

**DISTRIBUSI AKSI *TIDAL STREAM* DARI GUGUS BOLA
MENGUNAKAN METODE *N-BODY***

**ISMAIL
NIM H1021171003**

SKRIPSI



**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
PONTIANAK
2023**

**DISTRIBUSI AKSI *TIDAL STREAM* DARI GUGUS BOLA
MENGUNAKAN METODE *N-BODY***

**ISMAIL
H1021171003**

Skripsi
Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains pada Program Studi Fisika



**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
PONTIANAK
2023**

**DISTRIBUSI AKSI *TIDAL STREAM* DARI GUGUS BOLA
MENGUNAKAN METODE *N-BODY***

Tanggung Jawab Yuridis Material Pada

ISMAIL
NIM H1021171003

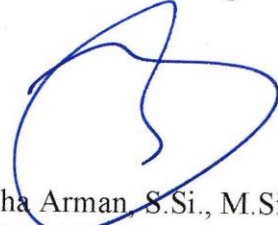
Disetujui Oleh

Pembimbing I



Hasanuddin, S.Si., M.Si., Ph.D.
NIP198412162008121003

Pembimbing II



Yudha Arman, S.Si., M.Si., D.Sc.
NIP197805132003121002

Disahkan Oleh

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Tanjungpura



Dr. Gusrizal, S.Si., M.Si.
NIP197108022000031001

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,
RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PONTIANAK**

TIM PENGUJI

NAMA	TIM PENGUJI	GOLOGAN/ JABATAN	TANDA TANGAN
Hasanuddin, S.Si., M.Si., Ph.D. NIP198412162008121003	Pimpinan Sidang (Merangkap Anggota Penguji)	IIIc/ Lektor	
Yudha Arman, S.Si., M.Si., D.Sc. NIP197805132003121002	Sekretaris Sidang (Merangkap Anggota Penguji)	IIIc/ Lektor	
Dr. Bintoro Siswo Nugroho, S.Si., M.Si. NIP198102062006041003	Ketua Penguji	IIId/ Lektor	
Dr. Azrul Azwar, S.Si., M.Si. NIP198107302005011002	Anggota Penguji	IIIc/ Lektor	

Berdasarkan Surat Keputusan Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Tanjungpura Pontianak
Nomor: 59/UN22.8/TD.06/2023
Tanggal: 2 Januari 2023

Tanggal Lulus: 10 April 2023

Distribusi Aksi *Tidal Stream* dari Gugus Bola Menggunakan Metode *N-Body*

Abstrak

Distribusi aksi aliran pasang surut bintang yang terlepas dari gugus bola merupakan fenomena astrofisika dalam memahami sebaran dan lintasan bintang-bintang di gugus bola. Dalam penelitian ini, kami mengevaluasi pengaruh dari skala radius terhadap lintasan aliran pasang surut dan distribusi aksi bintang yang lepas dari gugus bola dengan menggunakan metode *N-Body*, integrator *leapfrog* dan potensial Plummer. Penelitian ini menunjukkan bahwa lintasan aliran pasang surut yang dihasilkan dari simulasi bergantung pada skala radius. Ketika skala radius sangat besar maka lintasan *tidal stream* akan menyerupai lintasan gugus bola. Namun, ketika nilai skala radius mendekati 0 (potensial massa titik) maka bintang-bintang yang lepas mengalami gaya yang besar dan orbitnya tidak menyerupai orbit gugus bola. Selain itu, skala radius juga mempengaruhi distribusi aksi aliran pasang surut di gugus bola. Ketika skala radius yang diberikan lebih kecil atau mendekati 0 maka distribusi aksi yang terlihat akan bervariasi. Namun, ketika nilai skala radius sangat besar maka distribusi aksi akan memiliki sebaran yang tetap.

