

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Batik

Batik merupakan seni rupa berbentuk dua dimensi yang telah lama menjadi bagian tak terpisahkan dari kekayaan budaya Indonesia dan memiliki nilai estetika yang luar biasa. Sebagai warisan budaya tak benda, batik memperoleh pengesahan resmi dari UNESCO (Organisasi Pendidikan, Keilmuan, dan Kebudayaan PBB) pada 20 Oktober 2009 (Sagita & Efi, 2023). Pengakuan ini menjadikan batik sebagai salah satu sektor industri kreatif berbasis budaya yang tidak hanya menjadi kebanggaan nasional, tetapi juga ikon fashion global. Lebih dari itu, UNESCO juga menetapkan seluruh aspek batik Indonesia—meliputi teknik pembuatan, inovasi motif, serta nilai-nilai budaya yang melingkupinya—sebagai Warisan Budaya Takbenda Kemanusiaan (*Masterpieces of the Oral and Intangible Heritage of Humanity*) pada 2 Oktober 2009 (Suharto *et al.*, 2014)

Asal usul istilah batik dalam bahasa Jawa ditulis sebagai "bhatik", merujuk pada aksara Jawa "tha" yang menggambarkan teknik pembuatan motif melalui kumpulan titik-titik membentuk suatu pola. Secara etimologis, batik tidak bisa didefinisikan secara sederhana sebagai satu atau dua kata saja, melainkan memerlukan penjelasan yang lebih mendalam. Secara teknis, batik adalah kain tradisional yang dihiasi dengan berbagai pola khas dimana proses pembuatannya menerapkan metode tutup celup menggunakan malam (lilin) sebagai penghalang pewarnaan. Ciri khas batik terletak pada tahapan pembuatannya yang meliputi pembuatan motif hingga proses pelorodan, dimana motif digambar dengan mengaplikasikan malam panas menggunakan alat khusus bernama canting (Lailia, 2018).

2.2 Batik Cap

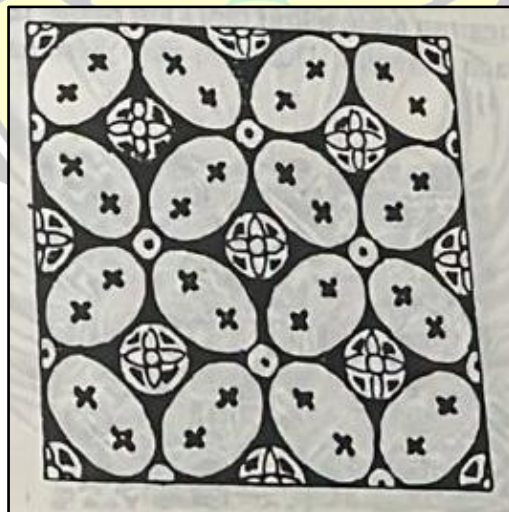
Batik cap merupakan salah satu jenis batik yang diproduksi dengan teknik lebih modern menggunakan alat berbentuk stempel yang dikenal sebagai canting

cap. Proses pembuatannya dilakukan dengan cara menstempelkan motif berulang kali pada kain hingga seluruh permukaan tertutupi. Dibandingkan dengan batik tulis, batik cap lebih banyak ditemui di pasaran karena proses produksinya yang relatif singkat dan sederhana, serta memiliki harga yang lebih ekonomis (Suharto *et al.*, 2014).

Batik cap menjadi salah satu produk kerajinan tradisional asal Yogyakarta yang telah dikenal luas baik di dalam maupun luar negeri. Keunikan batik ini terletak pada teknik pembuatannya yang menggunakan metode cap tradisional, menghasilkan karakteristik berbeda dibandingkan teknik batik lainnya. Proses pembuatan motif pada batik cap menggunakan alat berbentuk stempel dari bahan tembaga. Alat ini berfungsi sebagai pengganti canting, namun sayangnya mengurangi nilai artistik pada hasil akhir karya. Dari segi harga, batik cap relatif lebih ekonomis karena dapat diproduksi secara massal (Lailia, 2018).

2.2.1 Motif Kawung

Motif kawung pada hakikatnya memiliki bentuk geometris yang terinspirasi dari buah pohon aren. Pola dekoratif ini telah ada sejak periode Hindu-Buddha, sebagaimana dapat dilihat pada ornamen-ornamen di Candi Lara Jonggrang Prambanan (Yudoseputro, 1995). Di bawah ini merupakan gambar dari motif kawung.



Gambar 1. Motif Kawung pada Kain Batik
(Sumber : Yudoseputro, 1995)

2.2.2 Canting Cap

Batik cap yang banyak ditemukan di pasaran memiliki keterkaitan erat dengan penggunaan canting cap. Alat ini merupakan inovasi dari canting tulis yang dirancang untuk meningkatkan efisiensi produksi batik. Umumnya, pengrajin menggunakan canting cap berbahan tembaga atau kuningan yang memiliki berat cukup besar dengan biaya material dan pembuatan yang relatif tinggi. Tingginya harga alat ini berdampak pada keterbatasan variasi motif dalam batik cap, sebab kompleksitas dan keragaman desain pada canting cap akan berbanding lurus dengan peningkatan harganya (Suharto *et al.*, 2014).

