DOI: doi.org/10.21009/0305020505

KOMPAKTIFIKASI $dS_4 \times S^2$ MENGGUNAKAN LAGRANGIAN MEDAN SKALAR DENGAN SUKU KINETIK *POWER LAW*

Fima Ardianto Putra
Departemen Fisika FMIPA UI, Kampus UI Depok, 16424

[1]ardiantoputraf@yahoo.com

Abstrak

Kompaktifikasi dimensi ekstra 5-D dengan suku kinetik Hukum Pangkat (*Power Law*) $X + \frac{1}{\beta^2}X^2$ telah berhasil menggulung satu dimensi ekstra, serta memperoleh informasi radius dan kestabilannya. Namun dari kajian tersebut didapatkan kompaktifikasi *Anti-de Sitter* (A*dS*) pada empat dimensi. Hal itu menunjukkan bahwa Lagrangian yang dipilih belum sesuai dengan Lagrangian alam semesta tempat kita berada.

Kata Kunci: Kompaktifikasi, Hukum Pangkat, dan *Anti-de Sitter* (A*dS*)

Abstract

Compactification of 5-D extradimension using Power Law $X + \frac{1}{\beta^2}X^2$ has been successfull in compactifying one extradimension, and obtainning it's radius and stability information. Nevertheless, from this study, we obtained Anti-de Sitter (A*dS*) in four dimensional viewpoint. This confirms that the Lagrangian model which are choosen has not yet been compatible with respect to the Lagrangian of our space where we are.

Kata Kunci: Campactification, Power Law, dan Anti-de Sitter (A*dS*)

1. Pendahuluan

Teori Dawai merupakan teori yang sejauh ini dipandang memungkinkan dalam upaya penyatuan antara Model Standar dan gravitasi. Namun sebagaimana yang sudah dipahami bahwa Teori Dawai bisa bekerja secara konsisten dalam tinjauan dimensi sepuluh. Sepuluh dimensi ini terdiri dari ruang empat dimensi tempat kita tinggal dan ruang enam dimensi tambahan yang tersembunyi[1,2]. Dimensi tambahan inilah yang dikenal dengan sebutan Dimensi Ekstra [3]. Berbeda dengan dimensi empat yang tidak terbatas dan bisa dideteksi keberadaannya, dimensi ekstra tidak bisa dideteksi keberadaanya dalam kehidupan sehari-hari, karena dimensi ini dipostulatkan tersembunyi dengan cara terkompak melingkar membentuk struktur tertutup dan berukuran terbatas (sangat kecil) [4,5]. Dengan demikian diperlukan suatu prosedur yang mengaitkan antara dimensi ekstra dan dimensi empat di mana kita tinggal. Prosedur ini disebut dengan kompaktifikasi dawai yang memungkinkan kita bisa menggambarkan keadaan dimensi ekstra yang tersembunyi melalui sudut pandang dimensi empat, yang meliputi bagaimana radius dan kestabilan dimensiekstra[3].

Penelitian ini merupakan kelanjutan dari penelitian sebelumnya mengenai kompaktifikasi dimensi ekstra model sederhana (*toy model*) 5D menggunakan medan skalar *Dirac Born Infeld* (*DBI*)[6]. Dalam penelitian ini dilakukan pergantian suku kinetik dalam Lagrangian menggunakan Hukum Pangkat (*power-law*). Dari penelitian sebelumnya, model yang diajukan untuk menjelaskan mekanisme kompaktifikasi berhasil dalam menggulung satu dimensi ekstra, serta memperoleh informasi radius dan kestabilannya. Namun dari kajian tersebut tidak didapatkan kompaktifikasi *vacua* de Sitter (*dS*) pada empat dimensi sehingga tidak sesuai dengan keadaan alam semesta kita. Hal itu menunjukkan bahwa Lagrangian yang dipilih belum sesuai dengan Lagrangian alam semesta[6]. Melalui pergantian suku kinetik dalam model *DBI* $\beta^2\left(\sqrt{1+\frac{2}{\beta^2}X}-1\right)$ menjadi $X + \frac{1}{\beta^2}X^2$, kita akan mencari tahu apakah model ini bisa menghasilkan konstanta kosmologi yang bersifat de Sitter (*dS*) jika dibawa ke dimensi empat sedemikian sehingga sesuai dengan alam semesta tempat kita berada ataukah tidak.