Kata kunci: gugus bola, aliran pasang surut, distribusi aksi

The Action Distribution of Tidal Stream from Globular Clusters Using the N-Body Method

Abstract

The action distribution of stars tidal streams escaping from globular clusters is an astrophysical phenomenon that can be used to better understand the distribution and trajectory of stars in globular clusters. Using the N-Body method, the leapfrog integrator, and the Plummer potential, we investigate the effect of the radius scale on tidal stream trajectories and the action distribution of stars escaping from globular clusters. This study demonstrates the effect of the simulation's tidal stream trajectory by the radius scale. The tidal stream trajectory will resemble the trajectory of a globular cluster when the radius scale is very large. When the radius scale nears 0 (the potential mass point), the escaped stars experience a strong force, and their orbits do not resemble the globular clusters. Furthermore, the radial scale influences the action distribution of tidal stream in globular clusters. When the radius scale is very small or close to 0, the distribution of visible actions changes. When the radius scale value is very large, the action distribution has a fixed distribution.

Keywords: globular cluster, tidal stream, action distribution

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Distribusi Aksi *Tidal Stream* dari Gugus Bola Menggunakan Metode *N-Body*”**. Penulisan skripsi ini bertujuan untuk memenuhi salah satu syarat dalam memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Tanjungpura.

Pada penyusunan skripsi ini banyak hambatan dan rintangan yang dihadapi oleh penulis. Namun, berkat adanya bimbingan, dukungan, motivasi, nasihat, saran, dan doa dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung sehingga penulisan skripsi ini dapat berjalan dengan lancar. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua penulis yaitu Bapak Wahyu dan Ibu Norjana yang selalu memberikan semangat, doa, dan kasih sayang yang begitu besar sehingga penulisan skripsi ini dapat diselesaikan.
2. Paman dan Tante penulis yaitu Hendri Gunawansya dan Jamilah yang selalu memberi motivasi dan doa agar selalu kuat dan tegar dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak Hasanuddin, S.Si., M.Si., Ph.D dan Bapak Yudha Arman, S.Si., M.Si., D.Sc selaku dosen pembimbing pertama dan kedua yang selalu meluangkan waktunya untuk memberikan pengetahuan, masukan, arahan maupun nasihat kepada penulis selama penulisan skripsi.
4. Bapak Dr. Bintoro Siswo Nugroho, S.Si., M.Si dan Bapak Dr. Azrul Azwar, S.Si., M.Si selaku dosen penguji pertama dan kedua yang selalu memberikan kritik, saran, masukan dan arahan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Ibu Nurhasanah, S.Si., M.Si dan Bapak Zulfian, S.Si., M.Si selaku dosen pembimbing akademik yang selalu memberikan pengetahuan, semangat,

motivasi, dan masukan kepada penulis baik selama kegiatan perkuliahan maupun dalam menyelesaikan skripsi ini.

6. Seluruh dosen dan staf Jurusan Fisika FMIPA yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan kepada penulis selama berada di bangku perkuliahan.
7. *Condev* dan *Outreaching* Untan serta Ditjen Belmawa Kemenristek Dikti yang telah memberikan kesempatan kepada penulis sebagai mahasiswa penerima Bidikmisi 2017. Terima kasih juga telah memberikan bantuan hidup selama delapan semester dan bantuan riset selama penulis melaksanakan penelitian.
8. Keluarga Besar Phoenix 2017 yang senantiasa susah senang bersama, saling berbagi dan membantu, saling memberikan semangat, dukungan, nasihat, dan doa serta kepada para senior maupun junior yang telah memberikan semangat serta dukungan kepada penulis agar konsisten dan tidak menyerah saat menyelesaikan skripsi ini.
9. Keluarga Besar Jago Begadang (JABE) dan *Healing Center* yang selalu memberikan dukungan, dorongan dan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
10. Teman-teman Laboratorium Fisika Dasar yang telah memberikan dorongan, semangat, motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi.
11. Keluarga Besar Himafis 2019-2020 dan BEM FMIPA 2020-2021 yang telah memberikan motivasi, semangat, dan doa kepada penulis.
12. Yusuf Umar Al Hakim, S.Si, Irfan Denata, S.Kom, Syarah Monica, S.Si dan Dita Adetia Nadila, S.Kom yang telah membantu penulis dalam belajar kodingan bahasa *Python* untuk menyelesaikan skripsi ini.
13. Teman-Teman yang mendukung penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Pontianak, 2 April 2023
Penulis,

