

TUGAS AKHIR

TEMPERATUR HAWKING UNTUK LUBANG HITAM McVITTIE



**MANAGAMTUA SIMBOLON
NPM: 2012720001**

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INFORMASI DAN SAINS
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
2017**

FINAL PROJECT

THE HAWKING TEMPERATURE OF McVITTIE BLACK HOLES



MANAGAMTUA SIMBOLON
NPM: 2012720001

DEPARTMENT OF PHYSICS
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY AND SCIENCE
PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY
2017



LEMBAR PENGESAHAN

TEMPERATUR HAWKING UNTUK LUBANG HITAM McVITTIE

MANAGAMTUA HERY BERTHUS SIMBOLON

NPM : 2012720001

Bandung, 25 Agustus 2017

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Paulus Cahyono Tjiang, Ph.D.

Pembimbing Pendamping

Dr. Haryanto Siahaan

Ketua Tim Penguji

Reinard Primulando, Ph.D.

Anggota Tim Penguji

Dr. Haryanto Siahaan

**Mengetahui,
Ketua Program Studi**

Philips Nicolas Gunawidjaja, Ph.D.

PERNYATAAN

Dengan ini saya yang bertandatangan di bawah ini menyatakan bahwa tugas akhir dengan judul:

TEMPERATUR HAWKING UNTUK LUBANG HITAM McVITTIE

adalah benar-benar karya saya sendiri, dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku dalam masyarakat keilmuan.

Atas pernyataan ini, saya siap menanggung segala risiko dan sanksi yang dijatuhkan kepada saya, apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya saya, atau jika ada tuntutan formal atau non-formal dari pihak lain berkaitan dengan keaslian karya saya ini.

Dinyatakan di Bandung,
Tanggal 25 Agustus 2017



Managamtua Hery Berthus Simbolon
NPM: 2012720001

ABSTRAK

Pada tahun 1975 Stephen Hawking menemukan bahwa lubang hitam memancarkan radiasi seperti benda hitam (*blackbody*), yang dinamakan Radiasi Hawking. Radiasi ini dideteksi oleh pengamat sebagai suhu dari lubang hitam, yang disebut temperatur Hawking. Kajian termodinamika lubang hitam untuk kasus statik, yaitu lubang hitam yang parameter-parameter fisiknya tidak bergantung waktu, telah banyak dilakukan, namun lubang hitam dalam kajian kosmologi cenderung bersifat dinamik (bergantung pada waktu), misalnya lubang hitam McVittie. Kekhasan dari lubang hitam McVittie adalah bahwa lubang hitam ini berada dalam latar belakang alam semesta yang mengembang (*expanding universe*) dalam kosmologi FLRW. Dalam tugas akhir ini dihitung temperatur Hawking untuk lubang hitam McVittie dengan menggunakan metode semiklasik.

Kata-kata kunci: temperatur Hawking, lubang hitam McVittie, metode semiklasik

ABSTRACT

In 1975 Stephen Hawking discovered that black holes emit radiation like blackbody radiation, namely Hawking Radiation. This radiation is detected by the observer as the temperature of the black hole (Hawking temperature). The study of thermodynamic of static black holes, whose physical parameters are time-dependent, have been widely practiced, but in cosmological studies black holes tend to be dynamic (time-dependent), such as McVittie black holes. The peculiarity of McVittie black hole is that such black hole embeds in the expanding universe of the FLRW cosmology as its background. In this final project, we calculate the Hawking temperature for McVittie black hole using semiclassical method.

Keywords: Hawking temperature, McVittie black holes, semiclassical method

Untuk malaikat-malaikatku.

*Coelum stellatum supra me,
Lex moralis intra me.
(Immanuel Kant)*

KATA PENGANTAR

Deo Gratias! Syukur kepada Allah!

Tugas akhir ini akhirnya benar-benar berakhir. Dengan segala keterbatasan waktu dan wawasan yang dimiliki penulis, penyelesaian tugas akhir ini sungguh merupakan kemurahan hati Tuhan sendiri.

Hatur nuhun Gusti.

