

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada saat ini perangkat elektronik cerdas seperti komputer, handphone, tablet dll terus berkembang dengan pesat. Komputer adalah salah satu teknologi yang banyak digunakan dalam berbagai aspek kehidupan, diantaranya yaitu untuk membantu pekerjaan menjadi lebih mudah dan cepat, mempermudah komunikasi, sebagai alat untuk menghibur diri, membantu mengatasi permasalahan pendidikan, sebagai media untuk menemukan informasi, membantu membuka usaha, dan masih banyak lagi. Untuk menunjang berbagai kebutuhan tersebut, sebuah komputer ditopang oleh microprocessor yang didalamnya terdapat ribuan bahkan milyaran divais elektronik seperti dioda, transistor, resistor, kapasitor dll yang tersusun kedalam rangkaian terintegrasi (Integrated Circuit/IC). Sebagian besar divais elektronik tersebut berdasar pada teknologi persambungan P-N semikonduktor.

Pada awal pembuatannya, divais elektronik relatif berukuran besar dengan kemampuan yang terbatas. Kemudian seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dalam bidang elektronik, dioda dan perangkat elektronik lainnya mengalami perubahan dari segi ukuran yang semakin kecil dengan kemampuan yang semakin baik. Dioda merupakan salah satu implementasi fisika material dengan memanfaatkan sifat kelistrikan semikonduktor. Dioda ini dibentuk dari material semikonduktor tipe-P dan semikonduktor tipe-N.

Semikonduktor merupakan bahan yang memiliki nilai konduktivitas diantara isolator dan konduktor (Sze & Ng, 2007). Konduktivitas semikonduktor dipengaruhi oleh suhu dan konsentrasi pengotor (dopant) (Sze & Ng, 2007). Konsentrasi dan jenis pengotor ini menentukan suatu material semikonduktor menjadi tipe-P atau tipe-N. Sebagai contoh, bahan semikonduktor yang diberi doping Boron akan menjadi semikonduktor tipe-P dan bahan semikonduktor yang diberi doping unsur Nitrogen akan menjadi semikonduktor tipe-N (Nemnes, Mitran, Manolescu, & Dragoman, 2018). Sampai saat ini, material yang digunakan untuk piranti elektronik didominasi oleh semikonduktor silikon karena teknologi silikon pada bidang elektronik tergolong teknologi yang murah dan mudah untuk

dikembangkan. Tetapi silikon memiliki beberapa kelemahan seperti mobilitas ($\sim 1400 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ (Jacoboni, Canali, Otiaviani, & Quaranta, 1977)) dan kecepatan saturasi yang rendah sehingga memberikan peluang pada material semikonduktor yang lain untuk digunakan pada rangkaian elektronik terintegrasi. Material yang menjadi alternatif dan sedang gencar dikembangkan oleh para peneliti adalah graphene.

Graphene pertama kali ditemukan pada tahun 2004 oleh Novoselov dan Geim (Novoselov dkk, 2004) yang keduanya merupakan ilmuwan di Universitas Manchester Inggris. Graphene atau monolayer grafit adalah lapisan dua dimensi dengan ketebalan satu atom tunggal pada ikatan atom karbon yang padat dalam struktur kristal heksagonal (Park & Ruoff, 2009). Graphene memiliki konduktivitas listrik yang tinggi pada suhu ruang dengan mobilitas mencapai $15.000 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ dibawah suhu lingkungan dan dapat ditingkatkan hingga mencapai $\sim 100.000 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ pada suhu 300 K (Geim & Novoselov, 2007). Nilai mobilitas pembawa muatan pada graphene ini seratus kali lebih besar dari mobilitas pembawa muatan pada material silikon. Nilai mobilitas pembawa muatan yang tinggi ini diperlukan untuk divais elektronik dengan kecepatan tinggi.

Dengan sifatnya yang luar biasa, graphene berpotensi untuk diaplikasikan pada berbagai piranti elektronik saat ini dan memiliki potensi yang menjanjikan untuk digunakan di masa depan baik monolayer graphene maupun bilayer graphene (McCann & Koshino, 2013). Perbedaan monolayer dan bilayer graphene berada pada kemungkinan penyesuaian celah pita (band gap). Perbedaan lain dari monolayer dan bilayer graphene yaitu, pada graphene monolayer dispersi energinya adalah linier, sedangkan pada bilayer graphene, celah pita dapat dicapai dengan memberikan doping atau pemberian regangan (Zhang dkk, 2011). Selain itu, massa efektif pada graphene bilayer tidak nol tetapi dapat dikatakan sangat kecil dan hubungan energi dispersinya parabola sehingga profil celah pita yang dihasilkan oleh bilayer akan berbeda dengan monolayer (McCann & Koshino, 2013). Mobilitas pembawa muatan pada bilayer graphene meningkat hampir secara linier ketika densitas pembawa dan suhu meningkat. Sedangkan pada monolayer graphene, mobilitasnya menurun (Zhu dkk., 2009).

Celah pita graphene dapat diubah dengan mereduksi ukurannya menjadi skala nano. Graphene pada ukuran ini disebut Graphene Nanoribbon (GNR) (Castro Neto, Guinea, Peres, & Novoselov, 2009). Terdapat dua tipe GNR, yaitu Armchair Graphene Nanoribbon (AGNR) dan Zigzag Graphene Nanoribbon (ZGNR). AGNR diketahui memiliki sifat semikonduktor dan logam bergantung pada lebar pitanya, sedangkan ZGNR memiliki sifat konduktor dan tidak dipengaruhi oleh lebar pitanya (Brey & Fertig, 2006). Lebar AGNR dipengaruhi oleh banyaknya jumlah atom yang menyusun struktur lebarnya atau biasa disebut dengan indeks N . Dengan sifat AGNR yang dapat menjadi semikonduktor dan kemampuan bilayer graphene yang lebih unggul dari monolayer graphene, maka Bilayer Armchair Graphene Nanoribbons (BAGNR) dapat dikembangkan dan digunakan sebagai material dasar dioda persambungan P-N.

Graphene adalah material masa depan bagi perkembangan teknologi modern. Oleh karena itu, graphene telah banyak diproduksi untuk dipasarkan. Berbagai penelitian mengenai graphene sedang gencar dilakukan, salah satunya untuk membuka celah energi bilayer graphene dapat dilakukan dengan beberapa cara diantaranya, pemberian doping molekul (Zhang dkk, 2011), menerapkan medan listrik secara tegak lurus terhadap bidang antar lapisan graphene (Castro dkk., 2007; Nemnes, Mitran, Manolescu, & Dragoman, 2018; Sahu, Parashar, & Rout, 2016) dan mengubah lebar pitanya (Sustini dkk, 2018). Pembukaan celah pita energi ini dilakukan agar sesuai dengan kebutuhan divais elektronik. Untuk membuat bilayer graphene memiliki sifat semikonduktor tipe-P dapat dilakukan dengan cara memberikan doping Boron, sedangkan untuk membuat bilayer graphene bersifat seperti semikonduktor tipe-N dapat dilakukan dengan pemberian doping Nitrogen (Nemnes dkk., 2018). Selain itu, beberapa peneliti juga melakukan simulasi terhadap material ini karena biaya produksi graphene yang sangat mahal (satu keping graphene mencapai puluhan juta rupiah), peralatan laboratorium yang tidak memadai serta untuk mengurangi kesalahan atau kegagalan yang dapat terjadi pada saat produksi, diantaranya, simulasi arus terobosan Dirac AGNR pada dioda persambungan P-N (Suhendi dkk, 2014), pemodelan arus terobosan pada dioda P-N berbasis AGNR dengan beberapa metode perhitungan (Suhendi dkk, 2014) serta

masih banyak lagi (Fahmi, Hasanah, Rusdiana, Aminudin, & Suhendi, 2017; Suhendi, 2011; Suhendi, Syariati, Noor, & Kurniasih, 2015).

Efek terobosan disini merupakan fenomena mekanika kuantum dimana elektron masih dapat menembus dinding penghalang potensial meskipun memiliki energi yang lebih kecil dari penghalang potensial yang dilewatinya. Elektron memiliki probabilitas untuk menerobos penghalang potensial tersebut dimana parameter untuk menghitung besarnya fraksi partikel yang berhasil menerobos dikenal dengan transmitansi (Resnick & Halliday, 2014). Fenomena efek terobosan kuantum ini menjadi salah satu dasar kemajuan divais elektronik hingga saat ini.

Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan, salah satunya adalah simulasi arus terobosan pada divais dioda persambungan P-N dengan metode matriks transfer (MMT) (Suhendi, Syariati, Noor, & Kurniasih, 2014). Pada penelitian tersebut, digunakan material monolayer armchair graphene nanoribbon (MAGNR) dengan menggunakan persamaan Dirac Relativistic dan metode matriks transfer (MMT). Fungsi gelombang elektron diturunkan dengan memecahkan persamaan Dirac Relativistic. MMT merupakan pendekatan numerik yang digunakan untuk menghitung transmitansi elektron dan arus terobosan dengan cara membagi potensial bidang menjadi beberapa bagian (Jirauschek, 2009). MMT telah dikonfirmasi memiliki keakuratan yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode WKB (Wentzel-Kramers-Brillouin, keakuratannya hanya mencapai 85,4%) dalam menyelesaikan kasus arus terobosan, yaitu mencapai 99,2% dan masih dapat ditingkatkan lagi dengan memperbanyak jumlah segmennya (A. Zhang, Cao, Shen, Dou, & Chen, 2000), MMT memiliki keakuratan yang sebanding dengan pendekatan fungsi Airy (Endi Suhendi, Syariati, Noor, Kurniasih, Khairurrijal, 2014). Meskipun memiliki keakuratan yang sebanding dengan pendekatan fungsi Airy, MMT menggunakan perhitungan numerik yang lebih sederhana dibandingkan dengan pendekatan fungsi Airy, sehingga dapat menghindari masalah numerik yang terkait dengan fungsi Airy (Jirauschek, 2009). Pada penelitian yang dilakukan oleh Jirauschek, MMT digunakan untuk menyelesaikan persamaan Schrödinger satu dimensi untuk memperoleh energi terkuantisasi pada potensial sumur heterostruktur dan hasilnya menunjukkan bahwa MMT lebih akurat daripada perhitungan dengan menggunakan fungsi Airy.

Pada penelitian ini penulis melakukan pemodelan tentang arus elektron terobosan pada dioda persambungan P-N BAGNR dengan solusi fungsi gelombang ketika melewati potensial penghalang segitiga menggunakan metode matriks tranfer (MMT). Arus elektron terobosan dihasilkan dan dianalisis dengan memperhitungkan pengaruh tegangan panjar dan medan listrik pada penghalang potensial, pengaruh lebar BAGNR serta suhu pada dioda persambungan P-N. Lebar BAGNR bergantung pada nilai indeks N, yaitu jumlah baris atom pada sisi lebar BAGNR. Hasil perhitungan arus elektron terobosan pada dioda persambungan P-N BAGNR ini kemudian dibandingkan dengan MAGNR dan dengan metode WKB.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas maka permasalahan yang diteliti dapat dirumuskan kedalam bentuk pertanyaan sebagai berikut:

1. Bagaimanakah pengaruh energi elektron terhadap transmitansi elektron pada dioda persambungan P-N BAGNR yang dihitung dengan menggunakan metode matriks transfer?
2. Bagaimanakah pengaruh tegangan panjar (V_b), indeks N, serta suhu terhadap karakteristk arus terobosan pada dioda persambungan P-N BAGNR?

1.3 Batasan Masalah

1. Tegangan panjar yang diterapkan pada divais yaitu dari 0 hingga 100 mV.
2. Lebar BAGNR yang divariasikan berdasarkan nilai indeks N untuk semikonduktor BAGNR, yaitu 22, 28, 34 dan 40.
3. Variasi suhu yang digunakan diambil nilai suhu untuk mewakili suhu ekstrim rendah yaitu 7 K, suhu rendah yaitu 77 K, kisaran suhu standar pengujian berdasarkan STP (*Standard Temperature and Pressure*) yaitu 250 K, kisaran suhu ruangan yaitu 300 K, dan kisaran suhu ekstrim tinggi yaitu 500 K.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh energi elektron terhadap transmitansi elektron pada dioda persambungan P-N BAGNR yang dihitung dengan menggunakan metode matriks transfer.
2. Mengetahui pengaruh tegangan panjar (V_b), indeks N, serta suhu terhadap karakteristik arus terobosan pada dioda persambungan P-N BAGNR.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan maksud menggambarkan karakteristik transmitansi elektron dan arus elektron terobosan pada dioda persambungan P-N BAGNR dengan metode matriks transfer. Adapun beberapa manfaat yang diharapkan dapat dicapai dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Memberikan informasi mengenai karakteristik arus-tegangan divais dioda persambungan P-N khususnya yang berbahan BAGNR terhadap variasi lebar divais, medan listrik serta suhu.
2. Diharapkan dapat diaplikasikan dalam penggunaan dioda persambungan P-N BAGNR dengan mempertimbangkan parameter-parameter yang terdapat pada divais dioda saat dioda beroperasi.
3. Diharapkan juga mampu memberikan sumbangan bagi perkembangan teknologi elektronik semikonduktor berbasis *graphene* dimasa yang akan datang.

1.6 Sistematika Penulisan

Penelitian mengenai arus terobosan pada dioda persambungan P-N berbasis BAGNR ini ditulis berdasarkan sistematika, yaitu: Bab I Pendahuluan, Bab II Tinjauan Pustaka, Bab III Metode Penelitian, Bab IV Hasil dan Pembahasan, Bab V Kesimpulan dan Saran.

Bab I berisikan mengenai latar belakang, rumusan masalah, Batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian serta sistematika penulisan. Kemudian bab II berisikan mengenai penjelasan tentang kajian pustaka yang digunakan untuk pembahasan *graphene* hingga aplikasinya pada dioda persambungan P-N, metode matriks transfer serta perhitungan arus terobosan pada persambungan P-N BAGNR dengan menggunakan Metode Gaussian Legendre

Quadrature (MGLQ). Lalu, Bab III menyajikan metode-metode yang dilakukan penulis untuk menyelesaikan masalah yang telah dirumuskan dalam skripsi ini. Didalamnya berisi pemodelan divais dioda persambungan P-N BAGNR, penyusunan algoritma yang diperlukan dalam program serta diagram alur perhitungan dengan menggunakan pemrograman. Selanjutnya, Bab IV berisikan mengenai hasil yang diperoleh serta pembahasan-pembahasan mengenai hasil yang telah didapatkan dari penelitian berdasarkan latar belakang, tujuan, dan pokok permasalahan yaitu mengenai transmitansi elektron dan arus elektron terobosan pada dioda persambungan P-N BAGNR. Terakhir yaitu Bab V yang merupakan penutup yang terdiri dari kesimpulan dari pembahasan yang telah dilakukan sesuai dengan tujuan pada skripsi ini serta rekomendasi untuk penelitian maupun produksi divais dioda persambungan P-N BAGNR dimasa yang akan datang.