Produksi canting cap berbahan tembaga membutuhkan biaya signifikan, dengan kisaran harga Rp1.500.000 hingga Rp2.500.000 per unit. Selain nilai investasi yang besar, proses manufakturnya pun memerlukan waktu cukup panjang, yaitu sekitar tiga sampai empat minggu. Sebagaimana dijelaskan dalam penelitian, industri batik cap masih sangat tergantung pada preferensi pasar. Kondisi ini mengharuskan pelaku usaha batik untuk secara konsisten mengembangkan desain motif yang inovatif dan berbeda dari produk sebelumnya. Konsekuensinya, industri batik pun terus melakukan pemesanan canting cap tembaga baru guna memenuhi kebutuhan produksi (Suharto *et al.*, 2014).

2.3 Kayu

Material kayu berperan penting sebagai faktor penentu karakteristik dan mutu produk *furniture* maupun kerajinan berbahan kayu. Awalnya, industri mebel berkembang dari seni pahat kayu tradisional yang kemudian menghasilkan produk-produk bernilai artistik. Secara umum, produk *furniture* dapat dikategorikan menjadi dua jenis utama. Pertama, *furniture* eksterior yang dirancang untuk penggunaan di area terbuka seperti taman, teras, kawasan pantai, atau pinggir jalan. Jenis kayu yang biasa dimanfaatkan untuk kategori ini meliputi nyatoh, jati, durian, mahoni, dan beberapa varietas lokal lainnya. Kedua, *furniture* interior yang khusus dibuat untuk pemakaian dalam ruangan tertutup. Material kayu yang digunakan untuk jenis ini lebih beragam, seperti eboni, sono kembang, jobar, sawo kecik, dan berbagai jenis kayu berkualitas lainnya. *Furniture* jenis ini

biasanya ditempatkan di area dalam bangunan yang terlindung dari paparan langsung cuaca luar (Novyanto & Nurraharjo, 2022).

Bagi pelaku industri mebel, pemilihan material kayu sebagai bahan baku kerajinan memerlukan analisis mendalam dan pertimbangan matang sebelum menentukan keputusan. Beberapa faktor kritis yang perlu dievaluasi meliputi: karakteristik jenis kayu, usia pohon saat penebangan, serta tahapan pengolahan material menjadi balok kayu siap pakai untuk *furniture*. Kriteria kayu ideal mencakup kualitas kekuatan yang baik, pola serat yang lurus, permukaan yang halus, serta memiliki kandungan air di bawah 15% sebelum melalui proses produksi (Sari, 2015).

Bagi pelaku industri mebel, pemilihan material kayu sebagai bahan baku kerajinan memerlukan analisis mendalam dan pertimbangan matang sebelum menentukan keputusan. Beberapa faktor kritis yang perlu dievaluasi meliputi: karakteristik jenis kayu, usia pohon saat penebangan, serta tahapan pengolahan material menjadi balok kayu siap pakai untuk *furniture*. Kriteria kayu ideal mencakup kualitas kekuatan yang baik, pola serat yang lurus, permukaan yang halus, serta memiliki kandungan air di bawah 15% sebelum melalui proses produksi (Sari, 2015).

2.3.1 Kayu Jati

Jati (*Tectona grandis*) terdapat dalam sejumlah komersial di India, Burma, Thailand, Laos, Kamboja, Vietnam Utara dan Selatan, dan Hindia Timur. Banyak Perkebunan telah dikembangkan di dalam jangkauan alamnya dan di daerah tropis Amerika Latin dan Afrika, dan banyak di antaranya kini memproduksi kayu. Kayu teras bervariasi dari kuning kecokelatan hingga coklat keemasan gelap dan akhirnya berubah menjadi coklat pekat setelah terpapar. Kayu ini memiliki tekstur kasar yang tidak rata (berpori cincin), biasanya berbutir lurus, dan memiliki rasa berminyak yang khas. Kayu inti memiliki stabilitas dimensi yang sangat baik dan memiliki tingkat keawetan alami yang sangat tinggi. Meskipun tidak digunakan secara umum di Amerika Serikat di mana kekuatan merupakan hal yang sangat penting, nilai kayu jati umumnya setara dengan kayu ek asli Amerika. Kayu jati umumnya dikerjakan dengan cukup mudah dengan

peralatan tangan dan mesin. Namun, silika dalam kayu sering kali menumpulkan peralatan. *Finishing* dan perekatan cukup memuaskan meskipun perlakuan awal mungkin diperlukan untuk memastikan ikatan yang baik antara *finishing* dan perekatan. Secara intrinsik, jati adalah salah satu kayu yang paling berharga dari semua kayu, tetapi penggunaannya dibatasi oleh kelangkaan dan biaya tinggi. Kayu jati memiliki keunikan karena tidak menimbulkan karat atau korosi saat bersentuhan dengan logam; oleh karena itu, kayu jati sangat berguna dalam industri pembuatan kapal, tangki dan tong, dan perlengkapan yang membutuhkan ketahanan tinggi terhadap asam. Saat ini, kayu jati digunakan dalam konstruksi kapal mahal, lantai furnitur, benda-benda dekoratif, dan veneer untuk kayu lapis dekoratif (Risbrudt *et al.*, 1999).

