

**PERUMUSAN EKSPANSI ALAM SEMESTA DENGAN  
PERCEPATAN MELURUH DALAM METRIK  
*FRIEDMANN-LEMAITRE- ROBERTSON-WALKER*  
( FLRW )**

**SKRIPSI**

Untuk memenuhi sebagian persyaratan  
Mencapai derajat Sarjana S-1

Program Studi Fisika



Diajukan Oleh :

Huda Nasrulloh  
13620017

kepada

**PROGRAM STUDI FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA**

**2017**



PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-1492/Un.02/DST/PP.00.9/08/2017

Tugas Akhir dengan judul : Perumusan Ekspansi Alam Semesta dengan Percepatan Meluruh dalam Metrik Friedmann- Lemaitre - Robertson -Walker (FLRW)

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : HUDA NASRULLOH  
Nomor Induk Mahasiswa : 13620017  
Telah diujikan pada : Rabu, 09 Agustus 2017  
Nilai ujian Tugas Akhir : A/B

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

TIM UJIAN TUGAS AKHIR

Ketua Sidang

Joko Purwanto, S.Si., M.Sc.  
NIP. 19820306 200912 1 002

Penguji I

Norma Sidik Risdianto, S.Pd., M.Sc.  
NIP. 19870630 201503 1 003

Penguji II

Asih Melati, S.Si., M.Sc  
NIP. 19841110 201101 2 017

Yogyakarta, 09 Agustus 2017  
UIN Sunan Kalijaga  
Fakultas Sains dan Teknologi  
DEKAN



Dr. Murtono, M.Si  
NIP. 19691212 200003 1 001



## SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Pengajuan Munaqosyah

Lamp : -

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

*Assalamu'alaikum wr. wb.*

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Huda Nasrulloh

NIM : 13620017

Judul Skripsi : Perumusan Ekspansi Alam Semesta dengan Percepatan Meluruh dalam Metrik *Friedmann-Lemaitre-Robertson-Walker* (FLRW)

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam Program Studi Fisika.

Dengan ini kami berharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqsyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

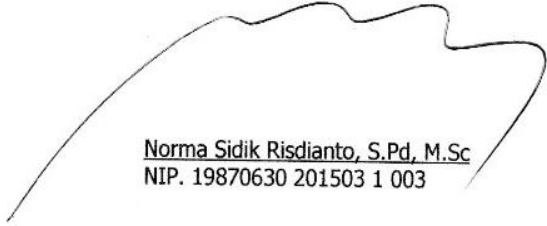
*Wassalamu'alaikum wr. wb.*

Yogyakarta, 27 Juli 2017

Pembimbing I

Pembimbing II

  
Joko Purwanto, M.Sc.  
NIP. 19820306 200912 1 002

  
Norma Sidik Risdianto, S.Pd, M.Sc  
NIP. 19870630 201503 1 003

**SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI**

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian – bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan ilmiah. saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi – sanksi lainnya sesuai dengan peraturan yang berlaku, apabila dikemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Yogyakarta, 4 Agustus 2017

Yang menyatakan



Huda Nasrulloh

13620017

STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA

Karya sederhana ini sebagai bentuk persembahan  
rasa syukur atas karunia kehidupan ini.

Karunia keluarga tercinta Bapak, Mamak dan Tatae,  
serta Mbak Ibah, Mas Umam dan Mbak Atik.



**MOTTO**

**“Di atas setiap yang berilmu, masih ada yang lebih berilmu”**  
( QS. Yusuf : 76 )

*Anglaras ilining banyu, angeli ananging ora keli*  
(Serat Lokajaya, lor 11.629)

knowledge exist potentially in the human soul like seed in the soil  
by learning potential become actual  
( **Imam Ghazali** )

STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA

**Rasa syukur tidak terpendam pada rasa menerima dan pasrah, rasa syukur  
seharusnya diwujudkan dalam bentuk perjuangan berupa hidup untuk selalu  
menjadi lebih baik**  
(-NASH-)

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur kehadiran Allah SWT karena berkat rahmat dan karunia-Nya, tugas akhir dengan judul “Perumusan Ekspansi Alam Semesta dengan Percepatan Meluruh dalam Metrik *Friedmann-Lemaitre-Robertson-Walker* (FLRW)” dapat penulis selesaikan.

