

BAB II

DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Manufaktur sendiri berarti pengolahan bahan mentah melalui proses kimia dan fisik dengan tujuan mengubah tampilan, sifat, dan bentuk produk akhir. Proses ini meliputi rangkaian langkah dari perakitan hingga terbentuknya produk jadi. Industri manufaktur terkait dengan produksi barang fisik melalui pengolahan bahan mentah menjadi produk jadi menggunakan mesin, tenaga kerja, dan proses produksi yang terstruktur.

Dalam konteks ekonomi, manufaktur merupakan proses mengubah bahan mentah menjadi produk dengan tambahan nilai melalui tahapan perakitan. Hasilnya diharapkan memiliki nilai komersial yang lebih tinggi. (Wiranata and Nugrahanti 2013)

Maka, perusahaan manufaktur dapat diartikan sebagai entitas bisnis yang mengubah bahan mentah menjadi produk setengah jadi maupun produk jadi dengan nilai jual yang diharapkan. Keseluruhan proses ini tentu saja dilakukan sesuai dengan pedoman Standar Operasional Prosedur (SOP) yang berlaku dalam masing-masing industri.

Perusahaan manufaktur memiliki karakter tersendiri, antara lain :

1. Proses produksi yang kompleks
Perusahaan manufaktur umumnya melalui proses produksi yang kompleks agar dapat menghasilkan produk yang sesuai dan bekerja dengan banyak orang di berbagai industri. Contohnya tenaga operator yang bertanggung jawab memastikan mesin bisa bekerja sesuai fungsinya.
2. Proses pengelolaan produk
Aktivitas perusahaan manufaktur adalah mengubah bahan mentah menjadi produk yang bernilai. Terdapat dua metode yang umum digunakan yaitu metode terus-menerus dan metode putus-putus. Dalam metode terus-menerus terdiri dari berbagai komponen yang perlu diproduksi, seperti dalam proses pembuatan motor. Kemudian dalam metode putus-putus, perusahaan menciptakan produk yang sesuai dengan permintaan konsumen.
3. Penggunaan mesin berskala besar & biaya produksi yang extra
Mesin dalam industri manufaktur merupakan salah satu penunjang utama dalam proses produksi. Terkhusus, industri manufaktur membutuhkan proses yang efisien. Selain itu, manufaktur juga tetap membutuhkan SDM yang memadai. Maka dari itu, biaya produksi juga harus lebih extra mengingat terdapat pembelian bahan baku, upah tenaga kerja, biaya perawatan mesin, dan lain-lain.

2.1.1.1 Additive Manufacturing

Additive manufacturing adalah sebuah proses pembuatan benda tiga dimensi dari model digital. Proses pencetakan 3D membuat sebuah produk dengan menggunakan proses additif, dimana dengan menambahkan bahan-bahan dasar secara bertahap sesuai dengan bentuk model digital/CAD yang telah ditetapkan. Istilah *additive manufacturing* mengacu pada teknologi yang membuat suatu produk dengan proses *layer-per-layer* hingga membentuk suatu bentuk produk.

Proses tersebut melibatkan konversi blueprint virtual dari *Computer Aided Design (CAD)* menjadi data digital yang diperlukan oleh mesin untuk proses pencetakan. Bergantung pada jenis mesin yang digunakan, material atau bahan yang digunakan melalui proses *layer-per-layer* di atas platform/tray sampai pembentukan selesai dan model 3D akhir berhasil dicetak. Format standar yang digunakan sebagai perantara antara perangkat lunak CAD dan mesin *3D printing* adalah melalui format STL yang harus dikonversi sebelum dimasukkan *software* Chitubox.

Mesin membaca desain dari file STL dan meletakkan lapisan berturut-turut cair, bubuk, kertas atau bahan lembar untuk membangun model dari serangkaian penampang. Lapisan ini, yang sesuai dengan penampang virtual dari model CAD, yang bergabung bersama-sama atau secara otomatis menyatu untuk menciptakan bentuk akhir. Keuntungan utama dari teknik ini adalah kemampuannya untuk membuat hampir semua bentuk atau fitur geometris. (Wong and Hernandez 2012)

2.1.1.2 Cara Kerja Additive Manufacturing

Cara kerja *additive manufacturing* adalah dengan melakukan penambahan material dengan melalui proses *layer-per-layer*. Hal ini berbeda dengan proses manufaktur tradisional yang cenderung mengurangi atau menghilangkan sebagian bahan mentah, sehingga mencapai bentuk akhir produk yang diinginkan.

