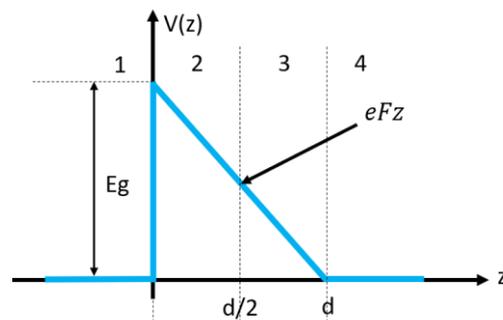


## BAB III METODE PENELITIAN

Metode yang dilakukan pada penelitian ini adalah studi literatur dan komputasi dengan metode semi numerik. Studi literatur digunakan untuk mempelajari pemodelan devais serta untuk menyelesaikan persamaan Schrödinger pada dioda persambungan P-N berbasis BAGNR. Setelah didapatkan solusi persamaan Schrödinger tersebut, dilakukan perhitungan transmitansi menggunakan metode matriks transfer (MMT). Proses komputasi ini dilakukan dengan bahasa pemrograman kemudian dilakukan perhitungan untuk arus terobosan menggunakan metode *Gauss Legendre Quadrature*.

### 3.1 Perhitungan Transmitansi

Transmitansi didefinisikan sebagai fraksi dari partikel datang terhadap partikel yang berhasil menerobos potensial penghalang. Untuk mendapatkan solusi dalam perhitungan transmisi, terlebih dahulu diterapkan syarat batas. Pernyataan numerik untuk transmitansi elektron diperoleh dengan menggunakan metode matriks transfer.



Gambar 3. 1. Model potensial penghalang dengan tinggi  $E_g$  dan lebar  $d$ .

Profil potensial pada gambar 3.1 dibagi menjadi 4 daerah dengan daerah 1 dan 2 merupakan daerah yang terdapat pada BAGNR tipe-P dan daerah 3 dan 4 merupakan daerah yang terdapat pada BAGNR tipe-N, secara matematis dapat ditulis sebagai berikut:

$$V(z) = \begin{cases} 0 & z < 0 \\ E_G - eFz, & 0 \leq z \leq d \\ 0, & z > d \end{cases} \quad (3.1)$$

Kemudian, kita dapat membagi profil potensial menjadi beberapa segmen seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.14 dan fungsi gelombangnya yaitu (Suhendi dkk, 2014):

$$\begin{aligned} \psi_1 &= A_1 e^{ik_1 z} + B_1 e^{-ik_1 z}, & z < d_1 \\ \psi_L &= A_L e^{k_L z} + B_L e^{-k_L z}, & d_1 < z < d_2 \\ \psi_M &= A_M e^{k_M z} + B_M e^{-k_M z}, & d_2 < z < d_3 \\ \psi_N &= A_N e^{ik_N z}, & z > d_3 \end{aligned} \quad (3.2)$$

dimana  $A_I, B_I, A_L, B_L, A_M, B_M$  dan  $A_N$  adalah konstanta dengan  $L=2, \dots, N/2$ , dan  $M=(N/2) + 1, \dots, N-1$ . Sedangkan  $A_I=1$  (sebagai *rescale*, untuk mempermudah perhitungan) dan  $B_N = 0$  karena tidak ada refleksi.

$$k_1 = \sqrt{\frac{2m_1 E}{\hbar^2}} \quad (3.3)$$

dengan  $m_1$  adalah massa efektif elektron pada persambungan P,  $E$  adalah energi elektron dan  $\hbar$  adalah konstanta planck.

$$k_L^2 = \frac{2m_1}{\hbar^2} (E_g - eFz_L - E) \quad (3.4)$$

$$k_M^2 = \frac{2m_2}{\hbar^2} (E_g - eFz_M - E) \quad (3.5)$$

dengan  $m_2$  adalah massa efektif elektron di persambungan P,  $E_g$  adalah celah energi dan  $F$  adalah medan listrik luar. Sedangkan pada daerah 4, bilangan gelombangnya adalah:

$$k_N = \sqrt{\frac{2m_2 E}{\hbar^2}} \quad (3.6)$$

Dengan menerapkan syarat batas, solusinya dapat ditulis dalam bentuk matriks, sebagai berikut

$$\begin{pmatrix} 1 \\ B_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A_N \\ 0 \end{pmatrix} \quad (3.8)$$

dan koefisien transmisinya dapat ditulis sebagai berikut:

$$t = A_N = \frac{1}{a_{11}} \quad (3.9)$$

sehingga transmitansi elektron dapat diperoleh dari:

$$T(E) = \left( \frac{k_N}{k_1} \right) t t^* \quad (3.10)$$

dengan  $t^*$  merupakan konjugat dari koefisien transmisi dan  $E$  adalah energi elektron.

