



Prosiding Seminar Sains Antariksa



Homepage: <http://www.lapan.go.id>

PENGARUH KONSTANTA KOSMOLOGI EINSTEIN PADA FENOMENA PRESESI GEODESIK DI RUANG- WAKTU SCHWARZSCHILD DE SITTER

(Effect of Einstein's Cosmological Constant On The Geodesic Precession
Phenomenon in The Schwarzschild De Sitter Time-Space)

Philin Yolanda Dwi Sagita^[1], BintoroAnangSubagyo^[2]

^[1]Program Studi Fisika FMIPA, Institut Teknologi Bandung.

^[2]Jurusan Fisika FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

e-mail: philinyolandadwisagita@students.itb.ac.id

ABSTRAK

Riwayat Artikel:

Diterima: 19-11-2015
Direvisi: 16-10-2016
Disetujui: 19-10-2016
Diterbitkan: 24-10-2016

Kata kunci:

Schwarzschild, de Sitter,
Konstanta Kosmologi,
Preseksi Geodesik

Keraguan Einstein dalam menggunakan konstanta kosmologi (Λ) pada persamaan medan gravitasinya yang statis karena adanya pembuktian pengamatan Hubble mengenai semesta yang mengembang pada tahun 1927 membawa penulis untuk menunjukkan pengaruh dan nilai eksperimen konstanta kosmologi pada Preseksi Geodesik dengan memanfaatkan solusi persamaan medan gravitasi Schwarzschild pada alam semesta *de Sitter*. Berdasarkan hasil analisa dan data eksperimental, didapatkan bahwa nilai konstanta kosmologi pada peristiwa preseksi geodesik sebesar $\sim 10^{-27} \text{ cm}^{-2}$ dan serta dipengaruhi oleh massa Matahari, jarak objek terhadap Matahari, dan kecepatan rotasi objek pada pusat gravitasi.

ABSTRACT

Keywords:

Schwarzschild, de Sitter,
Cosmology Constant,
Geodesic Precession

Hubble's experiment, about expanding universe at 1927, make Einstein hesitates to use a cosmology constant (Λ) on his gravitational field. It make a challenge for us to prove about experiment value and influence of cosmology constant on geodesic precession phenomenon in Schwarzschild de Sitter spacetime and show that Einstein's cosmological constant still can be used to approve about else problem in cosmological theory. According to analysis and experiment data, we obtained that the experiment value of cosmology constant on geodesic precession phenomenon is $\sim 10^{-27} \text{ cm}^{-2}$ and have been influenced by Sun's mass, object radii, and rotation velocity.

1. Pendahuluan

Sebelum Teori Relativitas Umum (TRU) diperkenalkan oleh Einstein pada tahun 1915, orang mengenal sedikitnya tiga hukum gerak yaitu Mekanika Newton, Relativitas Khusus, dan Gravitasi Newton. Mekanika Newton

sangat berhasil dalam menerangkan sifat gerak benda berkelajuan rendah. Namun gagal untuk benda yang kelajuannya mendekati laju cahaya. Kekurangan ini ditutupi oleh Einstein dengan mengemukakan Teori Relativitas Khusus (TRK) yang mengimplikasikan bahwa tidak ada benda atau sinyal yang dapat

bergerak lebih cepat daripada cahaya. Hukum yang ketiga adalah Gravitasi Newton yang berhasil menerangkan fenomena gerak benda langit yang dipengaruhi oleh interaksi gravitasi antar benda dengan ketelitian tinggi. Namun, tidak konsisten dengan TRK yang mengimplikasikan bahwa efek gravitasi pastilah merambat dengan kelajuan melebihi laju cahaya (Purwanto, 2009).

Sehingga Einstein berkali-kali mencoba merumuskan teori gravitasi yang konsisten dengan Teori Relativitas Khusus dan dihasilkan Teori Relativitas Umum (TRU) pada tahun 1915. Ia mengemukakan saran yang cukup revolusioner bahwa gravitasi bukanlah seperti gaya-gaya yang lain, namun gravitasi merupakan efek dari kelengkungan ruang-waktu karena adanya penyebaran massa dan energi di dalam ruang-waktu tersebut (Hidayat, 2010).

