BAB 2
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka digunakan sebagai landasan teoritis dan ringkasan penelitian terdahulu. Hasil tinjauan pustaka yang dilakukan oleh masing-masing anggota tim penulis akan digunakan sebagai landasan yang konkret dalam menyelesaikan masalah. Bersama dengan hasil observasi sistem perusahaan dan masalah-masalah yang muncul di dalamnya, dapat dihasilkan sebuah solusi yang dapat menyelesaikan masalah dalam lantai pabrik yang tervalidasi secara ilmiah.

2.1.1 Tinjauan Pustaka *Gap Analysis* 1 Kasus Ketidakmampuan Menghasilkan Prototipe Sesuai Permintaan *Customer*

Tinjauan pustaka mengenai perancangan produk keramik bermotif menggunakan teknologi modern sudah banyak dilakukan dengan baik oleh peneliti sebelumnya. Penggunaan teknologi artistik CAD/CAM dengan metode *surface modeling* banyak berhasil membantu dan menjawab tatangan *stakeholder* (Chrispambayun, 2017; Gunadi, 2017; Pamungkas, 2024). Bantuan teknologi CAD/CAM ini juga dapat menghasilkan produk dengan tingkat presisi yang tinggi contohnya seperti produk *tableware* motif kawung (Anggoro et al., 2021, 2022).

Kualitas dari produk keramik sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor salah satunya adalah strategi dan metode produksi yang digunakan. Faktor penting dalam produksi kerajinan keramik adalah penggunaan *toolpath* yang tepat, pengaturan kecepatan *spindle*, ukuran *toolpath* yang sesuai fungsinya, proses *step over* yang baik dan laju feedrate yang tepat (Suleman, 2017).

Riset dan penelitian tentang master pola cetakan pada produk keramik sudah banyak dilakukan oleh peneliti terdahulu. Perancangan master pola cetakan dan master produk biasa dilakukan dengan metode kreatif dengan bantuan teknologi CAD/CAM (Krisnayuda, 2022; Ciptaningtyas, 2021; Prima, 2029). Berdasarkan dari penelitian dan riset untuk industri keramik banyak memiliki kesamaan dalam penggunaan metode dan teknologi yang digunakan.

2.1.2 Tinjauan Pustaka *Gap Analysis* 2 dalam Kasus Keterlambatan Penyelesaian Proyek Keramik Dinding Mosaik Skala Besar

Berdasarkan eksplorasi masalah dan observasi proses bisnis perusahaan yang dilakukan oleh tim, sistem manufaktur perusahaan merupakan sistem manufaktur *Engineer-to-Order* (ETO). Pembuatan prototipe baru untuk setiap *customer* dan master

model untuk menciptakan cetakan atau *tools* produksi yang sesuai dengan kebutuhan *customer* merupakan alasan sistem manufaktur perusahaan dapat dikategorikan menjadi sistem manufaktur ETO. Berdasarkan informasi tersebut, tinjauan pustaka dilakukan untuk mendapatkan literatur yang sesuai dengan kondisi sistem manufaktur perusahaan. Berikut merupakan tinjauan pustaka yang dilakukan terkait ETO *material handling.*

Penelitian mengenai optimasi sistem logistik internal dilakukan pada perusahaan kecil dan menengah (UKM) untuk menganalisis dampak modernisasi penyediaan bahan dasar. Dalam literatur yang dibaca, modernisasi tersebut dapat mengurangi inefisiensi operasional dalam sistem produksi *job shop* produk ETO. Terfokus dalam perusahaan produksi *control cabinet*, pengambilan bahan dasar oleh pekerja ahli secara manual yang terdesentralisasi dan berbasis kertas mengakibatkan terbuangnya waktu produktif signifikan. Untuk mengatasi terbuangnya waktu produktif, dilakukan perumusan alur kerja baru yang berbasis digital dan tersentralisasi berdasarkan pengamatan dari enam UKM *control cabinet* ETO. Penyediaan dan pengambilan bahan dasar menggunakan metode penandaan kode QR dan teknologi *pick-by-scan* dilakukan oleh staf gudang. Dengan mengalihkan tanggung jawab penyediaan dan pengambilan bahan dasar, terdapat pengurangan 11.3% *lead time* dengan memaksimalkan waktu produksi karyawan ahli (Bründl et al., 2024).

Dalam penelitian terkait bagaimana perusahaan ETO beradaptasi terhadap perubahan pasar, Bakås et al, (2023) mengkaji perancangan ulang proses logistik internal pada setiap perusahaan. Kajian dilakukan pada perusahaan yang sedang mengalami masa transisi dari bahan bakar fosil ke energi terbarukan. Studi eksploratif dilakukan pada sebuah kontraktor lepas pantai dengan menganalisis data ERP, wawancara, dan lokakarya kolaboratif untuk mengevaluasi masalah yang muncul dalam logistik proyek skala besar tradisional saat dihadapkan dengan margin keuntungan yang ketat dan *lead time* yang lebih pendek. Dengan studi eksploratif, ditemukan bahwa dalam mencapai kondisi logistik internal yang ideal diperlukan adaptasi sisi operasional dan organisasi secara bersamaan. Adaptasi dilakukan untuk mengurangi pemborosan waktu dengan menerapkan prinsip pull, sinkronisasi logistik perusahaan dan pengelolaan masalah *engineering* menjadi lebih baik. Untuk melakukan adaptasi dengan baik, kerangka transisi yang komprehensif yang berfungsi sebagai panduan perusahaan ETO untuk melakukan transisi dengan baik.

2.1.3 Tinjauan Pustaka *Gap Analysis* 3 dalam Kasus Ketidaksesuaian Hasil Glasir pada Produk Keramik Relief

Sutrisno dan Lucitasari (2021) menerapkan Metode Taguchi untuk menentukan parameter proses optimum pada industri keramik Kasongan yang mengalami tingkat cacat produk mencapai 12% dari total produksi. Penelitian difokuskan pada peningkatan kekuatan lentur (*flexural strength*) sebagai upaya mengurangi cacat berupa retak, melengkung, dan mudah patah. Melalui rancangan eksperimen Taguchi, penelitian berhasil mengidentifikasi kombinasi parameter proses yang meningkatkan karakteristik mekanik produk sehingga dapat digunakan sebagai dasar pengendalian proses produksi keramik. Hasil tersebut menunjukkan bahwa Metode Taguchi mampu digunakan sebagai alat optimasi parameter proses untuk meningkatkan kualitas produk keramik secara sistematis.

Penelitian C. F. Wang et al., (2012) menggunakan Metode Taguchi dengan L_9 *Orthogonal Array* untuk mengoptimalkan parameter proses pembuatan keramik konduktif berbasis 3Y-TZP/TiN. Faktor yang dikaji meliputi metode sintering, waktu penghancuran serbuk TiN, waktu penahanan tahap pertama, dan temperatur sintering tahap kedua. Berdasarkan analisis ANOVA dan uji konfirmasi, penelitian berhasil memperoleh kombinasi parameter optimum yang menghasilkan kekuatan lentur rata-rata sebesar 736,75 MPa dan ketangguhan retak sebesar 7,545 MPa·m^{1/2}. Selain itu, rasio fase tetragonal terhadap monoklin yang optimum menghasilkan ketangguhan retak maksimum sebesar 9,275 MPa·m^{1/2}, menunjukkan bahwa penerapan Metode Taguchi mampu meningkatkan sifat mekanik material sekaligus menentukan parameter proses yang paling berpengaruh.

Penelitian mengenai karakterisasi glasir ubin keramik menunjukkan bahwa ketebalan lapisan glasir merupakan parameter penting yang memengaruhi kualitas permukaan setelah pembakaran. Melalui pengamatan penampang menggunakan mikroskop optik, peneliti memperoleh bahwa ketebalan lapisan glasir berada pada kisaran 30–60 µm**,** sedangkan lapisan *engobe* berada pada kisaran 40–70 µm ketika jumlah slurry yang diaplikasikan dijaga tetap sebesar 44 mg/cm². Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa pengendalian jumlah *slurry* yang diaplikasikan menghasilkan variasi ketebalan glasir yang relatif kecil antar spesimen sehingga karakteristik permukaan menjadi lebih konsisten. Temuan tersebut menunjukkan bahwa ketebalan aplikasi glasir merupakan parameter proses yang perlu dikendalikan dan dapat dijadikan dasar dalam penyusunan standar ketebalan glasir pada proses produksi (Fabris et al., 2025).

Tabel 2. 1 Ringkasan Tinjauan Pustaka

No	Pustaka	Masalah	Solusi	Metode Penelitian	Hasil
1	Prima (2019)	*Stakeholder* tidak memiliki pengetahuan mengenai *pattern texture* dan ornamen.	Membuat desain tekstur dan ornamen menggunakan 3D CAD/CAM	Metode kreatif dan CAD/CAM	Desain tekstur dari ornamen 3D untuk industri keramik.
2	Badreswara (2022)	*Stakeholder* tidak mampu membuat desain 3D dengan motif batik kawung.	Membuat *core cavity* untuk master pola cetakan ornamen batik menggunakan teknologi CAD/CAM.	Metode kreatif dan CAD/CAM	Desain 3D master pola cetakan piring bermotif batik kawung.
3	Krisnayuda (2023)	*Stakeholder* tidak mampu dalam membuat desain variasi master pola produk keramik piring makan bermotif batik kawung.	Membuat desain 3D dan master pola cetakan piring makan bermotif batik kawung.	Metode kreatif dan CAD/CAM	Desain 3D master pola cetakan piring bermotif batik kawung.

