

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan alat elektronik saat ini telah berpengaruh pada berbagai aspek kehidupan. Alat elektronik tersebut tersusun atas berbagai macam divais elektronik sehingga memiliki fungsinya tersendiri. Salah satu komponen elektronik yang sedang banyak dikembangkan adalah transistor. Aplikasi transistor digunakan sebagai penguat, saklar elektronik dan stabilisasi tegangan. Selain itu, transistor digunakan sebagai penyusun divais penyimpanan elektronik dan *Integrated Circuit* (Zang, 2010 ; Wang, 2004). Perkembangan industri elektronik khususnya transistor pada tahun 1960-an menarik perhatian Gordon Moore, melalui pengamatannya menyatakan bahwa kira-kira dalam setiap 18 bulan jumlah transistor yang dapat dipasangkan dalam *IC* dapat meningkat dua kali lipat. Dalam perjalanannya, perkembangan transistor menemukan beberapa hambatan seperti efek termionik, peningkatan gangguan termal yang menyebabkan penurunan kapasitansi serta kendala penggunaan energi rendah untuk mengurangi disipasi daya. Berdasarkan beberapa kendala dan seiring meningkatnya kebutuhan konsumen maka dilakukan berbagai pengembangan diantaranya pengembangan terhadap mekanisme dan desain transistor serta bahan baku pembuatan transistor (Kish, 2010 ; Thompson, 2006).

Transistor terdiri dari beberapa jenis diantaranya transistor dwi kutub dan transistor efek medan. Dalam perkembangannya transistor efek medan menunjukkan tingkat perkembangan yang cukup signifikan. Pengembangan dari transistor efek medan yang saat ini tengah berlangsung adalah transistor efek medan-metal oksida, transistor efek medan gerbang ganda dan transistor efek medan terobosan. (Sze, 1981; Sutrisno, 1986; Cerderia, 2013). Transistor efek medan merupakan salah satu jenis transistor yang menggunakan medan listrik untuk mengendalikan kanal dari jenis pembawa muatan dalam bahan semikonduktor (Katkov, 2017). Transistor efek medan metal-oksida-semikonduktor (MOSFET) merupakan salah satu jenis transistor efek medan yang banyak digunakan dengan struktur divais bagian

gerbang diberi lapisan oksida tipis (Sutrisno, 1986). Transistor efek medan metal-oksida-semikonduktor umumnya digunakan untuk perangkat elektronik yang dapat digunakan dengan energi rendah (Nilsson, 2006). Selain transistor efek medan metal-oksida-semikonduktor, terdapat juga transistor efek medan terobosan yang memiliki struktur divais kira-kira mendekati struktur MOSFET. Perbedaan antara MOSFET dan transistor efek medan terobosan terletak pada mekanisme pengalihan. Pengalihan TFET dilakukan dengan memodulasi terobosan kuantum melalui penghalang dibandingkan dengan memodulasi emisi termionik atas penghalang seperti pada MOSFET tradisional (Avci, 2015).

Transistor efek medan terobosan (TFET) mulai dikembangkan oleh T. Baba pada tahun 1992. Beberapa karakteristik yang dimiliki oleh transistor efek medan terobosan diantaranya: dapat digunakan untuk energi yang rendah, menggunakan mekanisme terobosan antar pita yang dapat mengurangi kebocoran arus, memiliki potensi nilai sub-threshold swing < 60 mV/decade pada MOSFET tradisional, memiliki rasio arus kondisi hidup dan mati yang tinggi, dan proses fabrikasi yang mirip dengan MOSFET (Turkane, 2016). Berdasarkan beberapa karakteristik tersebut transistor efek medan terobosan memiliki potensi untuk menggantikan MOSFET. Dengan tujuan mendapatkan komponen elektronik yang memiliki kecepatan yang tinggi, dapat beroperasi pada energi rendah dan efisiensi energi yang dapat diaplikasikan pada *integrated circuit* (Aswathy, 2013).