Penulis secara khusus mempersembahkan karya sederhana ini sebagai bentuk rasa syukur terdalam, atas tanggung jawab penulis dengan segala “kesempatan” yang diberikan berupa amanat kehidupan ini. Amanat sebagai seorang anak, sebagai *tholib*, sebagai manusia, maupun sebagai hamba. Karena melalui jalan ini, setidaknya penulis mulai menyadari akan makna tersirat dari pedoman hidup umat islam, bahwa “.. *di atas setiap yang berilmu, masih ada yang lebih berilmu*” (QS.Yusuf : 76).

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tugas akhir ini, tidak terlepas dari bimbingan, dorongan, serta bantuan dari semua pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua tercinta Bapak dan Mamak, serta Tatae dan segenap keluarga tercinta. Atas cucuran do’a, semangat dan kepercayaan yang terus mengalir.
2. Bapak Dr. Murtono M.Si., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri ( UIN ) Sunan Kalijaga Yogyakarta.

3. Bapak Dr. Thaqibul Fikri Niyartama, M.Si., selaku Kaprodi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri ( UIN ) Sunan Kalijaga Yogyakarta.
4. Bapak Joko Purwanto, M.Sc., selaku dosen pembimbing I atas segala ilmu, saran dan masukan terkait penulisan tugas akhir ini.
5. Bapak Norma Sidik Risdianto, S.Pd., M.Sc., selaku dosen pembimbing II atas ide dan gagasan bagi penulis, terkhusus dalam penyusunan tugas akhir ini.
6. Ibu Asih Melati, M.Sc selaku dosen penguji tugas akhir ini atas semua masukan dan saran yang melengkapi penulisan tugas akhir ini
7. Sahabat-sahabat pribadi penulis, Sultan RKAJ Abdillah Al-Bahruni, “Andri\_and friend” yang terkumpul dalam kelompok “embuh”, atas dedikasi kalian sebagai seorang sahabat yang mau dan senang hati direpotkan.
8. Teman seperjuangan, Keluarga Fisika 2013 UIN Suka, atas motivasi antar satu sama lain yang memantik semangat sebagai keluarga perantauan.
9. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Pada akhirnya penulis menyadari, dalam penulisan tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis dengan tangan terbuka menerima masukan dan saran, agar kiranya tugas akhir ini lebih baik lagi.

Yogyakarta, 2 Agustus 2017

Penulis



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR .....	iii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN. ....	iv
MOTTO .....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
INTISARI.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
1.6. Tinjauan Pustaka .....	4
1.7. Metode Penelitian.....	5
BAB II METRIK ALAM SEMESTA <i>FRIEDMAN-LEMAITRE-ROBERTSON-</i> <i>WALKER</i> (FLRW) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.1. Model FLRW .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.2. Metrik FLRW .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3. Geometri Metrik FLRW .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

2.4. Pergeseran Merah .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.5. Hukum Hubble .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.6. Persamaan Friedmann .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.7. Sifat Kerapatan Alam Semesta.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
BAB III INFLASI ALAM SEMESTA .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.1. Teori Inflasi Alam Semesta.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.2. Permasalahan Kosmologi Klasik .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.3. Model Inflasi <i>Slow-Roll</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
BAB IV PENDEKATAN INFLASI <i>SLOW-ROLL</i>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
BAB V PEMODIFIKASIAN FAKTOR SKALA $a(t)$ DALAM PERSAMAAN FRIEDMANN UNTUK ALAM SEMESTA MENGEMBANG	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.1. Pemodelan Faktor Skala $a(t)$ pada Persamaan Friedmann I.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.2. Interpretasi Hasil Pemodifikasian Persamaan Friedmann I .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
BAB VI PENUTUP .....	41
6. 1. Simpulan.....	41
6.2. Saran.....	42
DAFTAR PUSTAKA .....	43
LAMPIRAN.....	45
CURRICULUM VITAE.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

**DAFTAR TABEL**

Tabel 1 : Perolehan nilai pergeseran merah berdasarkan umur galaksi ..... 8



**DAFTAR GAMBAR**

Gambar 1 : Inflasi Alam Semesta .....	21
Gambar 2 : Skenario Inflasi <i>Slow-Roll</i> .....	26
Gambar 3 : Grafik faktor skala $a(t)$ sebagai fungsi waktu .....	34
Gambar 4 : Grafik hubungan $a$ dan $t$ untuk persamaan Friedmann hasil modifikasi .....	36
Gambar 5 : Grafik hubungan $a$ dan $t$ untuk permisalan ke-1 .....	37
Gambar 6 : Grafik hubungan $a$ dan $t$ untuk permisalan ke-2.....	39

**DAFTAR LAMPIRAN**

Tampilan Grafik dalam Graphmatica..... 45



**INTISARI****PERUMUSAN EKSPANSI ALAM SEMESTA DENGAN PERCEPATAN  
MELURUH DALAM METRIK *FRIEDMANN-LEMAITRE-ROBERTSON-  
WALKER (FLRW)***