Tabel 2.1 Lanjutan

No	Pustaka	Masalah	Solusi	Metode Penelitian	Hasil
4	Pamungkas (2024)	Desain keramik dinding motif islami terlalu rumit dan tidak dapat di produksi.	Membuat desain 3D yang lebih sederhana.	Metode kreatif dan CAD/CAM	Desain 3D keramik dinding motif islami.
5	Yuni (2018)	Pembuatan keramik *dining tablewere* motif kawung secara cepat dan presisi.	Membuat desain 3D dan master pola cetakan, serta master pola produk keramik *tableware* motif kawung.	Metode kreatif dan CAD/CAM	Desain 3D keramik *tableware* bermotif kwung dan master pola cetakannya.
6	(Bründl et al., 2024)	Data tidak konsisten, persediaan bahan berlebih yang tidak tercatat, serta kerugian waktu produktif yang besar akibat pekerja terampil yang harus mencari-cari suku cadang	Proses penyediaan bahan terpusat dengan menggunakan metode *pick-by-scan* dan tenaga kerja gudang khusus, dan sistem kode QR untuk pelacakan bahan.	Pemetakan proses produksi enam UKM ETO yang ada menggunakan standar *Business Process Model and Notation* (BPMN), dan mengevaluasi data persediaan historis	Mengurangi waktu produksi perakitan *control cabinet* sebesar 11,3%. Pengawasan bahan yang lebih ketat menghasilkan penghematan €30.000

Tabel 2.1 Lanjutan

No	Pustaka	Masalah	Solusi	Metode Penelitian	Hasil
7	(Bakås et al., 2023)	Seiring pergeseran pasar ke arah proyek-proyek energi terbarukan berskala lebih kecil dan kurang kompleks, yang memiliki margin keuntungan lebih tipis serta waktu penyelesaian lebih singkat, menyebabkan inefisiensi serta penumpukan bahan yang tidak terpakai.	Penerapan prinsip pull dan logistik yang terkoordinasi. serta pengadaan *shared storage space.*	Sebuah studi kasus eksploratif dan induktif dilakukan selama enam bulan di Akar *Solutions Stord* (sebuah kontraktor minyak dan gas lepas pantai terkemuka). Data dikumpulkan melalui wawancara semi-terstruktur dan analisis data ERP.	Kerangka kerja baru untuk transisi intralogistik ETO, yang menekankan bahwa penyesuaian operasional (seperti penggunaan gudang pusat) pasti akan gagal kecuali jika struktur organisasi yang mendasarinya (seperti otonomi proyek yang ketat) juga disesuaikan secara bersamaan

Tabel 2.1 Lanjutan

No	Pustaka	Masalah	Solusi	Metode Penelitian	Hasil
8	(Braglia et al., 2024)	*Standard lean logistic tools*, seperti Plan for Every *Part* (PFEP), memerlukan aliran material yang sangat ter standarisasi dan kode komponen yang dapat diprediksi, sehingga pada dasarnya tidak sesuai dengan lingkungan ETO/DTO	Pembuatan sistem *Plan for Every Order* (PFEO) yang harus dibuat dari awal untuk setiap proyek baru dan berfokus pada pelacakan hsail proyeksi *Load Units* (LUs) serta kontrak supplier tertentu.	Sistem PFEO yang dihasilkan kemudian diterapkan secara praktis pada galangan kapal mega-yacht. Sistem yang dihasilkan mempunyai fungsi untuk memetakan rincian *supplier*, uraian *structural contract,* ukuran muatan yang akan diterima, dan waktu penyelesaian proyek.	Dengan memprediksi kebutuhan kebutuhan ruang untuk proyek serta mengalokasikan keranjang khusus pada tepi jalur produksi, sistem berhasil menghemat total cost lebih dari €93.000.

Tabel 2.1 Lanjutan

No	Pustaka	Masalah	Solusi	Metode Penelitian	Hasil
9	(Li et al., 2011)	Pengelolaan gangguan yang terjadi pada produk OKP yang membutuhkan penjadwalan ulang yang cepat dan adaptif. Penanganan dengan metode tradisional menyebabkan penyelesaian masalah seperti “Pemadam Kebakaran”.	*Rule of thu State Space* (SS), diintegrasikan ke dalam *closep loop feedback control system* menggunakan perangkat lunak simulasi.	Pemodelan matematis "*rule-of-thumb"* SS untuk membuktikan kompleksitas komputasinya yang rendah	Heuristik SS secara konsisten menunjukkan kinerja yang lebih baik daripada heuristik CDS dan NIS dalam berbagai uji perbandingan yang dilakukan
10	Sutrisno & Lucitasari (2021)	Produk mengalami cacat berupa retak, melengkung, dan mudah patah dengan tingkat cacat sebesar 12% dari total produksi.	Mengoptimalkan parameter proses menggunakan Metode Taguchi.	Metode Taguchi, *Orthogonal Array*, ANOVA, S/N Ratio.	Berhasil memperoleh kombinasi parameter proses optimum yang meningkatkan *flexural strength* sehingga dapat digunakan sebagai acuan pengendalian proses produksi keramik.

Tabel 2.1 Lanjutan

No	Pustaka	Masalah	Solusi	Metode Penelitian	Hasil
11	Wang et al. (2012)	Belum diketahui kombinasi parameter sintering yang menghasilkan sifat mekanik terbaik.	Mengoptimalkan parameter proses sintering menggunakan Metode Taguchi.	Taguchi L_9 *Orthogonal Array*, ANOVA, uji konfirmasi.	Berhasil memperoleh parameter optimum dengan kekuatan lentur 736,75 MPa dan *fracture toughness* 7,545 MPa·m½, sedangkan kondisi optimum menghasilkan *fracture toughness* maksimum 9,275 MPa·m½.

Tabel 2.1 Lanjutan

No	Pustaka	Masalah	Solusi	Metode Penelitian	Hasil
13	Fabris et al. (2025)	Lapisan glasir yang terlalu tebal meningkatkan risiko retak selama pendinginan.	Simulasi variasi ketebalan glasir untuk menentukan kondisi yang meminimalkan retak.	Simulasi numerik (*finite element analysis*) dengan variasi ketebalan glasir 0,50–3,00 mm.	Hasil menunjukkan bahwa semakin tebal lapisan glasir, semakin besar tegangan dan kecenderungan terbentuknya retak, sehingga pengendalian ketebalan glasir menjadi parameter penting dalam menjaga kualitas produk keramik.

2.2 Dasar Teori

Teori merupakan sumber ilmu dan acuan yang digunakan oleh tim penulis dalam proses perancangan tugas akhir. Dasar teori yang digunakan meliputi dasar-dasar pendefinisian dan mengacu pada eksekusi terhadap permasalahan yang akan diselesaikan oleh tim penulis.

2.2.1 Keramik dan Proses Produksinya

Keramik merupakan suatu material padat anorganik non-logam yang tercipta dari proses pembakaran/pemanasan dari tanah liat yang kemudian dibentuk menjadi suatu benda sebelum dilakukan pembakaran untuk mendapatkan hasil akhir yang padat, menurut Michaelis (2009). Keramik dalam sejarahnya merupakan salah satu kerajinan masa lampau yang dibuat oleh bangsa Mesir di daerah sepanjang Sungai Nil. Keramik mulai banyak dikenal di berbagai belahan dunia setelah adanya temuan keramik dari bangsa China, Yunani, Amerika India, Korea, dan Romawi, menurut Astuti (1997). Keramik merupakan salah satu ilmu yang diajarkan pada mata kuliah CAD/CAM serta *Mold and Disk*. Proses pembentukan keramik secara umum adalah sebagai berikut.

i. Proses desain dan pembentukan

   Proses produksi keramik diawali dengan proses desain keramik dengan pembuatan master produk yang akan menjadi contoh atau bahan duplikat dalam produksi keramik. Selanjutnya, pembentukan tanah liat menjadi produk dengan menggunakan teknik pencubitan dan penggulungan. Produk yang dihasilkan biasanya berupa gelas, mangkok, piring dan guci.

ii. Pengeringan

   Setelah proses pembentukan selesai, selanjutnya adalah proses pengeringan yang banyak dilakukan dengan menggunakan bantuan panas matahari ataupun dengan mesin pemanas. Proses pengeringan bertujuan untuk mengurangi kadar air yang ada pada tanah liat. Keramik akan mengalami penyusutan dimensi karena kadar air berkurang dan pori-pori yang ada pada tanah liat mengalami penyusutan.

iii. Pembakaran Pertama *(Bisque Firing)*

   Tahap berikutnya keramik akan masuk ke dalam proses pembakaran pertama yang bertujuan untuk mendapatkan tingkat padat dan kekerasan yang lebih tinggi, sehingga keramik tidak mudah pecah dan berubah bentuk.

iv. Glasir *(finishing)*

   Tahapan terakhir dalam pembuatan keramik adalah proses glasir dan finishing. Proses glasir keramik akan diberikan lapisan pelindung untuk memberikan perlindungan pada dinding keramik. Proses *finishing* dilakukan untuk menambah nilai estetika dengan tujuan memikat konsumen dan terlihat menarik. Glasir

merupakan gabungan yang seimbang antara satu atau lebih bahan oksida netral (alumina), oksida basa (fux), dan oksida asam (silika). Ketiga jenis bahan tersebut merupakan sumber bahan utama untuk pembentukan glasir yang disusun dengan gabungan komposisi berdasarkan suhu kematangan yang dikehendaki pada glasir (Budianto WG., dkk., 2008: 421).