Pada *additive manufacturing*, mesin akan menambahkan *layer-per-layer* sangat kecil yang saling menyatu hingga membentuk produk akhir sesuai keinginan. Proses ini membutuhkan teknologi komputer dan perangkat lunak khusus yang disebut Chitubox, di mana perangkat lunak ini memberikan instruksi kepada printer mengenai bentuk akhir produk yang diinginkan.

2.1.1.3 Kelebihan dan Kekurangan Additive Manufacturing

Kelebihan :

1. Mampu mencetak objek dengan desain yang kompleks dan rumit yang sulit dicapai dengan metode manufaktur konvensional, sehingga memungkinkan terciptanya inovasi desain yang lebih besar.
2. Memungkinkan pembuatan produk yang dapat disesuaikan secara individual, misalnya seperti pembuatan implan gigi atau implan tulang yang dapat dibuat sesuai dengan anatomi pasien.
3. Menggunakan bahan baku yang dibutuhkan saja tanpa berlebihan, sehingga dapat mengurangi limbah material.
4. Produksi barang berjalan lebih cepat, sehingga dapat menghemat waktu dan biaya dalam pengembangan produk.
5. Memungkinkan produsen untuk melakukan sistem *Zero Inventory*, sehingga mengurangi biaya penyimpanan dan resiko *overstocking*.

Kekurangan :

1. Mesin pencetak 3D pada *additive manufacturing* cenderung mahal, sehingga produsen harus mengeluarkan biaya awal investasi yang tinggi.
2. Meskipun berbagai jenis bahan dapat digunakan pada *additive manufacturing*, namun tidak semua bahan bisa cocok.
3. Permukaan hasil cetakan 3D mungkin memerlukan *finishing* tambahan untuk mencapai kualitas permukaan yang diinginkan, sehingga dapat menambah waktu dan biaya produksi.
4. Beberapa mesin pencetak 3D memiliki batasan pada ukuran objek yang dapat dicetak.
5. Beberapa produk yang dicetak menggunakan metode *additive manufacturing* mungkin memiliki kekuatan atau ketahanan yang kurang baik terhadap beban mekanis tertentu jika dibandingkan dengan produk yang dibuat dengan metode manufaktur tradisional

2.2. 3D Printing



Gambar 2. 3 3D Printing

3D Printing adalah proses di mana materi digabung di bawah kontrol komputer untuk membuat objek tiga dimensi, dengan material yang ditambahkan bersama-sama (seperti molekul cair atau butiran bubuk yang digabungkan bersama). *3D Printing* digunakan dalam pembuatan purwarupa. Objek dapat berupa bentuk atau geometri dan biasanya dihasilkan menggunakan data model digital dari model 3D yang berasal File Manufaktur Aditif (AMF). Ada beberapa teknik yang digunakan, seperti stereolithography (STL) atau *fused deposition modeling* (FDM). *3D Printing* membangun suatu objek tiga dimensi dari model CAD atau file AMF yang dibantu komputer, biasanya dengan menambahkan lapisan bahan lapis demi lapis secara berturut-turut. (Wang et al. 2016)

Material yang digunakan dalam proses *3D printing* cukup bervariasi, mulai dari bahan plastik, karet, keramik, hingga logam. Proses pencetakan dimulai dengan membuat model digital terlebih dahulu dengan software CAD (*Computer Aided Design*) atau bisa juga dengan *modeling software* yang serupa. Selanjutnya, model digital itu dapat dipecah menjadi lapisan demi lapisan yang kemudian akan dicetak secara bertahap menggunakan teknologi *printer 3D*. Setiap lapis akan ditambahkan terus menerus ketika dicetak, sehingga dapat membentuk objek tiga dimensi yang lengkap. Adapun manfaat *3D printing* antara lain yaitu :

- Membantu dalam pembuatan prototipe sebelum produk diproduksi massal.
- Menghemat waktu dan biaya untuk pengembangan produk baru.

- Memberikan kebebasan untuk menciptakan sebuah desain produk.
- Memberikan kesempatan untuk membuat kustomisasi produk.
- Dalam bidang kesehatan, teknologi ini digunakan untuk mencetak organ dan tulang buatan.

