

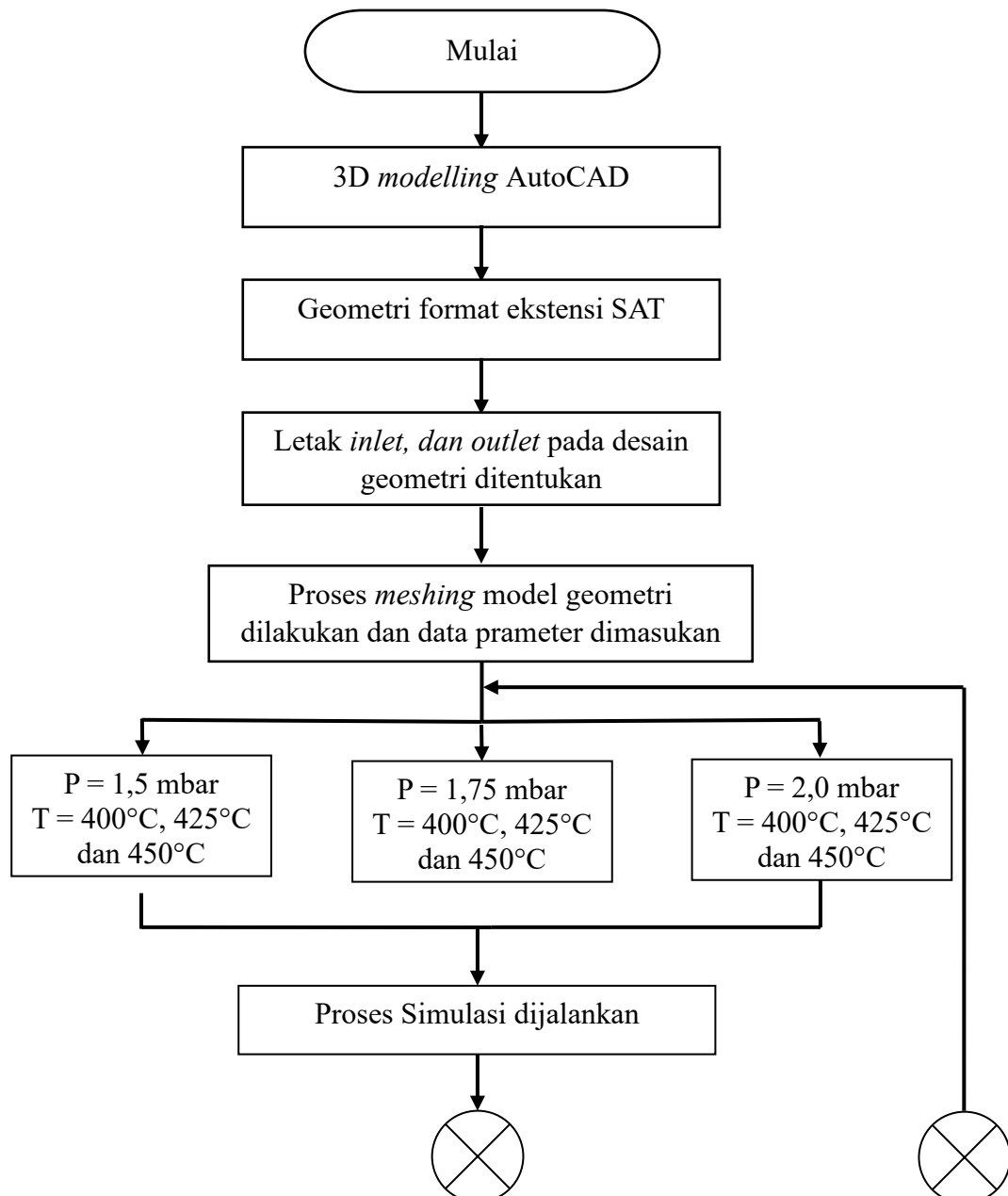
BAB III

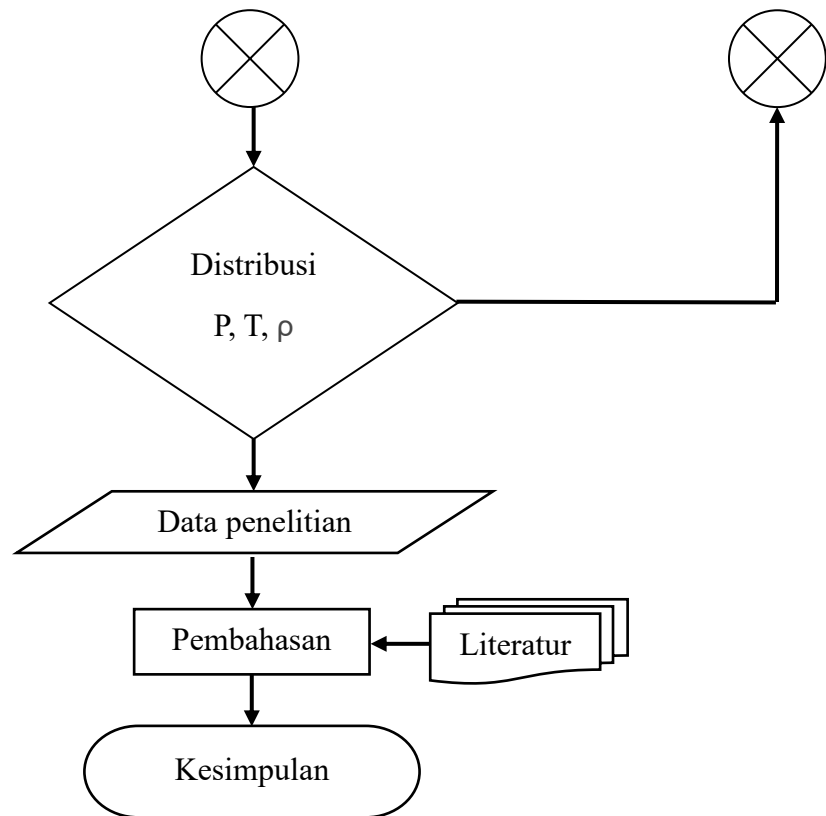
METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

3.1.1 Diagram Alir Simulasi Proses

Berikut merupakan diagram alir simulasi proses pada penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 3. 1 sebagai berikut