Seiring dengan perkembangan zaman dan berjalannya waktu, keramik bukan hanya menjadi karya seni tradisional yang diproduksi dengan metode konvensional tradisional. Produksi keramik sudah menjadi industri yang berkembang dengan pesat menggunakan teknologi yang terus berkembang. Menurut Astuti (1997) keramik dipisahkan menjadi beberapa jenis sebagai berikut.

a. Gelas

   Gelas merupakan produk berbahan dasar keramik yang dibuat dengan keramik cair yang dicetak menggunakan cetakan, lalu akan dibakar untuk mendapatkan tingkat kekeringan yang diinginkan.

b. Bahan Pengikat Mortal

   Keramik juga merupakan bahan pengikat mortal yang terbuat dari tanah selanjutnya dibakar dengan suhu tinggi. Keramik pengikat mortal yang biasa ditemui adalah *gypsum* dan kapur.

c. Keramik Halus

   Keramik halus merupakan keramik dengan tekstur halus yang pada umumnya digunakan sebagai bahan dasar pembuatan *tableware*, dan isolator Listrik.

Proses pembakaran kedua dilakukan setelah proses pemberian glasir pada keramik yang bertujuan untuk menyatukan glasir dengan permukaan keramik, sehingga menghasilkan tampilan yang halus dan mengkilap, serta keramik menjadi lebih keras dan kedap air. Keramik yang telah melalui proses pembakaran kedua selanjutnya disimpan pada rak penyimpanan terbuka untuk didinginkan.

2.2.2 Bahan Penyusun Glasir

Bahan-bahan penyusun glasir memiliki fungsi dan karakteristik yang berbeda dalam memengaruhi kualitas hasil akhir keramik. Berikut merupakan fungsi dan sifat masing-masing bahan yang digunakan dalam penelitian ini.

a. Feldspar

Feldspar merupakan mineral pembentuk batuan melimpah yang terbagi menjadi dua kelompok, yaitu feldspar alkali dan plagioklas (Winarno et al., 2024). Feldspar alkali dalam komposisi kimia mengandung feldspar Na-K dengan kandungan mineral yang terdiri dari mikroklin, mineral sanidine, dan ortoklas. Mineral feldspar plagiokla memiliki

kisaran kadar Ca-Plagioklas hingga Na-Plagioklas dengan kecenderungan warna lebih terang mendekati Na-Plagioklas dan akan semakin gelap jika menuju Ca-Plagioklas. Mineral ini tersusun dari albit, bitownit, andesine, oligoklas, dan labradorite. Dalam industri keramik, yang sering digunakan adalah K-feldspar dan plagioklas asam, plagioklas basa tidak digunakan karena bersifat basa dan cenderung gelap.

Feldspar memiliki sifat tidak akan terlarut dalam air dengan kandungan alumina, silika, dan fluks untuk menghasilkan gelas pada suhu tinggi. Feldspar saat dipanaskan akan mengalami peristiwa melebur dan meleleh, seperti saat kaca dipanaskan, sehingga *part*ikel yang terdapat pada campuran keramik akan menempel dengan bahan lainnya, dan membuat keramik lebih kuat. Penggunaan feldspar berfungsi untuk meningkatkan kekuatan, daya tahan, ketangguhan, ketahanan kimia, serta mengikat fase kristal bahan lain (Fuertes et al., 2022).

b. Kuarsa

Kuarsa (*quartz*) merupakan mineral yang tersusun terutama oleh silika (SiO_2) dan menjadi salah satu bahan baku utama dalam formulasi glasir keramik. Kuarsa berfungsi sebagai *glass former*, yaitu pembentuk jaringan kaca pada glasir selama proses pembakaran. Pada suhu tinggi, silika dari kuarsa bereaksi dengan bahan fluks, seperti feldspar dan frit, sehingga membentuk lapisan kaca yang memberikan kekerasan, ketahanan kimia, serta kestabilan pada permukaan glasir. Selain itu, kandungan kuarsa juga memengaruhi viskositas lelehan glasir, karakteristik pelelehan, dan kualitas permukaan glasir, sehingga komposisi kuarsa dalam formulasi glasir perlu dikontrol agar diperoleh hasil glasir yang optimal sesuai karakteristik produk yang diinginkan (Gatot Wahyu & Budianto, 2008).

c. Kaolin

Kaolin merupakan mineral aluminium silikat terhidrasi (*hydrated aluminium silicate*) yang berfungsi sebagai bahan pengikat dan pemberi sifat plastisitas pada adonan mentah keramik sebelum proses pembakaran (Sarna-Boś et al., 2021). Kaolin memiliki karakteristik fisis yang cenderung opak atau tidak tembus cahaya (*opaque properties*). Dalam formulasinya, penggunaan kaolin biasanya dibatasi dalam persentase yang kecil untuk menjaga keseimbangan tingkat translusensi dan estetika visual pada hasil akhir bodi keramik.

d. Talk

Talk merupakan mineral magnesium silikat terhidrat dengan formula kimia $Mg_3Si_4O_{10}(OH_2)$ yang di dalam formulasi glasir keramik diklasifikasikan sebagai bahan pelebur (*fluxing agent*) sekunder penyuplai unsur Magnesium Oksida (MgO) (Gatot

Wahyu & Budianto, 2008). Talk memiliki karakteristik termal untuk melepaskan air kristal terikatnya pada suhu di atas atas 550° dan akan meleleh dengan silika dan feldspar saat temperatur tungku mencapai fasa suhu tinggi di atas 1150°. Sifat utama dari lelehan berbasis talk yaitu memiliki tingkat viskositas (kekentalan) yang rendah serta tegangan permukaan yang optimal, sehingga berfungsi sebagai pemadat yang membantu suspensi cair glasir menutup permukaan bodi secara rata, mereduksi pori mikro, sekaligus mencegah cacat lubang jarum (*pinholes*). Selain mengoptimalkan kehalusan permukaan, penambahan talk dalam jumlah menengah ke atas terbukti secara fisis mampu menurunkan koefisien ekspansi termal lapisan glasir, yang secara mekanis berperan untuk mencegah cacat retak rambut dan dapat dikontrol untuk menghasilkan variasi tampilan permukaan yang kesat atau buram yang halus.

e. Barium

Barium merupakan unsur kimia golongan logam alkali tanah yang dalam industri keramik umumnya digunakan dalam bentuk barium karbonat ($BaCO_3$) atau dilebur menjadi barium oksida (BaO) (Dachyar et al., 2008). Dalam struktur kimia glasir keramik, barium oksida bertindak sebagai salah satu fasa oksida basa kuat yang berfungsi untuk menurunkan titik lebur dari komponen pembentuk kaca utama seperti silika dan kuarsa selama proses pembakaran berlangsung. Selain sebagai bahan pelebur (*flux*), penambahan barium secara fisis sangat efektif dalam meningkatkan indeks bias (*refractive index*) lapisan glasir, sehingga permukaan produk akhir keramik mampu memantulkan cahaya dengan lebih tajam, memberikan efek kilap (*glossiness*) yang cemerlang, serta memperkuat intensitas pewarnaan visual.

f. Zirkon

Zirkon atau zirkonium oksida (ZrO_2) merupakan jenis keramik polikristalin (*polycrystalline ceramics*) yang tersusun atas struktur fasa padat tanpa komponen kaca, sehingga memiliki kekuatan mekanis dan fisis tertinggi di antara semua material keramik struktural lainnya (Sarna-Boś et al., 2021). Dalam industri keramik, zircon berfungsi sebagai glasir opak (*opacifier glazesl)* karena indeks refraksi yang dimiliki cukup tinggi. Zirkon merupakan pengganti peran Sn-Oksida untuk menghasilkan kualitas yang bermutu tinggi pada keramik berwarna dan keramik putih dengan sinar dan kecerahannya (Suseno dkk., 2015).

g. Frit

Frit merupakan material anorganik berbentuk kaca (*vitreous material*) yang dihasilkan melalui proses peleburan campuran bahan baku, seperti silika (SiO_2), feldspar ($KAlSi_3O_8$, $NaAlSi_3O_8$, atau $CaAl_2Si_2O_8$), boraks ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$), serta berbagai oksida logam, kemudian didinginkan secara cepat (*quenching*) sehingga membentuk material amorf

sebelum digiling menjadi serbuk halus. Dalam formulasi glasir keramik, frit berfungsi sebagai flux, yaitu bahan yang menurunkan suhu leleh sistem glasir dengan membentuk fase cair lebih awal selama proses pembakaran. Keberadaan frit mempercepat proses vitrifikasi dan pembentukan fase kaca, sehingga menghasilkan lapisan glasir yang lebih homogen, halus, dan mengilap. Selain itu, frit juga berkontribusi dalam meningkatkan daya lekat glasir pada badan keramik, ketahanan kimia, kekerasan permukaan, serta mengurangi risiko cacat glasir akibat pelelehan yang tidak sempurna. Oleh karena itu, komposisi frit menjadi salah satu faktor penting yang menentukan karakteristik akhir glasir setelah proses pembakaran (Dondi et al., 2006; Karasu & Turan, 2002).

