Process Research and Development*.

Masthura, Palupi, A. H., & Daulay, A. H. (2019). PERBANDINGAN NILAI SUSUT BAKAR BATU BATA PADA PENAMBAHAN ABU SABUT KELAPA DAN ABU SEKAM PADI. *FISITEK: Jurnal Ilmu Fisika dan Teknologi, Vol. 3, No. 2*.

Nait-Ali, B., Alzina, A., Lauro, N., & Smit, D. S. (2024). Perspectives in drying of cemarics. *Open Ceramics*.

Pardiyono, R., Puspawardhani, G., Puspita, H. D., Sastradiharja, J., & Firdaus, R. (2022). Perbaikan Cacat Body Puckering pada Produk Jaket Menggunakan Eksperimen Taguchi di PT. ABC. *Jurnal Optimasi Teknik Industri*.

Pratifi, V. K., Sasongko, A. T., & Afandi, D. (2024). ntegration of DHT11 and PIR Sensors in Indoor Temperature Automation and Motion Detection System Using Arduino Nano Microcontroller. *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*.

Sabbagh, H. A., S. H.-A.-A., Hussein, M. Z., Abudayeh, Z., Ayoub, R., & Abudoleh, S. M. (2020). A Statistical Study on the Development of Metronidazole-Chitosan-Alginate Nanocomposite Formulation Using the Full Factorial Design. *Polymers MDPI*.

Safitri, H. R., & Simurangkir, R. J. (2024). RANCANG BANGUN ALAT PENGERING BAWANG MERAH BERBASIS MIKROKONTROLER. *JIKSTRA*, 13-21.

Setiawati, D. A., Hakim, M. L., & Sukmawaty. (2020). RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALIAN SUHU RUANG PENGERING HYBRID TIPE RAK BERPUTAR BERBASIS MIKROKONTROLER ARDUINO MEGA. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*.

Sihombing, B. S., Sumarno, Kirana, I. O., Poningsih, & Irawan. (2022). RANCANG BANGUN ALAT PENGERING BIJI KOPI BERBASIS MIKROKONTROLER ARDUINO UNO. *Jurnal Ilmiah Teknik dan Ilmu Komputer*.

Sintia, I., Pasarella, M. D., & Nohe, D. A. (2022). PERBANDINGAN TINGKAT KONSISTENSI UJI DISTRIBUSI NORMALITAS PADA KASUS TINGKAT PENGANGGURAN DI JAWA. *Prosiding Seminar Nasional Matematika, Statistika, dan Aplikasinya*.

Sudarnanto, A. R. (2022). Sistem Pengering Lempung Untuk Produsen Keramik Skala Menengah.

Sukardi, Syahrul, & Mirmanto. (2017). PENGARUH VARIASI KECEPATAN DAN TEMPERATUR UDARA TERHADAP WAKTU PENGERINGAN GABAH MENGGUNAKAN ALAT TERFLUIDISASI. *Dinamika Teknik Mesin*, 8.

Supriandi, & Masela, M. Y. (2023). Pengaruh Struktur Modal, Profitabilitas, Likuiditas Pasar Terhadap Nilai Perusahaan Pada Industri Manufaktur di Jawa Barat. *Sanskara Akuntansi dan Keuangan*.

Surahman, A., Prastowo, A. T., & Aziz, L. A. (2022). RANCANG ALAT KEAMANAN SEPEDA MOTOR HONDA BEAT BERBASIS SIM GSM MENGGUNAKAN METODE RANCANG BANGUN. *Jurnal Teknologi dan Sistem Tertanam*.

Teo, P. T., Zakaria, S. K., Sharif, N. M., Seman, A. A., Taib, M. A., Mohamed, J. J., . . . Masri, M. N. (2021). Application of General Full Factorial Statistical Experimental Design's Approach for the Development of Sustainable Clay-Based Ceramics Incorporated with Malaysia's Electric Arc Furnace Steel Slag Waste. *Crystals*.

Usmadi. (2020). PENGUJIAN PERSYARATAN ANALISIS (UJI HOMOGENITAS DAN UJI NORMALITAS). *Inovasi Pendidikan*.

Widyastuti, W. (2023). KinerjaSandi Koreksi Kesalahan LDPC pada Transmisi Citra. *4thWijayakusuma National Conference (WiNCo) 2023*.