2. Fluks *Vacua* Pada Lima Dimensi

Persamaan aksi pada lima dimensi dengan Lagrangian *Power Law* dinyatakan sebagai berikut:

$$S=\int d^5\tilde{x}\sqrt{-\tilde{g}}\left(\frac{\tilde{M}^3}{2}\tilde{R}-\left(X+\frac{1}{\beta^2}X^2\right)+\frac{\lambda}{4}(\Phi\bar{\Phi}-\eta^2)^2-\tilde{\Lambda}\right) \quad . \tag{1}$$

dengan $X\equiv\frac{1}{2}\partial_A\Phi\partial^A\bar{\Phi}$. Dalam penelitian ini, kita mengambil kasus fluks *vacua* dengan asumsi bahwa potensial medan skalar $V=\frac{\lambda}{4}(\Phi\bar{\Phi}-\eta^2)^2$ berada pada keadaan dasar (*ground state*). Hal ini menunjukkan bahwa potensial medan skalar diminimumkan yang disebut dengan *effectively frozen* pada $|\Phi|^2=\eta^2$. Selanjutnya, Φ dan $\bar{\Phi}$ adalah fungsi dari θ yang mana $\theta(x^M)=nx_5$ adalah fungsi ansatz yang dipilih untuk bagian suku kinetiknya. Fase θ menggambarkan berapa kali fluks medan skalar menggulung dimensi ekstra, jadi n adalah bilangan bulat. Dengan demikian, aksi dalam Persamaan (1) dinyatakan sebagai berikut:

$$S=\int d^5\tilde{x}\sqrt{-\tilde{g}}\left(\frac{\tilde{M}^3}{2}\tilde{R}-\left(\frac{\eta^2}{2}\partial_A\theta\partial^A\theta+\frac{\eta^2}{\beta^2}\left(\frac{1}{2}\partial_A\theta\partial^A\theta\right)^2\right)-\tilde{\Lambda}\right). \tag{2}$$

.

Suku pertama dan ke-dua dalam Persamaan (2) masing-masing dimasukkan ke dalam Persamaan Euler-Lagrange sedemikian sehingga menghasilkan Persamaan Medan Einstein dimensi lima dan persamaan dinamika medan skalarnya, yaitu $\tilde{G}_{AB}=\frac{T_{AB}}{\tilde{M}^3}$ dan $\partial_M\left[\sqrt{-\tilde{g}}\left(1+\frac{\eta^2}{\beta^2}(\partial_A\theta\partial^A\theta)\right)\eta^2\partial_M\theta\right]$

$=0$. Persamaan di atas dipenuhi oleh fungsi Ansatz $\theta(x^M)=nx_5$.

2. Tensor Energi-Momentum

Tensor energi-momentum terkait dengan penentuan radius dimensi ekstra. Di sini akan dibahas terlebih dahulu tensor energi-momentum yang sesuai dengan kondisi Lagrangian *Power Law* sebelumnya sedemikian sehingga diperoleh

$$T_{MN}=\frac{\eta^2}{2}(-\tilde{g}_{MN}\partial_A\theta\partial^A\theta+\ 2\partial_M\theta\partial_N\theta)+\frac{\eta^4}{2\beta^2}\left(-\tilde{g}_{MN}\frac{1}{2}(\partial_A\theta\partial^A\theta)^2+2(\partial_A\theta\partial^A\theta)\partial_M\theta\partial_N\theta\right)-\tilde{g}_{MN}\tilde{\Lambda}\ . \tag{3}$$

