

BAB I

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Dewasa ini teknologi sudah tidak dapat dipisahkan dari kehidupan manusia. Dari yang awalnya sebagai kebutuhan sekunder, kini teknologi telah menjadi kebutuhan primer manusia. Seiring berjalannya waktu, teknologi terus berkembang bersama penemuan-penemuan baru demi memenuhi dan memudahkan segala aktivitas manusia. Perkembangan teknologi yang semakin maju didukung oleh perkembangan perangkat elektronik yang diaplikasikan di dalamnya. Salah satu perangkat elektronik yang banyak dikembangkan adalah dioda. Berbagai jenis dioda yang telah berkembang saat ini diantaranya, dioda persambungan p-n, dioda *zener*, dioda *tunneling*, dioda *Schottky*, dioda planar, dan persambungan n-i-p-i-n (Suhandi & Tayubi, 2017). Setiap jenis dioda memiliki metoda pembuatan, mekanisme, dan fungsi yang berbeda sesuai kebutuhan penggunaannya. Persambungan antara semikonduktor tipe-p dengan semikonduktor tipe-n dengan metoda tertentu akan menghasilkan dioda persambungan p-n. Persambungan p-n ini merupakan bagian mendasar bagi semua perangkat semikonduktor modern. Oleh karena itu, dalam pengembangan perangkat elektronik modern, karakterisasi persambungan p-n secara tepat sangat penting untuk diketahui (Lee, dkk. 2004).

Perangkat semikonduktor terus mengalami perkembangan, baik dari sisi metode maupun material yang digunakan. Pengembangan perangkat semikonduktor yang didominasi oleh material silikon telah mendekati batasnya (Novoselov, dkk. 2004). Hal ini membuka peluang bagi material lain untuk dikembangkan dalam industri semikonduktor modern. Salah satu material yang sedang ramai diperbincangkan sebagai material masa depan adalah *graphene*. *Graphene* adalah satu lapisan atom karbon (lapisan tunggal dari grafit) yang tersusun secara teratur membentuk kisi sarang lebah (Lau, dkk. 2012). *Graphene* merupakan material yang menjanjikan di bidang nanoelektronik karena memiliki sifat listrik yang istimewa ditambah dengan sifat termodinamika dan sifat mekanik yang stabil. Mobilitas muatan pada *graphene* dapat ditingkatkan hingga 200.000 cm^2/Vs (Kim, dkk. 2013), sementara peningkatan sifat elektronik material di atas substrat SiO_2 pada umumnya hanya mencapai 2000-15000 cm^2/Vs (Lau, dkk.

2012). Mobilitas muatan pada *graphene* jauh di atas mobilitas muatan pada material silikon sebesar $1400 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ untuk elektron dan $480 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ untuk hole (Jacoboni, dkk. 1977).

Graphene dengan lebar tertentu disebut *graphene nanoribbon* (GNR) (Zheng, dkk. 2007). Hal menarik dari *graphene nanoribbon* ini ialah sifat listrik yang bergantung pada geometri dan ukurannya. Celah pita energi pada GNR dapat diatur melalui lebarnya. Berdasarkan geometri tepiannya, *graphene nanoribbon* (GNR) terbagi atas dua tipe, yaitu *Zigzag Graphene Nanoribbon* (ZGNR) dan *Armchair Graphene Nanoribbon* (AGNR). *Zigzag Graphene Nanoribbon* (ZGNR) bersifat konduktor, sedangkan *Armchair Graphene Nanoribbon* (AGNR) dapat bersifat konduktor atau semikonduktor bergantung pada lebarnya (Son, dkk. 2006).