Ketika Hubble menunjukkan bahwa alam semesta memang mengembang, demikian pula bahwa dapat diperoleh suatu solusi non-statik dari persamaan medan Einstein tanpa suku konstanta kosmologi (oleh A. Friedmann), Einstein akhirnya menyatakan bahwa tidak perlu lagi memasukkan konstanta kosmologi ke dalam persamaan medannya.

Akan tetapi, beberapa kosmolog besar seperti Arthur S. Eddington dan G. Lemaitre di tahun 1930-an menunjukkan bahwa suku, yang merupakan konstanta kosmologi Einstein, dapat memberikan gambaran yang menarik pada kosmologi, atau saat ini, seringkali dipandang bahwa dengan mempertahankan suku, para kosmolog memiliki kemungkinan kosmologi yang lebih luas untuk dipilih dan diselidiki (Hidayat, 2010).

Pada waktu yang hampir bersamaan, yaitu pada tahun 1916, Schwarzschild menawarkan solusi eksak mengenai persamaan medan Einstein yang vakum ($\Lambda = 0$) dan statis (D'Inverno, 1996). Namun, telah diketahui bahwa alam semesta ini dipenuhi oleh materi massif yang berinteraksi dengan ruang-waktu dan semua fenomena itu dapat dijelaskan secara fisis oleh sebuah rancangan ruang-waktu *de-Sitter* dimana nilai konstanta kosmologi tidak lagi bernilai nol ($\Lambda = 0$) sehingga dengan menggabungkan solusi persamaan medan Schwarzschild pada ruang-waktu *de-Sitter*

dapat diketahui pengaruh dan nilai eksperimen konstanta kosmologi Einstein pada fenomena presesi geodesik.

Adapun tujuan dilakukan penelitian ini adalah untuk menegaskan bahwa konstanta kosmologi Einstein dapat digunakan sebagai salah satu parameter karakteristik dari suatu fenomena tertentu. Karena sesuai dengan yang telah dijelaskan oleh Will dalam bukunya berjudul *Theory and Experiment in Gravitational Physics* (Will, 1993) dan Valeria dalam jurnalnya berjudul *Solar System Effect in Schwarzschild de Sitter spacetime* (Valeria, 2014) menunjukkan bahwa masing-masing fenomena kosmologi yang telah teramati secara eksperimen memiliki nilai eksak yang berbeda. Pada jurnal ini selain menunjukkan angka eksperimen yang telah didapatkan secara eksperimen, juga menunjukkan parameter-parameter yang dipengaruhi oleh konstanta kosmologi tersebut.

2. Pemahasan

2.1. Schwarzschild de Sitter

1. Pada tahun 1916, solusi persamaan Schwarzschild masih merupakan solusi eksak pertama dan terpenting bagi persamaan medan vakum Einstein. Solusi Schwarzschild diperoleh dengan asumsi medan statik yang ditimbulkan oleh suatu distribusi massa simetri bola. Yang dimaksud dengan 'statik' adalah dalam sistem koordinat yang digunakan, matriknya secara eksplisit tidak bergantung waktu (Kagramanova, 2014). Akan tetapi, bagaimana jika ingin menghitung ruang-waktu yang berisi materi atau sebuah gelombang gravitasi yang dihasilkan oleh beberapa sistem bintang, kemudian akan diketahui bagaimana materi berinteraksi dengan ruang-waktu. Atau dengan kata lain solusi persamaan medan gravitasi dengan sumber.
2. Oleh karena itu dilakukanlah beberapa analisis terkait untuk memodifikasi persamaan medan Einstein yaitu mengasumsikan bahwa hanya daerah diluar medan bersifat statis. Ini akan menuntun kita untuk menggunakan

konstanta kosmologi pada unit relativistik dimana . Pada medan de Sitter yang relativistik ini, ditentukan bahwa (Valeria, 2014), sehingga didapatkan persamaan Schwarzschild de Sitter sebagai berikut:

$$ds^2 = \left(1 - \frac{2m}{r} - \frac{1}{3}\Lambda r^2\right) dt^2 - \left(1 - \frac{2m}{r} - \frac{1}{3}\Lambda r^2\right)^{-1} dr^2 - r^2 d\theta^2 - r^2 \sin^2\theta d\phi^2 \quad \dots(2-1)$$