Berdasarkan tensor metrik $ds^2=\tilde{g}_{MN}dx^Mdx^N=\tilde{g}_{\mu\nu}dx^\mu dx^\nu+\tilde{g}_{55}(x^\mu)dx_5^2$ dengan asumsi bahwa $\tilde{g}_{55}(x^\mu)=L^2=$ konstan, akan didapatkan solusi T_{MN} yang menunjukkan bahwa dimensi ekstra akan terkompak menurut syarat batas 0<x_5<$2\pi L$[2]. Di sini juga digunakan fungsi ansatz $\theta(x^M)=nx_5$ sehingga tensor metrik lima dimensinya menjadi $\partial_M\theta\partial^M\theta=\partial_\mu\theta\partial^\nu\theta+\partial_5\theta\partial^5\theta=\frac{n^2}{L^2}$. Akibat beberapa ketentuan ini, tensor energi-momentum T_{MN} dalam Persamaan (3) terbagi menjadi tensor energi-momentum untuk dimensi empat dan dimensi ekstranya yang masing-masing dinyatakan oleh

$$T_{\mu\nu}=-\frac{\eta^2}{2}\left(\tilde{g}_{\mu\nu}\frac{n^2}{L^2}\right)-\frac{\eta^4}{2\beta^2}\left(\tilde{g}_{\mu\nu}\frac{1}{2}\frac{n^4}{L^4}\right)-\tilde{g}_{\mu\nu}\tilde{\Lambda} \tag{4}$$

dan

$$T_{55}=\frac{\eta^2}{2}\left(-\tilde{g}_{55}\frac{n^2}{L^2}+2n^2\right)+\ \frac{\eta^4}{2\beta^2}\left(-\tilde{g}_{55}\frac{1}{2}\frac{n^4}{L^4}+2\frac{n^4}{L^2}\right)-\tilde{g}_{55}\tilde{\Lambda}\ . \tag{5}$$

Kedua persamaan di atas selanjutnya dapat dinyatakan dalam Persamaan Medan Einstein $\tilde{G}_{AB}=\frac{T_{AB}}{\tilde{M}^3}$, sehingga akan terlihat hubungan antara radius dimensi ekstra dan Tensor Ricci. Untuk skalar Ricci-nya dinyatakan dengan $R=12H^2$, yang mana nilai H^2 bisa positif atau negatif tergantung apakah tinjauan kita berupa *de Sitter* (*dS*) atau *Anti-de Sitter* (*AdS*)[7]. Melalui asumsi tersebut, didapatkan hubungan $\tilde{G}_{\mu\nu}=-3H^2\tilde{g}_{\mu\nu}$ dan $\tilde{G}_{55}=-6H^2\tilde{g}_{55}$. Akibatnya, Persamaan (4) dan (5) menjadi

$$-3H^2=\frac{1}{\tilde{M}^3}\left[-\frac{\eta^2n^2}{2L^2}-\frac{\eta^4n^4}{4\beta^2L^4}-\tilde{\Lambda}\right] \tag{6}$$

dan

$$-6H^2=\frac{1}{\tilde{M}^3}\left[-\frac{\eta^2n^2}{2L^2}+\frac{\eta^2n^2}{\tilde{g}_{55}}-\frac{\eta^4n^4}{4\beta^2L^4}+\frac{\eta^4n^4}{\beta^2L^2\tilde{g}_{55}}-\tilde{\Lambda}\right]. \tag{7}$$

Dari kedua persamaan di atas, kita bisa memperoleh hubungan antara konstanta Hubble dan radius dimensi ekstra, yaitu

$$3H^2=\frac{1}{\tilde{g}_{55}\tilde{M}^3}\left[\eta^2n^2+\frac{\eta^4n^4}{\beta^2L^2}\right]. \tag{8}$$

Persamaan ini secara tidak langsung akan berganutng pada nilai $\tilde{\Lambda}$ yang bisa menunjukkan apakah tinjauan kita berupa *de Sitter* (*dS*) atau *Anti-de Sitter* (*AdS*) pada dimensi empat.