Tak dapat dipungkiri bahwa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Dan ketidaksempurnaan ini diperbaiki oleh berbagai pihak, yang dengan caranya masing-masing memberikan sumbangsih bagi penyelesaian tugas akhir ini, yaitu:

- . Malaikat-malaikatku: Kwee Giok Hiang, Ancilla “Cici” Ribka, dan Elisa “Chacha” Priska atas semangat, “pecutan” dan kasih sayang yang telah diberikan kepada penulis hingga akhirnya tugas akhir ini selesai.
- . Keluarga *The Sims*, yang selalu mendoakan penulis selama pengerjaan tugas akhir ini.
- . Bapak Paulus Cahyono Tjiang, Ph.D. sebagai pembimbing penulis atas kesabaran, ilmu, dan waktu yang telah diberikan untuk penulis.
- . Bapak Haryanto M. Siahaan, Ph.D., sebagai pembimbing, sekaligus “kawan” dan “lawan” penulis atas percikan api yang selalu dikobarkan meski penulis sering mem-PHP Bapak. *Publish or perish, Sir!*
- . Ibu Sylvia Hastuti Sutanto, Ph.D. sebagai dosen wali penulis atas perhatian dan bimbingan kepada penulis.
- . Bapak Reinard Primulando, Ph.D. atas waktu dan saran yang diberikan selaku penguji dalam sidang tugas akhir ini.
- . Teman-teman *Psycho* 2012, Bernard, Yoshep Soeharto, Luthfi Pratikta, Andrew Suwandi, Rengga Febriyandi, Irfan Gultom, Bimo Surya Pratama, Thori Setradyanshah, Rio Lowaha atas dukungan dan persahabatan yang diberikan selama ini, dan teman-teman di Program Studi Fisika dan *OBH Squad* yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu.

Bandung, Agustus 2017

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	xv
DAFTAR ISI	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	2
1.2. Metode Penelitian	2
1.3. Tujuan Penulisan.....	3
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Sistematika Penulisan	4
2 DASAR TEORI	6
2.1. Lubang Hitam	6
2.1.1. Lubang Hitam Kosmologis.....	10
2.1.2. Lubang Hitam McVittie.....	11
2.2. Metode Semiklasik.....	15
2.2.1. Metode <i>Radial-Null Geodesic</i>	16
2.2.2. Metode <i>Complex-Path</i>	19
2.2.3. Persamaan Temperatur Hawking.....	25
3 TEMPERATUR HAWKING UNTUK LUBANG HITAM McVITTIE	27
3.1. Hasil Perhitungan Temperatur Hawking Untuk Lubang Hitam McVittie.....	28
3.1.1. Ruang-Waktu McVittie.....	28
3.1.2. Temperatur Hawking Untuk Lubang Hitam McVittie.....	31
3.2. Kondisi-Kondisi Yang Harus Dipenuhi.....	31
4 KESIMPULAN	36
4.1. Diskusi	36
DAFTAR REFERENSI	38

DAFTAR GAMBAR

3.1. *Apparent horizon* kosmologis (kurva biru putus-putus) dan *apparent horizon* lubang hitam McVittie (kurva merah solid) dalam ruang-waktu McVittie dengan latar belakang FLRW yang didominasi oleh materi (*dust-dominated FLRW background*). Waktu t (pada sumbu horizontal) dan jari-jari R (pada sumbu vertikal) menggunakan satuan $m_0 = 1$ [25].....34

BAB 1

PENDAHULUAN

Tahun 1975, Stephen W. Hawking mengguncang dunia dengan menerbitkan sebuah paper yang berjudul *Particle Creation by Black Holes* [1]. Dari judulnya tampak bahwa lubang hitam memancarkan radiasi, yang kemudian dinamakan Radiasi Hawking. Radiasi ini dideteksi oleh pengamat pada titik jauh tak hingga sebagai suhu dari lubang hitam. Penemuan terbaru dari Hawking ini memperkuat dugaan, sekaligus menunjukkan bahwa lubang hitam tidaklah “hitam” sama sekali.

