

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Prosedur Penelitian

Metode penelitian yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah studi literatur dan perhitungan secara numerik menggunakan program *Wolfram Mathematica*. Secara umum tahapannya adalah:

1. Kajian Pustaka

Kajian pustaka melalui buku, jurnal, artikel, maupun karya ilmiah yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan. Hal ini dimaksudkan untuk memahami pemodelan yang akan dilakukan terutama pada divais transistor berbahan *graphene*. Setelah dibuat model perhitungan, kemudian dipilih bahasa pemrograman untuk membantu proses perhitungan.

2. Perumusan Algoritma

Perumusan algoritma disesuaikan dengan metode yang digunakan yaitu fungsi Airy untuk perhitungan transmitansi dan MGLQ untuk perhitungan arus terobosan. Penulis menyelesaikan persamaan transmitansi dengan menyelesaikan persamaan Schrödinger dengan pendekatan fungsi Airy dan untuk perhitungan arus terobosan menggunakan program *Wolfram Mathematica*.

3. Penulisan Program

Setelah algoritma telah selesai, kemudian dilakukan penulisan program dan menjalankannya berulang-ulang untuk menghasilkan data yang berbeda dengan parameter yang berbeda sesuai dengan tujuan penelitian.

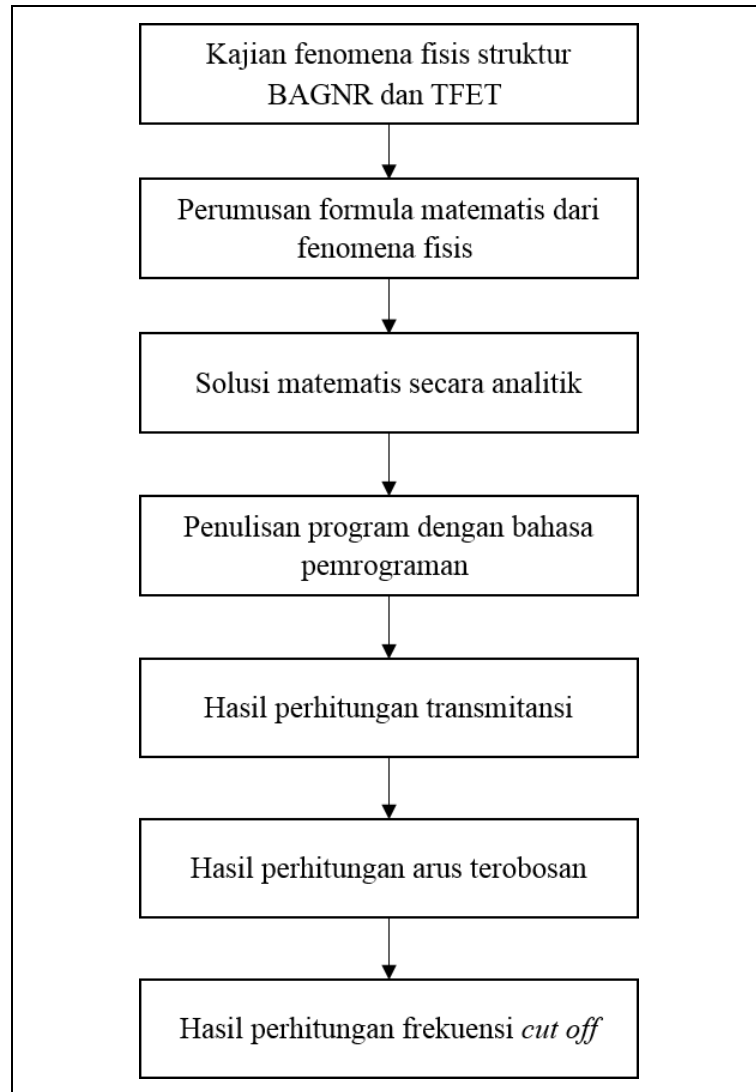
3.2 Alur Penelitian

Alur penelitian yang dilakukan pada penelitian ini dirumuskan sebagai berikut:

1. Mengkaji fenomena fisis dan struktur BAGNR serta bagaimana model profil potensial untuk divais TFET berbasis BAGNR.
2. Memodelkan elektron dengan persamaan Schrödinger (2.8) dengan model potensial TFET (2.7) kemudian dipilih solusi umum dalam bentuk persamaan fungsi Airy (2.10).

3. Menyelesaikan solusi umum menjadi solusi khusus dengan syarat batas kemudian diperoleh koefisien solusi untuk mendapatkan nilai transmitansi dengan persamaan (3.2).
4. Menulis program transmitansi dengan menggunakan program *Wolfram Mathematica*. Transmitansi akan terlihat karakteristiknya melalui grafik nilai transmitansi terhadap energi elektron yang melewati potensial TFET.
5. Menulis program untuk menghitung arus terobosan ditulis dengan menggunakan program *Wolfram Mathematica* dengan *Metode Gauss-Legendre Quadrature* (MGLQ) persamaan (3.5). Arus terobosan diplot terhadap tegangan *gate* (V_g) dan tegangan *drain* (V_d) dengan menyesuaikan variabel yang akan diubah sehingga menghasilkan grafik seperti pada Gambar 2.6. Hasil perhitungan arus terobosan dengan variasi parameter tegangan *drain*, tebal oksida, indeks BAGNR dan suhu ditampilkan dalam bentuk grafik terhadap tegangan *gate* (V_g) sedangkan perhitungan arus terobosan dengan variasi parameter tegangan *gate* (V_g), tebal oksida, indeks N indeks BAGNR dan suhu ditampilkan dalam bentuk grafik terhadap tegangan *drain* (V_d).
6. Menghitung frekuensi *cut off* dengan mengambil data arus terobosan terhadap tegangan *gate* (V_g) yang diolah dengan persamaan (3.6) dengan variasi parameter tegangan *drain*, tebal oksida, indeks BAGNR dan suhu.