4. Penentuan Radius

Untuk menentukan radius dalam sudut pandang lima dimensi , kita akan menggabungkan Persamaan (6) dan (7) sedemikian sehingga akan diperoleh polinomial pangkat empat, yaitu $-\tilde{\Lambda}L^4 - \frac{3}{2}\eta^2 n^2 L^2 - \frac{5}{4}\frac{\eta^4 n^4}{\beta^2} = 0$. Berarti solusi dari Persamaan (3.18) di atas adalah

$$L_1^2 = \frac{\frac{3}{2}\eta^2 n^2 + \sqrt{\frac{9}{4}\eta^4 n^4 - 5\tilde{\Lambda}\frac{\eta^4 n^4}{\beta^2}}}{-2\tilde{\Lambda}} \qquad (9)$$

dan

$$L_2^2 = \frac{\frac{3}{2}\eta^2 n^2 - \sqrt{\frac{9}{4}\eta^4 n^4 - 5\tilde{\Lambda}\frac{\eta^4 n^4}{\beta^2}}}{-2\tilde{\Lambda}}. \qquad (10)$$

Kedua solusi di atas harus bernilai positif untuk menghindari adanya bilangan imajiner ketika diambil bentuk akar kuadrat dari besaran radius. Untuk L_1^2 akan bernilai positif hanya jika $\tilde{\Lambda}$ bernilai negatif dengan syarat batas $\tilde{\Lambda} < 0$. Berarti nilai L_1^2 akan diperoleh dengan syarat konstanta kosmologi yang bersifat *Anti-de Sitter*.

Kemudian untuk L_2^2 akan bernilai imajiner baik untuk kondisi $\tilde{\Lambda}$ yang bernilai positif maupun $\tilde{\Lambda}$ yang bernilai negatif.

Jadi, model yang kita gunakan pada lima dimensi menghasilkan konstanta kosmologi *Anti-de Sitter*. Namun kita belum bisa menentukan bahwa radius yang ditentukan dari Tensor Einstein adalah radius dimensi ekstra yang sedang kita cari. Untuk bisa menentukan hal itu, kita akan masuk pada tinjauan dimensi empat terlebih dahulu.

5. Sudut Pandang Empat Dimensi

Sudut pandang empat dimensi merupakan sudut pandang di mana kita tinggal dan bisa melakukan observasi dan pengukuran terkait fenomena fisika. Serangkaian kajian yang sudah kita jabarkan sebelumnya merupakan kajian yang berada pada dimensi yang lebih tinggi, yaitu dimensi lima. Pada dimensi ini kita sulit melakukan penilaian mengenai kestabilan dimensi ekstra yang sedang kita tinjau. Untuk itu, pada bagian ini akan dilakukan reduksi dimensional agar tinjauan kita berada pada dimensi empat. Hal ini akan dilakukan menggunakan metode yang disebut dengan transformasi konformal.

Transformasi konformal dinyatakan sebagai $\tilde{g}^{\mu\nu} = Ag^{\mu\nu}$ dan $\tilde{g}^{55} = A^{-2}L^{-2}$, dengan $A = e^{\sqrt{\frac{2}{3}}\frac{\psi}{M_P}}$. Sehingga, metrik tensornya dapat dituliskan menjadi $ds^2 = \tilde{g}_{MN}dx^M dx^N = e^{-\sqrt{\frac{2}{3}}\frac{\psi}{M_P}} g_{\mu\nu}dx^\mu dx^\nu + e^{2\sqrt{\frac{2}{3}}\frac{\psi}{M_P}} L^2 dx_5^2$ [6]. Kita akan gunakan metrik tensor tersebut untuk menghasilkan Lagrangian kanonik yang mengandung Skalar Ricci dan medan skalar radion. Untuk Skalar Ricci Lima Dimensi mengandung penjumlahan $\tilde{R}_{\mu\nu}$ dan $\tilde{R}_{55}$, yaitu $\tilde{R} = \tilde{g}^{MN}\tilde{R}_{MN} = \tilde{g}^{\mu\nu}\tilde{R}_{\mu\nu} + \tilde{g}^{55}\tilde{R}_{55}$[6]. Dengan demikian, hasil akhir dari penjumlahan $\tilde{R}^{(4)}$ dan $\tilde{g}^{55}\tilde{R}_{55}$ adalah Skalar Ricci 5-D, yaitu

