

## **BAB 4**

### **KESIMPULAN**

Berdasarkan uraian dalam tugas akhir ini, telah dihitung temperatur Hawking untuk lubang hitam McVittie dengan menggunakan metode semiklasik. Lubang hitam mempunyai temperatur spesifik, yang berkaitan dengan karakteristik dari radius horizonnya. Melalui perhitungan ini telah ditunjukkan bahwa lubang hitam McVittie memiliki temperatur yang bersifat dinamik, karena bergantung pada parameter Hubble yang merupakan fungsi waktu.

#### **4.1. DISKUSI**

Sebagaimana dijelaskan pada bagian sebelumnya, kekhasan dari lubang hitam McVittie adalah bahwa lubang hitam ini berada dalam latar belakang alam semesta yang mengembang (*expanding universe*) dalam kosmologi FLRW. Hal ini ditunjukkan secara gamblang dalam metrik McVittie (2.23) yang bergantung pada parameter yang merupakan fungsi waktu. Yang menarik adalah, sebagaimana ditampilkan oleh Gambar 3.1., bahwa ketika radius dari horizon kosmologis mengembang, justru *apparent horizon* dari Lubang Hitam McVittie tidak mengalami perubahan yang

signifikan. Dari analisa tersebut dapat disimpulkan bahwa dalam alam semesta yang mengembang ternyata lubang hitam McVittie tidak ikut mengembang. Hal ini tentu membutuhkan kajian lebih lanjut. Selain itu, studi tentang radiasi lubang hitam juga dapat memberikan sejumlah informasi seputar benda-benda apa saja yang pernah “dihisap” lubang hitam.

Kajian termodinamika lubang hitam sebagai obyek dengan suhu ini sangat penting dalam ilmu fisika karena berkaitan erat dengan perubahan entropi lubang hitam selama radiasi berlangsung. Akhir kata penulis ingin menyampaikan bahwa kajian termodinamika terkait kasus lubang hitam kosmologis masih menarik untuk dilakukan, dikarenakan masih ada beberapa hal yang samar-samar dalam menjelaskan perilaku radiasi lubang hitam.

\*\*\*

## DAFTAR REFERENSI

- [1] S.W. Hawking, *Particle creation by black holes*, *Comm. Math. Phys.* **43**, 199 (1975).
- [2] S. Weinberg, *Gravitation and Cosmology: Principles and Application of The General Theory of Relativity*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1972.
- [3] M. P. Hobson, G. P. Efstathiou, and A. N. Lasenby, *General Relativity: An Introduction for Physicists*, Cambridge Univerity Press, New York, 2006.
- [4] V. Faraoni, *Cosmological and Black Hole Apparent Horizons: Lecture Notes in Physics vol. 907*, Springer, Heidelberg, 2015.
- [5] G.C. McVittie, *The Mas-Particle in an Expanding Universe*, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **93**, 325 (1933).
- [6] H.M. Siahaan, *Semiclassical Method for Hawking Radiation from a Vaidya Black Hole*, *Int. J. Mod. Phys.* **A25**, 145-153 (2010).
- [7] H.M. Siahaan dan Triyanta, *Hawking Radiation from a Vaidya Black Hole: a semiclassical approach and beyond*. [arXiv:0811.1132].
- [8] H.M. Siahaan, *Higher Spin Tunneling from a time dependent and spherically symmetric black hole* (2015) [arXiv:1506.01795v2[gr-qc]].
- [9] R. Banerjee dan B.R. Majhi, *Quantum tunneling beyond semiclassical approximation*, *JHEP* **0806**, 095 (2008). [arXiv:0805.2220].
- [10] R. Moradi, C. Stahl, J. T. Firouzjaee and S. Xue (2017) [arXiv:1705.04168v1 [gr-qc]].
- [11] R. Moradi, J. T. Firouzjaee and R. Mansouri, *Class. Quant. Grav.* **32**, no. 21,

- 215001 (2015) [arXiv:1504.04746 [gr-qc]].
- [12] A. Einstein and E. G. Straus, *Rev. Mod. Phys.* **17** (1945) 120.
- [13] W. Valkenburg, *Gen. Rel. Grav.* **44** (2012) 2449 [arXiv:1104.1082 [gr-qc]]
- [14] C. Gao, X. Chen, Y. G. Shen and V. Faraoni, *Phys. Rev. D* **84** (2011) 104047 [arXiv:1110.6708 [gr-qc]].
- [15] E. Abdalla, N. Afshordi, M. Fontanini, D. C. Guariento and E. Papantonopoulos, *Phys. Rev. D* **89** (2014) 104018 [arXiv:1312.3682].
- [16] Haryanto Siahaan, *Semiclassical Method for Hawking Radiation from a Vaidya Black Hole*, *Int. J. Mod. Phys.* **A25**, 145-153 (2010).
- [17] M. K. Parikh dan F. Wilczek, *Hawking Radiation as tunneling*, *Phys. Rev. Lett.* **85**, 5042 (2000) [arXiv: hep-th/9907001].
- [18] S. Shankaranarayanan, T. Padmanaban, dan K. Srinivasan, *Hawking radiation in different coordinate settings: Complex path approach*, *Class. Quant. Grav.* **19**, 2671 (2002). [arXiv:gr-qc/0010042].
- [19] K. Srinivasan dan T. Padmanaban, *Particle production and complex path analysis*, *Phys. Rev. D* **60**, 024007 (1999). [arXiv:hep-th/9907002].
- [20] V. Faraoni, *Cosmological and Black Hole Apparent Horizons: Lecture Notes in Physics vol. 907*, Springer, Heidelberg, 2015, 112.
- [21] S.W. Hawking, *The quantum mechanics of black holes*, *Sci. Am.* **236** (1976), 34–40.
- [22] S.W. Hawking, *History of Time: From Big Bang to Black Holes*, Random House, Cambridge, 1996.

- [23] S.W. Hawking, *Black Holes and Baby Universes and Other Essays*, Random House, Cambridge, 1993
- [24] S.W. Hawking, *The Universe in a Nutshell*, Bantam Books, Cambridge, 2001.
- [25] F.J.W. Olver, D.W. Lozier, R.F. Boisvert, C.W. Clark, *NIST Handbook of Mathematical Functions*, Cambridge, New York, 2010, 131.
- [26] V. Faraoni, *Evolving Black Hole Horizons in General Relativity and Alternative Gravity, Galaxies* **1** (2013) **no. 3**, 114-179 [arXiv:1309.4915 [gr-qc]].