

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu

Tugas Akhir ini di rencanakan akan dilakukan di tempat dan waktu yang sudah di tentukan, yaitu sebagai berikut :

3.1.1 Tempat

Tugas akhir akan dilaksanakan di Laboratorium Terpadu Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surabaya, yang berlokasi di Jln. Sutorejo No.59, Surabaya.

3.1.2 Waktu

Periode penelitian dimulai setelah pengesahan Judul Tugas Akhir oleh dosen pembimbing. Proses penelitian akan dimulai dengan eksplorasi judul dan studi literatur, diikuti dengan konsultasi proposal berulang yang berpuncak pada hasil seminar. Waktu yang diperlukan untuk penyelesaian penelitian tugas akhir adalah sekitar enam bulan. Rencana waktu kegiatan dapat dilihat di tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Jadwal Pelaksanaan Penelitian

No	Tahap Penelitian	Bulan					
		1	2	3	4	5	6
1	Studi literatur dan identifikasi masalah						
2	Perhitungan empiris dan pemodelan CAD						
3	Simulasi FEM dan analisis sensitivitas <i>mesh</i>						
4	Analisis dan pembahasan hasil						
5	Penulisan laporan dan bimbingan						
6	Seminar hasil penelitian						

3.2 Peralatan dan Bahan

Peralatan yang ditunjuk untuk pemanfaatan dalam penelitian ini terdiri dari *hardware* berspesifikasi tinggi untuk memastikan bahwa proses simulasi tetap tidak terhalang, sedangkan perangkat lunak yang digunakan adalah *SolidWorks* 2024 untuk tujuan desain bodi dan untuk simulasi *Finite Element Method* (FEM).

3.2.1 Spesifikasi Laptop

Spesifikasi laptop yang digunakan untuk mendesain dan melakukan perhitungan simulasi bisa dilihat pada tabel

Tabel 3. 2 Spesifikasi Laptop

No.	Nama	Keterangan
1	Laptop	Asus
2	CPU	AMD Ryzen 5 5600H
3	Operating System	Windows 11
4	RAM	16 GB
5	SSD	512 GB
6	GPU	Integrated AMD Radeon Graphics

3.2.2 Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan untuk penelitian terdapat dua komponen yang saling terintegrasi, yaitu :

1. *SolidWorks 2024* – Modul CAD : digunakan untuk menggambar model 3D geometri dari rangka *spinner*, mulai *part* hingga *assembly* dengan dimensi aslinya
2. *SolidWorks Simulation* – Modul FEA : Digunakan untuk analisis statik *Finite Element Analysis* (FEA) terhadap rangka *spinner* yang telah dibuat di modul CAD. *Output* yang dihasilkan meliputi tegangan *Von Mises*, deformasi, dan faktor keamanan.

3.3 Variabel yang diamati

Variabel yang diteliti dalam penelitian ini sesuai dengan prinsip *Finite Element Method* (FEM). Pengujian dilakukan melalui pelaksanaan simulasi pembebanan dan analisis tegangan menggunakan perangkat lunak *SolidWorks*. Variabel yang ditunjuk untuk pemanfaatan dalam analisis ini meliputi :

3.3.1 Variabel Tetap

Variabel tetap ialah variabel yang sudah di standarisasi pada penelitian ini. Berikut adalah variabel tetap pada penelitian ini :

1. Material rangka: baja struktural ASTM A36.
2. Dimensi luar kerangka tidak berubah.
3. Jenis analisis: *Linear Static Analysis* pada *SolidWorks Simulation*.
4. Ketebalan dinding profil *hollow*: 1,2 mm (profil 30x30x1,2mm).
5. Pembebanan: gaya vertikal ke bawah sebesar 490,5 N (setara $50 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2$) yang didistribusikan pada area kontak tabung peniris dan motor listrik dengan rangka.

3.3.2 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi hasil penelitian. Variabel bebas dari penelitian ini adalah berdasarkan hasil perhitungan empiris yang dilakukan terlebih dahulu, dimensi profil *hollow* yang dianalisis adalah profil 30×30×1,2 mm sebagai desain standar yang kemudian divalidasi melalui simulasi FEM, tingkat kehalusan *mesh* yang digunakan dalam simulasi FEM, meliputi: *Coarse* (Kasar), *Medium* (Sedang), *Fine* (Halus), dan *Very Fine* (Sangat Halus).

Variasi ini digunakan untuk menentukan ukuran *mesh* optimal melalui studi konvergensi *mesh*.