$$\tilde{R} = \tilde{g}^{\mu\nu}R_{\mu\nu} - \frac{\tilde{g}^{\mu\nu}}{M_P{}^2}\partial_\mu\psi\partial_\nu\psi + \frac{\sqrt{\frac{2}{3}}A}{M_P}\left(g^{\alpha\lambda}\partial_\alpha\psi\partial_\lambda\psi + g^{\alpha\lambda}_{,\alpha}\partial_\lambda\psi + \frac{g^{\alpha\lambda}}{2}g^{\mu\nu}g_{\mu\nu,\alpha}\partial_\lambda\psi\right). \qquad (11)$$

Untuk medan skalar radion akan dibahas dalam bagian berikutnya, karena medan ini terkait dengan penentuan potensial efektif.

6. Potensial Efektif Empat Dimensi

Kestabilan dimensi ekstra bisa diketahui menggunakan potensial efektif empat dimensi. Langkah ini akan dilakukan melalui transformasi konformal, sedemikian sehingga akan terjadi reduksi dimensional dari aksi lima dimensi ke dalam aksi empat dimensi. Dari sini selanjutnya bisa diperoleh potensial efektif empat dimensi. Untuk menentukan potensial empat dimensi, kita mulai dari aksi pada Persamaan (2) yang dituliskan kembali menjadi dua suku seperti di bawah ini:

$$S = \int d^5\tilde{x}\sqrt{-\tilde{g}}\,\frac{\tilde{M}^3}{2}\tilde{R} - \int K d^5\tilde{x} \qquad (12)$$

dengan $\tilde{R}$ seperti yang dinyatakan dalam Persamaan (11) dan K menunjukkan suku yang tidak memiliki kaitan dengan tensor Ricci, yang dinyatakan sebagai berikut:

$$K = \sqrt{-\tilde{g}}\left(\frac{\eta^2}{2}\partial_A\theta\partial^A\theta + \frac{\eta^2}{\beta^2}\left(\frac{1}{2}\partial_A\theta\partial^A\theta\right)^2\right) + \sqrt{-\tilde{g}}\,\tilde{\Lambda}. \qquad (13)$$

Suku ini akan digunakan untuk menentukan potensial efektif empat dimensi. Namun sebelumnya akan kita lakukan reduksi $\sqrt{-\tilde{g}}$ terlebih dahulu melalui prosedur di bawah ini:

$$\sqrt{-\tilde{g}} = \sqrt{-det(\tilde{g}_{00}\tilde{g}_{11}\tilde{g}_{22}\tilde{g}_{33}\tilde{g}_{55})} \qquad (14)$$

$$= \sqrt{-det(A^{-4}\tilde{g}_{00}\tilde{g}_{11}\tilde{g}_{22}\tilde{g}_{33}(AL)^2)}$$

$$= A^{-1}L\sqrt{-g}\,.$$

Akibat reduksi ini, suku pertama dalam Persamaan (12) menjadi

$$\int d^5\tilde{x}\sqrt{-\tilde{g}}\ \frac{\tilde{M}^3}{2}\tilde{R} = \int d^4x\int_0^{2\pi} dx^5\ L\sqrt{-g}\ \frac{\tilde{M}^3}{2} \tag{15}$$

$$\left(g^{\mu\nu}R_{\mu\nu} - \frac{g^{\mu\nu}}{M_P{}^2}\partial_\mu\psi\partial_\nu\psi\right)$$

$$= \int d^4x\sqrt{-\tilde{g}}\ \left(\frac{M_P{}^2}{2}R - \frac{1}{2}\partial_\mu\psi\partial^\mu\psi\right).$$

Suku ini menunjukkan aksi dengan Lagrangian yang disumbangkan oleh medan gravitasi dan medan non-gravitasi, yang dalam hal ini adalah sembarang medan skalar[8,9].