2.3. Material SLA

3D Printing menggunakan material Resin dan Standard Esun. eSun adalah salah satu perusahaan filamen terbesar di dunia. Dengan harga terjangkau dan filamen berkualitas tinggi, Anda mungkin pernah mendengar tentang eSun jika Anda adalah penggemar pencetakan 3D. Mereka terkenal dengan lini filamen mereka sendiri dan juga filamen yang mereka buat untuk perusahaan lain.

eSun didirikan pada tahun 2002, dan pada awalnya, fokus utamanya adalah pada penelitian dan pengembangan polimer yang dapat terbiodegradasi seperti PLA dan PCL. Baru pada tahun 2007 mereka melihat penerapan bahan-bahan tersebut di bidang pencetakan 3D. Saat ini, mereka memiliki salah satu katalog filamen terlengkap di industri, mulai dari PLA hingga PEEK, dan banyak lagi di antaranya.

Yang membuat eSun menonjol adalah kualitas filamennya dengan harga murah. Meskipun mereka tidak memproduksi filamen dengan toleransi yang sangat tinggi seperti Fiberlogy atau Prusa, eSun masih memenuhi standar industri +/- 0,05 mm.



Gambar 2. 4 Resin eSun

Tabel 2.1 3D Printing menggunakan material Resin dan Standard eSun.

| 3D PRINTING PHOTOPOLYMER RESIN Properties Tabel | |
|---|--------------------------------|
| 3D PRINTING PHOTOPOLYMER RESIN | Standard Resin |
| Viscosity (mPa•s) | 170-200 (mPa•s) |
| Density (g/cm ³) | 1.08-1.13 (g/cm ³) |

| | |
|---|-----------------|
| <i>Tensile Strength (MPa)</i> | 46-67 (MPa) |
| <i>Elongation at Break (%)</i> | 28-36 (%) |
| <i>Flexural Strength (MPa)</i> | 46-72 (MPa) |
| <i>Impact Strength (J/m)</i> | 14-42 (J/m) |
| <i>Tearing Strength (GPa)</i> | / |
| <i>Heat Distortion Temperature (°C)</i> | / |
| <i>Hardness (Shore D)</i> | 78-82 (Shore D) |

Tabel 2.1 menjelaskan pengertian material tentang resin standard eSun

Tabel 2.2 Nilai 3D printing Standard eSun

| Grades (out of 10) | |
|---------------------------|---|
| <i>Strength (S)</i> | 8 |
| <i>Toughness (F)</i> | 7 |
| <i>Forming (P)</i> | 9 |
| <i>Accuracy (S)</i> | 7 |
| <i>Speed (A)</i> | 8 |

Tabel 2.2 menjelaskan nilai dari standard dari 3D printing yang menggunakan resin eSun

2.4. *Mechanical Properties*

Sifat mekanik suatu material adalah sifat-sifat yang melibatkan reaksi terhadap beban yang diberikan. Sifat mekanik logam menentukan kisaran kegunaan suatu material dan menentukan masa pakai yang dapat diharapkan. Sifat mekanik juga digunakan untuk membantu mengklasifikasikan dan mengidentifikasi material. Sifat yang paling umum dipertimbangkan adalah kekuatan, keuletan, kekerasan, ketahanan benturan, dan ketangguhan patah.

Sifat mekanik suatu material tidak konstan dan sering berubah sebagai fungsi suhu, laju pembebanan, dan kondisi lainnya. Misalnya, suhu di bawah suhu kamar umumnya menyebabkan peningkatan sifat kekuatan paduan logam; sedangkan keuletan, ketangguhan patah, dan perpanjangan biasanya menurun. Suhu di atas suhu ruangan biasanya menyebabkan penurunan sifat kekuatan paduan logam. Daktilitas dapat meningkat atau menurun dengan meningkatnya suhu tergantung pada variabel yang sama.

Perlu juga dicatat bahwa seringkali terdapat variabilitas yang signifikan dalam nilai yang diperoleh saat mengukur sifat mekanik. Benda uji yang tampak identik dari bahan yang sama sering kali menghasilkan hasil yang sangat berbeda. Oleh karena itu, beberapa pengujian biasanya dilakukan untuk menentukan sifat mekanik dan nilai yang dilaporkan dapat berupa nilai rata-rata atau nilai minimum

statistik yang dihitung. Selain itu, rentang nilai terkadang dilaporkan untuk menunjukkan variabilitas. (Meyers et al. 2008)

2.5. Pengujian Anova

Anova adalah uji yang dapat digunakan untuk menganalisis perbedaan lebih dari 2 populasi kelompok yang independent. Teknik Anova ini dikembangkan oleh Ronald A. Fisher, dengan memanfaatkan distribusi F. Teknik ini sering dipakai untuk penelitian terutama pada rancangan penelitian yang memiliki implikasi pengambilan keputusan untuk menggunakan teknologi baru, prosedur-prosedur baru ataupun kebijakan-kebijakan baru.