h. Zink Oxide

Seng oksida (ZnO) pada formulasi glasir keramik diklasifikasikan sebagai bahan pelebur (*fluxing agent*) sekunder yang sangat efektif untuk menurunkan temperatur matang pembakaran serta mengontrol viskositas lelehan glasir saat berada di dalam tungku (Kim et al., 2022). Penambahan seng oksida dengan konsentrasi yang tepat mampu meningkatkan indeks bias fasa kaca yang berdampak langsung pada peningkatan kecemerlangan, kematangan warna, serta tingkat kilap (*glossiness*) permukaan akhir keramik. Selain mengoptimalkan visual, seng oksida juga berperan penting dalam menurunkan koefisien ekspansi termal (*coefficient of thermal expansion*) lapisan glasir, sehingga secara mekanis dapat meminimalkan risiko cacat retak rambut (*crazing*) dan meningkatkan ketahanan retak (*crack resistance*) produk akibat perubahan suhu ekstrem. Karakteristik mikrostruktural dari penggunaan seng oksida ini juga memicu terbentuknya fasa kristal spesifik seperti willemite seng oksida pada permukaan glasir, yang berkontribusi dalam menghadirkan sifat fungsional modern berupa aktivitas antibakteri (*antibacterial activity*) yang mampu menghambat pertumbuhan mikroorganisme berbahaya pada permukaan keramik.

i. *Stain*

Stain merupakan pigmen anorganik sintetik yang digunakan sebagai bahan pewarna dalam formulasi glasir maupun badan keramik. *Stain* tersusun atas senyawa oksida logam yang telah mengalami proses kalsinasi sehingga memiliki stabilitas termal dan kimia yang tinggi. Berbeda dengan oksida pewarna biasa, *stain* mampu mempertahankan warna selama proses pembakaran pada suhu tinggi tanpa mengalami perubahan yang signifikan akibat reaksi dengan komponen glasir. Oleh karena itu, *stain* banyak digunakan dalam industri keramik untuk menghasilkan warna yang seragam, stabil, dan konsisten pada permukaan produk keramik. Selain memberikan warna, pemilihan jenis *stain* juga harus disesuaikan dengan komposisi glasir dan suhu

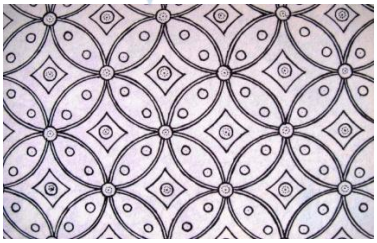
pembakaran agar warna yang dihasilkan sesuai dengan karakteristik produk yang diinginkan (Carneiro et al., 2019).

2.2.3 Pengertian Ornamen

Herbert Read mengungkapkan bahwa kebutuhan dalam diri manusia akan ornamen merupakan aspek psikologis karena pada perasaan manusia terdapat istilah "*horror vacuii"* atau ketakutan pada ruang kosong atau *"horror vacuum"* yang berarti perabot. Istilah ini digunakan dalam sejarah tradisional pada karakteristik seni primitif. Seorang kritikus yang berasal dari Italia Bernama Mario Praz menggunakan istilah suasana atmosfir mencekam pada alam dan ketidakrapian pada pola desain interion pada masa kerajaan Victorian. Seiring perkembangan zaman, tercatat dalam sejarah yaitu masa Geometrik (1100-900 SM) yang berlanjut pada perkembangan seni Islam (*Arabesque*) dan seni Yunani Kuno. Ornamen berasal dari kata *ornare* yang artinya menghiasi atau hiasan. Ornamen memiliki nilai fungsi estetika, baik pada benda atau barang yang dihias. Ornamen memiliki nilai-nilai spiritual dan simbolik. Setiap coraknya mempengaruhi segi penghargaan dan nilai jualnya. Motif merupakan bentuk-bentuk yang digunakan menyusun ornamen sebagai isian bidang pada suatu benda untuk menciptakan kesan estetikkan dan spiritual (Dafrina et al., n.d.). Hal tersebut menyebabkan kedudukan motif sangat penting dalam menentukan suatu ornamen. Berikut merupakan beberapa jenis bentuk motif yang terbagi menjadi geometris, non-geometris, figuratif, dan dekoratif.

a. Ornamen Pola Geomtris

Ornamen pola geometris merupakan motif yang paling awal muncul sejak zaman prasejarah atau batu. Desain motif ornamen ini menggunakan unsur-unsur rupa dalam bentuk, seperti abstrak yang sulit dikenali atau garis. Motif ini berkembang mulai dari bentuk titik, garis, atau motif yang dilakukan secara berulang, dari yang sederhana hingga rumit. Motif geometris ini terdapat pada beberapa arsitektur nusantara, seperti kawung, lereng, tumpal, meander, dan baji.



Gambar 2. 1 Motif Geometris
(Sumber: https://moondoggiesmusic.com/wp-content/uploads/2019/07/Motif-Geometris-Kawung.jpg)

b. Ornamen Non Geometris

Ornamen non-geometris merupakan ornamen yang memiliki motif berbentuk bebas atau berbentuk elemen alam, seperti motif manusia, kaligrafi, tumbuhan, binatang, dan lainnya.



Gambar 2. 2 Motif Non-Geometris
Binatang dan Tumbuhan
(Sumber: https://fitinline.com/article/read/ciri-khas-motif-non-geometris-dan-aplikasinya-pada-kain-batik/)

c. Ornamen Figuratif

Ornamen Figuratif merupakan ornamen yang menggunakan manusia sebagai obyek utama dalam pembuatan motifnya. Motif ornamen ini menirukan bentuk susunan tubuh manusia, seperti tubuh manusia, badan, kaki, dan kepala.



Gambar 2. 3 Motif Figuratif
(Sumber: https://i.pinimg.com/474x/43/ce/79/43ce79d27ec776b43e9efcb727b5513d.jpg)

d. Ornamen Dekoratif

Ornamen dekoratif merupakan ornamen yang memiliki motif poligon yang bersifat menyatukan beberapa pola atau motif menjadi satu kesatuan bentuk.



Gambar 2. 4 Motif Dekoratif
(Sumber: https://tse3.mm.bing.net/th/id/OIP.3cOY
JqRvw2YeUjzZvzM-4wHaFe?pid=Api&h=220&P=0)

2.2.4 Pengertian Pola Mosaik

Pola mosaik pada keramik merupakan susunan potongan-potongan keramik berukuran kecil (*tesserae*) yang dirangkai secara sistematis sehingga membentuk komposisi visual tertentu, baik berupa pola geometris maupun dekoratif pada suatu permukaan (Ariani et al., 2023). Berdasarkan sumber lain, seni mosaik secara didefinisikan sebagai bentuk seni yang sangat tahan lama, fungsional, dan dekoratif yang dibuat melalui penyusunan dan penggabungan potongan-potongan kecil dan terpisah dari bahan keras secara sengaja untuk membentuk pola terpadu, desain geometris, atau gambar figuratif (Elber & Wolberg, 2003). Pengaplikasian mosaik saat ini tidak hanya terbatas pada dinding dan lantai eksterior saja, tetapi telah menjadi bagian dari interior pada rumah, misalnya area kamar mandi dan dapur. Selain itu, mosaik juga diaplikasikan pada produk-produk berbentuk tiga dimensi, seperti patung, furnitur, pot tanaman hias, dan sebagainya.

2.2.5 Pengertian Relief

Relief merupakan bentuk benda yang telah memiliki aspek terkait dimensi kedalaman dengan permukaan yang memiliki ketinggian, sehingga menyebabkan timbulnya ruang. Prinsip rupa dan pengelolaan unsur relief merupakan pertimbangan dari panjang, lebar, dan tingginya. Relief merupakan pengalihan dari bentuk 2D menjadi 3D dengan bentuk karakternya (Yusuf et al., 2024). Berikut merupakan jenis-jenis relief.

a. Relief tinggi, yaitu relief yang memiliki permukaan sangat menonjol dari bidang datarnya dengan ketebalan yang mampu mencapai lebih dari setengah bidang permukaan.
b. Relief rendah, yaitu relief yang memiliki permukaan menonjol dari bidang datarnya dengan ketebalan yang kurang setengah bidang permukaan.
c. Relief cekung, yaitu relief yang memiliki permukaan tidak timbul, namun masuk ke dalam permukaan pada bidang datarnya.
d. Relief tembus, yaitu relief lanjutan dari relief cekung yang dapat dilihat melalui dua sisi berbeda.

2.2.6 Fenomena *Shrinkage*

Fenomena *shrinkage* atau penyusutan merupakan suatu perubahan yang terjadi pada bahan akibat menghilangnya kandungan air saat bahan tersebut dalam proses pembakaran atau pencetakan (Dyah Setyowati et al., 2024). Perubahan pada bahan dapat terjadi meliputi susut pada massa, volume, dan panjang. Keramik merupakan salah satu bahan yang dapat terjadi peristiwa penyusutan. Sampel keramik yang melalui proses pemanasan akan mengalami peristiwa penyusutan yang berbeda-beda sesuai dengan kandungan air yang terdapat pada bahan. Proses pemanasan mengakibatkan kandungan air pada bahan menghilang dan butiran yang saling mengikat. Ruang kosong yang terbentuk akibat keluarnya zat cair akan terisi oleh zat pelebur, sehingga menyebabkan terjadinya penyusutan pada bahan.