Persamaan (2-1) merepresentasikan tentang ruang-waktu simetri bola yang memodifikasi persamaan medan gravitasi yang vakum dan memiliki pusat dimana ruang-waktu ini berbentuk melengkung. Karena diekpektasikan bahwa ruang-waktu vakum yang tanpa gangguan untuk memiliki kurvatur ruang-waktu simetri maksimal yang konstan yaitu , maka dapat disimpulkan bahwa persamaan (1) akan disebut solusi persamaan medan gravitasi Schwarzschild de Sitter jika , dan akan disebut sebagai solusi persamaan medan gravitasi Schwarzschild anti de-Sitter jika (Rindler, 2006).

3. Presesi Geodesik

Kelengkungan Geodesik (atau disebut pula *de-Sitter precession*) merupakan fenomena Teori Relativistik Umum (TRU). Persamaan matematisnya ditemukan pada awal 1916 oleh de-Sitter yang menemukan bahwa sebuah giroskop pada orbit bebas (dalam kasus ini 'geodesik') di sekitar benda masif akan berbelok/melengkung (McMahon, 2006).

Untuk menghitung kelengkungan geodesik dengan analisis Schwarzschild de-Sitter, maka diperkenalkan sebuah sistem koordinat yang berotasi dengan kecepatan angular . Koordinat sudut baru didefinisikan oleh:

$$d\phi = d\varphi - \omega dt \quad \dots(3-1)$$

dan diketahui pada bidang ekuator $\theta = \frac{\pi}{2}$ (relativistik, $c = 1$) , maka matrik Schwarzschild de-Sitter nya menjadi (Valenkin, 1994):

$$ds^2 = (\alpha - r^2\omega^2) \left(dt - \frac{r^2\omega}{\alpha - r^2\omega^2} d\phi\right)^2 - \alpha^{-1} dr^2 - \frac{r^2\alpha}{\alpha - r^2\omega^2} d\phi^2 \quad \dots(3-2)$$

sehingga dalam bentuk kanonikal, metriknya menjadi:

$$ds^2 = e^{2\psi} (dt - \omega_i dx^i)^2 - h_{ij} dx^i dx^j \quad \dots(3-3)$$

dengan :

$$e^{2\psi} = \alpha - r^2\omega^2 \quad \dots(3-4)$$

$$\omega_1 = \omega_2 = 0 \quad \dots(3-5)$$

$$\omega_3 = \frac{r^2\omega}{\alpha - r^2\omega^2} \quad \dots(3-6)$$

$$h_{11} = \alpha^{-1} \quad \dots(3-7)$$

$$h_{33} = \frac{r^2\alpha}{\alpha - r^2\omega^2} \quad \dots(3-8)$$

Karena ψ dihubungkan dengan percepatan, maka garis $r = r_0$ merupakan geodesik. Adapun hubungan antara kecepatan linier dan frekuensi hasil modifikasi Kepler antara lain sebagai berikut:

$$\omega^2 r^3 = M \quad \dots\dots(3-9)$$

Persamaan (3-9) di atas merupakan hasil modifikasi penurunan rumus Newton-Kepler pada alam semesta natural (bebas) dimana objek pengamatan berada jauh dari sumber gravitasi (pusat galaksi). Sementara itu, pada alam semesta de-Sitter, terdapat tarikan gravitasi yang sangat besar akibat adanya sumber gravitasi (pusat galaksi) di sekitar objek pengamatan sehingga mengurangi kecepatan rotasi angular objek terhadap pusat gravitasi sehingga didapatkan (D'Inverno, 1998):

$$\omega \approx \sqrt{\frac{M}{r^3} - \frac{\Lambda}{3}} \quad \dots(3-10)$$

sehingga berimplikasi pada persamaan (3-4) hingga (3-8) menjadi:

$$e^{2\psi} = 1 - \frac{3M}{r} \quad \dots(3-11)$$

$$\omega_1 = \omega_2 = 0 \quad \dots(3-12)$$

$$\omega_3 = \frac{r^2\omega}{1 - \frac{3M}{r}} \quad \dots(3-13)$$

$$h_{11} = \left(1 - \frac{2M}{r} - \frac{1}{3}\Lambda r^2\right)^{-1} \quad \dots(3-14)$$

$$h_{33} = \frac{r^2 \alpha}{1 - \frac{3M}{r}} \quad \dots(3-15)$$

Telah diketahui bahwa kecepatan rotasi dari sebuah posisi konstan pada sistem koordinat diberikan (Islam, 1983):

$$\Omega^2 = \frac{e^{2\psi}}{8} h^{ik} h^{jl} (\omega_{i,j} - \omega_{j,i})(\omega_{k,l} - \omega_{l,k}) \quad \dots(3-16)$$

dan titik pada arah negatif relatif terhadap orbit, ditentukan:

$$\Omega = \omega \cong \Omega_0 \sqrt{1 - \frac{\Lambda r^3}{3M}} \quad \dots(3-17)$$

dimana telah diketahui sebelumnya bahwa misi GP-B telah mengukur kelengkungan geodesik ini sebesar $\Omega_0 = 6.600 \text{ mas/y}$ dengan sebuah akurasi perkiraan sebesar $0,1 \text{ mas/y}$ (Will, 1993).

Jika nilai prediksi dari Teori Einstein terbukti dan tidak ada bagian tambahan yang terlihat, maka akan didapatkan nilai konstanta kosmologinya sebesar (Will, 1993):

$$\Lambda \approx 3 \left(\frac{M}{r^3} - \Omega_0^2 \right) \quad \dots(3-18)$$

$$|\Lambda| \leq 10^{-27} \text{ m}^{-2} \quad \dots(3-19)$$

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa solusi persamaan medan Schwarzschild de Sitter didapatkan bahwa konstanta kosmologi pada presesi geodesik memiliki nilai eksperimen sebesar . Nilai tersebut dipengaruhi oleh kecepatan rotasi objek pada pusat gravitasi dimana juga dipengaruhi oleh massa Matahari sebagai pusat gravitasi dan jarak objek terhadap Matahari. Semakin dekat jarak objek terhadap Matahari, maka pengaruh konstanta kosmologi terhadap kelengkungan geodesik juga akan semakin besar.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Prof. Freddy P. Zen, M.Sc, D.Sc selaku promotor dan AgusSuroso, D.Scs selaku co-Promotor serta DITJEN DIKTI atas bantuan beasiswa Program Pendidikan Magister Menuju Doktor untuk Sarjana Unggulan (PMDSU) Fisika ITB

Tahun Angkatan 2015 sehingga penelitian ini dapat diperbaiki dan dikembangkan lebih baik lagi.

Rujukan

- D'Inverno, Ray. (1998). *Introducing Einstein's Relativity*. Clarendon (Oxford) Press.
- Hidayat, Taufiq. (2010). *Teori Relativitas Einstein*. Penerbit ITB (Bandung).
- Islam, J.N. (1983). *The Cosmological Constant and Classical Test of General Relativity*. Phys. Lett., A 97:239.
- Kagramanova, Valeria. (2014). *Solar System Effect in Schwarzschild de Sitter spacetime*. arXiv:gr-qc/0602002v2:18 Mar 2006.
- McMahon, David. (2006). *Relativity Demystified*. McGraw-Hill (London).
- Purwanto, Agus. (2009). *Pengantar Kosmologi*. ITS (Surabaya) Press.
- Rindler, Wolfgang. (2006). *Relativity, Second Edition*. Oxford University (New York) Press
- Valenkin, A. Shellard, E.P.S. (1994). *Cosmic String and other Topological Defects*. Cambridge University Press.
- Will, Clifford M. (1993). *Theory and Experiment in Gravitational Physics, Revised Edition*. Cambridge University Press.