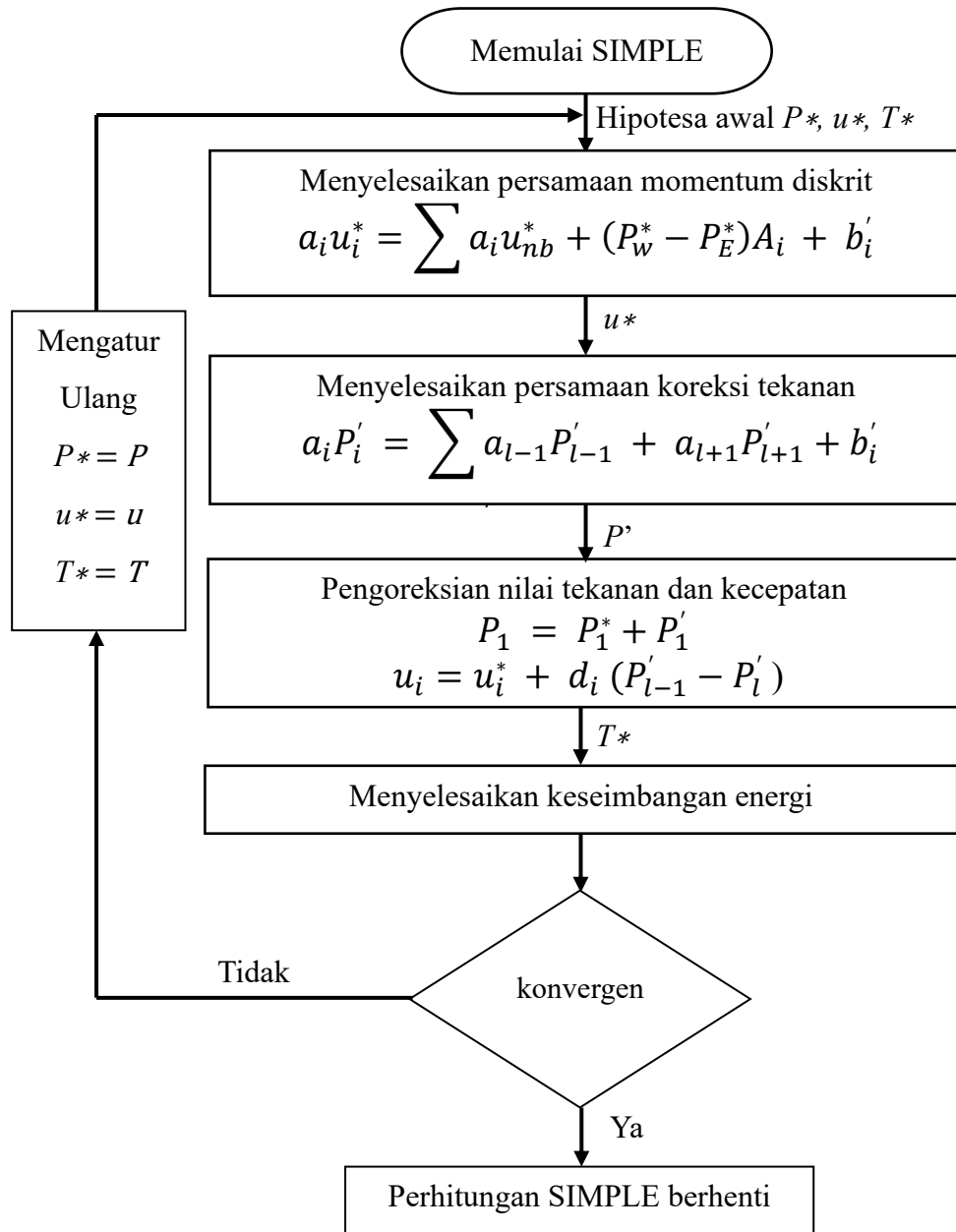




Gambar 3.1 Diagram Alir Simulasi Proses

3.1.2 Algoritma Simulasi CFD

Dalam *simulasi computational fluid dynamics* (CFD) dapat menggunakan *semi implicit method for pressure linked equations* (SIMPLE) sebagai pemecahan masalah simulasi aliran fluida. Berikut merupakan algoritma SIMPLE pada simulasi CFD yang digambarkan sebagai berikut:



Gambar 3.2 Algoritma Simulasi

3.2 Alat yang digunakan

Adapun alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. *Software* Autodesk AutoCAD
- b. *Software* ANSYS Versi R2 2024

3.3 Model Matematika Simulasi

Simulasi CFD untuk proses plasma nitridasi memerlukan berbagai permodelan yang mencakup dinamika gas, perpindahan panas, perpindahan massa. Aspek dinamika aliran gas dalam ruang proses dapat dijelaskan melalui persamaan (1) yang membahas hukum kekekalan massa dan persamaan (2) yang menjabarkan persamaan Navier Stokes untuk aliran laminar pada kondisi *steady state* [37]:

$$\Delta(\rho V) = 0 \dots\dots\dots(1)$$

$$\Delta(\rho V u_i) = -\frac{\partial \rho}{\partial x_i} + \nabla(\mu \nabla u_i) \dots\dots\dots(2)$$

Dalam persamaan tersebut, terdapat beberapa variabel yaitu ρ yang menunjukkan densitas, V yang mempresentasikan vektor kecepatan, dan μ merupakan simbol viskositas kinetik. Persamaan perpindahan panas dapat dituliskan sebagai berikut

$$\Delta(\rho V h_0) = \nabla(k_{eff} \nabla T) S_h \dots\dots\dots(3)$$

Dalam persamaan tersebut, terdapat beberapa parameter yaitu h_0 yang menunjukkan entalpi, k_{eff} yang menunjukkan konduktivitas termal, T yang menunjukkan temperatur dan S_h yang menunjukkan sumber panas akibat reaksi kimia. Model plasma yang terhubung secara kapasitif didasarkan pada persamaan distribusi energi elektron mengikuti hukum Maxwellian. Berdasarkan hal tersebut, keseimbangan elektron dapat dituliskan sebagai berikut