Salah satu karakteristik penting pada divais transistor adalah *cut-off frequency*. *Cut-off frequency* dipelajari untuk mengetahui perilaku frekuensi dan keterlambatan intrinsik pada transistor. Penurunan performa pada *cut-off frequency* berdampak pada meningkatnya keterlambatan intrinsik pada transistor saat diaplikasikan pada frekuensi tinggi (Dash, 2016). Pada penelitian sebelumnya terkait *cut-off frequency* salah satu nilai puncak frekuensi tertinggi yang pernah tercatat untuk MOSFET adalah 410 GHz (Jan, 2008). Sedangkan, nilai *cut-off frequency* untuk TFET adalah 18 THz (Roh, 2014). Dengan nilai *cut-off frequency* pada TFET menunjukkan bahwa transistor efek medan terobosan memiliki keuntungan dalam pengembangan divais dengan energi rendah dan frekuensi tinggi.

Sebagian besar komponen-komponen elektronik tersebut didominasi oleh bahan silikon. Silikon merupakan salah satu bahan yang paling sering digunakan untuk membuat semikonduktor. Saat ini, perkembangan silikon sebagai semikonduktor telah mendekati batas kemampuannya (Nakagawa, 2006). Semikonduktor silikon memiliki kekurangan dalam hal mobilitas elektron yang berkisar dibawah $1400 \text{ cm}^2/\text{Vs}$, celah pita energi yang cukup besar sekitar 1.1 eV dan penurunan performa pada suhu tinggi (Jacoboni dkk., 1997 ; Tze, 1981). Berdasarkan kelemahan tersebut membuka peluang bagi bahan padat lainnya untuk menggantikan silikon sebagai bahan dasar divais elektronik. Salah satu material yang menjadi alternatif dan sorotan para peneliti serta terus menunjukkan perkembangan di dunia sekarang adalah *graphene*. Dengan karakteristik mobilitas elektron yang tinggi berkisar pada $200.000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ dan celah pita energi yang kecil berkisar pada 0.5 eV (Bolotin, 2008 ; Raza, 2012). Sifat elektronik *graphene* yang menunjukkan berbagai keunggulan dapat menjadikannya sebagai alternatif material bahan dasar elektronik.

Graphene pertama kali ditemukan pada tahun 2004 sebagai sebuah material baru berbentuk kristal dengan ketebalan satu atom. *Graphene* menunjukkan perbedaan dan keunggulan pada sifat kelistrikannya dibandingkan dengan logam konvensional dan semikonduktor. Hal ini membuat *graphene* berpeluang untuk desain dan fabrikasi pada divais elektronik. *Graphene* yang terdiri dari satu lapisan atom karbon disebut *monolayer graphene*. Lapisan *graphene* yang memiliki panjang tertentu dinamakan *graphene nanoribbon/GNR*. Terdapat dua jenis GNR berdasarkan sisi tepiannya yaitu Armchair-GNR (AGNR) dan Zigzag-GNR (ZGNR). Dengan ZGNR umumnya memiliki sifat konduktor dan AGNR dapat bersifat konduktor serta semikonduktor bergantung dengan lebarnya (Enoki, 2012).

Selain penelitian terhadap *monolayer graphene*, banyak penelitian dilakukan terhadap *bilayer graphene*. *Bilayer graphene* memiliki beberapa struktur modelnya. Ditinjau dari model tumpukannya *bilayer graphene* terbagi menjadi tumpukan AA dan tumpukan AB. Model tumpukan AA merupakan model yang paling simpel dimana setiap atom karbon pada lapisan kedua langsung berhubungan dengan atom carbon di atasnya. Sedangkan model AB atau *Bernal phase*, setengah

dari jumlah atom karbon pada lapisan atas berada tepat diatas atom karbon pada lapisan bawah, dan atom karbon lainnya berada di tengah struktur heksagon pada lapisan bawah. Model AB merupakan model yang paling stabil, memiliki kualitas tinggi pada sampel, dan banyak digunakan dalam berbagai eksperimen, (Rozhkov, 2016). Salah satu keuntungan dari *bilayer graphene* adalah kemungkinan untuk dapat menginduksi celah pita dan mengatur besarnya dengan menggunakan medan listrik kuat yang tegak lurus pada lapisan karbon. Selain itu, *bilayer graphene* memiliki struktur yang lebih baik, mobilitas muatan listrik yang lebih tinggi dan fleksibilitas dibandingkan *monolayer graphene* (Yan, 2015).