**HUDA NASRULLOH**  
13620017

Secara observasi, Edwin Hubble telah membuktikan bahwa alam semesta mengembang. Pengembangan alam semesta pertama kali dipublikasikan pada tahun 1923, berdasarkan hasil pengamatan yang dilakukan Edwin Hubble. Seiring berjalannya waktu, para ilmuwan mengajukan berbagai model untuk memberikan gambaran secara matematis bentuk alam semesta yang mengembang. Penelitian ini bagian dari upaya penggambaran bentuk pengembangan alam semesta secara matematis melalui pemodifikasian faktor skala  $a(t)$  dalam persamaan Friedmann sebagai bentuk persamaan dinamika alam semesta. Selanjutnya dengan hasil pemodifikasian yang dilakukan, akan diperoleh grafik hubungan  $a$  dan  $t$  untuk diperoleh informasi sejauh mana keberhasilan pemodifikasian tersebut dalam upaya menggambarkan alam semesta mengembang. Dalam penelitian ini data hasil observasi tidak banyak disertakan, hanya sebatas data penunjang untuk mendapatkan gambaran umum pengembangan yang terjadi. Berdasarkan hasil yang diperoleh, pemodelan alam semesta dengan pemodifikasian faktor skala  $a(t)$  yang dilakukan, didapati keadaan alam semesta saat mengalami fase mempercepat dan memperlambat pengembangan, dimana keadaan tersebut disinyalir pengaruh dari faktor *cosmic jerk* sebagai faktor yang pengembangan alam semesta memiliki nilai  $\ddot{a} \approx 1,14 \times 10^{-54} \text{ Nms}^2 / \text{kg}^2$ . Kesimpulan ini didapat melalui interpretasi grafik hubungan  $a$  dan  $t$  hasil turunan yang diperoleh, dan *cosmic jerk* didapatkan melalui beberapa permisalan yang mengkhususkan kondisi tersebut. Apabila disepadankan dengan model inflasi *Slow-Roll*, maka secara pergerakannya dapat dikategorikan dalam gambaran model tersebut.

Kata kunci : Alam semesta, persamaan Friedmann, faktor skala  $a(t)$ , *cosmic jerk*, inflasi *Slow-Roll*.

**ABSTRACT****FORMALLISING OF EXPANSION UNIVERSE WITH ACCELERATION  
DISINTEGRATED IN METRIK *FRIEDMANN-LEMAITRE-ROBERTSON-  
WALKER* (FLRW)**HUDA NASRULLOH

13620017

Observationally, Edwin Hubble has proven that the universe is expanding. The expansion of the universe was first published in 1923, based on observations made by Edwin Hubble. As time passes, scientists propose various models to give a mathematical illustration of the expanding universe form. This research is part of an attempt to describe the univers form of mathematical expansion by modifying the scale factor  $a(t)$  in the Friedmann equation as a form of dynamic equations of the universe. Furthermore, with the results of modification is done, will be obtained graph between  $a$  and  $t$  to obtain information how far the success of modification in an effort to describe the expanding universe. In this research data observation results are not much included, only data support to get a general description of the expansion that occurred. Based on the results obtained, the modeling of the universe with the modification of scale factor  $a(t)$  is done, found the state of the universe when the phase of accelerate to decelerate, where the condition is pointed out the influence of *cosmic jerk* factor as a factor that the expansion of the universe has value  $\ddot{a} \approx 1,14 \times 10^{-54} \text{ Nms}^2 / \text{kg}^2$ . This conclusion is derived from the interpretation of the relationships of  $a$  and  $t$ , and *cosmic jerk* is obtained through several permissions to specialize the conditions described about that. If we compare with the *Slow-Roll* inflation model, then the movement can be categorized in the model description.

**Keywords:** universe, Friedmann equation, scale factor  $a(t)$ , *cosmic jerk*, *Slow-Roll* inflation.

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Teori Relativitas umum Einstein menjadi tonggak kemajuan di bidang keilmuan kosmologi. Para ilmuwan berlomba-lomba mengungkap fakta menarik berdasarkan hasil observasi masing-masing. Salah satunya pada tahun 1923, Edwin Hubble melalui hasil observasinya menunjukkan bahwa alam semesta ini mengembang. Kesimpulan ini didapat berdasarkan hasil pengamatannya berupa objek langit bercahaya yang teramati dengan jarak tertentu mengalami gerak menjauh relatif terhadap pengamat (Hubble, 1923).