Ismail

DAFTAR ISI

	Halaman
Abstrak.....	i
<i>Abstract</i>	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II DASAR TEORI	4
2.1 Gravitasi	4
2.2 <i>Tidal Stream</i>	5
2.3 Model Gerak Bintang	6
2.4 Model Plummer.....	7
2.5 Metode N-Body	8
2.6 Integrator <i>Leapfrog</i>	8
2.7 Aksi Potensial Massa Titik.....	10
2.8 Energi Mekanik	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	15
3.2 Peralatan Penelitian	15
3.3 Perancangan Alat.....	15
3.4 Langkah-Langkah Penelitian.....	15
3.4.1 Diagram Alir Penelitian	15
3.4.2 Simulasi Program yang Dijalankan.....	16
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	18
4.1 Membuat <i>Class</i>	18
4.2 Membuat Fungsi.....	18

4.3	Menentukan Massa, Posisi, dan Kecepatan Setiap Bintang.....	19
4.4	Lintasan Partikel pada Model Plummer dengan Nilai $b = 0,02$	20
4.5	Lintasan Partikel pada Model Plummer dengan Nilai $b = 0,06$	23
4.6	Lintasan Partikel pada Model Plummer dengan Nilai $b = 0,2$	26
4.7	Analisis Hasil	28
BAB V KESIMPULAN.....		31
5.1	Kesimpulan.....	31
5.2	Saran	31
DAFTAR PUSTAKA		32

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1 Dua buah benda yang saling tarik menarik.....	4
Gambar 2. 2 Sketsa partikel yang terlepas dari gugus bola dan melewati jari-jari pasang surut atau radius Jacobi	6
Gambar 2. 3 Ilustrasi sistem <i>N-Body</i>	8
Gambar 2. 4 Skema bagian integrasi <i>leapfrog</i> bagian <i>kick-drift-kick</i> (KDK)	9
Gambar 2. 5 Gaya gravitasi yang bekerja di suatu planet mengarah ke pusat orbit (Serway dan Jewett, 2012)	11
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian	16
Gambar 3. 2 Diagram alir simulasi pemrograman	17
Gambar 4. 1 Plot lintasan <i>tidal stream</i> (a) $dt = 10^{-3}$ dan $tf = 25$, (b) $dt = 10^{-3}$ dan $tf = 50$	20
Gambar 4. 2 Distribusi aksi (JR) bintang untuk $b = 0,02$ (a) 50000 bintang, (b) 100000 bintang	21
Gambar 4. 3 Distribusi aksi (JR) terhadap distribusi aksi ($J\phi$) untuk $b = 0,02$ (a) 50000 bintang, (b) 100000 bintang	22
Gambar 4. 4 Plot lintasan <i>tidal stream</i> (a) $dt = 10^{-3}$ dan $tf = 25$, (b) $dt = 10^{-3}$ dan $tf = 50$	23
Gambar 4. 5 Distribusi aksi (JR) untuk $b = 0,06$ (a) 50000 bintang, (b) 100000 bintang	24
Gambar 4. 6 Distribusi (JR) terhadap distribusi ($J\phi$) untuk $b = 0,06$ (a) 50000 bintang, (b) 100000 bintang	25
Gambar 4. 7 Plot lintasan <i>tidal stream</i> (a) $dt = 10^{-3}$ dan $tf = 25$, (b) $dt = 10^{-3}$ dan $tf = 50$	26
Gambar 4. 8 Distribusi aksi (JR) untuk $b = 0,2$ (a) 50000 bintang, (b) 100000 bintang	27
Gambar 4. 9 Distribusi aksi (JR) terhadap distribusi aksi $J\phi$ untuk $b = 0,2$ (a) 50000 bintang, (b) 100000 bintang	28

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini penelitian dan pengamatan mengenai objek luar angkasa terus dilakukan. Satu diantara objek tersebut yang menjadi fokus penelitian ialah gugus bintang. Gugus bintang merupakan kumpulan dari bintang-bintang yang saling terikat satu sama lain oleh gravitasi. Gugus bintang memiliki dua bentuk yaitu *open cluster* (gugus terbuka) dan *globular cluster* (gugus bola).