Selanjutnya untuk suku ke-dua, kita gunakan transformasi konformal dengan tensor metrik $ds^2 = \tilde{g}_{MN}dx^M dx^N = e^{-\sqrt{\frac{2}{3}\frac{\psi}{M_P}}}g_{\mu\nu}dx^\mu dx^\nu + e^{2\sqrt{\frac{2}{3}\frac{\psi}{M_P}}}L^2 dx_5^2$, maka didapatkan

$$\partial_M\theta\partial^M\theta = \tilde{g}^{\mu\nu}\partial_\mu\theta\partial_\nu\theta + \tilde{g}^{55}(\partial_5\theta)^2 \tag{16}$$

$$= A^{-2}L^{-2}n^2\ .$$

Persamaan (16) akan dimasukkan ke dalam Persamaan (13) kemudian diintegralkan terhadap dimensi ekstra dengan batas integrasinya merupakan batas dimensi ekstra itu sendiri yaitu:

$$\int K d^5\tilde{x} = \int d^4x\int_0^{2\pi} dx^5\ A^{-1}L\sqrt{-g} \tag{17}$$

$$\left[\left(\frac{\eta^2}{2}\frac{n^2}{A^2L^2} + \frac{\eta^4}{4\beta^2}\frac{n^4}{A^4L^4}\right) + \tilde{\Lambda}\right]$$

$$= \int d^4x\sqrt{-g}\ V(\psi,n)\ .$$

Dengan demikian, potensial efektifnya adalah

$$V(\psi,n) = 2\pi L e^{-\sqrt{\frac{2}{3}\frac{\psi}{M_P}}}\left[\frac{\eta^2}{2}\frac{n^2}{L^2}e^{-2\sqrt{\frac{2}{3}\frac{\psi}{M_P}}} + \frac{\eta^4}{4\beta^2}\frac{n^4}{L^4}e^{-4\sqrt{\frac{2}{3}\frac{\psi}{M_P}}} + \tilde{\Lambda}\right]. \tag{18}$$

Selanjutnya, untuk mengetahui kestabilan penggulungan dimensi ekstra pada potensial empat dimensi dapat dilakukan dengan cara mengambil turunan pertama potensial terhadap medan skalar sebagai berikut:

$$\left[\frac{dV}{d\psi}\right]_{\psi=0} = 0 \tag{19}$$

Jika turunan ini menghasilkan radius yang sama dengan Persamaan (9) dan (10), maka hal ini mengkonfirmasi bahwa radius yang kita dapat dari Tensor Einstein merupakan radius yang kita cari, namun tetap dengan ketentuan bahwa untuk L_1^2 akan bernilai positif hanya jika $\tilde{\Lambda}$ bernilai negatif dengan syarat batas $\tilde{\Lambda} < 0$. Kemudian untuk L_2^2 akan bernilai imajiner baik untuk kondisi $\tilde{\Lambda}$ yang bernilai positif maupun $\tilde{\Lambda}$ yang bernilai negatif.

Setelah Persamaan (18) diturunkan menurut ketentuan dalam Persamaan (19), ternyata memang diperoleh radius yang sama dengan Persamaan (9) dan (10). Hal ini menunjukkan bahwa dalam sudut pandang dimensi empat, dimensi ekstranya akan terkompaktifikasi dengan radius tersebut.