2.2.7 Pengaruh Viskositas Glasir terhadap Kualitas Keramik

Viskositas merupakan sifat suatu fluida yang menunjukkan besarnya hambatan atau perlawanan terhadap gaya geser dan aliran. Semakin tinggi viskositas suatu fluida, semakin besar hambatan alirannya sehingga fluida menjadi lebih sulit mengalir (Mekala, 2016). Viskositas pada glasir cair merupakan ukuran kekentalan *slurry* glasir yang menunjukkan kemampuan campuran untuk mengalir selama proses aplikasi pada permukaan keramik. Viskositas yang tinggi menghasilkan *slurry* yang lebih kental, sedangkan viskositas yang rendah menghasilkan *slurry* yang lebih encer dan mudah mengalir (Ji et al., 2012). Viskositas glasir dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya adalah ukuran atau jumlah *part*ikel bahan (Yıldız, 2024). Penurunan ukuran *part*ikel glasir terbukti mampu mengurangi visikositas glasir cair, sehingga menghasilkan glasir dengan permukaan yang halus. Selain *part*ikel bahan, viskositas pada glasir cair juga dapat dipengaruhi oleh air. Air berperan sebagai media pendispersi dalam suspensi glasir. Penambahan volume air dapat menurunkan viskositas glasir sehingga glasir menjadi lebih encer dan lebih mudah mengalir pada permukaan keramik (Gebhart, 2012). Kadar air yang terlalu tinggi pada campuran glasir mengakibatkan penyusutan secara drastis, risiko keretakan yang tinggi, dan lapisan suspensi menjadi sangat tipis di area sudut, tepian, dan puncak relief. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketebalan glasir akan memengaruhi warna yang dihasilkan (C. Wang et al., 2022). Dalam sistem viskositas rendah, struktur pemisahan fasa lebih mudah tumbuh, sehingga ukuran rata-rata *part*ikel pemisahan fasa pada sampel glasir yang lebih tipis dibandingkan dengan sampel glasir yang lebih tebal . Ketebalan lapisan glasir merupakan faktor penting yang memengaruhi pembentukan warna pada keramik. Perubahan ketebalan glasir dapat menyebabkan perubahan intensitas dan karakteristik warna yang dihasilkan setelah pembakaran.

2.2.8 Aspek Artistik

Artistik merupakan segala sesuatu yang berkaitan dengan seni dan kreativitas dalam kegiatan berkarya. Karya seni diciptakan dengan menggunakan rasa sebagai bentuk interpretasi dari emosional dan ekspresi dari pikiran serta perasaan seniman, menurut Simanaitiene (2014).

2.2.9 Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data merupakan tahapan yang dilakukan untuk memperoleh informasi yang dibutuhkan dalam penelitian (Ardiansyah et al., 2023). Data yang diperoleh akan digunakan sebagai dasar dalam proses analisis sehingga perlu dikumpulkan melalui teknik yang sesuai dengan tujuan penelitian.

a. Wawancara

   Wawancara merupakan teknik pengumpulan data dengan melakukan interaksi secara langsung antara peneliti dengan *parti*sipan dalam penelitian (Creswell, 2014). Wawancara kualitatif dilakukan untuk mendapatkan pemahaman yang mendalam mengenai pandangan, pengalaman, perspektif individu pada objek yang sedang diteliti. Peneliti dapat melakukan wawancara, baik secara terstruktur, semi-terstruktur, atau tidak terstruktur berdasarkan tujuan penelitian dan pedoman yang telah disusun oleh peneliti.

b. Observasi

   Observasi merupakan teknik pengumpulan data dengan melibatkan pengamatan yang dilakukan secara langsung terhadap konteks dan *parti*sipan yang terlibat dialam fenomena penelitian. Proses observasi kualitatif dilakukan dalam kondisi nyata atau pada lingkungan yang secara khusus telah dirancang untuk melakukan penelitian. Kegiatan observasi memberikan kesempatan bagi peneliti agar dapat mengamati interaksi sosial, perilaku, dan konteks yang terkait dengan fenomena penelitian (Bogdan & Boklen, 2017).

c. Dokumentasi

   Dokumentasi merupakan teknik pengumpulan data bersumber dari arsip, dokumen, atau bahan tertulis lainnya yang memiliki keterkaitan dengan fenomena penelitian. Dokumen yang digunakan dapat berupa surat, catatan, buku, laporan, atau dokumen resmi lainnya. Studi dokumentasi dapat memberikan informasi terkait peristiwa, konteks historis, kebijakan dan perkembangan yang relevan dengan fenomena yang sedang diteliti (Creswell, 2014)

d. Angket atau Kuesioner

   Angket atau kuesioner merupakan teknik pengumpulan data yang dilakukan dengan pemberian sejumlah pertanyaan atau pernyataan yang telah disusun secara

sistematis kepada responsden. Responsden diminta untuk memberikan jawaban berdasarkan pilihan yang tersedia atau mengisi jawaban sesuai dengan informasi yang dimiliki. Teknik ini digunakan untuk memperoleh data dari sejumlah responsden dalam jumlah yang relatif besar sehingga hasil yang diperoleh dapat dianalisis secara kuantitatif (Creswell, 2014). Dalam penyusunan kuesioner, diperlukan suatu skala pengukuran untuk mengubah tanggapan responsden menjadi data yang dapat dianalisis. Pemilihan skala yang tepat akan membantu peneliti memperoleh informasi yang sesuai dengan tujuan penelitian.

i. Skala Likert, yaitu skala pengukuran yang banyak digunakan dalam penelitian untuk mengetahui sikap, pendapat, maupun persepsi individu atau kelompok terhadap suatu fenomena yang menjadi fokus penelitian (Mahfud Heru Fatoni et al., 2024). Melalui skala ini, responsden diminta memberikan tanggapan terhadap pernyataan yang disajikan berdasarkan tingkat persetujuan atau penilaiannya. Pada penerapannya, skala Likert menyajikan pilihan jawaban yang tersusun secara bertingkat, mulai dari tanggapan yang paling positif hingga yang paling negatif. Pilihan jawaban yang umum digunakan meliputi:

- Sangat Setuju / Selalu / Sangat Positif
- Setuju / Sering / Positif
- Netral / Kadang-kadang / Ragu-ragu
- Tidak Setuju / Hampir Tidak Pernah / Negatif
- Sangat Tidak Setuju / Tidak Pernah / Sangat Negatif

Dalam analisis kuantitatif, setiap alternatif jawaban diberikan nilai atau skor tertentu untuk memudahkan pengolahan data. Skor tersebut umumnya diberikan sebagai berikut.

- Sangat Setuju / Selalu / Sangat Positif = 5
- Setuju / Sering / Positif = 4
- Netral / Kadang-kadang / Ragu-ragu = 3
- Tidak Setuju / Hampir Tidak Pernah / Negatif = 2
- Sangat Tidak Setuju / Tidak Pernah / Sangat Negatif = 1

ii. Skala Guttman, yaitu skala yang digunakan untuk memperoleh jawaban yang tegas dan pasti, seperti "ya-tidak", "benar-salah", "setuju-tidak setuju", atau “pernah-tidak pernah”. Skala ini hanya menyediakan dua alternatif jawaban sehingga memudahkan peneliti dalam mengidentifikasi sikap, pendapat, atau persepsi responsden terhadap suatu pernyataan. Penggunaan skala Guttman bertujuan untuk mendapatkan respons yang jelas dan konsisten terhadap isu yang diteliti (Sari et al., 2024).

iii. Skala semantik diferensial, yaitu skala yang dikembangkan oleh Osgood disajikan dalam bentuk garis kontinu dengan dua kutub yang berlawanan. Pada satu ujung terdapat respons yang menunjukkan sikap sangat positif, sedangkan ujung lainnya menunjukkan sikap sangat negatif. Responsden memberikan jawaban dengan menandai posisi pada garis tersebut sesuai tingkat sikap atau persepsi yang dimiliki terhadap suatu objek atau pernyataan.

iv. Skala penilaian (*rating scale*), yaitu digunakan untuk mengukur suatu variabel dengan memberikan pilihan jawaban dalam bentuk angka 1 sampai dengan 5 yang merepresentasikan tingkat tertentu. Data yang diperoleh berupa nilai numerik yang kemudian dapat diinterpretasikan secara kualitatif sesuai kriteria yang telah ditetapkan. Penggunaan *rating scale* membantu peneliti memperoleh data yang lebih terukur dan memudahkan proses analisis karena setiap skor memiliki makna yang jelas.

v. *Checklist*, yaitu instrumen pengumpulan data yang digunakan untuk mencatat ada atau tidak adanya suatu karakteristik, aktivitas, atau kondisi tertentu berdasarkan kriteria yang telah ditetapkan (Philip, 2024). Responsden atau peneliti hanya memberikan tanda pada pilihan yang tersedia tanpa menunjukkan tingkat atau intensitas suatu kondisi. Instrumen ini banyak digunakan karena sederhana dan memudahkan proses observasi maupun evaluasi.

vi. Skala peringkat (*ranking scale*), yaitu jenis skala pengukuran yang meminta responsden untuk mengurutkan sejumlah pilihan berdasarkan tingkat kepentingan, preferensi, atau prioritas tertentu. Melalui skala ini, peneliti dapat mengetahui urutan relatif setiap alternatif menurut persepsi responsden, sehingga dapa digunakan untuk mengidentifikasi faktor yang paling maupun paling tidak diprioritaskan dalam suatu penelitian.

vii. Pertanyaan terbuka (*open-ended questions*), yaitu salah satu bentuk instrumen pengumpulan data yang memberikan kebebasan penuh kepada responsden untuk menjawab pertanyaan menggunakan kata-kata, kalimat, atau uraian mereka sendiri tanpa dibatasi oleh pilihan jawaban yang telah ditentukan (Muchlis, 2023). Metode ini digunakan untuk menggali informasi secara mendalam mengenai pendapat, pengalaman, alasan, maupun persepsi responsden terhadap suatu fenomena yang diteliti. Dengan demikian, data yang dihasilkan bersifat kualitatif dan lebih kaya karena mencerminkan pandangan responsden secara langsung.

e. Focus Group Discussion (FGD)

Focus Group Discussion (FGD) merupakan metode pengumpulan data yang dilakukan melalui diskusi terarah antara beberapa peserta untuk memperoleh informasi, pendapat, dan masukan terkait topik yang diteliti. Karakteristik utama FGD

adalah pemanfaatan interaksi antar *part*isipan sehingga data yang diperoleh menjadi lebih mendalam, informatif, dan kaya dibandingkan metode pengumpulan data secara individu. Oleh karena itu, FGD digunakan untuk menggali persepsi dan penilaian *stakeholder* terhadap kualitas relief keramik hasil eksperimen serta memperoleh masukan terkait kriteria kualitas yang dianggap penting dalam proses evaluasi produk (Afiyanti, 2008).

f. Observasi Terstruktur

Observasi terstruktur merupakan teknik pengumpulan data yang dilakukan melalui pengamatan secara sistematis terhadap variabel atau aspek yang telah ditetapkan sebelumnya (Creswell, 2014). Dalam pelaksanaannya, peneliti menggunakan pedoman observasi atau instrumen pengamatan untuk mencatat berbagai perilaku, aktivitas, maupun fenomena yang terjadi selama proses pengamatan. Teknik ini bertujuan untuk menghasilkan data yang terukur sehingga dapat diolah dan dianalisis menggunakan metode statistik.

