

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Teori klasik bidang Fisika yang paling terkenal adalah mengenai teori mekanika dan gravitasi yang dikemukakan oleh Newton. Mekanika klasik pada teori Newton menjelaskan tentang gerak. Sementara, gravitasi dimaksudkan sebagai gaya tarik-menarik antara dua benda bermassa yang bergantung pada massa dan jarak antara keduanya. Newton pun berpendapat bahwa ruang dan waktu bersifat mutlak. Newton melihat ruang dan waktu secara objektif dan harus berlaku secara universal. Konsep pemikiran ini menitikberatkan pada gerakan yang terjadi pada suatu benda, baik dalam keadaan diam maupun dalam keadaan bergerak. Benda bergerak atau diam, akan tetap bergerak atau tetap pada posisi semula, kecuali ada gaya luar yang memengaruhinya. Oleh karena setiap benda yang bergerak akan tetap bergerak dan pergerakan tersebut terjadi dalam ruang dan waktu, maka kemutlakan juga berlaku pada ruang dan waktu. Newton pun berpendapat bahwa waktu mutlak dapat bergerak dan mengalir tanpa mengacu pada peristiwa tertentu. Konsep ruang dan waktu bersifat mutlak ini bertahan dalam kurun waktu yang cukup lama, yaitu kurang lebih dua abad sejak perumusan mekanika klasik dan gravitasi disempurnakan oleh Newton. Akhirnya, pada bulan Juni 1905, Einstein merumuskan mengenai ruang dan waktu dalam sebuah paper dengan judul “Zur Elektrodynamik bewegter Körper” (Einstein, 1905). Paper ini mengubah selamanya pemahaman kita tentang ruang dan waktu. Dan Einstein berusaha agar Teori Relativitas Khusus yang diajukannya konsisten dengan Teori Elektromagnetik Maxwell (Hidayat, 2010).

Menurut Einstein, ruang dan waktu tidak lagi bersifat mutlak tetapi relatif. Ruang dianggap bersifat relatif karena dipandang sebagai hubungan antara benda-benda yang diukur dengan cara-cara tertentu. Jika pengukurannya dilakukan dengan cara berbeda (pengamat berbeda), maka hasilnya juga berbeda. Waktupun

dianggap bersifat relatif karena hasil pengukuran terhadap hubungan-hubungan yang menyangkut waktu bergantung pada pengertian keserempakan. Einstein berpendapat ruang dan waktu saling terhubung secara tidak terpisahkan, yang satu tidak mungkin ada tanpa yang lainnya; keduanya merupakan satu kesatuan yang membentuk ruang-waktu yang ditimbulkan oleh segenap peristiwa. Oleh karena itu, Einstein menyatakan ruang dan waktu sebagai suatu entitas tunggal ruang-waktu. Ruang-waktu bukanlah sesuatu yang dapat memiliki eksistensi mandiri, tidak bergantung pada benda-benda nyata dalam kenyataan Fisika. Eksistensi ruang-waktu itu ditentukan oleh materi dan energi. Gravitasi pun dianggap Einstein bukan sebagai gaya, akan tetapi lebih sebagai manifestasi kelengkungan ruang-waktu

Pada tahun 1915, Einstein menyelesaikan teori relativitas umum yang merupakan sebuah teori tentang gravitasi (Einstein, 1915). Teori relativitas umum menjelaskan gravitasi sebagai struktur geometri dalam ruang-waktu (kelengkungan), pengaruh sebaran massa, dan energi yang mengakibatkan perubahan ruang-waktu. Menurut Einstein, sebaran massa dan energi mengakibatkan ruang-waktu melengkung. Semakin besar sebaran massanya, maka semakin melengkung pula ruang-waktunya. Pada saat sebaran massa dan energi terpusat pada suatu tempat, hingga mencapai batas maksimal dengan kelengkungan ruang-waktu yang sudah tidak dapat dipertahankan lagi dan akhirnya mengalami gravitasi yang sangat besar sekali dan memiliki masa yang massif maka terbentuklah singularitas ruang-waktu. Peristiwa yang terjadi pada singularitas ruang-waktu itu akan sangat aneh jika dibandingkan dengan ruang-waktu normal. Hal ini berdampak munculnya gagasan mengenai lubang hitam disebabkan oleh ruang-waktu melengkung dan terbentuknya singularitas ruang-waktu