Edwin Hubble menyimpulkan fenomena tersebut terjadi berdasarkan frekuensi cahaya objek yang teramati lama-kelamaan meredup menuju pada frekuensi cahaya merah. Hal ini menandakan objek kosmologis tersebut bergerak menjauh relatif terhadap pengamat. Peristiwa hasil observasi Edwin Hubble sering disebut sebagai peristiwa pergeseran merah (Weinberg, 2008).

Fenomena pengembangan alam semesta yang diungkap Edwin Hubble (1929) membuat para ilmuwan mulai tertarik untuk meneliti lebih jauh ke masa awal, sebelum alam semesta ini terbentuk. Para ilmuwan mulai memperkirakan, bagaimana kondisi dimana alam semesta ini pada masa setelah ledakan besar atau *Big Bang*. Salah satu teori yang menelisik jauh ke masa awal pembentukan alam semesta adalah teori inflasi.



Teori inflasi alam semesta muncul awal tahun 1980-an oleh Alan Guth. Teori inflasi muncul selain diawali dari dasar alam semesta ini mengembang juga untuk menjawab model alam semesta standar yang tidak dapat menjelaskan permasalahan klasik dalam kosmologi, yaitu mengenai *flatness* (kedataran) dan *horizon* (cakawala). Namun teori dari Alan Guth ini pun mengalami beberapa permasalahan, sehingga pada tahun berikutnya Liddle dan Steindhard menyempurnakan teori inflasi (1981).

Berdasarkan keadaan tersebut, penelitian ini dilakukan dengan melakukan pengkajian secara studi teoritis tentang model pengembangan alam semesta ini. Model yang akan dipilih sebagai langkah pendekatan adalah untuk alam semesta datar yang mengembang dan seiring waktu melambat. Tentunya akan dilakukan beberapa pengasumsian dan pemodifikasian beberapa perangkat matematis untuk bisa didapati keadaan yang mendekati model tersebut. Nantinya berdasarkan hasil rumusan yang didapat, akan ditinjau apakah pemodelan yang digunakan untuk menggambarkan pengembangan alam semesta ini sesuai dengan yang diharapkan dan dapat digunakan untuk menggambarkan fenomena alam semesta yang mengembang atau tidak.

## 1.2. Rumusan Masalah

Perumusan masalah yang diajukan dalam penelitian ini ditunjukkan dalam pertanyaan-pertanyaan berikut :

1. Bagaimana hasil penurunan persamaan Friedmann dengan modifikasi faktor skala  $a(t)$  yang digunakan untuk menggambarkan pengembangan alam semesta.

2. Bagaimana hasil interpretasi berdasarkan penurunan persamaan Friedmann yang telah dilakukan pemodifikasian faktor skala  $a(t)$  dalam upaya menggambarkan pengembangan alam semesta.

### 1.3. Batasan Masalah

Penelitian ini mengkaji tentang pengembangan alam semesta, dimana pemodelan dirasa perlu dilakukan untuk tidak memperluas kajian penelitian ini. Oleh karena itu dalam penelitian ini memilih beberapa batasan sebagai berikut :

1. Model alam semesta datar dengan asumsi keadaan homogen dan isotropis sehingga dipilih metrik FLRW.
2. Model alam semesta yang didekati adalah alam semesta mengembang meluruh terhadap waktu.
3. Pemodifikasian faktor skala  $a(t)$  dilakukan dalam bentuk deret Taylor dari persamaan Friedmann I.

### 1.4. Tujuan Penelitian

Adapun yang menjadi tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memperoleh hasil turunan persamaan Friedmann dengan memodifikasi faktor skala  $a(t)$  untuk menggambarkan pengembangan alam semesta.
2. Menginterpretasi hasil turunan persamaan Friedmann yang telah dimodifikasi faktor skala  $a(t)$  dalam upaya menggambarkan pengembangan alam semesta.

### 1.5. Manfaat Penelitian

Ekspansi alam semesta merupakan kajian fisika tingkat makro yang belum banyak dilakukan kajian secara mendalam, khususnya di tingkat perkuliahan. Oleh

karena itu, diharapkan melalui penelitian ini dapat memunculkan ketertarikan untuk mahasiswa khususnya dan pembaca umumnya meneliti lebih lanjut tentang pengembangan alam semesta. Tentunya dengan mempertimbangkan model yang akan dipilih dalam menggambarkannya, termasuk hasil dalam penelitian ini, untuk dijadikan bahan pertimbangan penelitian selanjutnya.