$$\nabla T_e = S \dots\dots\dots(4)$$

Dalam persamaan ini, T_e menunjukkan fluks elektron, S menunjukkan sumber elektron yang dihasilkan dari reaksi kimia. Adapun keseimbangan energi yang terjadi pada plasma dapat dituliskan sebagai berikut

$$\nabla(\frac{5}{2}T_e.T_e - \chi \nabla T_e = P - P_c) \dots\dots\dots(5)$$

Dalam persamaan ini, T_e menunjukkan temperatur elektron, sedangkan χ merupakan konstanta termodifusi elektron, lalu P merupakan daya yang teradsorpsi pada plasma, P_c merupakan besaran energi yang hilang akibat reaksi tumbukan elektron. Distribusi spasial dari potensial elektrostatik dijelaskan melalui persamaan Poisson yang dituliskan sebagai berikut

$$-\nabla . \epsilon_r \nabla \varphi = e(\sum_i q_i n_i - n_e) \dots\dots\dots(6)$$

Dalam persamaan ini ϵ_r merupakan permisivitas listrik relatif, q_i merupakan muatan ion, φ merupakan fluks elektrik, n_i merupakan densitas ion, e merupakan muatan listrik partikel, n_e merupakan densitas elektron. Model persamaan perpindahan massa untuk partikel pada sumbu i dapat dituliskan sebagai berikut

$$\frac{\partial \rho}{\partial x_j}(\rho u_j Y_i) = \frac{\partial \rho}{\partial x_j} J_{ij} + M_i \omega_i \dots\dots\dots(7)$$

Dalam persamaan ini u_j merupakan proyeksi vektor kecepatan pada sumbu j atau sumbu y pada koordinat kartesius, Y_i merupakan fraksi massa partikel pada sumbu i , J_{ij} merupakan proyeksi vektor fluks difusi pada sumbu j , M_i merupakan massa molar partikel pada sumbu i dan ω_i merupakan besaran laju reaksi.