Yani, E., & Fajrin, S. (2013). KARAKTERISTIK PENGERINGAN BIJI KOPI BERDASARKAN VARIASI KECEPATAN ALIRAN UDARA PADA SOLAR DRYER . *TeknikA*.

LAMPIRAN

A - Temperature Control *Heater* Code

```
#include <DHT.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

#define DHTPIN 2          // Pin yang digunakan untuk DHT11
#define DHTTYPE DHT11     // Jenis sensor DHT yang digunakan
#define RELAYPIN 3        // Pin yang digunakan untuk relay

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE); // Inisialisasi sensor DHT
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2); // Inisialisasi LCD I2C dengan alamat 0x27

void setup() {
   Serial.begin(9600);     // Memulai komunikasi serial
   dht.begin();            // Memulai sensor DHT
   lcd.init();             // Inisialisasi LCD
   lcd.backlight();        // Menghidupkan lampu latar LCD

   pinMode(RELAYPIN, OUTPUT); // Mengatur pin relay sebagai output
   digitalWrite(RELAYPIN, LOW); // Memastikan relay mati di awal

   lcd.setCursor(0, 0);
   lcd.print("SENSOR DHT11");
}

void loop() {
   float suhu = dht.readTemperature(); // Membaca suhu dalam Celsius
   float kelembaban = dht.readHumidity(); // Membaca kelembaban
```

```
// Mengecek apakah pembacaan gagal
if (isnan(suhu) || isnan(kelembaban)) {
    Serial.println("Gagal membaca dari sensor DHT!");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Error!");
    delay(2000); // Tunggu sebelum mencoba lagi
    return;
}

// Menampilkan hasil pembacaan ke Serial Monitor
Serial.print("Suhu: ");
Serial.print(suhu);
Serial.print(" °C");
Serial.print(" | Kelembaban: ");
Serial.print(kelembaban);
Serial.println(" %");

// Menampilkan data suhu ke LCD
lcd.setCursor(0, 1); // Baris kedua LCD
lcd.print("S:"); // S untuk Suhu
lcd.print(suhu);
lcd.print("C ");

// Menampilkan data kelembaban ke LCD
lcd.print("K:"); // K untuk Kelembaban
lcd.print(kelembaban);
lcd.print("%");

// Mengontrol relay berdasarkan suhu
if (suhu <= 45) {
    digitalWrite(RELAYPIN, HIGH); // Menyalakan relay
```

```
      lcd.setCursor(0, 0);
      lcd.print("Heater: ON       "); // Menampilkan status relay di LCD
      Serial.println("Relay ON");
    } else {
      digitalWrite(RELAYPIN, LOW); // Mematikan relay
      lcd.setCursor(0, 0);
      lcd.print("Heater: OFF      "); // Menampilkan status relay di LCD
      Serial.println("Relay OFF");
    }

    delay(2000); // Delay selama 2 detik sebelum pembacaan berikutnya
}
```

(Catatan; pada bagian berwarna merah dapat diganti sesuai dengan suhu yang diinginkan)

B – Penyusutan Keramik

PENYUSUTAN BERAT KERAMIK						
Trial	*Coloum Number* 1 2		Data Hasil Percobaan			
	Faktor Kendali		Rep 1		Rep 2	
	A	B	Berat basah	Berat Kering	Berat basah	Berat kering
1	1	1	394	334	349	308
2	1	2	376	318	358	310
3	1	3	383	327	370	321
4	2	1	435	374	410	354
5	2	2	361	308	344	297
6	2	3	371	311	360	318
7	3	1	370	318	383	328
8	3	2	386	328	436	375
9	3	3	389	331	327	291