### 1.6. Tinjauan Pustaka

Semula fisikawan dunia, termasuk Albert Einstein menganggap alam semesta ini statis dan cenderung mempertahankan keadaannya tersebut. Namun semuanya berubah arah, ketika Edwin Hubble melalui observasinya (1929) menegaskan bahwa adanya pergerakan meluasnya alam semesta ini. Melalui publikasi Edwin Hubble (1929) dengan judul "*a relation between distance and radial velocity among extra-galactic nebulae*" model alam semesta mengembang semakin menjadi perhatian publik, khususnya para ilmuwan di bidang kosmologi.

Beberapa tokoh mulai bermunculan dalam upaya menggambarkan pengembangan alam semesta. Sebelumnya perangkat matematis untuk geometri mengembang telah dimuat dalam publikasi 4 tokoh ilmuwan matematis. Salah satunya publikasi George Lemaitre dengan judul "*a homogeneous universe of constant mass and increasing radius accounting for the radial velocity of extra-galactic nebulae*" yang dipublikasi ulang pada tahun 2013 (sebelumnya dipublikasikan pada tahun 1927). Melalui publikasi tersebut alam semesta yang dianggap homogen dan isotropis sehingga memiliki kesesuaian dengan metrik FLRW, metrik untuk geometri mengembang yang kemudian di rumuskan dalam persamaan Friedmann.

Model alam semesta mengembang kemudian membuat para ilmwan menarik mundur pada masa awal alam semesta ini terbentuk. Keadaan tersebut memunculkan sebuah teori baru tentang pengembangan alam semesta awal oleh Alan Guth (1981). Berikutnya Andrew R. Liddle pada tahun 1994 memunculkan topik menarik dengan merumuskan pendekatan inflasi *Slow-Roll* sebagai upaya menggambarkan peristiwa inflasi alam semesta. Melalui publikasi dengan judul “*Formalising the Slow-Roll Approximation in Inflation*” peristiwa pengembangan alam semesta diawal waktu coba digambarkan.

Posisi penelitian ini adalah menarik benang merah antara beberapa kajian sebelumnya, dimana tetap pada koridor upaya menggambarkan alam semesta mengembang. Penelitian ini menggunakan persamaan dasar berupa persamaan Friedmann, untuk kemudian dilakukan pemodifikasian sedemikian rupa sehingga dapat disimpulkan apakah model baru alam semesta mengembang dapat terbentuk.

### **1.7. Metode Penelitian**

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah kajian teoritis, dengan melakukan beberapa permisalan untuk kemudian didapati makna fisis sebagai kesimpulan dari model yang dipilih. Penelitian ini tidak menyertakan data observasi terkait pengembangan alam semesta, hanya sebatas beberapa permisalan dari hasil pemodifikasian yang dilakukan.

Langkah awal yang dilakukan adalah memilih metrik FLRW sebagai metrik yang digunakan dalam penelitian ini. Selanjutnya dengan menggunakan persamaan dinamika alam semesta pada metrik FLRW, maka dipilih persamaan dasar berupa

persamaan Friedmann. Persamaan Friedmann sendiri memiliki dua bentuk, dalam penelitian ini cukup dipilih persamaan Friedmann bentuk I.

Kemudian berdasarkan persamaan Friedmann bentuk I, selanjutnya dilakukan pemodifikasian faktor skala alam semesta  $a(t)$  dalam bentuk deret Taylor. Hasil pemodifikasian yang didapat dari persamaan baru tersebut kemudian dilakukan interpretasi melalui grafik hubungan  $a$  dan  $t$  yang terbentuk. Melalui interpretasi hasil tersebutlah, kesimpulan didapatkan bagaimana perumusan ekspansi alam semesta dengan pemodifikasian persamaan Friedmann ini berlangsung.

## BAB VI

### PENUTUP

#### 6.1. Simpulan

Berdasarkan penelitian ini, didapati beberapa kesimpulan yang menjadi pelengkap atas penulisan penelitian ini. Adapun kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut :

1. Didapati hasil turunan persamaan Friedmann terhadap waktu sebagai bentuk pemodifikasian faktor skala  $a(t)$  sebagai berikut

$$\frac{\left[ \dot{a}(\dot{a} + 2\ddot{a}t + \ddot{a}t^2) + \ddot{a}(4\ddot{a}t^2 + 2\ddot{a}t^3) + \ddot{a}(\ddot{a}t^4) \right] + kc^2}{\left[ a(0) \left( a(0) + \dot{a}t + \frac{\ddot{a}t^2}{2} + \frac{\ddot{a}t^3}{6} \right) + \dot{a} \left( \dot{a}t^2 + \frac{\ddot{a}t^3}{2} + \frac{\ddot{a}t^4}{6} \right) + \ddot{a} \left( \frac{\ddot{a}t^4}{4} + \frac{\ddot{a}t^5}{12} \right) + \ddot{a} \left( \frac{\ddot{a}t^6}{36} \right) \right]} = \frac{8\pi G\rho + \Lambda c^2}{3}.$$

persamaan tersebut sekaligus menjadi bentuk baru untuk persamaan Friedmann I dengan model  $a(t)$  dalam bentuk deret Taylor.