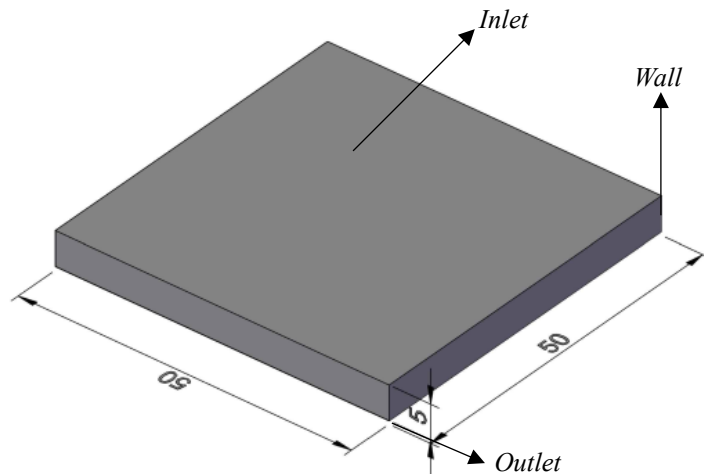
3.4 Prosedur Penelitian

Prosedur percobaan yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada uraian berikut

3.4.1 Pembuatan Geometri *Substrat* Dengan AutoCAD

Dalam melakukan suatu simulasi *computational fluid dynamics* diperlukan beberapa komponen pendukung untuk menjalankannya, salah

satunya yaitu geometri. Geometri dibuat dengan AutoCAD dengan fitur 3D *modelling* untuk geometri *substrat*. Pada Gambar 3.3 yaitu tahap pertama membuat geometri *substrat* menggunakan AutoCAD dengan *workspace* 2D *drafting* beserta spesifikasinya. Dengan fitur ini, *workspace* akan menampilkan banyak *tools* untuk perintah 2D. Langkah kedua sebelum menggambar yaitu mengubah unit *scale* menjadi milimeter. Lalu mengubah *workspace* 2D *drafting* menjadi 3D *modelling*. Dengan fitur ini, *workspace* akan menampilkan banyak *tools* untuk 3D *modelling*. Langkah selanjutnya yaitu mengubah unit *scale* menjadi milimeter. Setelah dilakukan tahap persiapan tersebut, dilanjutkan dengan menggambar *substrat* dengan panjang 50 x 50 mm dan tebal 5 mm yang dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Dimensi Geometri Sampel

Setelah masing-masing geometri telah dibuat, kemudian diekspor ke dalam format *standard ACIS test* (SAT). SAT merupakan format file yang digunakan dalam sistem *computer aided design* (CAD) untuk mewakili

model geometri. Ektensi SAT ini merupakan ekstensi yang didukung oleh ANSYS Workbench sebagai geometri dalam simulasi.

3.4.2 Parameter Simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD)

Tahap selanjutnya yaitu membuka ANSYS *Workbench* dan membuat analisis terhadap geometri yang telah dibuat. Proses *meshing* merupakan tahap untuk membagi geometri menjadi bagian-bagian kecil. Mesh yang baik harus memiliki elemen yang cukup kecil untuk menangkap detail geometri dan perilaku fisik sistem. Pada proses *meshing* yang akan dilakukan kontak dan interaksi antara geometri serta memasukkan parameter yang ditentukan. Parameter yang digunakan yaitu variabel simulasi seperti temperatur pemanasan gas, kecepatan aliran gas, dan tekanan gas. Berikut merupakan parameter yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2.

Tabel 3.1 Data Parameter Simulasi CFD

Parameter	Keterangan
Temperatur Pemanasan Gas	400°C, 425 °C, dan 450°C
Tekanan Gas	1,5 mbar, 1,75 mbar dan 2 mbar
Kecepatan Aliran Masuk Gas	15 m/detik
Jenis Gas	Nitrogen (N ₂)
Gravitasi	9,8 m/detik ²
Kondisi Gas	<i>Real Gas</i> (Redlich-Kwong)
Tingkat Mesh	<i>Fine, adaptive mesh</i>
<i>Energy Equation</i>	<i>On</i>
Inisialisasi (<i>initializitaion</i>)	<i>Hybrid initialization</i>

Tabel 3.2 Data Parameter Model Gas Nitrogen

Parameter	Keterangan
Densitas (<i>real gas</i>)	0,001145 g/m ³
Konduktivitas Termal	0,0242 W/m. °C
Kapasitas Panas	1040 J/Kg. °C
Berat Molekul	28,02 g/mol
Temperatur Kritis	-146,95 °C