

ABSTRAK

HOLOGRAFI PADA LUBANG HITAM KERR- NEWMAN-UNTI-TAMBURINO-KISELEV-ADS DALAM TEORI GRAVITASI RASTALL

Oleh

Muhammad Fitrah Alfian Rangga Sakti

NIM: 30217018

(Program Studi Doktor Fisika)

Teori gravitasi Einstein dapat digunakan untuk mendapatkan solusi lubang hitam di empat dimensi yang mana sesuai dengan dimensi alam semesta. Selain itu, persamaan medan Einstein juga dapat digunakan untuk merumuskan solusi lubang hitam untuk dimensi yang lebih tinggi. Salah satu solusi lubang hitam yang paling umum di empat dimensi adalah solusi Plebański-Demiański yang memiliki parameter massa, momentum angular, muatan listrik, muatan NUT, akselerasi, konstanta kosmologi, dan muatan magnet. Saat akselerasi menghilang, maka solusi akan tereduksi menjadi solusi Kerr-Newman-Unti-Tamburino-AdS. Selain massa, saat semua parameter menghilang, maka solusi Schwarzschild akan dihasilkan. Solusi Schwarzschild ini merupakan solusi lubang hitam yang paling pertama kali ditemukan melalui persamaan medan Einstein.

Di era sekarang ini, teori gravitasi Einstein telah banyak dimodifikasi untuk lebih memperumum solusi lubang hitam yang didapatkan agar bisa mencakup semua teori fisika yang ada. Solusi yang lebih umum dapat menjelaskan berbagai solusi yang lebih khusus pada keadaan tertentu sebagaimana solusi Plebański-Demiański yang setiap parameternya mewakili fenomena tertentu. Salah satu modifikasi teori Einstein yang cukup menjanjikan adalah teori gravitasi Rastall. Teori gravitasi Rastall menggunakan asumsi bahwa hukum konservasi tensor materi tidak selalu bernilai nol tetapi bergantung suatu parameter yang dikenal sebagai parameter Rastall. Saat parameter ini bernilai nol, persamaan akan tereduksi menjadi persamaan medan Einstein biasa. Teori gravitasi Einstein dipercaya sebagai keadaan di mana gravitasi terkopel dengan materi secara minimal. Oleh karena itu, formulasi Rastall ada sebagai keadaan yang lebih umum dengan medan gravitasi dan materi terkopel secara non-minimal. Lubang hitam yang merupakan objek dengan medan gravitasi sangat kuat juga dapat menjadi solusi dari persamaan medan gravitasi pada teori gravitasi Rastall.

Dalam disertasi ini, penulis mencari solusi lubang hitam Kerr-Newman-Unti-Tamburino-AdS (KNUTAdS) yang diekstensi dalam teori gravitasi Rastall dan mengasumsikan bahwa terdapat medan skalar *quintessence* yang digam-

barkan oleh tensor materi tertentu. Interaksi *quintessence* dengan lubang hitam ini diformulasikan pertama kali oleh Kiselev. Solusi yang memiliki momentum angular dan muatan NUT bisa digenerasi dengan menerapkan algoritma Demiański-Newman-Janis. Algoritma ini akan digunakan untuk mendapatkan solusi KNUTAdS. Properti fisis lubang hitam ini seperti *horizon* dan ergosfer dipelajari di dalam disertasi ini. Keberadaan parameter Rastall dan parameter persamaan keadaan *quintessence* dapat mempengaruhi jumlah *horizon* yang ada pada lubang hitam. Selain itu, semua parameter termasuk kedua parameter tadi bisa mempengaruhi ukuran dari ergosfernya. Kemudian termodinamika lubang hitam ini juga dipelajari secara makroskopis atau dengan kata lain, perhitungan tidak dimulai dari formulasi fungsi partisi.