Anova digunakan sebagai alat analisis untuk menguji hipotesis penelitian yang mana menilai adakah perbedaan rerata antara kelompok. Hasil akhir dari analisis ANOVA adalah nilai F test atau F hitung. Nilai F Hitung ini yang nantinya akan dibandingkan dengan nilai pada tabel f. Jika nilai f hitung lebih dari f tabel, maka dapat disimpulkan bahwa menerima H1 dan menolak H0 atau yang berarti ada perbedaan bermakna rerata pada semua kelompok. (Rahmawati and Erina 2020)

1. Anova dua arah model tetap

Anova dua arah model tetap merupakan pengujian hipotesis beda tiga rata-rata atau lebih dengan dua faktor yang berpengaruh dan interaksi antara kedua faktor ditiadakan. Dengan menggunakan teknik ini kita dapat membandingkan beberapa rata-rata yang berasal dari beberapa kategori atau kelompok untuk satu variabel perlakuan. Keuntungan menggunakan teknik analisis ini ialah memungkinkan untuk memperluas analisis pada situasi dimana hal-hal yang sedang diukur dipengaruhi oleh dua atau lebih variabel.

Perumusan Hipotesis :

a. Pengaruh utama faktor A

H0: $\alpha_1 = \dots = \alpha_i = 0$ (tidak ada pengaruh faktor A)

H1: paling sedikit ada satu i dengan $\alpha_i \neq 0$ (ada pengaruh faktor A)

b. Pengaruh utama faktor B

H0: $\beta_1 = \dots = \beta_j = 0$ (tidak ada pengaruh faktor B)

H1: paling sedikit ada satu j dengan $\beta_j \neq 0$ (ada pengaruh faktor B)

c. Pengaruh interaksi faktor A dengan faktor B

H0: $(\alpha\beta)_{11} = (\alpha\beta)_{12} = \dots = (\alpha\beta)_{ij} = 0$ (tidak ada pengaruh interaksi faktor A dan faktor B)

H1: paling sedikit ada pasangan (i,j) dengan $(\alpha\beta)_{ij} \neq 0$ (ada pengaruh interaksi faktor A dan faktor B).

d. Menentukan taraf nyata (α) dan F tabelnya :

Untuk baris: $v_1 = b - 1$ dan $v_2 = (k - 1)(b - 1)$

Untuk kolom: $v_1 = k - 1$ dan $v_2 = (k - 1)(b - 1)$

e. Menentukan kriteria pengujian

H_0 diterima apabila $F_0 \leq F_{\alpha}(v_1;v_2)$

H_0 ditolak apabila $F_0 > F_{\alpha}(v_1;v_2)$

Keterangan :

- H_0 : Hipotesis nol
- B : Faktor kedua
- F_0 : Nilai F hitung
- V_1 : Derajat bebas untuk perlakuan/factor yang diuji
- V_2 : derajat bebas penyebut (denominator)

2. Anova dua arah model acak

Anova dua arah model acak merupakan pengujian hipotesis beda tiga rata-rata atau lebih dengan dua factor yang berpengaruh dengan adanya interaksi antara kedua factor.

Perumusan Hipotesis:

a. Pengaruh utama faktor A

$H_0: \sigma^2 \alpha = 0$ (tidak ada pengaruh faktor A)

H_1 : paling sedikit ada satu α_i dengan $\sigma^2 \alpha \neq 0$ (ada pengaruh faktor A)

b. Pengaruh utama faktor B

$H_0: \sigma^2 \beta = 0$ (tidak ada pengaruh faktor B)

H_1 : paling sedikit ada satu β_j dengan $\sigma^2 \beta \neq 0$ (ada pengaruh faktor B)

c. Pengaruh interaksi faktor A dengan faktor B

$H_0: \sigma^2 \alpha\beta = 0$ (tidak ada pengaruh interaksi faktor A dan faktor B)