2.2.10 *Computer Aided Design* (CAD)

Menurut Sadrehaghighi, I. (2022), CAD (*Computer Aided Desain*) merupakan teknologi berbasis komputer yang digunakan untuk proses perancangan desain atau model suatu produk. Model desain yang dihasilkan bisa berupa 2D maupun 3D. Teknologi CAD memudahkan para pengguna CAD untuk menghasilkan desain yang rumit dari 2D ke dalam 3D. Penggunaan CAD terbukti mampu meningkatkan kuaalitas desain, produktivitas perancang atau desainer, meningkatkan komunikasi berbasis dokumentasi, dan mampu membuat basis data untuk keperluan manufaktur. CAD memiliki beberapa tipe perangkat lunak yang memiliki fungsi dan keunggulan masing masing, misalnya Inventor, Solidworks, Artcam, Power Shape dan sebagainya.

2.2.11 Standar Operasional Produksi (SOP)

Standar Operasional Prosedur (SOP) merupakan dokumen yang berisi sistematika atau langkah-langkah pekerjaan yang terdapat dalam suatu organisasi. Dari beberapa pengertian SOP menurut beberapa ahli, tujuan utama penyusunan SOP adalah untuk memudahkan setiap proses kerja pada organisasi dan meminimalkan terjadinya kesalahan pada suatu proses proses kerja, menurut Koesmono (2012). Tujuan dari pembuatan SOP, meliputi menjaga tingkat kinerja dan konsistensi pegawai atau petugas, memaparkan fungsi dan peran secara jelas dalam organisasi, memperjelas tanggung jawab dan wewenang setiap bagian organisasi, menghindari terjadinya kesalahan, keraguan, kegagalan, inefisiensi, dan duplikasi, serta memberikan dokumen mengenai hal-hal yang dibutuhkan dalam proses kerja.

2.2.12 Metode Irasional

Metode irasional merupakan pendekatan desain yang menekankan intuisi, kreativitas, dan inspirasi desainer dalam menghasilkan konsep desain (Indrosaptono et al., 2021). Pada metode ini, proses berpikir yang terjadi selama perancangan tidak dapat dijelaskan secara rinci atau sistematis karena solusi sering muncul melalui proses mental internal yang bersifat intuitif. Oleh karena itu, metode irasional dikenal juga sebagai pendekatan *black box*. Hal yang dapat diamati adalah masukan (*input*) dan hasil (*output*), sedangkan proses pengambilan keputusan di dalamnya sulit dijelaskan secara objektif. Solusi desain diperoleh melalui intuisi, pengalaman, imajinasi, dan kreativitas perancang, sehingga tahapan pengambilan keputusan tidak selalu mengikuti prosedur yang sistematis dan terukur.

2.2.13 *Design of Experiments (DoE)*

DoE merupakan suatu pendekatan yang digunakan dalam merencanakan, merancang, serta menganalisis suatu eksperimen agar hasil yang diperoleh dapat menghasilkan kesimpulan yang valid, objektif, serta dilakukan secara efektif dan efisien (Imam & Muttaqin, 2019).. Melalui pendekatan ini, eksperimen dapat dirancang secara sistematis sehingga diperoleh hasil yang optimal.

Dalam praktiknya, DoE terbagi menjadi dua komponen variabel yang menjadi dasar pengujian, yaitu variabel bebas atau independen (faktor) dan variabel terikat atau dependen (respons) (Imam & Muttaqin, 2019). Variabel independen merupakan parameter yang memengaruhi hasil eksperimen, dan secara umum dapat dikelompokkan menjadi faktor yang dapat dikendalikan oleh peneliti (*controllable factors*) serta faktor yang sulit atau tidak dapat dikendalikan (*uncontrollable factors*), yang sering disebut juga sebagai faktor gangguan (*noise factors*) atau kovariat. Setiap faktor yang diuji memiliki sejumlah level. Kombinasi dari berbagai level pada seluruh faktor dalam suatu percobaan disebut *treatment* atau perlakuan. Sementara itu, *replication* atau replikasi menunjukkan jumlah pengulangan eksperimen pada perlakuan yang sama guna meningkatkan keandalan data penelitian.

Menurut Telford (2007), terdapat lima prinsip dasar dalam DoE, yaitu randomisasi, replikasi, *blocking*, ortogonalitas, dan eksperimen faktorial. Randomisasi bertujuan meminimalkan bias melalui pengacakan unit eksperimen. Replikasi dilakukan dengan mengulang perlakuan yang sama untuk meningkatkan akurasi hasil. *Blocking* digunakan untuk mengelompokkan unit eksperimen yang homogen sehingga variasi yang tidak diinginkan dapat dikendalikan. Ortogonalitas memungkinkan setiap faktor dianalisis

secara terpisah karena tidak saling berkaitan, dan eksperimen faktorial digunakan untuk mengidentifikasi pengaruh faktor maupun interaksi antar faktor dalam suatu uji coba.

2.2.14 Metode Taguchi

Konsep *quality engineering* yang dikembangkan oleh Dr. Genichi Taguchi telah lama diterapkan di Jepang dan mulai diperkenalkan secara luas di negara-negara Barat pada tahun 1980-an. Tujuan utama dari *quality engineering* adalah merancang kualitas sejak tahap perancangan produk maupun proses sehingga kualitas dapat dibangun secara sistematis. Upaya peningkatan kualitas yang dilakukan pada tahap sebelum proses produksi berlangsung dikenal sebagai metode *off-line quality control*.

Metode Taguchi merupakan salah satu pendekatan eksperimental yang digunakan untuk meningkatkan kualitas produk maupun proses. Metode ini menawarkan alternatif dalam perancangan eksperimen yang mampu memberikan tingkat keandalan yang setara dengan *Statistical Process Control* (SPC). Pendekatan *off-line* yang dikembangkan oleh Taguchi dinilai efektif untuk meningkatkan kualitas sekaligus menekan biaya produksi. Melalui rekayasa kualitas tersebut, Taguchi berupaya menghasilkan produk atau proses yang memiliki performa tangguh dan tidak mudah terpengaruh oleh faktor-faktor yang sulit dikendalikan. Untuk mencapai tujuan tersebut, Taguchi memperkenalkan tiga tahapan utama dalam metode perancangannya, yaitu perancangan sistem (*system design*), perancangan parameter (*parameter design*), dan perancangan toleransi (*tolerance design*) (Wuryandari et al., n.d.).

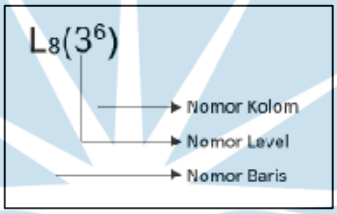
2.2.15 *Orthogonal Array (OA)*

Orthogonal Array (OA) merupakan salah satu bentuk rancangan percobaan yang termasuk dalam *Fractional Factorial Experiment (FFE)*. Berbeda dengan *Full Factorial Experiment* yang menguji seluruh kombinasi perlakuan, FFE hanya menggunakan sebagian kombinasi percobaan sehingga jumlah eksperimen yang diperlukan menjadi lebih sedikit. Pada percobaan dengan dua level (2^k), jumlah percobaan dapat dikurangi menjadi setengah, seperempat, atau seperdelapan dari total kombinasi. Sementara itu, pada percobaan dengan tiga level (3^k), jumlah percobaan dapat direduksi menjadi sepertiga, sepersembilan, atau seperduapuluh tujuh dari keseluruhan kombinasi yang mungkin.

Konsep *Orthogonal Array* pertama kali diperkenalkan oleh Jacques Hadamard pada tahun 1897 dan kemudian mulai diterapkan secara luas oleh Plackett dan Burman pada masa Perang Dunia II. Dalam OA untuk percobaan dua level, level rendah biasanya dinyatakan dengan simbol (−) dan level tinggi dengan simbol (+). Sementara itu, pada

percobaan tiga level digunakan simbol (−) untuk level rendah, (0) untuk level sedang, dan (+) untuk level tinggi.