### 3.2 Perhitungan Arus Terobosan dengan MGLQ

Arus terobosan diperoleh dengan cara melakukan transformasi persamaan arus terobosan menjadi bentuk integrasi Metode *Gauss Legendre Quadrature*. Perhitungan dengan metode ini melibatkan absisan ( $x_i$ ) dan bobot ( $w_i$ ) yang bersesuaian. Bentuk integrasi dengan metode *Gauss Legendre Quadrature* seperti pada persamaan 2.15 adalah:

$$\int_1^n f(x)dx \approx \sum_{i=1}^n W_i f(x_i) \quad (3.11)$$

Arus terobosan pada persambungan P-N BAGNR dinyatakan oleh persamaan 2.15.

$$I = \frac{2g_v e}{h} \int_0^{eV} [f_v(E) - f_c(E)]T(E)dE \quad (3.12)$$

dengan

$$f_v(E) = (1 + \exp[(E - eV_b)/(k_B T)])^{-1} \quad (3.13)$$

$$f_c(E) = (1 + \exp[E/(k_B T)])^{-1} \quad (3.14)$$

yang merupakan fungsi distribusi Fermi-Dirac untuk elektron pada pita valensi dan pita konduksi,  $k_B$  adalah konstanta Boltzmann,  $h$  adalah konstanta Planck,  $g_v$  adalah degenerasi dari GNR ( $g_v = 1$ ) dan  $T(E)$  adalah transmitansi.

Untuk mengintegrasikan arus pada persamaan (3.12), bentuk integrasinya harus ditransformasikan dengan pemisalan,

$$E = \left(\frac{e.V_b}{2}\right)(x + 1) \quad (3.15)$$

dan

$$dE = \left(\frac{e.V_b}{2}\right) dx \quad (3.16)$$

dengan  $x$  adalah titik tempat fungsi akan dievaluasi.

Kemudian kita definisikan fungsi  $g(x)$  berikut:

$$g(x) = \left\{ f_v \left( \left( \frac{e.V_b}{2} \right) (x + 1) \right) - f_c \left( \left( \frac{e.V_b}{2} \right) (x + 1) \right) \right\} T \left( \left( \frac{e.V_b}{2} \right) (x + 1) \right) \quad (3.17)$$

lalu kita substitusikan persamaan 3.15, 3.16 dan 3.17 ke persamaan 3.12 sehingga diperoleh:

$$I = \frac{g_v e^2 V_b}{h} \int_{-1}^1 g(x) dx \quad (3.18)$$

Setelah dilakukan transformasi domain kemudian persamaan 3.18 diselesaikan dengan MGLQ sebagai berikut:

$$I = \frac{g_v e^2 V_B}{h} \sum_{i=1}^N w_i g(x_i) \quad (3.17)$$

dengan  $w_i$  adalah faktor pengali (bobot),  $g(x_i)$  adalah nilai fungsi  $g(x)$  di titik  $x = x_i$  dan  $N$  adalah jumlah segmen pada selang  $[-1,1]$ .

### 3.3 Prosedur Penelitian

Dalam melakukan penelitian ini, terdapat beberapa tahapan diantaranya:

#### 1. Kajian Pustaka

Kajian pustaka dilakukan terlebih dahulu sebelum memulai penelitian melalui buku, jurnal, artikel, maupun karya ilmiah yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan. Kajian pustaka ini dimaksudkan untuk memahami pemodelan yang akan dilakukan terutama pada divais dioda persambungan P-N berbasis BAGNR. Setelah dibuat model perhitungan, kemudian dipilih bahasa pemrograman untuk membantu proses perhitungan.

#### 2. Perumusan Algoritma

Perumusan algoritma disesuaikan dengan metode yang digunakan yaitu MMT dan MGLQ. Untuk perhitungan transmitansi digunakan MMT. Untuk perhitungan arus terobosan digunakan MGLQ. Bahasa pemrograman yang digunakan yaitu MATLAB dan *Wolfram Mathematica*. Penulis menggunakan bahasa pemrograman MATLAB untuk menyelesaikan MMT karena bahasa pemrograman MATLAB sangat baik dalam memproses matriks. Untuk perhitungan arus terobosan digunakan bahasa *Mathematica*.

#### 3. Penulisan Program

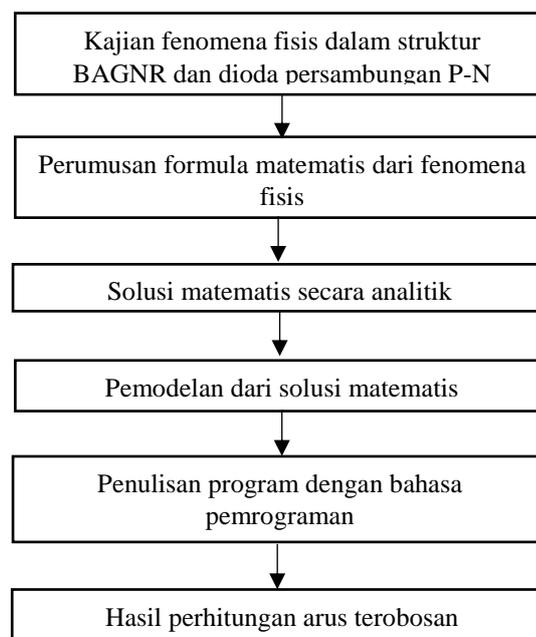
Setelah melalui tahap perumusan algoritma kemudian dilakukan penulisan program dan menjalankannya berulang-ulang untuk menghasilkan data yang berbeda dengan parameter yang berbeda sesuai dengan tujuan penelitian.

