

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teori relativitas umum (*General Relativity*) memberikan pandangan tentang gaya gravitasi yang dianggap berbeda dengan gaya-gaya lainnya. Einstein mengungkapkan bahwa gravitasi ada karena terjadinya penyebaran massa dan energi di dalam kelengkungan ruang-waktu. Teori ini diperkenalkan dan dikembangkan oleh Albert Einstein pada tahun 1915, dimana berawal saat Einstein mencoba untuk merumuskan teori gravitasi yang sesuai dengan teori relativitas khusus yang sebelumnya telah digagasnya juga [1].

Teori relativitas umum tersebut melatarbelakangi munculnya teori gravitasi $f(R)$. Terdapat beberapa motivasi yang menyebabkan munculnya teori gravitasi $f(R)$, yaitu modifikasi gravitasi pada fisika energi tinggi dan modifikasi gravitasi dengan melibatkan pengamatan kosmologi. Penelitian mengenai fisika energi tinggi diawali dengan mempertimbangkan modifikasi teori dengan menambahkan invarian kelengkungan orde tinggi ke dalam aksi relativitas umum. Pengamatan pada kosmologi dan astrofisika yang dilakukan oleh *Cosmic Microwave Background* (CMB) menunjukkan bahwa jumlah energi alam semesta terdiri dari 4% materi barionik, 20% materi gelap, dan 76% energi gelap. Berdasarkan pengamatan dan data tersebut, maka model kosmologi Λ CDM (*Lambda Cold Dark Matter*) menjadi model kosmologi yang cocok pada model standar kosmologi, dimana konstanta kosmologi Λ berperan sebagai energi gelap dan CDM merupakan materi yang dianggap gelap dan dingin. Sifat materi gelap dan masalah konstanta kosmologi dapat diketahui dengan mempertimbangkan deskripsi makroskopis tentang gravitasi [2], [3].

Dua motivasi tersebut menyebabkan munculnya teori yang disebut dengan *toy theory*. *Toy theory* mampu menggambarkan sebuah teori dengan lebih sederhana dan digunakan untuk mencari keterbatasan dari teori relativitas umum. Berbagai pertimbangan pada *toy theory* tersebut mengarah pada teori gravitasi $f(R)$, sehingga munculah teori gravitasi $f(R)$. Teori gravitasi $f(R)$ muncul dengan melakukan generalisasi lagrangian pada aksi Einstein-Hilbert menjadi fungsi umum f dari skalar Ricci R [3]. Teori gravitasi $f(R)$ yaitu teori yang diperoleh dari memodifikasi teori Einstein, dimana teori tersebut didapatkan dari teori relativitas umum yang ditambahkan skalar Ricci dengan pangkat lebih tinggi ke dalam teori relativitas umum yang standar [4].

Relativitas umum menjadi teori terbaik untuk mendeskripsikan gravitasi. Ketika diterapkan pada kosmologi, metrik Friedmann-Lemaitre-Robertson-Walker (FLRW) mampu mengasumsikan alam semesta yang homogen dan isotropis dan menjadi model kosmologi sederhana atau disebut dengan model kosmologi Λ CDM menjadi model kosmologi yang sesuai berdasarkan pengamatan kosmologi dan astrofisika [3], [5]. Model kosmologi tersebut dapat mempengaruhi munculnya model kosmologi modern yang disebabkan oleh adanya masalah hirarki pada kosmologi sederhana, yaitu munculnya perbedaan yang besar antara skala planck $M_{Pl} \approx 2 \times 10^{18} \text{ GeV}$ dan skala *electroweak* $m_{EW} \approx 250 \text{ GeV}$. Munculnya teori mengenai dimensi ekstra dapat menyelesaikan masalah hirarki tanpa menggunakan supersimetri [6]. Pada tahun 1921, Kaluza mengemukakan teorinya dengan memperluas teori relativitas umum ke dimensi lima. Kaluza memberikan gagasan untuk menggabungkan antara teori relativitas umum dengan teori elektromagnetik menggunakan cara geometris, sehingga diperoleh persamaan Einstein pada satu sisi dan sisi lainnya merupakan persamaan Maxwell. Untuk menyelesaikan masalah hirarki tersebut beberapa ilmuwan menciptakan model *braneworld*. Tahun 1998 Arkani-Hamed, Savas Dimopoulos, dan Gia Dvali memperkenalkan model

braneworld pertama dengan ide dimensi ekstra yang besar. Sehingga gravitasi total dituliskan dengan $(4 + n)$ dimensi, dengan n merupakan dimensi ekstra [7].

Satu tahun setelah teori ADD dikemukakan yaitu tahun 1999, muncullah model skenario *braneworld* lainnya yaitu model skenario *braneworld* Randall-Sundrum (RS). Lisa Randall dan Raman Sundrum masing-masing mempunyai model *braneworld* yang terpisah, namun memiliki banyak kemiripan. Model Randall-Sundrum ini berhasil memecahkan permasalahan hirarki antara skala Planck dan *electroweak* dengan menggunakan dimensi ekstra sehingga muncullah konstanta kosmologi lima dimensi Λ_5 dalam *bulk* yang melengkung secara eksponensial [7].

Penelitian terkait model kosmologi Randall-Sundrum menggunakan kopling derivatif nonminimal (NMDC) medan skalar pada ruang-waktu anti-de Sitter lima dimensi (Widiyani, dkk; 2014). Penelitian tersebut menggunakan solusi kosmologi dengan kasus khusus $\gamma = 0$ yang menghasilkan evolusi alam semesta megebang dipercepat dengan solusi de-Sitter yaitu, $a \sim e^{\frac{k}{\sqrt{3}}t}$ [8].

Pada penelitian tugas akhir ini, membahas mengenai evolusi alam semesta menggunakan model kosmologi Randall-Sundrum dengan aksi gravitasi $f(R)$. Penelitian ini dilakukan dengan menguraikan metrik Randall-Sundrum sehingga diperoleh geometrinya. Selanjutnya dilakukan penurunan pada aksi gravitasi $f(R)$ hingga didapatkan tensor energi-momentum. Kemudian diperoleh persamaan medan aksi gravitasi $f(R)$ menggunakan metrik Randall-Sundrum. Dari persamaan medan tersebut, diperoleh solusi kosmologi yang dapat menggambarkan evolusi alam semesta.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana persamaan medan dengan teori gravitasi $f(R)$ menggunakan metrik Randall-Sundrum?
2. Bagaimana evolusi alam semesta yang diperoleh dari model kosmologi Randall-Sundrum dengan aksi gravitasi $f(R)$?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui persamaan medan dengan teori gravitasi $f(R)$ menggunakan metrik Randall-Sundrum.
2. Mengetahui evolusi alam semesta dari model kosmologi Randall-Sundrum dengan aksi gravitasi $f(R)$.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian tugas akhir ini adalah model kosmologi Randall-Sundrum yang menjadi salah satu bagian dari gravitasi *braneworld* yang memiliki dimensi ekstra. Komponen dari model Randall-Sundrum ini bergantung pada dimensi ekstra Z dan waktu t . Dalam *braneworld* berkembang dua faktor skala yang dapat diasumsikan dengan hubungan berikut $b(t) = a^\gamma(t)$, dengan γ merupakan konstanta [9]. Aksi gravitasi $f(R)$ divariasikan dengan geometri Randall-Sundrum, sehingga dapat mengetahui persamaan medannya dan evolusi alam semesta.