2. Hasil interpretasi menunjukkan, alam semesta dengan model pemodifikasian faktor skala  $a(t)$  pada persamaan Friedmann I dianalogikan pada saat alam semesta memasuki gerak pengembangan yang melambat. Bila disepadankan dengan model inflasi *Slow-Roll*, maka secara gerak berhasil ditunjukkan bahwa pengembangan alam semesta mengalami perlambatan. Berdasarkan perhitungan yang didapati nilai *cosmic jerk*  $\ddot{a} \approx 1,14 \times 10^{-54} \text{ Nms}^2 / \text{kg}^2$ , dan hasil interpretasi yang didapat memiliki kemiripan dengan hasil penelitian lain (Popswalden, 2013), dimana *cosmic jerk* menjadi faktor yang menghubungkan antara fase percepatan dan perlambatan pengembangan alam semesta.

## 6.2. Saran

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam penulisan penelitian ini adalah masih sebatas pemodelan kasar, khususnya untuk menggambarkan alam semesta yang mengembang seperti yang hendak dicapai dalam tujuan penelitian ini. Adapun yang menjadi beberapa catatan untuk saran penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut :

1. Pemilihan faktor yang mengakibatkan alam semesta mengalami dinamika. Salah satu faktor yang membuat kajian lebih menarik adalah konstanta kosmologis  $\Lambda$ . Konstanta kosmologis dinilai sebagai keadaan yang dapat mempengaruhi gerak alam semesta, sehingga ada kemungkinan hasil yang didapatkan jauh lebih baik, apabila nilainya diikuti sertakan dalam perhitungan.
2. Pemilihan persamaan Friedmann II sebagai persamaan untuk dilakukan pemodifikasian. Melalui hasil modifikasi tersebut, nantinya dapat dijadikan perbandingan antara persamaan Friedmann I dan II.
3. Perumusan yang didapat masih berupa kajian semata, yakni menginterpretasi hasil grafik hubungan  $a$  sebagai faktor skala alam semesta dengan  $t$  waktu. Kajian ini belum melibatkan data observasi, terutama hasil *cosmic jerk* yang diperoleh. Kedepannya diharapkan untuk peneliti selanjutnya agar bisa di bandingkan dengan data hasil observasi yang ada.

## DAFTAR PUSTAKA

- Albrecht, A. dan Steinhardt, P. J. 1982. "Cosmology for Grand Unified Theory with Radiatively Induced Symmetry Breaking". *Physical Review Letters*. **Vol. 48, No. 17**
- Anugraha, Rinto, 2005, *Pengantar Teori Relativitas dan Kosmologi*, Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- Arandi, Al Tyas. 2015. *Tentang Gelombang Gravitasi*. Tugas Akhir (Skripsi) tidak dipublikasikan (unpublished disertation), Yogyakarta: Gadjah Mada University
- Carroll, Sean, 2004, *Space Time and Geometry an Introduction to General Relativity*, University Chicago, Integre Technical Publishing,. Co. Inc.
- Faraoni, Valerio, 2000, *Generalized Slow-Roll Inflation*, *Physics Letters A* 269 \_2000. 209–213, *Research Group in General Relativity (RggR), Université Libre de Bruxelles, Campus Plaine CP 231, Bld. du Triomphe, 1050 Brussels, Belgium.*
- Fatemeh, S. T. Bagheri, May 5, 2013. *Non-Metric Quintessence*. Master of Science thesis by Institute of Theoretical Astrophysics, University of Oslo.
- Friedmann, J. A., M. S. Turner, dan D. Huterer, 2008, *Dark Energy and Accelerating Universe*, *Ann.Rev.Astron.Astrophys*, **Vol. 46: 385-432.**
- Gautama, Sunkar, 2015. *Pengantar Kosmologi* (Revisi 1.1). Makassar : Paradoks Sof Book Publisher.
- Grinbaum, Alexei , 2012, "*Which Fine-Tuning Arguments Are Fine?*". *Foundations of Physics*. **42** (5): 615–631.
- Guth, Alan, 1981, *Inflationary Universe: A Possible Solution to the Horizon and Flatness Problems*, *Stanford Linear Accelerator Center, Stanford University, Stanford, California 9403*, *Physical Review D*, **Vol. 23: Number 2.**
- Guth, A. H. , 1997. *The Inflationary Universe: The Quest for a New Theory of Cosmic Origins*. Massachusetts: Addison Wesley.
- Hubble, Edwin, 1937, *The Observational Approach Cosmology*, Oxford University Press.
- Karakatsanis, Konstatinos, 2010, *Implications of  $f(R)$  modification to gravity*, Dissertation, Theoretical Physics Group, Imperial College, London.
- Krane, Keneth S. 1992. *Fisika Modern*. Jakarta : Universitas Indonesia Press.
- Linde, Andrei, 2000, *Inflationary Cosmology*, *Physics Reports* 333-334(2000)575-591, Departement of Physics, Standford University, Standford, CA 94305-4060, USA.
- Liddle, Andrew R. Paul Parsons, John D. Barrow, 1994, *Formalising The Slow-Roll Approximation In Inflation*, SUSSEX-AST 94/8-1, astro-ph/9408015