Seiring dengan perkembangan teknologi material elektronik, dimana *graphene* termasuk salah satu material yang menunjukkan perkembangan yang signifikan berbagai penelitian baik simulasi maupun eksperimen telah dilakukan. Penelitian tentang *Bilayer Graphene Nanoribbon* (BAGNR) diantaranya perhitungan celah pita pada *bilayer graphene* (Sustini, 2018), karakteristik Arus-Potensial listrik transistor efek medan berbahan BAGNR (Moussavi, 2013). Beberapa penelitian telah dilakukan untuk membuat simulasi arus terobosan pada divais transistor FET berbahan *graphene nanoribbon* oleh (Bimo dkk, 2014), simulasi perhitungan arus terobosan pada FET dengan persamaan dirac (Suhendi, 2015), dan perhitungan arus-potensial pada TFET bilayer graphene dengan menggunakan fungsi airy (Sustini, 2018). Pada simulasi tersebut digunakan beberapa parameter seperti celah energi dan massa efektif AGNR untuk mendapatkan nilai transmitansi dengan pendekatan airy. Nilai transmitansi elektron digunakan untuk menghitung arus terobosan menggunakan persamaan Landauer. Penelitian dengan simulasi merupakan tahap awal sebelum proses fabrikasi dimulai. Pada simulasi dapat diketahui hubungan antara parameter-parameter dengan performa divais. Simulasi bertujuan untuk mendapatkan desain dan parameter-parameter fabrikasi yang optimal agar hasil fabrikasi sesuai dengan apa yang diharapkan. Hasil dari simulasi dapat digunakan untuk membantu mendapatkan performa divais elektronik yang maksimal (Singh, 2012).

Metode komputasi digunakan dalam memecahkan fenomena-fenomena fisika yang terjadi. Beberapa metode yang digunakan diantaranya metode WKB

yang merupakan metode semi-klasik dalam menjelaskan fenomena kuantum, *Airy function* yang merupakan metode numerik yang dapat digunakan untuk mendapatkan solusi pada fenomena kuantum dan fisis lainnya (Valee, 2010), dan metode matriks transfer ialah metode semi-numerik yang membagi potensial dalam segmen-segmen kecil dan telah banyak digunakan dalam berbagai kasus. Metode matriks transfer (MMT) dipilih karena dapat mengeliminasi beberapa kesalahan numerik pada metode lain dan penggunaannya yang sudah banyak terutama pada fenomena kuantum semikonduktor (Li, 2010 ; Jirauschek, 2009).

Pada penelitian ini penulis akan melakukan perhitungan arus terbosan pada transistor efek medan berbahan *armchair bilayer graphene nanoribbon* dengan menggunakan metode matriks transfer (MMT). Kemudian akan diteliti pengaruh beberapa parameter seperti celah energi dan massa efektif pada arus terbosan pada TFET. Celah energi pada *bilayer graphene* dipengaruhi oleh lebar pita BAGNR. Pada perhitungan massa efektif dipengaruhi oleh lebar AGNR. Parameter tersebut digunakan untuk memperoleh nilai transmitansi elektron dengan menggunakan metode matriks transfer (MMT). Selain itu, pada perhitungan arus terbosan akan digunakan tegangan gerbang transistor untuk mengetahui karakteristik kerja arus pada transistor (Sutrisno, 1986). Penggunaan metode matriks transfer dalam pemodelan arus terbosan pada transistor dapat dilakukan untuk perubahan tegangan secara linear serta menunjukkan hasil yang lebih baik daripada metode beda hingga konvensional lainnya. Nilai transmitansi elektron digunakan untuk menghitung arus terbosan dengan menggunakan persamaan Landaurer.