Orthogonal Array tersedia dalam berbagai bentuk sesuai dengan jumlah percobaan yang diperlukan. Sebagai contoh, OA L_4 digunakan untuk percobaan dengan empat *run* pada faktor yang memiliki dua level, sedangkan OA L_9 digunakan untuk percobaan sembilan run pada faktor yang memiliki tiga level. Keunggulan utama OA adalah kemampuannya untuk mengevaluasi pengaruh beberapa faktor secara efisien dengan jumlah percobaan yang lebih sedikit dibandingkan rancangan faktorial penuh. Sebagai ilustrasi, percobaan dengan empat faktor dan tiga level memerlukan 3^4 atau 81 kombinasi pada faktorial penuh, sedangkan dengan OA jumlah run dapat dikurangi secara signifikan sehingga waktu, biaya, dan sumber daya penelitian menjadi lebih efisien. Oleh karena itu, OA banyak digunakan dalam metode Taguchi untuk mengoptimalkan proses eksperimen tanpa mengurangi kualitas informasi yang diperoleh (Wuryandari et al., n.d.).



Gambar 2.5 Contoh Notasi *Orthonal Array*

(Sumber: https://tse4.mm.bing.net/th/id/OIP.OII_LVskQJkkkRwi2u4PDwAAAA?pid=Api&h=220&P=0)

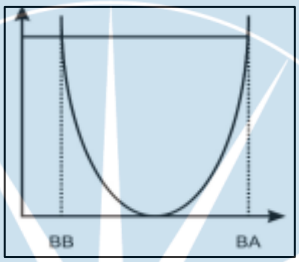
Keterangan:

a. Nomor kolom: Jumlah faktor yang memberikan pengaruh di dalam penelitian diwakili oleh angka pada bagian kolom.
b. Nomor level: Angka level menunjukkan kuantitas tingkatan faktor yang digunakan. Merujuk pada teori dari Taguchi dkk. (2005), struktur rancangan matriks *orthogonal array* dikelompokkan menjadi dua kategori utama berdasarkan jumlah tingatannya:
   i. Model Dua Level: Mengaplikasikan format matriks mulai dari L_4, L_8, L_{12}, L_{16}, hingga L_{32}.
   ii. Model Tiga Level: Mengaplikasikan format matriks berupa L_9, L_{18}, dan L_{27}.
c. Nomor baris: Angka yang tertera pada bagian baris mengindikasikan seberapa banyak pengulangan percobaan yang mesti dieksekusi.

2.2.16 *Signal to Noise Ratio (S/N)*

Signal-to-Noise Ratio (S/N) digunakan untuk mengidentifikasi variabel yang memengaruhi variabilitas nilai respons. Melalui metode ini, Taguchi mentransformasikan pengulangan data eksperimen menjadi suatu nilai ukur variasi yang representatif. Pemilihan rumus perhitungan S/N Ratio tersebut disesuaikan secara spesifik berdasarkan karakteristik mutu atau hasil proses yang ingin dicapai. Secara umum, Taguchi mengklasifikasikan karakteristik kualitas ke dalam tiga kategori utama, yaitu:

Nominal is the best, yaitu karakteristik kualitas yang target mutunya ditetapkan pada suatu nilai nominal spesifik, di mana deviasi atau variasi nilainya dapat bergerak ke arah positif (lebih besar) maupun negatif (lebih kecil). Contoh parameter yang menggunakan kriteria ini meliputi dimensi geometris produk, ketebalan lapisan, berat material, tekanan, serta temperatur proses.



Gambar 2.6 *Nominal is the best*

(Sumber: https://ejournal.undip.ac.id/index.php/media_statistika/article/view/2498)

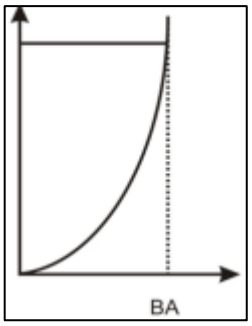
Nilai S/N untuk karakteristik *nominal is the best* adalah:

$$S/NR = 10log10\,\frac{\mu 2}{\sigma 2} \tag{2.1}$$

$$\mu = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y^2\mathrm{t} \tag{2.2}$$

$$\sigma 2 = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n} (y_{i-\mu\,)2} \tag{2.3}$$

a. *Lower is better*, yaitu karakteristik kualitas yang bersifat non-negatif dengan nilai target ideal sama dengan nol. Kriteria ini digunakan jika performa respons yang diinginkan adalah nilai seminimal mungkin. Contoh aplikasinya meliputi minimalisasi jumlah produk cacat, pemborosan energi, tingkat kebisingan, serta volume limbah produksi.



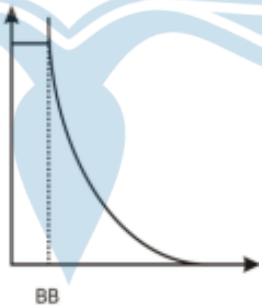
Gambar 2.7 *Lower is better*

(Sumber: https://ejournal.undip.ac.id/index.php/media_statistika/article/view/2498)

Nilai S/N untuk karakteristik *lower is better* adalah:

$$S/NR = -10log_{10}\left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i^2\right] \quad (2.4)$$

b. *Higher is better*, yaitu karakteristik kualitas terukur berkekuatan non-negatif dengan nilai target ideal menuju tak terhingga. Kriteria ini diterapkan apabila tingkat keberhasilan respons diukur berdasarkan pencapaian nilai semaksimal mungkin. Contoh aplikasinya meliputi kekuatan struktur bangunan, ketahanan material terhadap korosi, efisiensi jarak tempuh bahan bakar per kilometer, serta masa pakai (*lifetime*) suatu produk.



Gambar 2.8 *Higher is better*

(Sumber: https://ejournal.undip.ac.id/index.php/media_statistika/article/view/2498)

Nilai S/N untuk karakteristik *higher is better* adalah:

$$S/NR = -10log_{10}\left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{y_i^2}\right] \quad (2.5)$$

2.2.17 Analisis Varians (ANOVA)

Analysis of Variance (ANOVA) atau Analisis Varian merupakan metode statistik yang digunakan untuk menguji perbedaan rata-rata antar kelompok (Harahap et al., 2026). Metode ini dikembangkan oleh Sir Ronald A. Fisher, seorang analis statistik yang berperan besar dalam perkembangan ilmu statistika pada awal abad ke-20.

Teknik analisis statistik digunakan untuk menguji ada atau tidaknya perbedaan rata-rata yang signifikan di antara tiga kelompok atau lebih pada penelitian kuantitatif. ANOVA merupakan perluasan dari uji *t*, karena kedua metode tersebut memiliki tujuan yang sama, yaitu membandingkan rata-rata antar kelompok menggunakan data kuantitatif (Febiliony et al., 2025). Namun, uji *t* hanya dapat digunakan untuk membandingkan dua kelompok, sedangkan ANOVA mampu membandingkan tiga atau lebih kelompok secara simultan, sehingga lebih efektif dalam menganalisis perbedaan beberapa rata-rata populasi dalam satu pengujian. ANOVA terdiri atas tiga jenis utama, yaitu *One-Way ANOVA*, *Two-Way ANOVA*, dan *Multivariate Analysis of Variance* (MANOVA). Masing-masing jenis memiliki karakteristik dan penggunaan yang berbeda sesuai dengan jumlah variabel independen dan dependen yang dianalisis (Harahap et al., 2026).

Analisis metode ini menggunakan statistik F (misalnya Fhitung ≥ Ftabel → H_0 ditolak), untuk membandingkan variasi antar kelompok dengan variasi di dalam kelompok. Pengambilan keputusan didasarkan pada nilai *p-value*, di mana hipotesis nol (H_0) ditolak apabila *p-value* lebih kecil dari taraf signifikansi yang ditetapkan (α = 0,05). Agar hasil pengujian valid, ANOVA mensyaratkan data berdistribusi normal, memiliki varians yang homogen, dan bersifat independen.

2.2.18 *Grey Relational Analysis (GRA)*

Grey Relational Analysis (GRA) merupakan salah satu metode yang dikembangkan dalam *Grey System Theory* oleh Deng pada tahun 1982. Metode ini digunakan untuk menyelesaikan permasalahan pengambilan keputusan yang melibatkan banyak karakteristik kualitas (*multi-response*) pada kondisi informasi yang terbatas atau tidak pasti. GRA mengubah beberapa karakteristik kualitas menjadi satu nilai indeks yang disebut *Grey Relational Grade (GRG)* sehingga alternatif terbaik dapat ditentukan secara lebih objektif (Wulandari et al., 2016). Dalam metode Taguchi, optimasi umumnya dilakukan terhadap satu karakteristik kualitas. Namun, pada praktiknya suatu produk sering memiliki lebih dari satu karakteristik kualitas yang harus dipenuhi secara bersamaan. GRA digunakan untuk mengintegrasikan beberapa respon menjadi satu nilai evaluasi sehingga optimasi multi-respon dapat dilakukan secara simultan. Pendekatan ini dikenal sebagai *Grey-Based Taguchi Method.* Tahapan umum GRA

meliputi normalisasi data, *Grey Relational Coefficient (GRC),* dan *Grey Relational Grade (GRG).*

a. Normalisasi data (*Grey Relational Generation*)**,** yaitu mengubah seluruh data respon menjadi nilai yang berada pada rentang 0 sampai 1 agar setiap respon memiliki skala yang sama. Persamaan normalisasi disesuaikan dengan karakteristik kualitas, yaitu *larger-the-better*, *smaller-the-better*, atau *nominal-the-best*.

b. *Grey Relational Coefficient (GRC)**,*** yaitu menghitung tingkat kedekatan setiap respon terhadap kondisi ideal. Nilai GRC menunjukkan hubungan antara hasil percobaan dengan nilai referensi, di mana semakin besar nilai koefisien menunjukkan semakin dekat hasil percobaan terhadap kondisi optimum.

c. *Grey Relational Grade (GRG)**,*** yaitu menghitung *mean* seluruh nilai GRC dari setiap respon. Nilai GRG digunakan sebagai indikator kualitas keseluruhan. Kombinasi faktor yang menghasilkan nilai GRG tertinggi dianggap sebagai kombinasi parameter optimum karena memiliki performa terbaik secara simultan terhadap seluruh karakteristik kualitas.