2.3.2 Kayu Mahoni

Nama mahoni saat ini digunakan untuk beberapa jenis kayu komersial yang berbeda. Kayu mahoni asli, yang dihasilkan oleh genus *Swietenia*, berasal dari Hindia Barat Amerika; di Eropa pada tahun 1600-an, kayu ini merupakan kayu utama untuk mebel berkualitas tinggi, lemari, dan pembuatan kapal. Karena reputasi baik yang terkait dengan nama mahoni didasarkan pada kayu ini, mahoni Amerika kadang-kadang disebut sebagai mahoni sejati. Kayu Afrika terkait, dari genus *Khaya*, telah lama dipasarkan sebagai “mahoni Afrika”, dan sifat-sifat yang mirip dan penampilan keseluruhan memungkinkannya digunakan untuk tujuan yang hampir sama dengan mahoni Amerika. Jenis mahoni yang ketiga, dan yang paling sering ditemui di pasaran, adalah “mahoni Filipina” Nama ini diterapkan pada sekelompok kayu Asia yang termasuk dalam tiga marga yang berbeda: *Shorea*, *Parashorea*, dan *Penctame*. Dalam karya ini, informasi tentang “mahoni Filipina” diberikan di bawah pengelompokan Lauan/Merani. Kegunaan utama kayu mahoni adalah sebagai bahan baku mebel dan kabinet, trim interior, pembuatan pola, konstruksi kapal, veneer mewah, instrumen musik, instrumen presisi, panel, pembubutan, ukiran, dan banyak kegunaan lain yang membutuhkan kayu yang menarik dan stabil secara dimensi (Risbrudt *et al.*, 1999).

2.4 Densitas Kayu

Densitas (atau berat jenis) merupakan salah satu sifat fisik kayu yang paling penting. Densitas adalah berat atau massa kayu dibagi dengan volume spesimen pada kadar air tertentu. Dengan demikian, satuan untuk kerapatan biasanya dinyatakan sebagai *pound per cubic foot* (pcf) atau kilogram per meter kubik (kg/m^3) (Risbrudt *et al.*, 1999). Karakteristik massa jenis berbagai jenis kayu menunjukkan variasi yang signifikan, sehingga mempengaruhi kapasitas absorpsi dan pelepasan airnya. Secara umum, terdapat korelasi positif antara massa jenis kayu dengan kekuatannya - semakin tinggi nilai massa jenis, semakin kuat material kayu tersebut. Data penelitian menunjukkan bahwa kayu jati memiliki massa jenis $0,45 \text{ g/cm}^3$, sementara kayu mahoni memiliki nilai yang lebih tinggi yaitu sekitar $0,64 \text{ g/cm}^3$ (Bahanawan *et al.*, 2020).

Tabel 2. Ukuran Densitas Kayu

<i>Type of Particleboard</i>	<i>Density (pcf)</i>
<i>Low Density</i>	25 – 37
<i>Medium Density</i>	37 – 50
<i>High Density</i>	50 – 70

(Sumber : Risbrudt *et al.*, 1999)

2.5 Design of Experiment (DOE)

Design of Experiment (DOE) merupakan metodologi statistik yang diterapkan dalam penelitian eksperimental untuk optimalisasi kualitas produk dan proses produksi. Menurut *National Institute of Standards and Technology* (NIST) Amerika Serikat, DOE didefinisikan sebagai pendekatan terstruktur dalam analisis masalah teknis melalui pengumpulan data empiris guna memperoleh kesimpulan yang reliabel. Metode ini berfungsi untuk mengidentifikasi hubungan kausal antara variabel *output* (respon) dengan berbagai faktor yang memengaruhinya. Dalam penerapan DOE, terdapat dua klasifikasi variabel utama: (1) variabel bebas (faktor) yang terdiri dari faktor terkendali (*controllable factors*) dan faktor tak terkendali (kovariat/*noise factors*), serta (2) variabel terikat (respon). Setiap faktor yang diteliti memiliki beberapa level tertentu, dimana treatment mengacu pada kombinasi berbagai *level* faktor yang diuji dalam suatu eksperimen (Muttaqin, 2019).