C – Tabel Kolmogorov Smirnov

	α				
n	0.001	0.01	0.02	0.05	0.1
1		0.99500	0.99000	0.97500	0.95000
2	0.97764	0.92930	0.90000	0.84189	0.77639
3	0.92063	0.82900	0.78456	0.70760	0.63604
4	0.85046	0.73421	0.68887	0.62394	0.56522
5	0.78137	0.66855	0.62718	0.56327	0.50945
6	0.72479	0.61660	0.57741	0.51926	0.46799
7	0.67930	0.57580	0.53844	0.48343	0.43607
8	0.64098	0.54180	0.50654	0.45427	0.40962
9	0.60846	0.51330	0.47960	0.43001	0.38746
10	0.58042	0.48895	0.45662	0.40962	0.36866
11	0.55588	0.46770	0.43670	0.39122	0.35242
12	0.53422	0.44905	0.41918	0.37543	0.33815
13	0.51490	0.43246	0.40362	0.36143	0.32548
14	0.49753	0.41760	0.38970	0.34890	0.31417
15	0.48182	0.40420	0.37713	0.33760	0.30397
16	0.46750	0.39200	0.36571	0.32733	0.29471
17	0.45440	0.38085	0.35528	0.31796	0.28627
18	0.44234	0.37063	0.34569	0.30936	0.27851
19	0.43119	0.36116	0.33685	0.30142	0.27135
20	0.42085	0.35240	0.32866	0.29407	0.26473
25	0.37843	0.31656	0.30349	0.26404	0.23767
30	0.34672	0.28988	0.27704	0.24170	0.21756
35	0.32187	0.26898	0.25649	0.22424	0.20184
40	0.30169	0.25188	0.23993	0.21017	0.18939
45	0.28482	0.23780	0.22621	0.19842	0.17881
50	0.27051	0.22585	0.21460	0.18845	0.16982
Over 50	1.94947/√n	1.62762/√n	1.51743/√n	1.35810/√n	1.22385/√n

D – Tabel Chi Square

Percentage Points of the Chi-Square Distribution

Degrees of Freedom	Probability of a larger value of x^2								
	0.99	0.95	0.90	0.75	0.50	0.25	0.10	0.05	0.01
1	0.000	0.004	0.016	0.102	0.455	1.32	2.71	3.84	6.63
2	0.020	0.103	0.211	0.575	1.386	2.77	4.61	5.99	9.21
3	0.115	0.352	0.584	1.212	2.366	4.11	6.25	7.81	11.34
4	0.297	0.711	1.064	1.923	3.357	5.39	7.78	9.49	13.28
5	0.554	1.145	1.610	2.675	4.351	6.63	9.24	11.07	15.09
6	0.872	1.635	2.204	3.455	5.348	7.84	10.64	12.59	16.81
7	1.239	2.167	2.833	4.255	6.346	9.04	12.02	14.07	18.48
8	1.647	2.733	3.490	5.071	7.344	10.22	13.36	15.51	20.09
9	2.088	3.325	4.168	5.899	8.343	11.39	14.68	16.92	21.67
10	2.558	3.940	4.865	6.737	9.342	12.55	15.99	18.31	23.21
11	3.053	4.575	5.578	7.584	10.341	13.70	17.28	19.68	24.72
12	3.571	5.226	6.304	8.438	11.340	14.85	18.55	21.03	26.22
13	4.107	5.892	7.042	9.299	12.340	15.98	19.81	22.36	27.69
14	4.660	6.571	7.790	10.165	13.339	17.12	21.06	23.68	29.14
15	5.229	7.261	8.547	11.037	14.339	18.25	22.31	25.00	30.58
16	5.812	7.962	9.312	11.912	15.338	19.37	23.54	26.30	32.00
17	6.408	8.672	10.085	12.792	16.338	20.49	24.77	27.59	33.41
18	7.015	9.390	10.865	13.675	17.338	21.60	25.99	28.87	34.80
19	7.633	10.117	11.651	14.562	18.338	22.72	27.20	30.14	36.19
20	8.260	10.851	12.443	15.452	19.337	23.83	28.41	31.41	37.57
22	9.542	12.338	14.041	17.240	21.337	26.04	30.81	33.92	40.29
24	10.856	13.848	15.659	19.037	23.337	28.24	33.20	36.42	42.98
26	12.198	15.379	17.292	20.843	25.336	30.43	35.56	38.89	45.64
28	13.565	16.928	18.939	22.657	27.336	32.62	37.92	41.34	48.28
30	14.953	18.493	20.599	24.478	29.336	34.80	40.26	43.77	50.89
40	22.164	26.509	29.051	33.660	39.335	45.62	51.80	55.76	63.69
50	27.707	34.764	37.689	42.942	49.335	56.33	63.17	67.50	76.15
60	37.485	43.188	46.459	52.294	59.335	66.98	74.40	79.08	88.38