2.2.19 Pengukuran

Arendra et al. (2019) dalam bukunya menjelaskan, pengukuran merupakan dasar dalam ilmu sains dan *engineering* yang diartikan sebagai suatu proses untuk menentukan besaran dan dimensi pada suatu objek benda terhadap satuan ukur mengacu pada besaran Satuan Sistem Internasional (SI) yang ditetapkan oleh *General Conference on Weights and Measure* ke-14. Proses pengukuran dilakukan menggunakan alat ukur. Alat ukur merupakan alat yang berfungsi untuk memberikan batasan terhadap nilai atau harga yang berasal dari sinyal atau gejala terkait pada perubahan suatu energi (Dachliyani, 2019.). Berikut merupakan alat ukur berdasarkan jenis dasar alat ukur dan spesifikasinya.

a. Alat ukur langsung, yaitu alat ukur dengan skala yang telah terkalibrasi, memiliki kecermatan rendah 1 sampai dengan 0,002 milimeter yang dapat dibaca secara langsung pada skala tersebut.
b. Alat ukur pembanding atau komperator, yaitu alat ukur dengan skala yang telah terkalibrasi, memiliki kecermatan mengah ≥0,01 milimeter sampai dengan kecermatan tinggi ≥0,001 milimeter yang hanya digunakan untuk membaca besarnya selisih dimensi objek terhadap ukuran standar.
c. Alat ukur acuan standar, yaitu alat ukur yang dapat menunjukkan harga tertentu, sebagai pembanding penentu dimensi objek alat ukur.

d. Alat ukur batas (kaliber), yaitu alat ukur yang mampu memperlihatkan suatu bentu, dimensi, atau posisi berada pada batas toleransinya, pada umumnya tidak memiliki skala.
e. Alat ukur bantu, artinya tidak termasuk alat ukur dalam arti sebenarnya, tetapi berperan penting untuk proses pengukuran geometrik.
f. Alat ukur khas, yaitu alat ukur untuk mengukur geometri khas, seperti kebulatan, kasar pada permukaan, dan profil gigi pada roda gigi dengan mekanisme yang khas, serta memiliki skala.
g. Alat ukur koordinat, yaitu alat ukur yang memiliki sensor, dapat digerakkan pada ruang, dan dibaca melalui tiga skala koordinat kartesian X, Y, Z.

Berikut merupakan macam-macam alat ukur.

a. Vernier kaliper, yaitu jenis alat ukur dengan skala linear yang terdiri atas batang berskala utama dan rahang ukur yang berfungsi untuk menjepit atau mengukur dimensi suatu benda (Arendra et al., 2019). Pada jangka sorong terdapat rahang tetap dan rahang geser yang dapat digerakkan sepanjang batang ukur untuk menyesuaikan ukuran benda yang akan diukur. Prinsip kerja jangka sorong didasarkan pada penggunaan dua skala, yaitu skala utama dan skala nonius. Nilai pengukuran diperoleh dengan membaca angka pada skala utama yang berada tepat sebelum nol pada skala nonius. Selanjutnya, hasil tersebut ditambahkan dengan nilai pada garis skala nonius yang berimpit dengan salah satu garis pada skala utama. Penjumlahan kedua nilai tersebut menghasilkan ukuran benda yang diukur. Pada umumnya, jangka sorong memiliki tingkat ketelitian hingga 0,01 mm sehingga mampu memberikan hasil pengukuran yang lebih akurat dibandingkan mistar ukur biasa.

b. Mistar atau penggaris, yaitu alat ukur sederhana yang digunakan untuk mengukur panjang suatu benda. Alat ini umumnya memiliki skala terkecil sebesar 1 mm atau 0,1 cm, dengan ketelitian pengukuran mencapai setengah dari skala terkecilnya, yaitu sekitar 0,5 mm. Mistar dilengkapi dengan skala utama yang digunakan sebagai acuan dalam pembacaan hasil pengukuran. Untuk memperoleh hasil yang akurat, posisi mata saat membaca skala harus tegak lurus terhadap permukaan skala dan objek yang diukur sehingga dapat menghindari kesalahan pembacaan.

2.2.20 *Material Handling*

Material handling merupakan sebuah seni dan ilmu yang berkaitan dengan pemindahan, penyimpanan, pengendalian, dan perlindungan barang serta bahan di seluruh proses produksi, distribusi, konsumsi, dan pembuangan. Definisi tersebut menggambarkan proses perancangan *material handling* merupakan perpaduan antara ilmu pengetahuan

dan seni. Ilmu *material handling* mencangkup mulai dari pemindahan, penyimpanan, perlindungan, dan pengendalian material di seluruh bagian rantai pasok. Ilmu *material handling* memerlukan berbagai metode rekayasa desain seperti pendefinisian masalah, analisis data, pembangkitan alternatif solusi, evaluasi alternatif solusi, dan pemilihan solusi penanganan material yang tepat bagi perusahaan (Tompkins, 2010). *Material handling* merupakan ilmu yang penting dalam lantai produksi perusahaan. Apabila *material handling* dalam sebuah perusahaan terabaikan, dampak negatif secara finansial akan muncul. Biaya *material handling* mempunyai proposi yang cukup besar dari total biaya produksi sebuah produksi, mencapai 20% hingga 25% dari total biaya tenaga kerja di sebuah perusahaan (Groover, 2014).

2.2.21 *Production Planning*

Production Planning terdiri dari penetapan produk yang akan diproduksi, jumlah produk yang dibutuhkan, tenggat waktu penyelesaian produksi, serta penjadwalan produksi dan pengiriman produk yang diperlukan. Secara singkat production planning merupakan perubahan informasi order produk mernjadi sebuah jadwal produksi, perencanaan penggunaan tenaga kerja dan perlatan yang diperlukan untuk menyelesaikan order tersebut.(Groover, 2014)

Untuk memastikan sebuah faslitias produksi dapat bekerja secara efisien, diperlukan perencanaan produksi yang sesuai. Production Planning berfungsi sebagai alat untuk mengatasi masalah logistik yang kompleks dalam proses manufaktur dengan mengelola data besar yang diperlukan untuk mendefinisikan produk yang diperlukan dan menyelaraskan detail-detail tersebut dengan jadwal manufaktur yang diinginkan. (Groover, 2014)

2.2.22 *Quality Control*

Secara tradisional kualitas didefinisikan sebagai “kesesuaian untuk penggunaan”, yang berarti bahwa sebuah produk atau jasa harus memenuhi kebutuhan penggunaan. Terdapat dua aspek dari kualitas sebuah produk atau jasa,

a. *Quality of Design*, yang mengacu pada variasi dalam tingkatan atau kualitas sebuah produk atau jasa
b. *Quality of Conformance*, yang mengacu pada seberapa baik sebuah produk atau jasa memenuhi spesifikasi atau kebutuhan desain

Dalam pengertian yang lebih modern, kualitas mempunyai perbandingan terbalik dengan variabilitas. Berdasarkan pernyataan tersebut dapat diambil sebuah kesimpulan bahwa dalam upaya meningkatkan sebuah kualitas produk, variabilitas yang tidak diinginkan harus dihilangkan. (Montgomery, 2013)

Quality control and improvement melibatkan serangkaian aktivitas yang digunakan untuk memastikan bahwa produk atau layanan yang dihasilkan memenuhi spesifikasi atau kebutuhan desain dan terus ditingkatkan secara berkelanjutan. Tujuan utama dalam quality improvement adalah pengurangan variabilitas dalam proses, produk, dan layanan yang dihasilkan. Pengurangan variabilitas ini juga dapat berupa pengurangan pemborosan waktu, tenaga, dan biaya yang terbuang dalam penanganan kesalahan atau perbaikan. Karena variabilitas lebih baik dijelaskan dalam istilah statistik, Teknik statistik merupakan alat utama dalam *quality control and improvement*. (Montgomery, 2013)

2.3 Standar Kode Etik

Perancangan dalam tugas akhir ini dilakukan oleh tim peneliti dengan memperhatikan standar-standar yang telah di bentuk perusahaan dan negara. Berikut merupakan standar-standar yang berkaitan perancangan tugas akhir pada produk keramik dinding mosaik dan relief.

a. Standar Perusahaan, Penyelesaian permasalahan pada produk keramik dinding mosaik dan relief dalam penelitian ini wajib mematuhi standar operasional internal yang berlaku di perusahaan. Standar tersebut meliputi penggunaan jenis tanah liat sesuai spesifikasi produksi, pengaturan temperatur, waktu pembakaran, dan pengendalian kualitas produk
b. Standar Nasional Indonesia (SNI) 7275:2018 tentang Skema Sertifikasi Keramik Tableware sebagai standar acuan keramik berglasir, *tableware*, alat makan dan minum di Indonesia yang mengatur persyaratan mutu dan keamanan produk yang bersentuhan langsung dengan makanan, termasuk pembatasan zat berbahaya seperti timbal (Pb) dan kadmium (Cd) dari lapisan glasir
c. Badan Standarisasi Nasional Nomor 8 Tahun 2016 tentang Skema Sertifikasi Ubin Keramik.