Salah satu implikasi yang cukup spektakuler dari teori relativitas umum adalah munculnya gagasan lubang hitam (*black hole*) dimana segala peristiwa yang terjadi di dalam *event horizon* tidak dapat diamati dari luar, bahkan memiliki gravitasi yang sangat kuat sehingga cahaya pun tidak bisa lepas darinya. Lubang hitam adalah sebuah konsep matematis yang muncul dari persamaan gravitasi Einstein dengan memiliki sifat-sifat tertentu. Lubang hitam yang paling pertama adalah lubang

hitam Schwarzschild. Lubang hitam Schwarzschild merupakan solusi persamaan medan Einstein untuk objek statik bermassa  $m$ , tidak bermuatan, dan bersimetri bola. Metrik pada koordinat Schwarzschild memberikan penjelasan fisis yang sangat baik dalam daerah ruang-waktu dengan  $r > r_s$ , tetapi tidak dalam daerah ruang-waktu  $r \leq r_s$ . Pemahaman atas kegagalan sistem koordinat ini menjadi tantangan menarik bagi Fisikawan. Sampai 1939, Robert Oppenheimer meramalkan lubang hitam dengan metrik pada koordinat Schwarzschild disertai penggambaran ruang-waktunya (Bernstein, 2007). Salah satunya adalah koordinat Kruskal-Szekeres yang menjelaskan kekontinuan pada horizon peristiwa dari solusi Schwarzschild. Koordinat Kruskal-Szekeres memang cukup baik dalam menerangkan situasi di dalam lubang hitam bahkan mengembangkannya ke hal-hal yang di luar imajinasi manusia seperti konsep semesta lain dan lubang putih (*white hole*) (Romadani, 2015).

Terjadinya singularitas ruang-waktu apabila kelengkungan ruang-waktunya bernilai tak berhingga. Singularitas terdiri atas dua jenis, yaitu singularitas semu dan singularitas nyata. Singularitas semu adalah singularitas yang dapat dihindari dengan transformasi koordinat. Sementara, singularitas nyata adalah singularitas yang tidak dapat dihindari dengan transformasi koordinat. Oleh karena itu, pada skripsi ini akan membahas mengenai transformasi koordinat Kruskal-Szekeres yang dijelaskan secara matematis pada struktur singularitas ruang-waktu.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka perumusan masalah dalam penelitian skripsi ini adalah

1. Bagaimanakah singularitas ruang-waktu lubang hitam Schwarzschild?
2. Bagaimanakah struktur ruang-waktu lubang hitam Schwarzschild di daerah singularitas dalam koordinat Kruskal-Szekeres?

### **1.3. Batasan Masalah**

Agar semakin terarah, penelitian ini dibatasi untuk beberapa bahasan :

1. Jenis lubang hitam ditinjau adalah lubang hitam Schwarzzchild dengan solusi metrik Schwarzzchild.
2. Perluasan teori relativitas umum dikerjakan pada medan gravitasi Einstein.

### **1.4. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah

1. Menurunkan solusi metrik Schwarzzchild dan metrik Kruskal-Szekeres.
2. Mempelajari struktur ruang-waktu lubang hitam Schwarzzchild di daerah singularitas dalam koordinat Kruskal-Szekeres.

### **1.5. Manfaat Penelitian**

Hasil penelitian ini diharapkan bermanfaat untuk pengembangan ilmu pengetahuan khususnya pengetahuan tentang lubang hitam Schwarzzchild pada gambaran matematis struktur ruang-waktu, serta memahami diagram koordinat Kruskal-Szekeres dalam koridor prinsip relativitas umum Einstein.

### **1.6. Sistematika Penulisan**

BAB I Pendahuluan, mendeskripsikan mengenai rancangan penelitian, berupa latar belakang, tujuan penelitian, rumusan masalah yang diajukan pada penelitian ini, dan sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka, menjelaskan mengenai relativitas khusus, formulasi tensor dalam relativitas umum, dan relativitas umum, lubang hitam dan singularitas.

BAB III Metode Penelitian, menjabarkan mengenai waktu dan tempat penelitian, jenis penelitian, bagan penelitian, rancangan penelitian secara keseluruhan dan jadwal penellitian.

- BAB IV Hasil dan pembahasan, menjelaskan mengenai struktur ruang-waktu lubang hitam Schwarzschild di daerah sekitar singularitas dalam koordinat Kruskal-Szekeres dan mendapatkan diagram Kruskal-Szekeres
- BAB V Penutup, berisi kesimpulan dan saran yang mendeskripsikan mengenai simpulan penelitian serta saran untuk perkembangan penelitian selanjutnya.