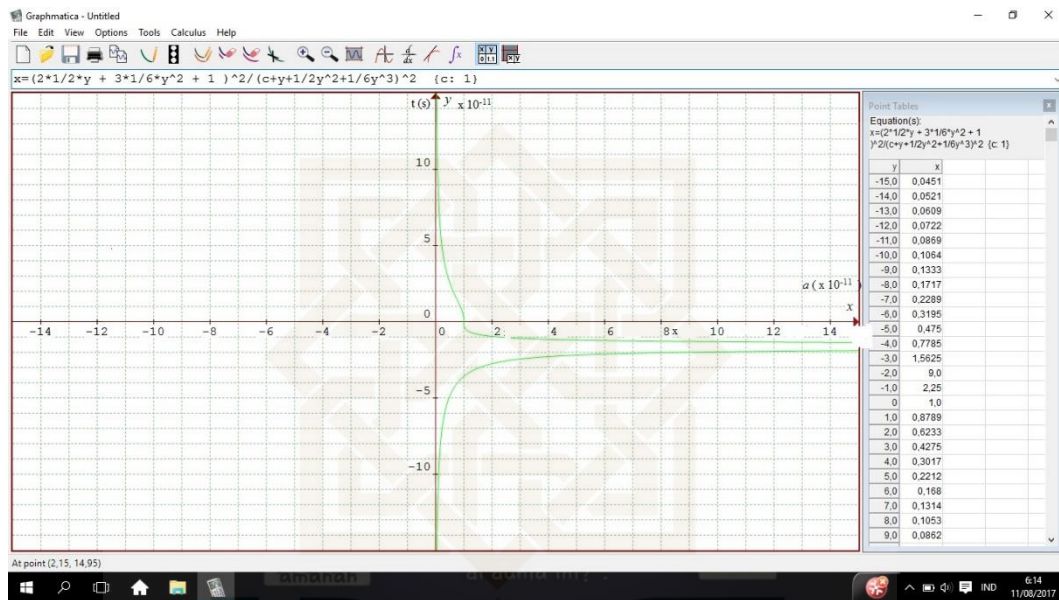


- Merak, JA (1998). Fisika Kosmologi .Cambridge: Cambridge University Press. ISBN978-0-521-42270-3 .
- Misner, C. W. 19 Mei 1969. "Mixmaster Universe". Physical Review Letters. **Vol. 22**,
- M. P. Hobson, G. P. Efstathiou and A. N. Lasenby, 2006, *General Relativity an Introduction For Physicist*, Cambridge University Press, Cambridge.
- N. Jarosik et al. (2011). "Seven-year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Sky Maps, Systematic Errors, and Basic Results". *"The Astrophysical Journal Supplement Series"* **192**: 14.
- Poplawski, Nikodem J. 2006. *The Cosmic Jerk Parameter in  $f(r)$  gravity*. Physics Letters B 640-(2006) 135-137
- Satriawan, Mirza. 2012. *Fisika Dasar (Teknik Sipil)* . Yogyakarta : Physics Dept. Gadjah Mada University.
- Watson, Garry S. 2008, *An Exposition on Inflationary Cosmology*, University of North Carolina at Wilmington Department of Physics 601 South College Road Wilmington, NC 28403, ASTRO-PH/0005003
- Weinberg, S. 1972. Gravitation and Cosmology: Principles and Applications of the General Theory of Relativity. New York: John Wiley & Sons.
- Weinberg, Steven, 2008, *Cosmology*, University of Texas Austin, Oxford University Press.