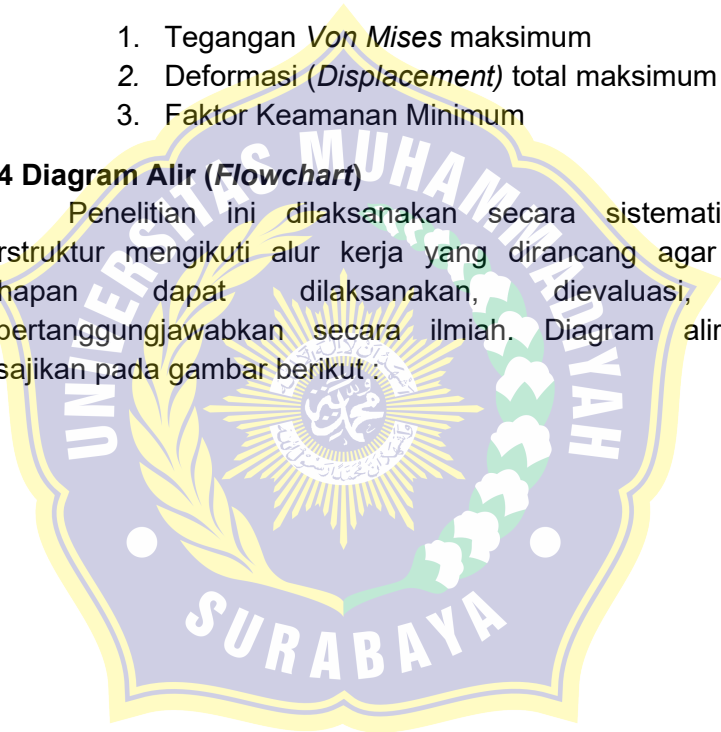
3.3.3 Variabel terikat

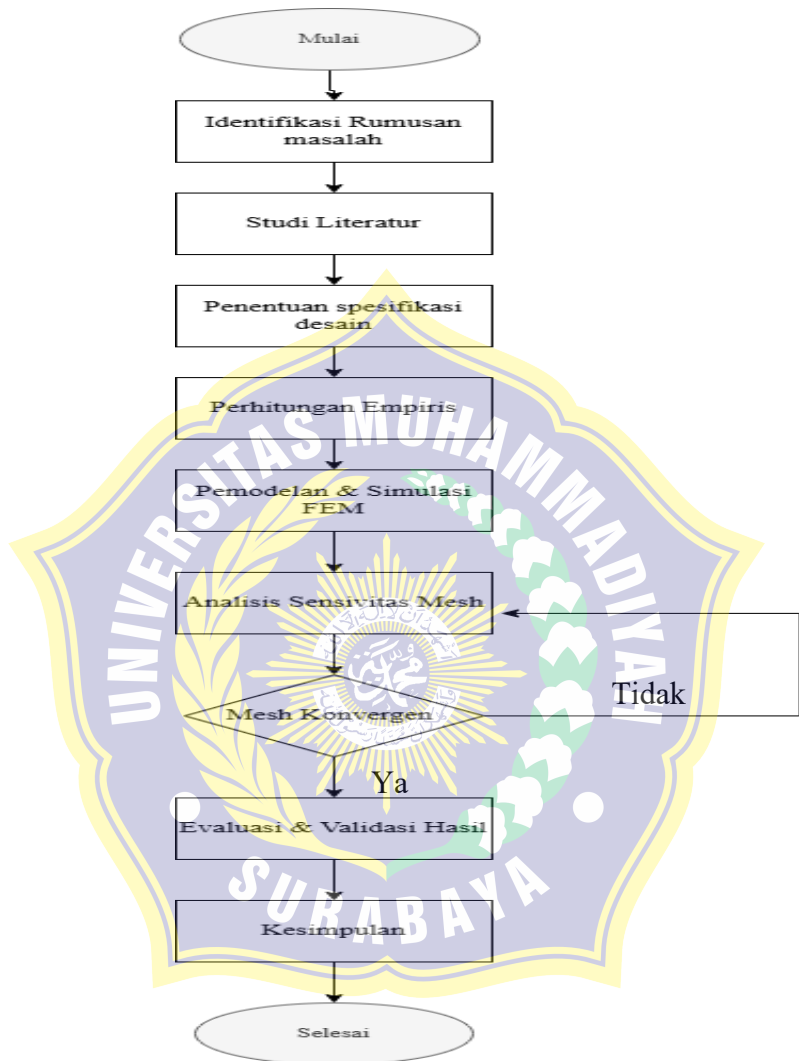
Variabel terikat adalah variabel yang dicari dan mempengaruhi variabel bebas. Adapapun variabel terikat sebagai berikut :

1. Tegangan *Von Mises* maksimum
2. Deformasi (*Displacement*) total maksimum
3. Faktor Keamanan Minimum

3.4 Diagram Alir (*Flowchart*)

Penelitian ini dilaksanakan secara sistematis dan terstruktur mengikuti alur kerja yang dirancang agar setiap tahapan dapat dilaksanakan, dievaluasi, dan dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Diagram alir yang disajikan pada gambar berikut :





Gambar 3. 1 Diagram alir (*Flowchart*)

3.5 Tahap penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dalam dua tahap utama yang saling melengkapi pertama, perhitungan empiris berbasis rumus mekanika bahan dan kedua, validasi menggunakan simulasi FEM. Kedua tahap dilaksanakan secara berurutan.