### 3.4 Alur Penelitian

Alur penelitian yang dilakukan pada penelitian ini dirumuskan sebagai berikut:

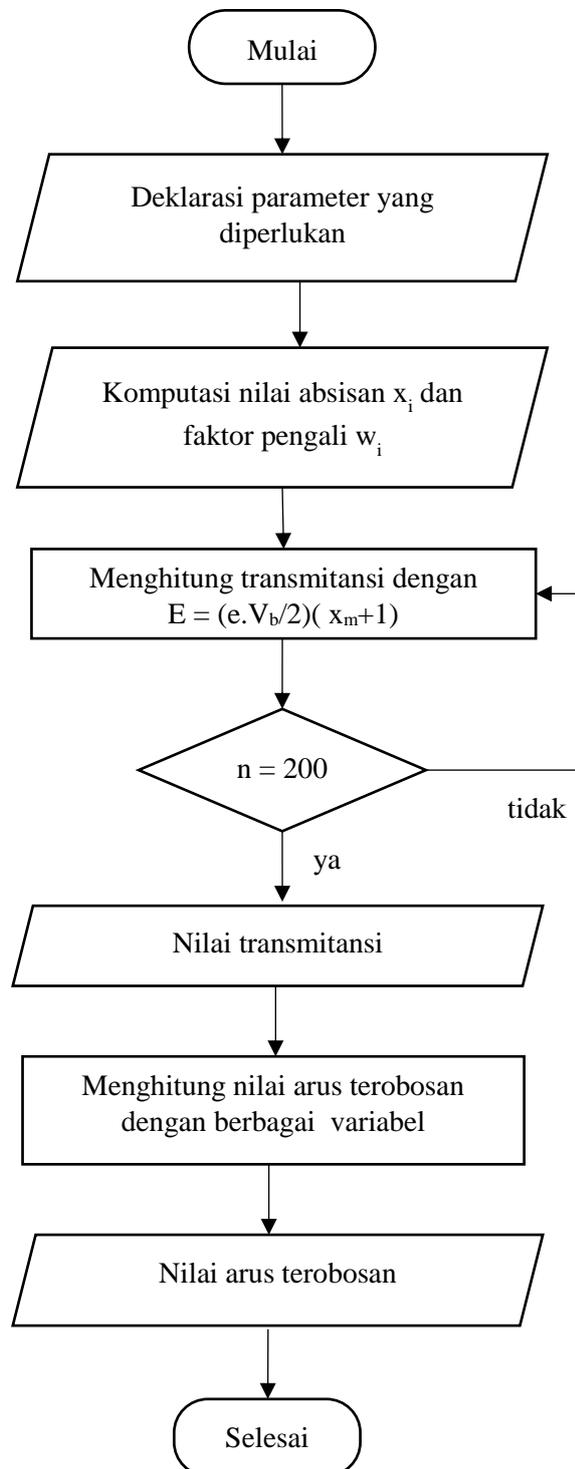
1. Mengkaji fenomena fisis dan struktur BAGNR serta bagaimana model profil potensial untuk divais dioda persambungan P-N berbasis BAGNR.
2. Pemodelan elektron dengan persamaan Schrödinger kemudian solusinya menggunakan metode matriks transfer. Solusi persamaan Schrödinger kemudian diselesaikan pada model profil potensial dengan memasukan sejumlah syarat batas.
3. Setelah penyelesaian dengan syarat batas, kemudian dibuat rumusan matriks-matriks yang nantinya diselesaikan dengan bantuan komputer dan bahasa pemrograman.
4. Setelah model persamaan dibuat, program ditulis dengan menyesuaikan variabel yang akan diubah. Untuk program perhitungan transmisi, ditulis menggunakan bahasa pemrograman MATLAB. Untuk arus terobosan ditulis dengan menggunakan bahasa pemrograman *Mathematica*.
5. Hasil perhitungan arus terobosan dengan variabel-variabel tegangan, suhu dan indeks N BAGNR pada tegangan panjar maju kemudian ditampilkan.

Diagram alur penelitian ditunjukkan pada gambar 3.2.



Gambar 3. 2. Diagram alur penelitian.

Dalam penelitian ini, secara komputasional mengikuti diagram alir (*flowchart*) berdasarkan gambar 3.3.



Gambar 3. 3. Flowchart perhitungan arus terobosan.