Gugus terbuka biasanya terdiri dari beberapa puluh hingga beberapa ratus bintang dan memiliki bentuk yang tidak beraturan (Karttunen *et al.*, 2007). Selain gugus terbuka, gugus bintang juga memiliki jenis lainnya yaitu gugus bola, gugus bola merupakan bintang-bintang yang membentuk satu kesatuan dan mengorbit pada pusat galaksi, sehingga terjadinya pembentukan kumpulan bintang yang memiliki simetri bola (Palau dan Escude, 2021).

Pada saat gugus bola mengorbit di pusat galaksi maka terdapat sebagian bintang yang terlempar dari gugus bola dengan lintasan menyerupai aliran *tidal stream* (pasang surut). *Tidal stream* merupakan fenomena objek yang lepas dari gugus bola pada saat mengelilingi atau mengitari pusat galaksi. Fardal *et al* (2014) melakukan penelitian mengenai permodelan aliran pasang surut dengan parameter potensial *Isochrone*. Permodelan yang dilakukan menjelaskan pengaruh potensial *Isochrone* terhadap lintasan *tidal stream*. Selain itu, Dehnen dan Hasanuddin (2018) melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh dari potensial galaksi terhadap *tidal stream* yang terlepas dari piringan.

Lepasnya bintang dari gugus bola akan memiliki distribusi aksi dari puing-puing *tidal stream*. Bovy (2014) melakukan penelitian mengenai model dinamika aliran pasang surut dan menjelaskan model sederhana untuk distribusi aksi dari puing-puing *tidal stream*. Penelitian tersebut juga menjelaskan bagaimana lintasan atau lebar aliran *tidal stream* yang diamati berhubungan dengan dispersi kecepatan.

Selain itu, transformasi koordinat posisi-kecepatan juga dapat dilinierisasikan dan diinterpolasikan didekat puing-puing yang terlepas di sepanjang aliran. Puing-puing yang terlepas di sepanjang aliran dapat dipengaruhi oleh potensial gravitasi gugus bola.

Bintang-bintang yang terlepas dari gugus bola dapat dimodelkan menggunakan metode *N-Body*. Metode *N-Body* digunakan untuk permodelan *tidal stream* dalam menganalisa distribusi aksi bintang yang terlepas di gugus bola. Dehnen dan Read (2011) melakukan *review* mengenai penelitian sebelumnya yaitu tentang simulasi *N-Body* pada dinamika gravitasi yang menjelaskan dasar astrofisika dan hasil numerik. Berdasarkan *review* tersebut, terdapat dua sistem dalam simulasi *N-Body* yaitu *collisional* dan *non collisional*. Sistem *collisional* adalah sistem tabrakan bintang satu dengan bintang lain yang terdapat pada kasus gugus bintang dan pusat galaksi, sedangkan sistem *non collisional* merupakan sistem bintang tanpa tabrakan. Sistem tersebut terdapat pada kasus galaksi dengan struktur bintang dalam skala yang luas.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan pemaparan latar belakang, maka rumusan masalah dari penelitian yaitu:

- a. Bagaimana pengaruh nilai skala radius pada potensial model Plummer terhadap lintasan *tidal stream* dari gugus bola.
- b. Bagaimana distribusi aksi bintang yang lepas dari gugus bola.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian ini ialah:

- a. Menggunakan potensial model Plummer.
- b. Interaksi antara bintang-bintang yang lepas diabaikan.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, tujuan penelitian ini yaitu:

- a. Mengetahui pengaruh nilai skala radius pada potensial model Plummer terhadap lintasan *tidal stream* dari gugus bola.
- b. Mengetahui distribusi aksi bintang yang lepas dari gugus bola.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang diberikan dari hasil penelitian ialah:

- a. Memberikan informasi tentang bentuk potensial dari gugus bola jika *tidal stream* ditemukan.
- b. Bentuk distribusi aksi bintang dapat digunakan sebagai perbandingan dengan hasil pengamatan.