3.5.1 Perhitungan Empiris

1. Identifikasi Data dan Pembebanan

Seluruh parameter diidentifikasi terlebih dahulu, meliputi material (ASTM A36), dimensi profil *hollow* (30×30×1,2 mm), besar beban total operasional (50 kg), serta geometri batang kritis. Beban total diasumsikan terdistribusi merata pada dua batang horizontal paralel penyangga motor dan tabung peniris.

2. Perhitungan Properti Penampang

Properti penampang profil *hollow* persegi dihitung menggunakan rumus standar mekanika material, meliputi:

- Luas penampang (A): menggunakan rumus $A = (b \times h) - (b_i \times h_i)$, di mana b_i dan h_i adalah dimensi dalam profil setelah dikurangi dua kali tebal dinding.
- Momen inersia penampang (I) terhadap sumbu netral menggunakan Persamaan (2.4).
- Jarak serat terluar dari sumbu netral (c) untuk penampang simetris, $c = h/2$.
- Modulus penampang (S) = I/c , digunakan dalam perhitungan tegangan lentur.

3. Analisis Pembebanan dan Reaksi Tumpuan

Batang horizontal kritis dimodelkan sebagai balok sederhana (*simply supported beam*) dengan beban

terpusat di tengah bentang. Reaksi tumpuan dihitung menggunakan persamaan kesetimbangan statika.

$$\Sigma F_y = 0; \Sigma M_A = 0; \Sigma M_B = 0$$

4. Perhitungan Tegangan pada Elemen Kritis

Tegangan yang dihitung pada elemen kritis meliputi:

- a. Tegangan tekan normal (σ_n) pada batang vertikal (kaki rangka): menggunakan Persamaan (2.1), $\sigma = F/A$.
 - b. Tegangan lentur maksimum (σ_b) pada batang horizontal, menggunakan Persamaan (2.3), $\sigma_b = M \cdot c/I$.
 - c. Tegangan geser maksimum (τ_{max}) pada sumbu netral batang horizontal menggunakan rumus geser $\tau_{max} = V \cdot Q/(I \cdot t_{eff})$, di mana Q adalah momen statis penampang (mm^3) dan t_{eff} adalah tebal efektif dinding pada sumbu netral (mm).
5. Perhitungan Tegangan Von Mises Empiris
- Tegangan Von Mises ekuivalen (σ_{VM}) dihitung pada dua titik kritis serat terluar (dominan tegangan normal lentur) dan sumbu netral (dominan tegangan geser). Nilai σ_{VM} yang lebih besar di antara keduanya digunakan sebagai tegangan Von Mises empiris, mengacu pada Persamaan (2.9).
6. Perhitungan Faktor Keamanan Empiris
- Faktor keamanan empiris dihitung menggunakan Persamaan (2.10) $FK = S_y / \sigma_{VM, empiris}$, di mana S_y adalah kekuatan luluh material ASTM A36 sebesar 250 MPa.

7. Perhitungan Deformasi Maksimum Empiris

Deformasi maksimum (δ_{max}) pada batang horizontal dihitung menggunakan rumus defleksi balok sederhana dengan beban terpusat.

$$\delta_{max} = P \times L^3 / (48 \times E \times I)$$

di mana:

δ_{max} = Deformasi maksimum (mm)

P = Beban per batang (N)

L = Panjang bentang batang kritis (mm)

E = Modulus elastisitas material (MPa)

I = Momen inersia penampang (mm⁴)

Hasil deformasi empiris kemudian dibandingkan terhadap batas deformasi izin $\delta_{allow} = L/500$

3.5.2 Pemodelan Geometri CAD

Sebelum melakukan simulasi, langkah awal yang krusial adalah merancang model tiga dimensi rangka mesin *spinner* menggunakan *SolidWorks* 2024. Perancangan memanfaatkan fitur *Weldments* yang memungkinkan pembangunan struktur rangka berbasis profil standar *hollow* persegi secara efisien dalam satu lingkungan *part*. Model CAD dibuat sesuai dimensi aktual rangka mesin *spinner* kapasitas 5 kg.

3.5.3 Simulasi Finite Element Analysis (FEA)

Setelah model CAD rangka *spinner* selesai dibuat, langkah selanjutnya adalah melakukan simulasi FEA menggunakan *SolidWorks Simulation* 2024. Tahapan simulasi dilaksanakan secara sistematis seperti pada sub bab 2.10.1 :

3.5.4 Validasi dan Interpretasi Hasil

Tahap validasi dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan empiris dengan hasil simulasi FEM. Perbandingan mencakup:

- Nilai tegangan *Von Mises* empiris terhadap tegangan *Von Mises* maksimum dari FEM.
- Nilai faktor keamanan empiris terhadap faktor keamanan minimum dari FEM.
- Nilai deformasi empiris terhadap deformasi maksimum dari FEM.

Persentase *error* dihitung menggunakan rumus:

$$Error(100\%) = \frac{\sigma_{FEM} - \sigma_{empiris}}{\sigma_{empiris}} \times 100\%$$

