

**EVOLUSI ORBIT ASTEROID KELAS VATIRA
STUDI KASUS: 2020 AV2 (594913 'AYLÓ'CHAXNIM)**

SKRIPSI

diajukan untuk memenuhi sebagian syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains
Program Studi Fisika Kelompok Bidang Kajian Fisika Antariksa dan Energi
Tinggi



Oleh

**Ridzki Akbar Pandapotan
NIM 2008115**

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA**

2024

**EVOLUSI ORBIT ASTEROID KELAS VATIRA
STUDI KASUS: 2020 AV2 (594913 'AYLÓ'CHAXNIM)**

Oleh
Ridzki Akbar Pandapotan
NIM 2008115

Sebuah skripsi yang diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Pendidikan pada Fakultas Pendidikan Bahasa dan Seni

© Ridzki Akbar Pandapotan
Universitas Pendidikan Indonesia
2024

Hak Cipta dilindungi undang-undang.
Skripsi ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian,
dengan dicetak ulang, difoto kopi, atau cara lainnya tanpa ijin dari penulis.

LEMBAR PENGESAHAN


Ridzki Akbar Pandapotan

NIM 2008115

**EVOLUSI ORBIT ASTEROID KELAS VATIRA
STUDI KASUS : 2020 AV2 (594913 'AYLÓ'CHAXNIM)**

DISETUJUI DAN DISAHKAN OLEH:

Pembimbing I



Dr. Judhistira Aria Utama, S.Si., M.Si.

NIP. 197703312008121001

Pembimbing II



Dr. Ibnu Nurul Huda, M.Si

NIP. 199310262022021001

Mengetahui

Ketua Program Studi Fisika



Prof. Dr. Endi Suhendi, M.Si.

NIP. 197905012003121001

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul "Evolusi Orbit Asteroid Kelas Vatira Studi Kasus: 2020 AV2" ini beserta seluruh isinya merupakan benar karya saya. Saya tidak melakukan tindakan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika ilmu yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Atas pernyataan ini, saya siap menanggung risiko/sanksi apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran etika keilmuan atau ada klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya saya ini.

Bandung, 20 Agustus 2024



Ridzki Akbar Pandapotan
NIM 2008115

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil ‘alamin, segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Evolusi Orbit Asteroid Kelas Vatira Studi Kasus: 2020 AV2” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana di Program Studi Fisika Fakultas Pendidikan dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Pendidikan Indonesia

Penulisan skripsi ini dapat terselesaikan atas bantuan dan dukungan dari banyak pihak secara moril maupun materil, untuk itu penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Kedua Orang Tua Penulis: Bapak Mulyana dan Ibu Lasma Sigalingging serta adik saya Muhammad Alhadi Akbar yang senantiasa menjadi motivasi terbesar, serta setia untuk selalu memberikan dukungan baik secara moril maupun materil selama penulis menyelesaikan studi jenjang strata satu dan selama penyusunan skripsi sehingga dapat berjalan lancar dan terselesaikan
2. Prof. Dr. Endi Suhendi, S.Si., M.Si. selaku ketua Program Studi Fisika Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Pendidikan Indonesia.
3. Dr. Judhistira Aria Utama S.Si., M.Si., selaku dosen pembimbing I yang selalu memberikan arahan dan solusi selama proses penyusunan skripsi, serta selalu memberikan dukungan selama pengerjaan skripsi.
4. Dr. Ibnu Nurul Huda M.si., selaku dosen pembimbing II atas waktu, tenaga dan pikiran dalam membimbing penulis untuk penelitian dan skripsi.
5. Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) yang telah memberi izin untuk menggunakan HPC Mahameru dalam proses penyusunan skripsi ini.
6. Teman-teman penulis: Ahmad, Azzara, Bagas, Billy, Fadlan, Hizba, Genta, Ikhsan, Sandi, Sofia, Sarifudin, Silva, Sandi yang selalu memberikan semangat dan masukan saran untuk penulis.

Serta semua pihak yang tidak dapat dituliskan satu persatu yang telah membantu dan memberikan dukungannya pada penulis dalam

penyelesaian skripsi ini. Penulis mengetahui dan menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat kesalahan dan jauh dari kata sempurna. Dengan demikian kritik dan saran yang membangun senantiasa dinantikan untuk pertanggungjawaban laporan yang baik dan benar.

Bandung, 20 agustus 2024

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Ridzki', with a long horizontal stroke extending to the right.

Ridzki Akbar Pandapotan

**EVOLUSI ORBIT ASTEROID KELAS VATIRA
STUDI KASUS : 2020 AV2 (594913 'AYLÓ'CHAXNIM)**

Ridzki Akbar Pandapotan

2008115

Pembimbing 1: Dr. Judhistira Aria Utama, S.Si., M.Si.

Pembimbing 2: Dr. Ibnu Nurul Huda, M.Si.

ABSTRAK

Vatira merupakan kelas baru untuk populasi asteroid dekat-Bumi yang orbitnya berada lebih dalam daripada orbit Venus dengan nilai aphelion $0,307 < Q < 0,718$ sa. Asteroid 2020 AV2 (594913 'Ayló'chaxnim) merupakan asteroid pertama yang ditemukan menjadi anggota kelas Vatira. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana evolusi orbit asteroid 594913 'Ayló'chaxnim dengan mengamati perubahan elemen orbitnya dalam orde jutaan tahun. Potensi ancaman tumbukan dengan planet-planet kebumian serta fluks perpindahan dikaji pada penelitian ini. Pada penelitian ini asteroid 594913 'Ayló'chaxnim dikloning sebanyak 1000 klon untuk disimulasikan selama 10^7 tahun dengan tambahan gaya non-gravitasi berupa gaya termal Yarkovsky. Simulasi n-benda ini dibantu dengan paket integrator Rebound dengan model Tata Surya yang terdiri atas Matahari serta kedelapan planet termasuk Bulan sebagai objek terpisah. Pada penelitian ini diperoleh bahwa asteroid 594913 'Ayló'chaxnim merupakan asteroid yang stabil dalam jangka waktu tertentu atau metastabil. Mayoritas waktu yang dihabiskan oleh asteroid dalam simulasi ini berada di daerah Vatira dan Atira. Asteroid ini memiliki nilai probabilitas tumbukan instrinsik yang beragam dengan planet-planet kebumian, dengan nilai terbesar dimiliki planet Merkurius ($3,507 \times 10^{-12} \text{ km}^{-2} \text{ tahun}^{-1}$) dan terkecil untuk planet Mars ($3,963 \times 10^{-20} \text{ km}^{-2} \text{ tahun}^{-1}$). Perpindahan kelas ADB yang paling mungkin dari kelas Vatira adalah perpindahan menuju kelas Atira. Perpindahan menuju kelas ADB lain tidak terjadi selama proses komputasi 10^7 tahun. Diperoleh nilai fluks masuk asteroid kelas Vatira menjadi Atira sebesar $0,106 \pm 0$ asteroid per juta tahun.

Kata kunci: Asteroid dekat-Bumi, Vatira, Evolusi Orbit, Atira, Probabilitas Tumbukan

ORBITAL EVOLUTION OF VATIRA CLASS ASTEROID
CASE STUDY OF 2020 AV2(594913 'AYLÓ'CHAXNIM)

Ridzki Akbar Pandapotan

2008115

Pembimbing 1: Dr. Judhistira Aria Utama, S.Si., M.Si

Pembimbing 2: Dr. Ibnu Nurul Huda, M.Si

ABSTRACT

Vatira is a new class of near-Earth asteroid population whose orbits entirely inside the orbit of Venus with an aphelion value of $0.307 < Q < 0.718$ sa. Asteroid 2020 AV2 (594913 'Ayló'chaxnim) is the first asteroid found to be a member of the Vatira class. This study was conducted to determine how the orbital evolution of asteroid 2020 AV2 by observing changes in its orbital elements on the order of millions of years. The potential threat of collision with terrestrial planets and entrance flux into another class are studied in this research. In this work, asteroid 2020 AV2 (594913 'Ayló'chaxnim) is cloned as many as 1000 clones to be simulated for 107 years with the addition of non-gravitational forces in the form of Yarkovsky thermal forces. The n-body simulation is assisted by the Rebound integrator package with a Solar System model consisting of the Sun and the eight planets including the Moon as separate objects. In this study, it was found that asteroid 594913 'Ayló'chaxnim is a stable asteroid for a certain period of time or metastable asteroid. The majority of the time spent by the asteroid in this simulation is in the Vatira and Atira regions. The asteroid has various values of intrinsic probability of collision with the planets, with the largest value belonging to the planet Mercury ($3,507 \times 10^{-12} \text{ km}^{-2} \text{ year}^{-1}$) and the smallest to the planet Mars ($3,963 \times 10^{-20} \text{ km}^{-2} \text{ year}^{-1}$). The most likely ADB class transfer from the Vatira class is the transfer to the Atira class. Migration towards other ADB classes did not occur during the 107-year computational process. The entrance flux value of Vatira class asteroids into Atira is 0.106 ± 0 asteroids per million years.

Keywords: Near-Earth Asteroid, Vatira, Orbital Evolution, Atira, Collision Probability

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Struktur Organisasi Skripsi	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA	5
2.1 Asteroid Dekat Bumi	5
2.1.1 Amor	6
2.1.2 Apollo.....	7
2.1.3 Aten.....	7
2.1.4 Atira.....	8
2.1.5 Vatira.....	8
2.2 594913 'Ayló'chaxnim.....	9
2.4 Gaya Termal Yarkovsky	12
2.5 Rebound.....	14
2.5.1 IAS15	15

2.5.2	ReboundX	16
2.6	<i>Minimum Orbit Intersection Distance</i>	16
BAB III METODE PENELITIAN.....		20
3.1	Metode Penelitian.....	20
3.2	Sampel Penelitian	20
3.3	Infrastruktur Penelitian.....	20
3.4	Prosedur Penelitian.....	21
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		26
4.1	Elemen Orbit 594913 'Ayló'chaxnim	26
4.2	Distribusi Waktu Tinggal Asteroid 594913 'Ayló'chaxnim	30
4.3	Potensi Tumbukan dengan planet terrestrial.....	32
4.4	Fluks Perpindahan	35
BAB V PENUTUP.....		37
5.1	Kesimpulan.....	39
5.2	Implikasi.....	39
5.3	Rekomendasi	40
DAFTAR PUSTAKA		41

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Elemen orbit asteroid 2020 AV2	9
Tabel 3.1 ID Populasi asteroid yang disimulasikan pada setiap Batch.....	23
Tabel 4.1 Distribusi Waktu Tinggal Asteroid 2020 AV2	32
Tabel 4.2 Radius Hill Planet Terrestrial	33
Tabel 4.3 Nilai kriteria MOID minimum untuk terjadinya tumbukan dengan planet terrestrial.....	33
Tabel 4.4 Jumlah Papasan dekat asteroid terhadap planet terrestrial	34
Tabel 4.5 Tumbukan Intrinsik (Π), Frekuensi Tumbukan, dan Collisional Lifetime	35

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Perbedaan kelas ODB dan daerah sumber dalam ruang a,e	6
Gambar 2. 2 Orbit asteroid kelas amor	6
Gambar 2. 3 Orbit asteroid kelas Apollo	7
Gambar 2. 4 Orbit asteroid kelas Aten.....	8
Gambar 2. 5 Orbit asteroid kelas atira	8
Gambar 2.6 Representasi skematis dari efek harian Yarkovsky	13
Gambar 2.7 Representasi skematis dari efek musiman Yarkovsky	14
Gambar 2.8 Geometri bidang orbit kedua objek langit dan bidang meridional....	18
Gambar 2.9 Segitiga yang dibentuk antara objek A, objek B, dan Matahari di bidang meridional yang ditetapkan oleh anomali benar v_0 (Wiśniowski dan Rickman, 2013).	19
Gambar 3.1 Diagram alur penelitian	21
Gambar 3.2 Tangkapan layar data hasil komputasi orbit yang dihasilkan Rebound	24
Gambar 3.3 Tangkapan layar hasil keluaran program IDL yang mengolah data komputasi orbit yang dihasilkan Rebound	24
Gambar 3.4 Tangkapan layar data MOID hasil keluaran program IDL yang mengolah data hasil komputasi orbit yang dihasilkan Rebound.....	25
Gambar 4.1 Evolusi asteroid nominal terhadap waktu	26
Gambar 4.2 Grafik sumbu jarak terhadap waktu	27
Gambar 4.3 grafik sumbu semimayor terhadap eksentrisitas	28
Gambar 4.4 Grafik perubahan perihelion dan aphelion terhadap waktu	29
Gambar 4.5 Grafik inklinasi terhadap waktu	30
Gambar 4.6 Grafik residence time asteroid 594913 'Ayló'chaxnim dalam bidang bidang a-e (a) dan dalam bidang a-i (b)	31
Gambar 4.7 Grafik laju peluruhan dari kelas Vatira menjadi kelas Atira selama 10^7 tahun.....	36
Gambar 4.8 Pencocokan kurva untuk nilai ln populasi asteroid kelas Vatira tersisa sebagai fungsi waktu selama durasi komputasi 10^7 tahun	37

DAFTAR PUSTAKA

- Asphaug, E, (2009), Growth and Evolution of Asteroids, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 37(1), 413–448, <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.36.031207.124214>
- Bottke, W, (2002), Debaised Orbital and Absolute Magnitude Distribution of the Near-Earth Objects, *Icarus*, 156(2), 399–433, <https://doi.org/10.1006/icar.2001.6788>
- Bottke, W, F., Vokrouhlický, D., Brož, M., Nesvorný, D., & Morbidelli, A, (2001), Dynamical Spreading of Asteroid Families by the Yarkovsky Effect, *Science*, 294(5547), 1693–1696, <https://doi.org/10.1126/science.1066760>
- Bottke, W, F., Vokrouhlický, D., Rubincam, D, P., & Nesvorný, D, (2006), THE YARKOVSKY AND YORP EFFECTS: Implications for Asteroid Dynamics, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 34(1), 157–191, <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.34.031405.125154>
- Chesley, S, R., Vokrouhlický, D., Ostro, S, J., Benner, L, A, M., Shepard, M, K., & Univ, B, (2008), *DIRECT ESTIMATION OF YARKOVSKY ACCELERATION ON NEAR-EARTH ASTEROIDS*,
- Del Vigna, A., Faggioli, L., Milani, A., Spoto, F., Farnocchia, D., & Carry, B, (2018), Detecting the Yarkovsky effect among near-Earth asteroids from astrometric data, *Astronomy & Astrophysics*, 617, A61, <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201833153>
- Farinella, P., & Vokrouhlicky, D, (1998), *Meteorite Delivery via Yarkovsky Orbital Drift*,
- Farnocchia, D., Chesley, S, R., Chamberlin, A, B., & Tholen, D, J, (2015), Star catalog position and proper motion corrections in asteroid astrometry, *Icarus*, 245, 94–111, <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2014.07.033>
- Granvik, M., Morbidelli, A., Vokrouhlický, D., Bottke, W, F., Nesvorný, D., & Jedicke, R, (2017), Escape of asteroids from the main belt, *Astronomy & Astrophysics*, 598, A52, <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201629252>
- Greenberg, A, H., Margot, J,-L., Verma, A, K., Taylor, P, A., & Hodge, S, E, (2020), Yarkovsky Drift Detections for 247 Near-Earth Asteroids, *The Astronomical Journal*, 159(3), 92, <https://doi.org/10.3847/1538-3881/ab62a3>
- Greenstreet, S, (2020), Orbital dynamics of 2020 AV2: The first Vatira asteroid, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*, 493(1), L129–L131, <https://doi.org/10.1093/mnrasl/slaa025>