Kemudian termodinamika dari lubang hitam ini, khususnya entropi, juga ditinjau secara mikroskopis dengan menggunakan bantuan korespondensi Kerr/CFT. Korespondensi Kerr/CFT menggunakan prinsip holografi yakni terdapat relasi antara teori gravitasi di N -dimensi dengan teori medan konformal di $(N - 1)$ -dimensi, sebagaimana hologram yang merupakan objek dua dimensi yang dapat menggambarkan objek tiga dimensi. Ada dua keadaan penting dalam menggunakan korespondensi ini, yaitu keadaan ekstrem dan non-ekstrem. Keadaan ekstrem yang dimaksud adalah saat lubang hitam hanya memiliki tepat satu *horizon*. Sementara keadaan non-ekstrem adalah solusi lubang hitam umum. Pada keadaan ekstrem, lubang hitam memiliki struktur AdS_2 dan terdapat CFT pada batasnya sehingga korespondensi AdS/CFT bisa digunakan untuk mempelajari termodinamika dan menghitung entropi lubang hitam. Entropi dihitung dengan menggunakan formula entropi Cardy yang didapatkan dari CFT_2 . Formula Cardy merupakan fungsi dari muatan sentral dan temperatur konformal yang masing-masing memiliki dua bagian, yaitu sektor kanan dan bagian kiri. Dengan korespondensi Kerr/CFT, didapatkan bahwa lubang hitam ekstrem ini dual secara holografik dengan CFT. Selanjutnya, untuk keadaan non-ekstrem, penulis mengasumsikan bahwa muatan magnet, medan *quintessence* dan parameter Rastall menghilang untuk mempelajari korespondensi Kerr/CFT. Asumsi ini digunakan untuk menyederhanakan perhitungan. Pada keadaan ini, lubang hitam ditinjau sebagai latar belakang suatu medan skalar yang dapat mengungkap simetri konformal pada operator Casimir kuadrat. Selanjutnya terlihat bahwa persamaan gerak medan skalar tersebut memiliki simetri dari ruang AdS_3 yang digenerasi oleh generator-generator konformal. Generator-generator konformal mewakili dua sektor, yaitu kanan dan kiri sehingga mewakili CFT_2 . Dengan begitu, entropi lubang hitam bisa dihitung dengan formulasi Cardy kembali. Saat nilai parameter diambil bernilai tertentu, maka entropi ini sesuai dengan entropi keadaan ekstremnya. Lalu penampang melintang absorpsi dari lubang hitam ini pun dipelajari dengan menerapkan korespondensi tersebut dan dapat ditunjukkan bahwa penampang melintang yang dihasilkan sesuai dengan yang ada pada CFT dengan mengidentifikasi beberapa besaran termodinamika. Dengan menggunakan korespondensi ini, dapat disimpulkan bahwa lubang hitam Kerr-Newman-Unti-Tamburino-Kiselev-AdS di dalam teori gravitasi Rastall

merupakan dual secara holografik dengan CFT.

Kata kunci: lubang hitam, gravitasi Rastall, simetri konformal tersembunyi, korespondensi Kerr/CFT.

ABSTRACT

HOLOGRAPHY ON KERR-NEWMAN-UNTI-TAMBURINO-KISELEV-ADS IN RASTALL THEORY OF GRAVITY

By

Muhammad Fitrah Alfian Rangga Sakti

NIM: 30217018

(*Doctoral Program in Physics*)

Einstein's theory of gravity can be used to obtain black hole solutions in four dimensions which are in accordance with the dimensions of our universe. In addition, Einstein's field equations can also be used to formulate the black hole solutions for higher dimensions. One of the most common black hole solutions in four dimensions is the Plebański-Demiański solution which has parameters of mass, angular momentum, electric charge, NUT charge, acceleration, cosmological constant, and magnetic charge. When the acceleration vanishes, the solution will reduce to the Kerr-Newman-Unti-Tamburino-AdS solution. When all parameters disappear, except the mass, the Schwarzschild solution will be produced. The Schwarzschild solution is the black hole solution which was first discovered through Einstein's field equations.