1.2. Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan diteliti dapat dirumuskan kedalam bentuk pertanyaan sebagai berikut:

1. Bagaimana koefisien transmitansi elektron pada transistor efek medan terbosan berbasis BAGNR yang dihitung dengan metode MMT?
2. Bagaimana karakteristik arus terbosan pada transistor efek medan terbosan berbasis *bilayer graphene nanoribbon* karena pengaruh tegangan gerbang pada transistor?

3. Bagaimana karakteristik arus terobosan pada transistor efek medan terobosan berbasis *bilayer graphene* nanoribbon karena lebar pita BAGNR?
4. Bagaimana karakteristik arus terobosan pada transistor efek medan terobosan karena pengaruh suhu?
5. Bagaimana karakteristik arus terobosan pada transistor efek medan terobosan berbasis *bilayer graphene* nanoribbon dengan metode MMT karena ketebalan lapisan oksida ?
6. Bagaimana karakteristik *cut-off frequency* pada transistor efek medan terobosan berbasis bilayer graphene nanoribbon?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui koefisien transmitansi elektron pada transistor efek medan terobosan berbasis *bilayer graphene* yang dihitung dengan metode MMT.
2. Mengetahui karakteristik arus terobosan pada transistor efek medan terobosan berbasis *bilayer graphene* nanoribbon karena pengaruh tegangan pada gerbang.
3. Mengetahui karakteristik arus terobosan pada transistor efek medan terobosan berbasis *bilayer graphene* nanoribbon karena pengaruh lebar pita BAGNR.
4. Mengetahui karakteristik arus terobosan pada transistor efek medan terobosan berbasis *bilayer graphene* nanoribbon karena suhu.
5. Mengetahui karakteristik arus terobosan pada transistor efek medan terobosan berbasis *bilayer graphene* nanoribbon dengan metode MMT karena ketebalan lapisan oksida.
6. Mengetahui *cut-off frequency* pada transistor efek medan terobosan berbasis bilayer graphene nanoribbon

1.4. Manfaat Penelitian

Dengan dilakukannya penelitian arus terobosan pada transistor berbahan ini, diharapkan dapat memberikan informasi serta gambaran mengenai karakteristik transistor berbahan . Dengan harapan hasil penelitian ini dapat menjadi rujukan

untuk perkembangan teknologi transistor dan elektronik dimasa yang akan datang. Serta dapat menjadi sumbangsih untuk pengembangan *graphene* sebagai upaya mencari bahan alternatif silikon yang mendominasi sebagai bahan pembuat semikonduktor.

1.5. Sistematika Penulisan

Secara garis besar skripsi ini terdiri dari 5 (lima) bab dengan beberapa sub bab. Agar mendapat arah dan gambaran yang jelas mengenai hal yang tertulis, berikut ini sistematika penulisannya secara lengkap:

BAB I Pendahuluan, bab ini berisikan mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan. Bab II Kajian Pustaka, pada bab ini dijelaskan tentang kajian pustaka yang digunakan untuk pembahasan transistor efek medan, metode matriks transfer dan perhitungan arus terobosan pada transistor efek medan *bilayer graphene nanoribbon*. BAB III Metode Penelitian, dalam bab ini akan disajikan metode-metode yang dilakukan oleh penulis untuk menyelesaikan penelitian ini. Diantaranya berisi pemodelan divais transistor efek medan, perumusan perhitungan yang kemudian disusun menjadi algoritma untuk ditulis ke dalam program dan diagram alur perhitungan dengan menggunakan pemrograman.

BAB IV Hasil dan Pembahasan, dalam bab ini berisikan tentang pembahasan-pembahasan yang dibuat berdasarkan atas latar belakang, tujuan, dan pokok permasalahan yaitu mengenai karakteristik transistor efek medan. Dan terakhir BAB V Kesimpulan dan Saran, bab ini merupakan penutup yang meliputi tentang kesimpulan dari pembahasan yang dilakukan dari skripsi ini serta saran untuk penelitian maupun produksi divais transistor efek medan dengan semikonduktor.