Diagram alur penelitian dinyatakan dalam Gambar 3.1 sebagai berikut:



Gambar 3. 1 Diagram Alur Penelitian.

3.3 Perhitungan Transmitansi

Transmitansi menggambarkan probabilitas elektron untuk menerobos penghalang potensial. Solusi dari fungsi gelombang terhadap posisi ($\psi(x)$) dapat diperoleh dari persamaan Schrödinger yang ditunjukkan oleh persamaan (2.8) dengan menggunakan potensial penghalang dari persamaan (2.7). Persamaan Schrödinger ini diubah menjadi bentuk persamaan (2.9) sehingga diperoleh solusi berupa fungsi Airy sebagai persamaan (3.1) berikut:

$$\psi_I = Ae^{ik_1x} + Be^{-ik_1x}, \quad x < -\sigma \quad (3.1a)$$

$$\psi_{II_a} = C Ai(\zeta(x)) + D Bi(\zeta(x)), \quad -\sigma < x < 0 \quad (3.1b)$$

$$\psi_{II_b} = E Ai(\xi(x)) + F Bi(\xi(x)), \quad 0 < x < \sigma \quad (3.1c)$$

$$\psi_{III} = Ge^{ik_2x}, \quad \sigma < x < L - \sigma \quad (3.1d)$$

$$\psi_{IV_a} = I Ai(\gamma(x)) + J Bi(\gamma(x)), L - \sigma < x < L \quad (3.1e)$$

$$\psi_{IV_b} = K Ai(\beta(x)) + L Bi(\beta(x)), L < x < L + \sigma \quad (3.1f)$$

$$\psi_V = M e^{ik_3x}, x > L + \sigma \quad (3.1g)$$

Dengan menerapkan kondisi batas, probabilitas terobosan (T) ini dapat diperoleh dengan membandingkan koefisien gelombang yang diteruskan dengan koefisien gelombang yang datang. Dapat ditulis dengan persamaan (3.2):

$$T = \frac{k_3}{k_1} \left| \frac{M}{A} \right|^2 \quad (3.2)$$

3.4 Perhitungan Arus Terobosan

Arus terobosan merupakan probabilitas elektron untuk bergerak menerobos penghalang potensial. Perumusan untuk mencari arus terobosan pada TFET GNR dengan asumsi transportasi balistik terjadi di dalam saluran, transmitansi yang diperoleh kemudian diterapkan untuk menghitung arus terobosan dengan menggunakan persamaan Landauer (Bimo, dkk., 2014) yang dituliskan dalam persamaan (3.3):

$$I = \frac{2q}{\pi\hbar} \int_{E_{cc}}^{E_{vs}} [f_S(E) - f_D(E)] T(E) dE \quad (3.3)$$

Dengan syarat batas integral energi elektron pita valensi (E_{vs}) sampai energi elektron pita konduksi (E_{cc}), nilai $f_S(E)$ dan $f_D(E)$ merupakan fungsi distribusi Fermi-Dirac untuk elektron *source* dan *drain* yang dituliskan pada persamaan (3.4a) dan persamaan (3.4b).

$$f_S(E) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{E + eV_D}{k_B T}\right)} \quad (3.4a)$$

$$f_D(E) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{E}{k_B T}\right)} \quad (3.4b)$$

dengan k_B adalah konstanta Boltzmann, \hbar adalah konstanta Planck, dan $T(E)$ adalah koefisien transmisi. Persamaan di atas diselesaikan menggunakan *Metode Gauss-Legendre Quadrature* (MGLQ). Yaitu mengubah integral arus menjadi bentuk persamaan (3.5):

$$I = \sum_{i=1}^{eV} f(x_i) w(x_i) \quad (3.5)$$

3.5 Perhitungan Frekuensi *Cut off*

Frekuensi *cut off* (f_t) dapat dihitung dengan persamaan (3.6) (Dash, dkk., 2016):

$$f_t = \frac{g_m}{2\pi C_{gg}} \quad (3.6)$$

dengan g_m adalah *transkonduktansi* dan C_{gg} kapasitansi *gate*. *Transinduktansi* dapat dituliskan dengan persamaan (3.7) yaitu turunan pertama arus terobosan terhadap tegangan *gate* sebagai berikut:

$$g_m = \left. \frac{dI_d}{dV_g} \right|_{V_d} \quad (3.7)$$

Turunan pertama ini dapat diperoleh dari selisih arus terobosan dengan selisih nilai tegangan *gate* (V_g) yang digunakan. Sedangkan kapasitansi *gate* (C_{gg}) diperoleh dari persamaan (3.8):

$$C_{gg} = WLC_{ox} \quad (3.8)$$

dengan W, L dan C_{ox} adalah lebar BAGNR yang dapat dihitung dengan persamaan (2.1), panjang *channel* dan ϵ_{ox}/t_{ox} . ϵ_{ox} adalah konstanta yang nilainya $3.9 \times 8.854 \times 10^{-14}$ F/cm sedangkan t_{ox} adalah tebal oksida.