



**SOLUSI STATIK PERSAMAAN MEDAN EINSTEIN UNTUK RUANG  
VAKUM BERSIMETRI SILINDER DAN PERSAMAAN GERAK  
PARTIKEL JATUH BEBAS DARI SOLUSI TERSEBUT**

**SKRIPSI**

Oleh

**A.Syaiful Lutfi  
NIM 081810201005**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER  
2012**



**SOLUSI STATIK PERSAMAAN MEDAN EINSTEIN UNTUK RUANG  
VAKUM BERSIMETRI SILINDER DAN PERSAMAAN GERAK  
PARTIKEL JATUH BEBAS DARI SOLUSI TERSEBUT**

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan  
Program Studi Fisika (S1) dan mencapai gelar sarjana sains

Oleh

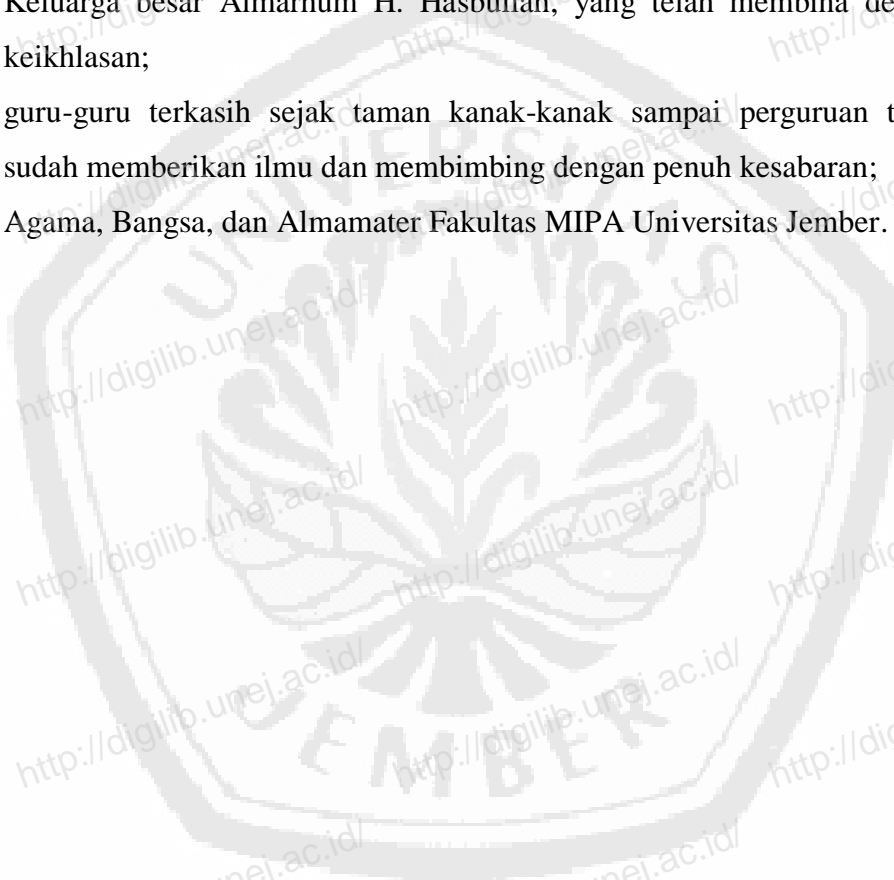
**A.Syaiful Lutfi**  
**NIM 081810201005**

**JURUSAN FISIKA**  
**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**  
**UNIVERSITAS JEMBER**  
**2012**

## **PERSEMBAHAN**

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ibunda Yusrohati dan Ayahanda Hasan, yang telah mendoakan, membentuk karakter, dan memberi kasih sayang serta pengorbanan untuk putra tercintanya;
2. Keluarga besar Almarhum H. Hasbullah, yang telah membina dengan penuh keikhlasan;
3. guru-guru terkasih sejak taman kanak-kanak sampai perguruan tinggi, yang sudah memberikan ilmu dan membimbing dengan penuh kesabaran;
4. Agama, Bangsa, dan Almamater Fakultas MIPA Universitas Jember.



## MOTTO

Belajarlah dari elektron dalam atom yang tidak pernah gila status. Belajarlah dari hidrogen dan oksigen, meski berbeda tetapi mereka mampu bersatu menjadi air yang berguna bagi makhluk hidup. Belajarlah dari Gelombang Elektromagnetik, meskipun berjalan jauh membawa informasi, dia tidak pernah korupsi dan minta difasilitasi. Alam adalah tuntunan tidak tertulis supaya manusia bisa hidup bijaksana.\*)

Manusia pada hakikatnya mati, kecuali yang berilmu. Orang yang berilmu tidur, kecuali yang mengamalkan ilmunya. Seseorang yang mengamalkan ilmunya tertipu, melainkan yang ikhlas dalam mengamalkannya.\*\*)

---

\*) Sutisna. 2012. Ide.

\*\*) Al-Ghazali.

## PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

nama : A.Syaiful Lutfi

NIM : 081810201005

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Solusi Statik Persamaan Medan Einstein Untuk Ruang Vakum Bersimetri Silinder dan Persamaan Gerak Partikel Jatuh Bebas dari Solusi Tersebut” merupakan benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang telah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan ataupun paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 19 Oktober 2012

Yang menyatakan,

A.Syaiful Lutfi

NIM 081810201005

**SKRIPSI**

**SOLUSI STATIK PERSAMAAN MEDAN EINSTEIN UNTUK RUANG  
VAKUM BERSIMETRI SILINDER DAN PERSAMAAN GERAK  
PARTIKEL JATUH BEBAS DARI SOLUSI TERSEBUT**



Oleh  
A.Syaiful Lutfi  
NIM 081810201005

**Pembimbing**

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Edy Supriyanto, S.Si., M.Si.

Dosen Pembimbing Anggota : Supriyadi, S.Si., M.Si.

## PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Solusi Statik Persamaan Medan Einstein Untuk Ruang Vakum Bersimetri Silinder dan Persamaan Gerak Partikel Jatuh Bebas dari Solusi Tersebut” sudah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal :

tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Jember.

Tim Penguji:

Ketua,

Sekretaris,

Dr. Edy Supriyanto, S.Si., M.Si.

Supriyadi, S.Si., M.Si.

NIP 19671215 199802 1 001

NIP 19820424 200604 1 003

Anggota I,

Anggota II,

Drs. Sujito, Ph.D.

Endhah Purwandari, S.Si., M.Si.

NIP 19610204 198711 1 001

NIP 19811111 200501 2 001

Mengesahkan

Dekan,

Prof. Drs. Kusno, DEA., Ph.D.

NIP 19610108 198602 1 001

## RINGKASAN

### **Solusi Statik Persamaan Medan Einstein Untuk Ruang Vakum Bersimetri Silinder dan Persamaan Gerak Partikel Jatuh Bebas dari Solusi Tersebut;**

A.Syaiful Lutfi, 081810201005; 2012: 37 halaman; Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Teori Relativitas Umum (TRU) merupakan suatu kajian fenomena fisis dalam ruang-waktu dan gravitasi. Teori ini adalah penyempurnaan Teori Relativitas Khusus (TRK) dengan memasukkan aspek gravitasi. Berdasarkan teori tersebut, ruang-waktu dinyatakan melengkung jika di dalamnya terdapat materi yang sangat padat. Medan gravitasi sebagai konsekuensi dari kelengkungan ruang-waktu dan sebaliknya distribusi materi yang ditentukan oleh geometri ruang-waktu dikaji secara fisis dalam teori tersebut. Oleh karena itu, dapat ditunjukkan bahwa secara matematis tensor metrik ruang-waktu dan tensor penyebaran materi saling terkopel satu sama lain. Semua itu dapat dijelaskan oleh Albert Einstein pada tahun 1915 dengan publikasinya yang berupa suatu persamaan yang dikenal dengan persamaan medan Einstein berbentuk persamaan diferensial parsial tidak linier, sebuah persamaan yang tidak mudah dicari solusinya.

Solusi persamaan medan Einstein dapat diturunkan dengan asumsi kesimetrian yang tinggi seperti simetri aksial (silinder) di dalam ruang-waktu. Selanjutnya, dalam TRU diberikan istilah interval ruang-waktu. Solusi dari persamaan medan Einstein dapat dicari menggunakan interval tersebut. Singularitas selalu terdapat dalam interval ruang-waktu di luar sumber materi. Singularitas tersebut mengindikasikan keberadaan sebuah benda sangat padat yang dinamakan lubang hitam.

Penelitian ini berupaya menghasilkan solusi statik persamaan medan Einstein untuk ruang vakum bersimetri silinder. Penurunan solusi tersebut menggunakan



fungsi-fungsi parameter  $A$ ,  $B$ , dan  $C$  pada komponen-komponen tensor metriknya (seluruh fungsi tersebut hanya bergantung pada  $\rho$ ). Kemudian dari solusi itu dapat dikaji kesingularitasan dan persamaan gerak partikel jatuh bebas. Solusi ini sangat penting karena dapat diaplikasikan untuk mengkaji fenomena medan gravitasi di sekitar benang kosmik. Telah didapatkan solusi statik persamaan medan Einstein dengan cara memparameterisasi fungsi-fungsi yang terdapat pada komponen-komponen metriknya ( $A$ ,  $B$ , dan  $C$ ). Solusi yang dihasilkan mampu merepresentasikan medan gravitasi di luar sumber berbentuk benang kosmik, singularitas fisis pada  $\rho = 0$ , singularitas koordinat ketika  $1 < \rho < \infty$ , serta dapat mendeskripsikan beberapa besaran fisis (variasi waktu pada sebuah jam yang sedang bergerak, hukum konservasi momentum sudut, dan lintasan partikel berbentuk spiral).

## PRAKATA

Puji syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Solusi Statik Persamaan Medan Einstein Untuk Ruang Vakum Bersimetri Silinder dan Persamaan Gerak Partikel Jatuh Bebas dari Solusi Tersebut”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Jember.

Dalam penyelesaian karya tulis ilmiah ini, penulis telah banyak mendapat bantuan dan motivasi baik secara langsung maupun tidak langsung dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Sutisna, S.Pd., M.Si., sebagai Dosen Pembimbing Utama I, Bapak Dr. Edy Supriyanto, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Utama II, dan Bapak Supriyadi, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Anggota, yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penyusunan skripsi ini;
2. Bapak Drs. Sujito, Ph.D., dan Ibu Endhah Purwandari, S.Si., M.Si., sebagai Dosen Penguji yang telah memberi kritik dan saran dalam penyusunan skripsi ini;
3. Bapak Ir. Misto, M.Si., yang sudah membantu dalam segi finansial dan Bapak Agus Supriyanto, S.Si., M.T., sebagai Dosen Pembimbing Akademik;
4. Bapak Prof. Dr. Stephen A Fulling, Bapak Prof. Freddy Permana Zen, D.Sc., Bapak Dr. L. Herrera, Bapak Stephen J. Crothers, M.Sc., dan Bapak Chifu Ebenezer Ndikilar, M.Sc., yang telah memberi masukan demi kesempurnaan skripsi ini;
5. Retno wulandari (*talk less do more*), yang telah setia mendampingi, memotivasi, meluangkan waktu, pikiran, serta perhatian demi terselesainya skripsi ini;
6. seluruh santri PP. Al-Jauhar khususnya kamar 02 yaitu: Asnan Habib, A.Md., Alfa Rianto, Nur Faizin, Ahmad Mustaqim, Fariz, Desta Angga, Dianir, dan Fiki

yang sudah menemani, memotivasi, dan membentuk karakter sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini;

7. seluruh saudaraku sealiran Fisika 2008, Sudarmadi, S.Si., dan M. Arif Riyanto yang telah meluangkan waktu untuk berdiskusi selama penyusunan tugas akhir ini;
8. semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya, penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Jember, 19 Oktober 2012

Penulis

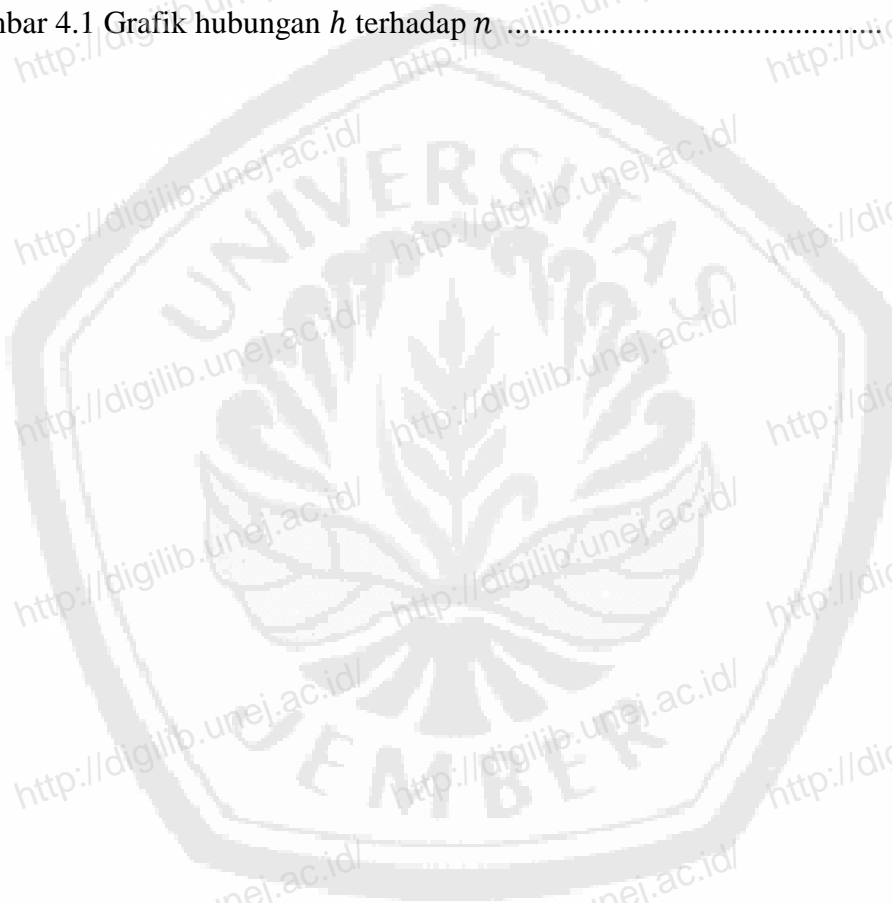
## DAFTAR ISI

|   | Halaman |
|---|---------|
| <b>HALAMAN JUDUL</b> .....                | i       |
| <b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....          | ii      |
| <b>HALAMAN MOTTO</b> .....                | iii     |
| <b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....           | iv      |
| <b>HALAMAN PEMBIMBINGAN</b> .....         | v       |
| <b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....           | vi      |
| <b>RINGKASAN</b> .....                    | vii     |
| <b>PRAKATA</b> .....                      | ix      |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....                   | xi      |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....                | xiii    |
| <b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....              | xiv     |
| <b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....           | 1       |
| <b>1.1 Latar Belakang</b> .....           | 1       |
| <b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....          | 3       |
| <b>1.3 Batasan Masalah</b> .....          | 3       |
| <b>1.4 Tujuan</b> .....                   | 4       |
| <b>1.5 Manfaat</b> .....                  | 4       |
| <b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....      | 5       |
| <b>2.1 Definisi Tensor</b> .....          | 5       |
| <b>2.2 Jenis-Jenis Tensor</b> .....       | 6       |
| <b>2.3 Ruang Datar dan Lengkung</b> ..... | 7       |
| <b>2.4 Tensor Metrik</b> .....            | 9       |
| <b>2.5 Turunan Kovarian</b> .....         | 10      |
| <b>2.6 Tensor Riemann dan Ricci</b> ..... | 11      |
| <b>2.7 Persamaan Medan Einstein</b> ..... | 13      |

|  |  |    |
|--|--|----|
| 2.8                                      | Persamaan Geodesik .....                                 | 14 |
| 2.9                                      | Interval Ruang-Waktu Schwarzschild .....                 | 16 |
| 2.10                                     | Singularitas .....                                       | 19 |
| <b>BAB 3. METODE PENELITIAN .....</b>    |  | 20 |
| 3.1                                      | Waktu dan Tempat Penelitian .....                        | 20 |
| 3.2                                      | Metode Penelitian .....                                  | 20 |
| <b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b> |  | 22 |
| 4.1                                      | Interval Ruang-Waktu Bersimetri Silinder .....           | 22 |
| 4.2                                      | Singularitis Secara Teoritik (Matematis dan Grafik) .... | 29 |
| 4.2.1                                    | Singularitas Secara Matematis .....                      | 29 |
| 4.2.2                                    | Singularitas Secara Grafik .....                         | 30 |
| 4.2                                      | Persamaan Gerak Partikel Jatuh Bebas .....               | 32 |
| <b>BAB 5. PENUTUP .....</b>              |  | 35 |
| 5.1                                      | Kesimpulan .....   | 35 |
| 5.2                                      | Saran .....  | 37 |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>              |  | 38 |
| <b>LAMPIRAN .....</b>                    |  | 42 |

## DAFTAR GAMBAR

|   | Halaman |
|---|---------|
| Gambar 2.1 Sebuah ruang datar dan ruang lengkung .....  | 9       |
| Gambar 2.2 Lintasan partikel dalam ruang lengkung ..... | 15      |
| Gambar 4.1 Grafik hubungan $h$ terhadap $n$ .....       | 31      |



## DAFTAR LAMPIRAN

|   | Halaman |
|---|---------|
| Lampiran A Konvensi dan Notasi .....                            | 42      |
| Lampiran B Penurunan Komponen-Komponen Simbol Christoffel ..... | 43      |
| Lampiran C Penurunan Tensor Ricci .....                         | 44      |
| Lampiran D Penurunan Persamaan Diferensial .....                | 46      |
| Lampiran E Penurunan Fungsi $A$ , $B$ , dan $C$ .....           | 49      |
| Lampiran F Penurunan Konstanta Integral .....                   | 51      |
| Lampiran G Penurunan Persamaan Gerak Partikel Jatuh Bebas ..... | 52      |
| Lampiran H Analisis Singularitas Secara Grafik .....            | 56      |