Kajian termodinamika lubang hitam untuk kasus statik, yaitu lubang hitam yang parameter-parameter fisiknya tidak bergantung waktu, telah banyak dilakukan. Namun lubang hitam dalam kajian kosmologi cenderung bersifat dinamik (bergantung pada waktu), misalnya lubang hitam McVittie. Dalam tugas akhir ini akan digunakan metrik lubang hitam McVittie, yang merupakan salah satu lubang hitam kosmologis, artinya lubang hitam yang berada dalam ruang-waktu kosmologi tertentu.

1.1. LATAR BELAKANG MASALAH

Dengan menggunakan mekanika kuantum dalam meneliti lubang hitam, Hawking memprediksi bahwa lubang hitam memancarkan radiasi seperti benda hitam (*blackbody*) dengan temperatur yang terbatas. Suhu ini berbanding terbalik dengan massa lubang hitam, sehingga sulit untuk mengamati radiasi ini. Kajian termodinamika lubang hitam sebagai objek dengan suhu ini sangat penting dalam ilmu fisika karena berkaitan erat dengan perubahan entropi lubang hitam selama radiasi berlangsung. Kajian termodinamika untuk lubang hitam kosmologis masih aktif dilakukan hingga saat ini dikarenakan masih ada beberapa hal yang samar-samar dalam menjelaskan perilaku radiasi lubang hitam ini, misalnya apakah yang dimaksud dengan horizon dari lubang hitam (*apparent horizon* atau *event horizon*) sehingga dapat berlaku untuk semua lubang hitam, baik statik maupun dinamik.

1.2. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, penulis menggunakan **metode kuantitatif**. Dalam mengumpulkan teori dan data-data yang dilakukan dalam tugas akhir ini, penulis menggunakan studi pustaka (*library research*) dari berbagai sumber, dengan merujuk kepada artikel, jurnal, buku-buku, dan bahan-bahan dari internet yang relevan.

Persamaan medan gravitasi, lubang hitam, persamaan gelombang Klein-Gordon, dan metrik McVittie merupakan tinjauan ulang terhadap teori dari buku teks dan jurnal [2-5]. Metode semiklasik merupakan tinjauan ulang yang berasal dari referensi [6-9], sedangkan temperatur Hawking untuk lubang hitam McVittie

merupakan hasil perhitungan penulis dengan menggunakan metode pada referensi yang sudah disebutkan tadi.

1.3. TUJUAN PENULISAN

Penulisan tugas akhir ini bertujuan untuk menjelaskan kembali salah satu solusi eksak dari persamaan medan gravitasi Einstein, yakni lubang hitam McVittie, sekaligus menghitung temperatur Hawking dari lubang hitam McVittie. Selain itu tugas akhir ini juga dimaksudkan sebagai syarat kelulusan program studi sarjana Fisika Universitas Katolik Parahyangan.

1.4. BATASAN MASALAH

Pembatasan yang dilakukan dalam penulisan tugas akhir ini, yaitu:

1. Metrik lubang hitam McVittie yang digunakan merupakan fungsi koordinat radius-waktu (r, t) standar (*Schwarzschild-like*), dan tidak menggunakan koordinat Eddington-Finkelstein (u, v) .
2. Metode semiklasik dipakai sebagai usaha untuk menurunkan persamaan temperatur Hawking.
3. Persamaan Klein-Gordon yang digunakan adalah persamaan Klein-Gordon tanpa adanya interaksi elektromagnetik dalam ruang-waktu lengkung.
4. Unit yang digunakan adalah unit natural, dimana $G = c = \hbar = 1$.

1.5. SISTEMATIKA PENULISAN

Kerangka penulisan akan dibuat sebagai berikut:

1. Bab 1 **PENDAHULUAN**, berisi tentang latar belakang masalah, metode penelitian, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan tugas akhir ini.
2. Bab 2 **DASAR TEORI**, berisi tentang lubang hitam dan metode semiklasik, termasuk di dalamnya Metode *Radial-Null Geodesics* dan *Complex-Path*.
3. Bab 3 **TEMPERATUR HAWKING UNTUK LUBANG HITAM MCVITTIE**, berisi tentang hasil perhitungan temperatur Hawking untuk lubang hitam McVittie berikut Kondisi-kondisi yang harus dipenuhi.
4. Bab 4 **KESIMPULAN**, berisi tentang kesimpulan penelitian yang dilakukan penulis dalam tugas akhir ini.