H_1 : paling sedikit ada pasangan (α_i, β_j) dengan $\sigma^2 \alpha\beta \neq 0$ (ada pengaruh interaksi faktor A dan faktor B).

d. Taraf nyata (α) dan Ftabel ditentukan dengan derajat pembilang dan penyebut masing-masing:

Untuk baris: $v_1 = b - 1$ dan $v_2 = kb (n - 1)$

Untuk kolom: $v_1 = k - 1$ dan $v_2 = kb (n-1)$

Untuk interaksi: $v_1 = (k - 1) (b - 1)$ dan $v_2 = kb (n - 1)$

e. Menentukan kriteria pengujian:

- Untuk baris H_0 diterima apabila $F_0 \leq F_{\alpha} (v_1;v_2)$ H_0 ditolak apabila $F_0 > F_{\alpha} (v_1;v_2)$
- Untuk kolom H_0 diterima apabila $F_0 \leq F_{\alpha} (v_1;v_2)$ H_0 ditolak apabila $F_0 > F_{\alpha} (v_1;v_2)$
- Untuk interaksi H_0 diterima apabila $F_0 \leq F_{\alpha} (v_1;v_2)$ H_0 ditolak apabila $F_0 > F_{\alpha} (v_1;v_2)$

3. Anova dua jalur model campuran

Perumusan Hipotesis:

a. Pengaruh utama faktor A

$H_0: \alpha_1 = \dots = \alpha_i = 0$ (tidak ada pengaruh faktor A)

H_1 : paling sedikit ada satu i dengan $\alpha_i \neq 0$ (ada pengaruh faktor A)

b. Pengaruh utama faktor B

$H_0: \sigma^2 \beta = 0$ (tidak ada pengaruh faktor B)

H_1 : paling sedikit ada satu β_j dengan $\sigma^2 \beta \neq 0$ (ada pengaruh faktor B)

c. Pengaruh interaksi faktor A dengan faktor B

$H_0: \sigma^2 \alpha\beta = 0$ (tidak ada pengaruh interaksi faktor A dan faktor B)

H_1 : paling sedikit ada pasangan (α_i, β_j) dengan $\sigma^2 \alpha\beta \neq 0$ (ada pengaruh interaksi faktor A dan faktor B).

Tabel 2.3 Tabel Anova dua jalur model campuran

| Sv | db | JK | KT | Fhitung |
|-----------|---------------------|---------|----------------------------|---------|
| Perlakuan | $(r - k) - 1$ | JKP | $JKP / (r - k) - 1$ | KTP/KTG |
| Baris | $r - 1$ | JKB | $JKP / (r - 1)$ | KTB/KTG |
| Kolom | $k - 1$ | JKK | $JKK / (k - 1)$ | KTK/KTG |
| Interaksi | $(r - 1) - (k - 1)$ | JK (BK) | $JK (BK) / (r - 1)(k - 1)$ | KTI/KTG |
| Galat | $rk (n - 1)$ | JKG | $JKG / \{rk(n - 1)\}$ | |
| Total | $rkn - 1$ | JKT | | |

Tabel Kriteria pengujian :Jika F Hitung > F Tabel, maka Ho ditolak (signifikan)

$$FK = \frac{T_{..}^2}{rkn}$$

$$JKT = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^k \sum_{m=1}^n X_{ijm}^2 - FK$$

$$JKP = \frac{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^k T_{ij}^2}{i=1} - FK$$

$$JKB = \sum_{i=1}^r \frac{T_{i.}^2}{kn} - FK$$

$$JKK = \sum_{j=1}^k \frac{T_{.j}^2}{rn} - FK$$

$$JKG = JKT - JKP$$

$$JK(BK) = JKP - JKB - JKK$$

Keterangan :

FK = Factor Koleransi

JKT = Jumlah Kuadrat Total

JKP = Jumlah Kuadrat Perlakuan

JKB = Jumlah Kuadrat Baris

JKK = Jumlah Kuadrat Kolom

r = Banyaknya Baris

k = Banyaknya Kolom

n = Banyaknya Ulangan

ar = Banyaknya Data

4. Asumsi-Asumsi dalam Anova

- a. Galat percobaan memiliki ragam yang homogen. Dapat diuji melalui variansi data semua populasi atau kelompok/perlakuan sama
- b. Galat percobaan saling bebas
- c. Galat (pengamatan) percobaan menyebar normal pada setiap populasi atau perlakuan/kelompok.