Design of Experiments (DOE) menerapkan lima prinsip dasar yang menjadi landasan pelaksanaannya. Kelima prinsip tersebut meliputi: (1) randomisasi, (2) replikasi, (3) *blocking*, (4) ortogonalitas, dan (5) eksperimen faktorial. Randomisasi mengacu pada teknik penempatan acak unit eksperimen ke dalam berbagai perlakuan, yang bertujuan meminimalkan bias yang mungkin memengaruhi validitas hasil penelitian. Replikasi berarti melakukan pengulangan percobaan dengan perlakuan identik untuk meningkatkan akurasi estimasi efek perlakuan. *Blocking* merupakan strategi pengelompokan unit eksperimen berdasarkan karakteristik tertentu guna mengendalikan variasi yang tidak diinginkan. Prinsip ortogonalitas menjamin bahwa efek masing-masing faktor dapat diestimasi secara independen tanpa korelasi antar faktor. Sedangkan eksperimen faktorial memungkinkan peneliti untuk mengevaluasi tidak hanya efek individual setiap faktor tetapi juga interaksi antar faktor secara simultan. Secara geometris, desain faktorial mengatur semua faktor bervariasi secara independen dan saling tegak lurus dalam ruang eksperimen (Muttaqin, 2019).

(Park, 1996) mengemukakan bahwa berbagai jenis desain eksperimen dapat dikategorikan berdasarkan dua aspek utama: (1) cara mengalokasikan atau menempatkan kombinasi faktor perlakuan, dan (2) tingkat randomisasi yang diterapkan dalam eksperimen tersebut :

1. Desain Faktorial

Desain eksperimen ini memungkinkan peneliti mengeksplorasi semua kemungkinan kombinasi perlakuan yang berasal dari faktor-faktor yang telah ditentukan sebelumnya. Pemilihan urutan kombinasi perlakuan dilakukan dengan metode acak sepenuhnya. Kategori desain ini mencakup eksperimen faktor tunggal, dua faktor, tiga faktor, serta desain faktorial 2^k (k faktor dengan dua *level*) dan 3^k (k faktor dengan tiga *level*).

2. Faktorial Fraksional

Desain eksperimen ini diterapkan untuk mengevaluasi beberapa kombinasi perlakuan yang dipilih dari seluruh kemungkinan yang ada. Pemilihan kombinasi perlakuan dilakukan melalui proses randomisasi penuh. Kategori desain ini mencakup beberapa metode khusus seperti *Orthogonal*

Arrays, *Plackett-Burman*, *Latin Square*, dan *Graeco-Latin Square*. Penerapan desain ini terutama bermanfaat ketika eksperimen memerlukan biaya tinggi dan waktu pelaksanaan yang panjang.

3. Acak Kelompok Lengkap, Petak Terpisah, dan Tersarang

Desain eksperimen ini melibatkan pelaksanaan semua kombinasi perlakuan yang mungkin, namun dengan penerapan batasan tertentu dalam proses randomisasinya. Salah satu bentuk desain tersebut adalah *randomized complete block design*, yang ditandai dengan karakteristik dimana setiap blok memuat seluruh variasi perlakuan dan proses randomisasi hanya berlaku untuk pengaturan perlakuan dalam masing-masing blok.

4. Blok Tidak Lengkap

Ketika tidak semua perlakuan dapat dimasukkan ke dalam setiap blok dalam rancangan acak lengkap (*randomized complete block design*), maka rancangan tersebut disebut sebagai rancangan blok tidak lengkap (*incomplete block design*). Rancangan ini biasanya digunakan dalam kondisi di mana pelaksanaan seluruh perlakuan di tiap blok tidak memungkinkan, misalnya karena keterbatasan alat atau fasilitas eksperimen, memadai.

5. Permukaan Respon dan Campuran

Tujuan dari desain ini adalah untuk menyelidiki model regresi yang dapat menggambarkan hubungan fungsional antara variabel respons dengan variabel-variabel independennya, sekaligus mengidentifikasi kondisi optimal dari variabel-variabel tersebut. Beberapa jenis desain yang termasuk dalam kategori ini antara lain *central composite design*, *simplex design*, *mixture design*, dan *Evolutionary Operation (EVOP) design*.

2.5.1 Replikasi (*Replication*)

Replikasi merujuk pada pelaksanaan berulang suatu perlakuan eksperimen dalam kondisi identik guna meningkatkan akurasi hasil penelitian. Tujuan utama penerapan replikasi adalah meminimalkan variasi eksperimental sekaligus meningkatkan presisi data yang diperoleh. Dalam penelitian ini, penentuan jumlah pengulangan dilakukan dengan

menerapkan formula Federer. Untuk memitigasi kesalahan eksperimen selama proses replikasi, digunakan persamaan perhitungan berikut (Ulfah *et al.*, 2019):

$$(t-1)(r-1) \geq 15 \quad (1)$$

$$(27-1)(r-1) \geq 15 \quad (2)$$

$$27r - 27 - r + 1 \geq 15 \quad (3)$$

$$26r \geq 15 + 26 \quad (4)$$

$$26r \geq 41 \quad (5)$$

$$r \geq 1,576 \sim 2 \quad (6)$$

Keterangan :