In this era, Einstein's theory of gravity has been heavily modified to generalize the black hole solutions to cover all existing physical theories. More general solutions can explain various solutions that are more specific due to several arbitrary circumstances as Plebański-Demiański solution where each parameter represents a certain phenomenon. One of the modification of Einstein's theories which is quite promising is Rastall's theory of gravity. Rastall's theory of gravity uses the assumption that the law of conservation of matter tensor is not always zero but depends on a parameter known as the Rastall parameter. When this parameter is zero, the equation will reduce to an ordinary Einstein field equation. Einstein's theory of gravity is believed to be a condition in which the gravity is minimally coupled to the matter. Therefore, the Rastall formulation exists as a more general condition in which gravitational field and matter are non-minimally coupled. A black hole that is an object with a very strong gravitational field can also be a solution of the gravitational field equation in Rastall's theory of gravity.

Within this dissertation, we look for a Kerr-Newman-Unti-Tamburino-AdS (KNUTAdS) black hole solution in which is extended in Rastall's theory of gravity and assumes that there is a quintessence field that is described by certain matter tensor. The interaction of quintessence with the black hole was firstly formulated by Kiselev. Solutions that have angular momentum and NUT

charge can be generated by applying the Demiański-Newman-Janis algorithm. This algorithm is used to get the KNUTAdS solution. The physical properties of this black hole such as the horizon and ergosphere are studied in this dissertation. The existence of the Rastall parameter and the quintessence equation of state can affect the number of horizons of the black hole. In addition, all parameters including the previous two parameters can affect the size of the ergosphere. Then thermodynamics of the black hole is also studied macroscopically or on the other hand, the calculation does not start from the formulation of the partition function.

Then the thermodynamics of this black hole, especially the entropy, is also investigated microscopically with the help of the Kerr/CFT correspondence. The Kerr/CFT correspondence applies the holographic principle, i.e. there is a relation between the theory of gravity in N -dimension and the conformal field theory in $(N - 1)$ -dimension, as we know that a hologram is a two-dimensional object that can describe three-dimensional object. There are two important conditions in using this correspondence, namely extremal and non-extremal conditions. The extremal condition occurs when a black hole only possesses exactly one horizon. While the non-extremal condition is the generic black hole solution. In extremal condition, a black hole has an AdS_2 structure and there is a CFT on its boundary, so that the AdS/CFT correspondence can be used to study the thermodynamics and calculate the entropy of the black holes. Entropy is calculated using the Cardy entropy formula obtained from CFT_2 . Cardy formula is a function of central charge and conformal temperature of which have two parts, namely the right- and left-sectors. With the Kerr/CFT correspondence, it is found that this extreme black hole is holographically dual with the CFT. Furthermore, for non-extremal condition, we assume that the magnetic charge, quintessence field and Rastall parameter vanish to study the correspondence. This assumption is used to simplify the calculation. In this situation, the black hole is viewed as the background of a scalar field that can reveal the conformal symmetry in the quadratic Casimir operator. Furthermore, it can be seen that the scalar field equation of motion has the symmetry of the AdS_3 space generated by the conformal generators. The conformal generators represent two sectors, right and left, so that they represent CFT_2 . Hence, the entropy of the black hole can be calculated using the Cardy formula. When a certain value of parameter is taken, the entropy is equal with the extremal entropy. Then the absorption cross section of this black hole is studied by applying this correspondence and it can be shown that the absorption cross-section agrees with that from the CFT by identifying several thermodynamic quantities. By using this correspondence, we conclude that the Kerr-Newman-Unti-Tamburino-Kiselev-AdS black hole in Rastall's theory of gravity is holographically dual with the CFT.

Keywords: black holes, Rastall's gravity, hidden conformal symmetry, Kerr/CFT correspondence.