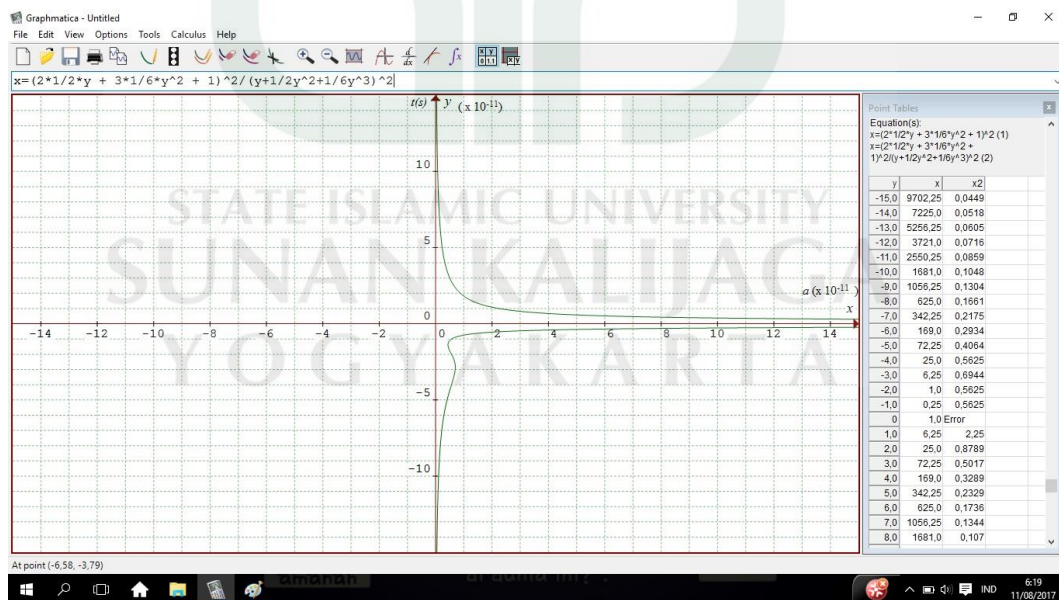
## LAMPIRAN

### Tampilan Grafik dalam Graphmatica

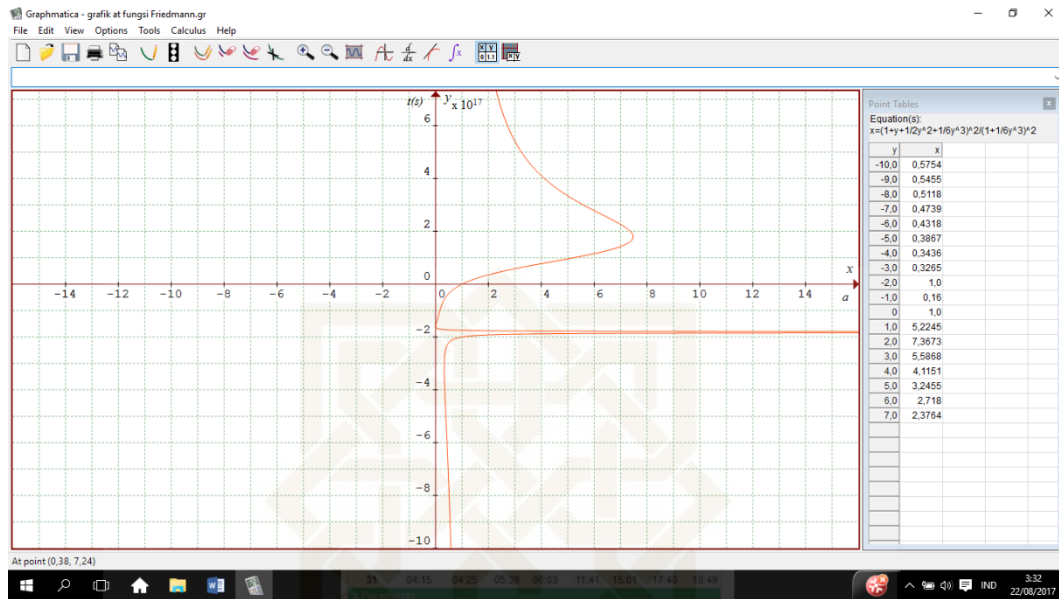
Hubungan  $a$  dan  $t$ , untuk hasil modifikasi persamaan Friedmann



### Grafik permisalan satu



## Grafik permisalan dua



STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA