

ANALISIS TENSOR ENERGI-MOMENTUM WORMHOLE MORRIS-THORNE 4+1 DIMENSI DENGAN VARIASI FUNGSI-BENTUK

SAFITRI AULIA



**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
Bogor Indonesia

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Analisis Tensor Energi-Momentum *Wormhole* Morris-Thorne 4+1 Dimensi dengan Variasi Fungsi-Bentuk” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Mei 2026

Safitri Aulia
G7401221010

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

ABSTRAK

SAFITRI AULIA. Analisis Tensor Energi-Momentum *Wormhole* Morris-Thorne 4+1 Dimensi dengan Variasi Fungsi-Bentuk. Dibimbing oleh HUSIN ALATAS dan FAOZAN.

Model *wormhole* Morris-Thorne mensyaratkan materi eksotik yang melanggar *Null Energy Condition* (NEC) di sekitar *throat* untuk menjaga struktur tetap terbuka. Penelitian ini merumuskan tensor energi-momentum dalam ruangwaktu 4+1 dimensi dengan asumsi *zero-tidal-force* untuk menguji kondisi *flare-out* pada empat variasi fungsi bentuk. Hasil menunjukkan bahwa dimensi ekstra meningkatkan tegangan ruangwaktu secara signifikan, sehingga diperlukan kuantitas materi eksotik yang lebih besar dibandingkan dimensi 3+1. Fungsi bentuk tangen hiperbolik tidak memenuhi syarat *flare-out* karena energi di sekitar *throat* bernilai positif. Secara fisis, dominasi *non-exotic matter* di *throat* ini tidak mampu menahan tekanan gravitasi dimensi tinggi sehingga struktur *wormhole* gagal terbentuk. Penambahan dimensi ekstra terbukti memperketat kebutuhan materi eksotik sebagai penopang mutlak guna mencegah keruntuhan geometri.

Kata kunci: dimensi ekstra, fungsi-bentuk, materi eksotik, *Null Energy Condition*, *wormhole*

ABSTRACT

SAFITRI AULIA. Analisis Tensor Energi-Momentum *Wormhole* Morris-Thorne 4+1 Dimensi dengan Variasi Fungsi-Bentuk. Supervised by HUSIN ALATAS of 1st SUPERVISOR and FAOZAN of 2nd SUPERVISOR.

The Morris-Thorne wormhole model necessitates the presence of exotic matter that violates the Null Energy Condition (NEC) near the throat to maintain an open structure. This study formulates the energy-momentum tensor within a 4+1 dimensional spacetime under the zero-tidal-force assumption to evaluate the flare-out condition across four variations of shape functions. The results demonstrate that the addition of an extra dimension significantly increases spacetime tension, thereby requiring a greater quantity of exotic matter to sustain stability compared to the 3+1 dimensional case. Specifically, the hyperbolic tangent shape function fails to satisfy the flare-out condition as the energy density near the throat remains positive. Physically, the dominance of non-exotic matter at the throat is insufficient to withstand the intensified gravitational pressure of higher dimensions, preventing the formation of a viable wormhole structure. Consequently, the inclusion of an extra dimension strictly reinforces the necessity of exotic matter as an absolute requirement to prevent geometric collapse.

Keywords: exotic matter, extra dimensions, Null Energy Condition, shape-function, wormhole



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.



ANALISIS TENSOR ENERGI-MOMENTUM WORMHOLE MORRIS-THORNE 4+1 DIMENSI DENGAN VARIASI FUNGSI-BENTUK

SAFITRI AULIA

Skripsi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana pada
Program Studi fisika

**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tim Penguji pada Ujian Skripsi:

- 1 Prof. Dr. R. Tony Ibnu Sumaryada Wijaya Puspita, S.Si., M.Si.
- 2 Prof. Dr. Agus Kartono, S.Si., M.Si.



Judul Skripsi : Analisis Tensor Energi-Momentum *Wormhole* Morris-Thorne
4+1 Dimensi dengan Variasi Fungsi-Bentuk
Nama : Safitri Aulia
NIM : G7401221010

@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Husin Alatas, S.Si., M.Si.

Pembimbing 2:
Dr. Faozan, S.Si., M.Si.

Diketahui oleh

Ketua Departemen Fisika:
Dr. Ir. Irmansyah, M.Si.
NIP. 196809161994031001

Tanggal Ujian:
2 Juni 2026

Tanggal Lulus:



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan September 2025 sampai bulan Februari 2026 ini mengangkat tema Relativitas Umum dalam ruangwaktu dimensi tinggi, dengan judul Analisis Tensor Energi-Momentum *Wormhole* Morris-Thorne 4+1 Dimensi dengan Variasi Fungsi-Bentuk”

Dalam penyusunan usulan penelitian ini, penulis mendapatkan banyak bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Husin Alatas, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing pertama dan Dr. Faozan, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing kedua, yang senantiasa membimbing, mendampingi, memberikan motivasi, serta arahan berharga selama proses penyusunan usulan penelitian ini.
2. Ayah, Safira, dan keluarga terdekat, sebagai sumber kekuatan dan alasan utama penulis untuk terus melangkah. Terima kasih yang tak terhingga atas kasih sayang, pengorbanan materi, serta doa yang tiada putus. Dukungan moral dan motivasi yang diberikan, terutama kehadiran kalian adalah alasan penulis tetap kuat untuk bangkit kembali setiap kali merasa jatuh dan lelah selama proses pengerjaan skripsi ini.
3. Kepada mereka yang telah mewarnai hari-hari penulis sejak masa sekolah hingga saat ini, terima kasih telah menjadi sahabat yang tetap hadir membawa keceriaan dan semangat yang tidak pernah luntur yaitu Seruni, Cinta, Ara, Bela, dan Halimah. Keberadaan kalian adalah pengingat bahwa penulis tidak sendirian dalam melewati setiap fase pendewasaan yang penuh warna.
4. Untuk sahabat seperjuangan di bangku kuliah, yang telah menjadi saksi segala suka dan duka selama menempuh pendidikan di Departemen Fisika yaitu Adra, Nabila, Sarmilah, Puji, Shakila, Kinan, dan Dini. Terima kasih telah menjadi ruang paling nyaman untuk berbagi keluh kesah, berdiskusi hingga larut, dan saling menguatkan di tengah sulitnya tantangan akademik yang kita hadapi bersama. Cerita-cerita seru dan kebersamaan kita adalah bagian terbaik dari masa studi ini.

Penulis menyadari bahwa usulan penelitian ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi penyempurnaan karya ini di masa mendatang. Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan serta bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Mei 2026

Safitri Aulia



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xi
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	3
1.5 Ruang Lingkup	3
1.6 Hipotesis	3
II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Metrik Morris-Thorne dalam koordinat 3+1 Dimensi	4
2.2 Tensor Energi-Momentum <i>Wormhole</i> Morris-Thorne 3+1 Dimensi	4
2.3 <i>Null Energy Condition</i> (NEC) <i>Wormhole</i> Morris-Thorne 3+1 Dimensi	6
2.4 Kondisi <i>Flare-Out Wormhole</i> Morris-Thorne 3+1 Dimensi	7
III METODE	9
3.1 Waktu dan Tempat	9
3.2 Alat dan Bahan	9
3.3 Prosedur Kerja	9
3.3.1 Studi Pustaka	9
3.3.2 Penurunan Persamaan Medan Einstein	9
3.3.3 Analisis Tensor Energi-Momentum dan Kondisi Energi	9
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	10
4.1 Metrik Morris-Thorne dalam Koordinat 4+1 Dimensi	10
4.2 Bentuk Tensor Energi-Momentum <i>Wormhole</i> Morris-Thorne 4+1 Dimensi	10
4.3 <i>Null Energy Condition</i> (NEC) <i>Wormhole</i> Morris-Thorne 4+1 Dimensi	17
4.4 Analisis Kondisi <i>Flare-out Wormhole</i> Morris-Thorne 4+1 Dimensi	17
4.5 Analisis Variasi Model Fungsi-Bentuk <i>Wormhole</i> Morris-Thorne 4+1 Dimensi	18
4.5.1 Model <i>Wormhole</i> I	18
4.5.2 Model <i>Wormhole</i> II	19
4.5.3 Model <i>Wormhole</i> III	21
4.5.4 Model <i>Wormhole</i> IV	22
V SIMPULAN DAN SARAN	25
5.1 Simpulan	25

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



5.2	Saran	25
	DAFTAR PUSTAKA	26
	LAMPIRAN	27
	RIWAYAT HIDUP	48

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

DAFTAR TABEL

1	Komponen Simbol Christoffel pada metrik Morris-Thorne 4+1 dimensi	11
2	Komponen Tensor Riemann pada metrik Morris-Thorne 4+1 dimensi	12
3	Komponen Tensor Ricci pada metrik Morris-Thorne 4+1 dimensi	15
4	Komponen Tensor Einstein pada metrik Morris-Thorne 4+1 dimensi	15

DAFTAR GAMBAR

5	Diagram <i>embedding wormhole</i> Morris-Thorne 3+1 Dimensi (Morris dan Thorne 1987)	7
6	Nilai $pr - \tau r$ terhadap r pada model fungsi-bentuk I dengan ukuran jari-jari <i>throat</i> $r_0 = 1$	19
7	Nilai $pr - \tau r$ terhadap r pada model fungsi bentuk II dengan variasi parameter n dan jari-jari <i>throat</i> $r_0 = 1$	20
8	Nilai $pr - \tau r$ terhadap r pada model fungsi bentuk III dengan variasi parameter β dan jari-jari <i>throat</i> $r_0 = 1$	22
9	Nilai $pr - \tau r$ terhadap r pada model fungsi bentuk IV dengan variasi parameter β dan jari-jari <i>throat</i> $r_0 = 1$. (a) Tidak memenuhi kondisi <i>flare-out</i> dan (b) Memenuhi kondisi <i>flare-out</i>	24

DAFTAR LAMPIRAN

10	Lampiran 1 Simbol Christoffel	27
11	Lampiran 2 Tensor Riemann	37
12	Lampiran 3 Komponen Tetrad	41
13	Lampiran 4 Tensor Ricci	43
14	Lampiran 5 Skalar Ricci	44
15	Lampiran 6 Tensor Einstein	45
16	Lampiran 7 Tensor Energi-Momentum	46
17	Lampiran 8 Evaluasi <i>Null Energy Condition</i> (NEC)	47



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.