t : Jumlah perlakuan

r : Jumlah pengulangan/replikasi

2.6 Two-Factor Factorial Design

Factorial Design merupakan rancangan eksperimen yang diaplikasikan ketika penelitian melibatkan dua faktor atau lebih. Desain ini memfasilitasi analisis interaksi antara berbagai *level* faktor yang diteliti. Setiap faktor dalam desain ini umumnya dibatasi pada dua level variasi, yaitu *level* atas (*high*) dan *level* bawah (*low*). Untuk setiap kombinasi faktor, dilakukan sejumlah pengulangan percobaan sebanyak *n* kali. Nilai *n* ini dapat dihitung menggunakan persamaan khusus dalam factorial design berikut (Jefri, 2024):

$$n = 2^k \quad (7)$$

Keterangan :

n = Jumlah *run* perlakuan

k = Jumlah faktor

Desain eksperimen faktorial memungkinkan peneliti untuk menganalisis pengaruh individual masing-masing faktor sekaligus mengidentifikasi adanya efek interaksi antar faktor. Metode ini khusus dirancang untuk mengevaluasi dampak gabungan dari beberapa variabel independen secara bersamaan. Secara umum, terdapat tiga tujuan pokok dalam penerapannya: (1) menilai pengaruh variabel terhadap *output*, (2) mengidentifikasi variabel dominan yang paling signifikan pengaruhnya, dan (3) menganalisis efek interaksi antar variabel. Pentingnya analisis interaksi ini disebabkan oleh kemungkinan adanya pengaruh timbal balik

antar faktor yang dapat memodifikasi hasil akhir (Jefri, 2024). Dalam konteks desain faktorial dua *level*, meskipun memiliki keunggulan dalam fleksibilitas penerapan baik untuk parameter kuantitatif maupun pertanyaan kualitatif, terdapat beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Desain ini hanya memberikan estimasi efek dalam rentang eksperimen tertentu, tidak menyertakan data replikasi internal, serta tidak mampu mendeteksi hubungan kuadratik karena hanya menggunakan dua *level* pengujian (Brereton, 2018).

2.7 Analysis of Variance (ANOVA)

Analysis of Variance (ANOVA) merupakan metode analisis statistik yang secara luas diaplikasikan dalam berbagai penelitian eksperimen. Teknik ini pertama kali dikembangkan oleh R. A. Fisher (Marpaung *et al.*, 2017). ANOVA digunakan sebagai alat uji komparatif untuk menganalisis perbedaan mean antar tiga kelompok populasi atau lebih yang bersifat independen. Fungsi utama ANOVA meliputi: (1) menentukan signifikansi pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat, (2) mengidentifikasi faktor-faktor kunci dalam suatu penelitian, serta (3) menganalisis pola interaksi dan dampak masing-masing variabel. Dalam pelaksanaannya, ANOVA menghasilkan statistik F yang berfungsi sebagai indikator kesetaraan mean antar kelompok yang dibandingkan. Penerapan ANOVA mensyaratkan pemenuhan beberapa asumsi dasar berikut (Bluman, 2014):

1. Populasi yang diambil sampelnya harus berdistribusi normal
2. Sampel bersifat independen satu sama lain
3. Variasi populasi harus homogen

Berikut ini merupakan tabel ANOVA pada eksperimen *Two-Factor Factorial Design* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Analysis of Variance (ANOVA) untuk Two-Factorial Experiment

Source of Variation	Sum Square	Degrees of Freedom (DF)	Mean Square (MS)	F0
A treatments	SS_A	a-1	SS_A/df_A	MS_A/MS_E
B treatments	SS_B	b-1	SS_B/df_B	MS_B/MS_E
AB interactions	SS_{AB}	(a-1)(b-1)	SS_{AB}/df_{AB}	MS_{AB}/MS_E
Error	SS_E	ab(n-1)	SS_E/df_E	
Total	SS_T	abn-1		

(Sumber : Montgomery, 2013)

2.8 Pengujian Asumsi-Asumsi ANOVA

Sebelum melakukan uji ANOVA, hal yang harus dilakukan adalah pengujian asumsi-asumsi yang harus dipenuhi dalam ANOVA, antara lain dapat disebutkan sebagai berikut:

1. Uji Normalitas

Uji normalitas dilakukan untuk menguji apakah suatu data berasal dari populasi yang terdistribusi secara normal. Dalam analisis parametrik, asumsi kenormalan data merupakan prasyarat yang harus dipenuhi. Apabila data tidak berdistribusi normal, maka pengujian hipotesis harus menggunakan pendekatan statistik nonparametrik (Prabowo *et al.*, 2022). Kriteria penentuan normalitas data dapat dilihat berdasarkan ketentuan berikut (Herdiansyah & Nugroho, 2022):

- a. Apabila nilai signifikansi melebihi 0,05, data penelitian dianggap mengikuti distribusi normal.
- b. Apabila nilai signifikansi kurang dari 0,05, data penelitian dianggap tidak mengikuti distribusi normal.

2. Uji Homogenitas

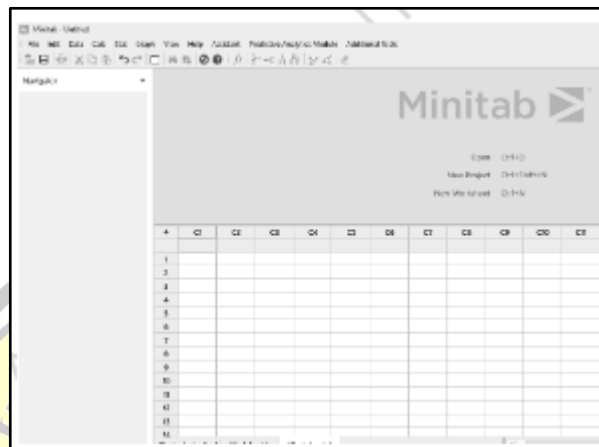
Uji homogenitas adalah prosedur analisis statistik yang digunakan untuk memverifikasi kesamaan varians antar dua kelompok data atau lebih (Prabowo *et al.*, 2022). Kriteria penetapan homogenitas data dapat ditentukan berdasarkan pedoman berikut (Herdiansyah & Nugroho, 2022):

- a. Jika nilai signifikansi atau probabilitas lebih besar dari 0,05, maka hipotesis nol (H_0) diterima.
- b. Jika nilai signifikansi atau probabilitas kurang dari 0,05, maka hipotesis nol (H_0) ditolak.

2.9 Software Minitab

Minitab merupakan perangkat lunak statistik yang dikembangkan khusus untuk kebutuhan analisis data. Program ini menyediakan antarmuka berbasis *Microsoft Excel* yang intuitif, namun tetap mampu menangani berbagai metode statistik tingkat lanjut. Sebagai salah satu *software* statistik populer, Minitab

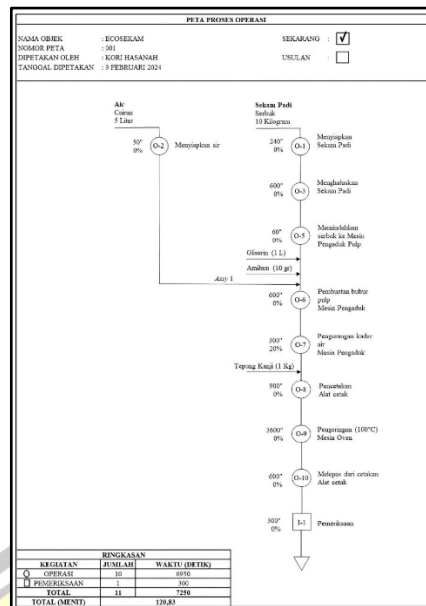
menawarkan kemudahan operasional dilengkapi dengan beragam fitur pengolahan data canggih. Beberapa kemampuan analitik yang tersedia meliputi analisis faktor, analisis diskriminan, dan tabulasi silang, termasuk berbagai metode statistik untuk keperluan desain eksperimen. Desain antarmuka Minitab yang tertata rapi dengan menu analisis yang terorganisir secara sistematis menjadikannya sangat mudah digunakan (Nugroho *et al.*, 2024).



Gambar 2. Tampilan Software Minitab 21
(Sumber : Sihombing & Arsani, 2022)

2.10 Perencanaan Proses

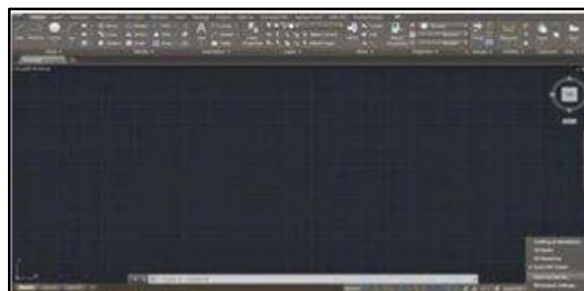
Strategi perencanaan produksi yang matang menjadi faktor penentu kesuksesan perusahaan dalam menciptakan produk berkualitas tinggi sesuai permintaan pasar. Dalam konteks ini, implementasi sistem pengendalian mutu berperan sebagai jaminan bahwa produk akhir memenuhi standar kualitas yang ditentukan baik oleh konsumen maupun produsen (Nauli *et al.*, 2024). Dalam perancangan proses manufaktur mesin *thermoforming*, dilakukan berbagai kalkulasi teknis komponen produksi yang mengikuti Standar Operasional Prosedur (SOP) dan *Operations Process Chart* (OPC). OPC merupakan diagram alur kerja yang memvisualisasikan tahapan produksi melalui dekomposisi pekerjaan menjadi elemen-elemen terstruktur dalam suatu sistem perencanaan manufaktur (Nugraha & Hariri, 2020).



Gambar 3. Peta Proses Operasi dari Produk ECOSEKAM
 (Sumber : Nauli *et al.*, 2024)

2.11 Software AutoCAD

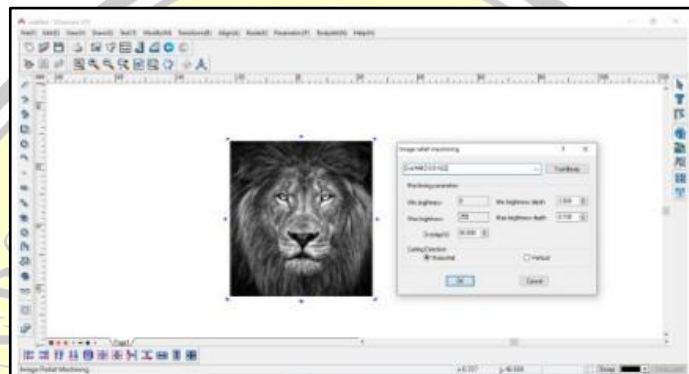
AutoCAD merupakan perangkat lunak desain berbasis komputer yang banyak dimanfaatkan sebagai alat bantu visualisasi objek dan media pembelajaran interaktif. Sebagai singkatan dari *Automatic Computer Aided Design*, program ini berfungsi sebagai sistem desain otomatis yang membantu pengguna dalam berbagai aktivitas perancangan. Kemampuan AutoCAD mencakup pengukuran presisi (panjang, luas, *volume*) serta visualisasi objek dalam format 2D maupun 3D (Terminanto *et al.*, 2023). Perangkat lunak ini menghasilkan berbagai format output sesuai kebutuhan pengguna, termasuk format DFX yang telah menjadi standar pertukaran data dalam industri CAD. Berikut ilustrasi antarmuka standar AutoCAD (Eko, 2020):



Gambar 4. Tampilan Awal AutoCAD
 (Sumber : Eko, 2020)

2.12 Software UcanCAM

Proses pemotongan material kayu mahoni dilakukan menggunakan mesin CNC Router G-Weike WK1212 dengan mata pisau *end mill 4 flute* berdiameter 3 mm. Sistem operasional mesin ini mengintegrasikan dua komponen utama: (1) *software* UcanCAM 10 berfungsi sebagai perangkat lunak CAM untuk pembuatan *gcode* dan *toolpath*, serta (2) DSP controller sebagai antarmuka kontrol mesin. Seluruh pengaturan parameter *level* faktor dikonfigurasi melalui kedua sistem tersebut (Wijaya dkk., 2020). Dalam proses manufaktur, UcanCAM berperan penting dalam tahap praproduksi untuk merancang *toolpath* dan mengkonversi desain menjadi *gcode* yang dapat dieksekusi mesin (Banoel *et al.*, 2021).

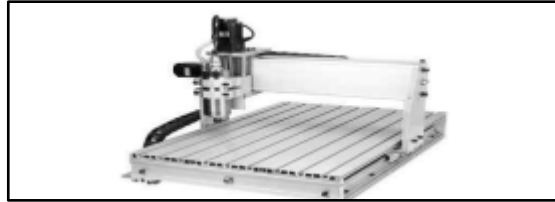


Gambar 5. Tampilan Software UcanCAM
(Sumber : Wijaya & Arsiwi, 2021)

2.13 Mesin CNC Router

Computer Numerical Control (CNC) merupakan sistem otomatisasi mesin perkakas yang dioperasikan melalui perintah terprogram berbasis standar ISO (Banoel *et al.*, 2021). CNC Router merupakan integrasi antara teknologi CNC dengan mesin router, menghasilkan sistem pemotongan presisi untuk material seperti kayu dan bahan lunak lainnya yang memerlukan akurasi tinggi dalam pengerjaan bentuk kompleks. Sistem ini memungkinkan pemotongan berbagai material termasuk kayu, komposit, aluminium, plastik, akrilik, dan busa melalui kontrol komputer yang mengatur pergerakan *cutter* pada sumbu X, Y, dan Z berdasarkan desain digital yang telah diprogram (Salam *et al.*, 2020). Perkembangan teknologi CNC merepresentasikan terobosan signifikan dalam metode pengukiran kayu tradisional, dimana router CNC menawarkan solusi

produksi massal dengan konsistensi tinggi. Keunggulan ini memungkinkan pengrajin memenuhi permintaan dalam skala besar tanpa mengorbankan keseragaman produk (Setiawan *et al.*, 2020).



Gambar 6. Mesin CNC Router
(Sumber : Setiawan *et al.*, 2020)

G-Code merupakan bahasa pemrograman standar dalam operasi mesin CNC yang berbasis pada sistem koordinat grafis dan vektor. Bahasa pemrograman ini berfungsi sebagai *interface* komunikasi antara perangkat lunak komputer dengan sistem kontrol mesin CNC. Secara operasional, mesin akan bergerak mengikuti lintasan yang telah didefinisikan melalui instruksi vektor dalam kode *G-Code*. Format penyimpanan program *G-Code* menggunakan ekstensi *file .ngc* (*Numerical G-Code*). Berikut merupakan klasifikasi berbagai jenis *G-Code* yang umum digunakan (Sk, Julsam, *et al.*, 2019).

Tabel 4. Macam-Macam G-Code

G-Code	Kegunaan
G0	Perintah pergerakan cepat
G1	Perintah pergerakan pemakanan lurus
G2	Perintah pergerakan melingkar searah jarum jam
G3	Perintah pergerakan melingkar
G33	Menyayat beberapa jenis ulir dengan kisar konstan
G40	Membatalkan kompensasi radius atau tanpa kompensasi
G41	Kompensasi radius kanan
G42	Perintah kompetensi radius kiri
G54	Berati titik nol benda kerja diaktifkan
G90	Pemrograman <i>absolute</i>
G91	Pemrograman <i>inkrimental</i>
G96	Mengatur kecepatan potong
G97	Pengaturan kecepatan potong konstan OFF
G158	Menentukan awal pemrograman

(Sumber : Sk, Julsam, *et al.*, 2019)

2.14 Parameter Ketelitian Ukuran Pola

Evaluasi presisi dimensi pola dilakukan untuk mengukur akurasi hasil produk yang telah dibuat. Penelitian ini juga bertujuan membandingkan tingkat akurasi dari berbagai teknik produksi yang digunakan. Pengukuran dimensi pola dalam studi ini menggunakan alat ukur digital caliper dengan tingkat ketelitian mencapai 0,01 mm (Abdillah *et al.*, 2020).

Tabel 5. Data Hasil Pengukuran Produk Pola Cor

Pola	Parameter	Hasil Pengukuran					
		A	B	C	D	E	F
3D Print	Sampel 1	68	86,1	15	17,06	15	34
	Sampel 2	68	86	15	17,08	15	34
	Sampel 3	68	86	14,98	17,06	14,98	33,98
	Rata-Rata	68	86,03	14,99	17,07	14,99	33,99
	Panduan	68	86	15	17	15	34
	Celah	0	-0,03	0,01	-0,07	0,01	0,01
	Toleransi	±0,15	±0,15	±0,1	±0,1	±0,1	±0,15
	Hasil	GO	GO	GO	GO	GO	GO
Manual	Sampel 1	68,3	86,2	15	16,8	14,94	34,26
	Sampel 2	68,4	86	14,9	16,7	14,9	34,3
	Sampel 3	68,3	86,5	14,92	16,9	14,82	34,13
	Rata-Rata	68,33	86,23	14,94	16,80	14,89	34,23
	Panduan	68	86	15	17	15	34
	Celah	-0,33	-0,23	0,06	0,20	0,11	-0,23
	Toleransi	±0,15	±0,15	±0,1	±0,1	±0,1	±0,15
	Hasil	NO GO	NO GO	GO	NO GO	NO GO	NO GO

(Sumber : Abdillah *et al.*, 2020)

Evaluasi akurasi pola cor dilakukan dengan membandingkan nilai rata-rata dimensi antara pola yang diproduksi secara konvensional dan pola hasil cetak 3D *Printer*. Perbandingan nilai mean ini bertujuan untuk menilai tingkat presisi yang dapat dicapai oleh masing-masing metode produksi. Selanjutnya, hasil perhitungan mean tersebut dikomparasikan dengan standar toleransi ISO 2768-1:1989 untuk menentukan apakah terjadi penyimpangan (GO) atau masih dalam batas toleransi yang diperbolehkan (NO GO) (Abdillah *et al.*, 2020). Tabel berikut menunjukkan batas penyimpangan yang dapat diterima untuk pengukuran dimensi linier, tidak termasuk bagian tepi yang tidak sempurna (Peter, 2024).

Tabel 6. Penyimpangan yang Diizinkan untuk Dimensi Linier kecuali untuk Tepi yang Patah

<i>Tolerance Class</i>		<i>Permissible deviations for basic size range</i>							
<i>Designation</i>	<i>Description</i>	<i>0,5¹⁾ up to 3</i>	<i>Over 3 up to 6</i>	<i>Over 6 up to 30</i>	<i>Over 30 up to 120</i>	<i>Over 120 up to 400</i>	<i>Over 400 up to 1000</i>	<i>Over 1000 up to 2000</i>	<i>Over 2000 up to 4000</i>
f	<i>Fine</i>	±0,05	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5	
m	<i>Medium</i>	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2
c	<i>Coarse</i>	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2	±3	±4
v	<i>Very Coarse</i>		±0,5	±1	±1,5	±2,5	±4	±6	±8

¹⁾ For nominal sizes below 0,5 mm, the deviations shall be indicated adjacent to the relevant nominal size(s).

(Sumber : Peter, 2024)

Tabel tersebut menunjukkan standar toleransi umum berdasarkan ISO 2768-1:1989 untuk mengevaluasi apakah suatu penyimpangan masih dalam batas yang diizinkan (GO) atau melampauinya (NO GO). Dalam studi ini, tingkat ketelitian (fine) dari standar ISO dipilih sebagai acuan (Peter, 2024).