Keistimewaan sifat listrik yang dimiliki oleh *graphene nanoribbon* terutama *armchair graphene nanoribbon* mengundang perhatian para ilmuwan untuk meneliti dan mengembangkan material ini dalam berbagai perangkat elektronik, seperti dioda persambungan p-n, dioda *tunneling*, transistor efek medan, dan masih banyak lagi. Penelitian yang dilakukan sangat beragam mulai dari *graphene monolayer* (lapisan tunggal) hingga *graphene bilayer* (dua lapisan). Penelitian terhadap *graphene monolayer* menyatakan bahwa *graphene monolayer* memiliki keterbatasan untuk diaplikasikan dalam elektronik digital. Celah pita energinya yang bernilai nol menjadi penyebab ketidakmungkinan untuk menghentikan konduktivitasnya, sehingga dilakukan modifikasi *graphene nanoribbon* untuk membuat celah pita energi melalui teknik-teknik litografi canggih dan reaksi kimia. Akan tetapi, teknik-teknik litografi canggih saat ini masih belum memenuhi syarat presisi atom yang sesuai. Terdapat metode lain untuk membangun celah pita energi pada *graphene*, yaitu dengan menyusunnya menjadi beberapa lapis, seperti *bilayer graphene* (Fiori & Iannaccone, 2009). Meskipun *graphene* memiliki keistimewaan sifat listrik, mekanik, optik dan termal yang menjanjikan untuk diaplikasikan dalam divais elektronika, dari sisi fabrikasi masih mengalami kesulitan untuk menghasilkan (*monolayer graphene*) satu lapisan dari grafit. Metode yang berkembang saat ini untuk menghasilkan *monolayer graphene* seperti pembelahan mikromekanis dan pengelupasan grafit hanya menghasilkan *multilayer graphene*. Akan tetapi, baik grafit, *bilayer graphene*, dan *multilayer graphene* merupakan

turunan dari *graphene*. Oleh karena itu, *bilayer graphene* merupakan material yang secara umum memiliki sifat seperti *graphene* dengan fabrikasi yang lebih mudah dan merupakan dasar yang berguna bagi *multilayer graphene* lainnya (Ferrari, dkk. 2006, Mccann & Koshino, 2013). Perbedaan alamiah yang istimewa antara *graphene monolayer* dan *bilayer* dari sisi konduktivitasnya adalah pada responnya terhadap medan listrik tegak lurus yang dihasilkan oleh potensial gerbang (Russo, dkk. 2011). Pada transistor *graphene monolayer*, arus yang mengalir diatur melalui potensial gerbang, akan tetapi arus tidak dapat dimatikan karena energi dispersi dari celah pita energi yang bernilai nol (pita valensi dan pita konduksi saling bersentuhan)(Novoselov, dkk. 2005). Penelitian baru-baru ini mengatakan bahwa pada *bilayer graphene* celah pita energi dapat dibangun melalui pemberian medan listrik tegak lurus yang dihasilkan oleh potensial gerbang (Zhang, dkk. 2009), sehingga *bilayer graphene* menjadi satu satunya semikonduktor yang diketahui dapat diatur-aturl celah pita energinya melalui medan listrik (Russo, dkk.2011).

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Jena, dkk. 2008) mengenai arus terobosan pada dioda persambungan p-n berbahan *carbon nanotube* dan *graphene nanoribbon*, dalam penyelesaian transmitansi elektronnya, mereka menggunakan metode Wentzel–Kramers–Brillouin (WKB). Metode ini telah dikenal secara umum untuk menyelesaikan solusi matematis dari berbagai fenomena fisika, salah satunya persamaan schrödinger. Selain metode WKB, telah ditemukan metode lain yang dapat digunakan untuk menyelesaikan persamaan schrödinger, yaitu pendekatan fungsi Airy. Kedua metode ini sama-sama memodelkan persamaan schrödinger ke dalam bentuk yang lebih sederhana (Ghatak, dkk. 1991). Oleh karena itu, pada beberapa pemodelan arus terobosan dilakukan perbandingan antara hasil yang diberikan oleh metode WKB dengan fungsi Airy, seperti pada pemodelan arus terobosan dioda persambungan p-n berbasis AGNR menggunakan metode pendekatan fungsi Airy dan matriks transfer oleh (Suhendi, dkk. 2014a) kemudian hasilnya dibandingkan dengan metode WKB. Hasil pemodelan menunjukkan nilai arus terobosan menggunakan metode pendekatan fungsi Airy dan matriks transfer memiliki nilai yang sama sementara metode WKB menghasilkan nilai yang lebih rendah. Dalam (Ghatak, dkk. 1991) yang membahas mengenai metode WKB dan fungsi Airy, dikatakan bahwa metode WKB

menghasilkan nilai yang tidak valid pada daerah dekat *turning point* dan pada *turning point* itu sendiri. Baik metode pendekatan fungsi Airy maupun WKB belum pernah digunakan dalam penyelesaian transmitansi elektron persambungan p-n berbahan *bilayer armchair graphene nanoribbon*. Oleh karena itu, Pada penelitian kali ini penulis akan melakukan pemodelan arus terobosan pada dioda persambungan p-n berbasis *bilayer armchair graphene nanoribbon* (BAGNR) menggunakan metode pendekatan fungsi Airy yang hasilnya akan dibandingkan dengan arus terobosan menggunakan metode WKB.

Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini, terdapat beberapa permasalahan yang harus diselesaikan, permasalahan tersebut dapat diuraikan dalam beberapa pertanyaan sebagai berikut:

1. Bagaimana gambaran transmitansi elektron dalam dioda persambungan p-n berbahan BAGNR (*Bilayer Armchair Graphene Nanoribbon*)?
2. Bagaimana pengaruh tegangan panjar mundur, indeks N (jumlah atom penyusun lebar BAGNR), suhu dan medan listrik dalam terhadap perilaku arus terobosan dioda persambungan p-n berbahan BAGNR?
3. Bagaimana perbandingan antara arus terobosan yang dihasilkan pada dioda persambungan p-n berbahan MAGNR (*Monolayer Armchair Graphene Nanoribbon*) dan BAGNR (*Bilayer Armchair Graphene Nanoribbon*)?
4. Bagaimana perbandingan antara arus terobosan yang dihasilkan pada dioda persambungan p-n berbahan BAGNR menggunakan metode pendekatan fungsi Airy dan arus terobosan yang dihasilkan menggunakan metode WKB?

Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan berdasarkan tujuan berikut:

1. Mengetahui gambaran transmitansi elektron dalam dioda persambungan p-n berbahan BAGNR (*Bilayer Armchair Graphene Nanoribbon*) berdasarkan perhitungan menggunakan metode fungsi airy.
2. Mengetahui perilaku arus terobosan dioda persambungan p-n berbahan BAGNR sebagai fungsi tegangan panjar mundur, indeks N (jumlah atom penyusun lebar BAGNR), suhu, dan medan listrik dalam lapisan deplesi.

3. Mengetahui perbandingan antara arus terobosan pada dioda persambungan p-n berbahan MAGNR dan berbahan BAGNR.
4. Mengetahui perbandingan antara arus terobosan yang dihasilkan pada dioda persambungan p-n berbahan BAGNR menggunakan metode pendekatan fungsi Airy dan metode WKB.

Manfaat Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan harapan mampu memberikan pengetahuan mengenai karakteristik dioda persambungan p-n berbasis AGNR *bilayer* yang dapat dikembangkan lebih lanjut pada divais lainnya serta bermanfaat bagi perkembangan teknologi berbasis *graphene* di masa depan.

Sistematika Penulisan

Penulisan karya tulis ilmiah pemodelan arus terobosan pada dioda persambungan p-n berbasis BAGNR ini mengikuti sistematika sebagai berikut: Bab I Pendahuluan, Bab II Tinjauan Pustaka, dan Bab III Metode penelitian, Bab VI Hasil dan Pembahasan, dan Bab V kesimpulan dan saran.

Bab I berisi latar belakang penelitian dilakukan, permasalahan dalam penelitian yang akan diselesaikan, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penelitian. Bab II berisi materi mengenai *graphene*, *bilayer graphene*, dioda persambungan p-n, dan profil potensial sebagai bahan-bahan yang mendukung dalam pembuatan pemodelan. Bab III berisi metode yang dilakukan dalam penelitian, dimulai dari perhitungan transmitansi dan arus terobosan secara matematis hingga diagram alur penelitian secara keseluruhan. Bab VI berisi hasil penelitian dan analisis dari hasil yang didapatkan. Pada bab ini akan dibahas hasil penelitian berdasarkan kaitannya dengan rumusan masalah, latar belakang, dan tujuan penelitian pada Bab I. Kemudian yang terakhir adalah Bab V berisi kesimpulan akhir dari penelitian yang telah dilakukan, implikasi, dan rekomendasi untuk pengembangan perangkat semikonduktor persambungan p-n berbasis BAGNR di penelitian selanjutnya.