Potensial dalam Persamaan (19) terdiri dari dua suku, yaitu suku yang mengandung Medan Skalar *Power Law* dan suku yang mengandung konstanta kosmologi. Suku yang mengandung medan skalar *Power Law* memberikan efek dorongan pada dimensi ekstra sehingga dimensi ini cenderung untuk membesar menuju takberhingga. Hal ini disebabkan oleh medan Higgs yang terdapat di dalam medan tersebut. Fluks medan Higgs ini berfungsi menggulung dimensi ekstra. Semakin kuat fluksnya, maka semakin kuat pula efek dorongan yang dihasilkannya. Sementara itu, suku yang mengandung konstanta kosmologis memberikan efek tarikan pada dimensi ekstra sehingga dimensi ini cenderung untuk menyusut menuju ukuran nol. Hal ini disebabkan oleh sifat *Anti-de Sitter* yang berlaku pada potensial di atas. Suku ini disebut sebagai potensial penghalang yang bekerja melawan efek dorongan dari medan Higgs. Jadi bentuk potensial di atas merupakan kombinasi dari efek dorongan dan tarikan yang akan memberikan kestabilan pada dimensi ekstra dengan ketentuan yang bergantung dari parameter-parameter di dalamnya.

Semakin kecil nilai n, maka titik minimum pada potensial efektif akan semakin naik. Jadi semakin kecil nilai n kompaktifikasi semakin menuju ketidakstabilan, sehingga jika ada sedikit gangguan yang diberikan, maka kompaktifikasi akan “terbuka”. Namun kompaktifikasi tetap saja tidak bisa terbuka menuju takterhingga karena adanya potensial penghalang. Sebaliknya, semakin besar nilai n, maka titik minimum akan semakin turun yang menunjukkan bahwa kompaktifikasi menggunakan medan *Power Law* akan semakin stabil.

Selanjutnya, semakin kecil nilai β, maka titik minimum grafik potensial efektif akan semakin naik, sebaliknya semakin besar nilai β, maka titik minimum akan semakin turun yang menunjukkan bahwa kompaktifikasi semakin stabil.

Jadi nilai n dan β sangat menentukan kestabilan dimensi ekstra dengan radius L yang sedang kita tinjau.

7. Simpulan

Model Lagrangian dengan suku kinetik *Power Law* berhasil dalam menggulung dimensi ekstra dengan syarat konstanta kosmologis yang bersifat *Anti-de Sitter*. Berarti model Lagrangian yang kita gunakan di sini belum sesuai dengan Lagrangian alam semesta yang mengharuskan konstanta konmologis *de Sitter*.

Daftar Acuan

[1] J. Polchinsky. (2005). *String Theory Vol 1*. Cambridge University Press, United Kingdom.
[2] Wray, Kevin. (2011). *An Introduction to String Theory*.
[3] M. Grana. (2010). *String Theory Compactification*. Institut de Physique Theorique, France.
[4] B. Zwiebach. (2004). *A First Course in String Theory*. Cambridge University Press, United Kingdom.
[5] J. J. Blanco-Pillado, D. Schwartz-Perlov, A. Vilenkin. (2009). *Quantum Tunneling in Flux Compactifications*. JCAP 0912 (2009) 006.
[6] B. A. Cahyo. (2014). *Kompaktifikasi Dimensi Ekstra menggunakan Teori Einstein-Higgs Non-Linier*. Universitas Indonesia, Depok, Indonesia.
[7] J. Podolsky, J. B. Griffith. (2009). *Exact Space-Times in Einstein's General Relativity*. Cambridge University Press.
[8] M. P. Hobson, G. P. Efstathiou, A. N. Lasenby. (2006). *General Relativity: An Introduction for Physicist*. Cambridge University Press, United Kingdom.
[9] Hidayat, Taufik. (2010). *Teori Relativitas Einstein: Sebuah Pengantar*. Penerbit ITB. Bandung. Indonesia