- Greenstreet, S., Ngo, H., & Gladman, B. (2012), The orbital distribution of Near-Earth Objects inside Earth's orbit, *Icarus*, 217(1), 355–366, <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2011.11.010>
- JeongAhn, Y. dan Malhotra, R. (2015): The current impact flux on mars and its seasonal variation, *Icarus*, **262**, 140 – 153.
- JeongAhn, Y. dan Malhotra, R. (2017): Simplified derivation of the collision probability of two objects in independent keplerian orbits, *Astron. J.*, **153**, 235 – 246.
- Lai, H, T., & Ip, W, H, (2022), The orbital evolution of Atira asteroids, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 517(4), 5921–5929, <https://doi.org/10.1093/mnras/stac2991>
- Morais, M.H.M. dan Morbidelli, A. (2002): The population of near-Earth asteroids in coorbital motion with the Earth, *Icarus*, **160**, 1 – 9.
- Morbidelli, A., Bottke, W.F., Froeschlé, Ch., dan Michel, P. (2002): Origin and evolution of near-Earth objects, 409 – 422 *dalam* Bottke, W.F., Cellino, A., Paolicchi, P., dan Binzel, R.P., ed, *Asteroids III*, 785 hal., Univ. Arizona Press, Tucson.
- Morbidelli, A., Gonczi, R., Froeschlé, C., & Farinella, P, (1994), *Delivery of meteorites through the ν_6 secular resonance*,
- Nesvorný, D., & Bottke, W, F, (2004), Detection of the Yarkovsky effect for main-belt asteroids, *Icarus*, 170(2), 324–342, <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2004.04.012>
- Nugent, C, R., Margot, J, L., Chesley, S, R., & Vokrouhlický, D, (2012), DETECTION OF SEMIMAJOR AXIS DRIFTS IN 54 NEAR-EARTH ASTEROIDS: NEW MEASUREMENTS OF THE YARKOVSKY EFFECT, *The Astronomical Journal*, 144(2), 60, <https://doi.org/10.1088/0004-6256/144/2/60>
- Rein, H., & Liu, S,-F, (2012), REBOUND: An open-source multi-purpose N -body code for collisional dynamics, *Astronomy & Astrophysics*, 537, A128, <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201118085>
- Ribeiro, A, O., Roig, F., De Prá, M, N., Carvano, J, M., & DeSouza, S, R, (2016), Dynamical study of the Atira group of asteroids, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 458(4), 4471–4476, <https://doi.org/10.1093/mnras/stw642>
- Spoto, F., Milani, A., & Knežević, Z, (2015), Asteroid family ages, *Icarus*, 257, 275–289, <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2015.04.041>
- Utama, J, A., Hidayat, T., & Fauzi, U, (t,t.), *THE ORBITAL EVOLUTION OF ASTEROID 367943 DUENDE (2012 DA14) UNDER YARKOVSKY EFFECT INFLUENCE AND ITS*

IMPLICATIONS FOR COLLISION WITH THE EARTH, 10,

- Vokrouhlický, D., Farnocchia, D., Čapek, D., Chesley, S. R., Pravec, P., Scheirich, P., & Müller, T. G. (2015), The Yarkovsky effect for 99942 Apophis, *Icarus*, 252, 277–283, <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2015.01.011>
- Wiśniowski, T. dan Rickman, H. (2013): Fast geometric method for calculating accurate minimum orbit intersection distances, *Acta Astronomica*, **63**, 293 – 307.
- Whiteley, R. J., & Tholen, D. J. (1998), A CCD Search for Lagrangian Asteroids of the Earth–Sun System, *Icarus*, 136(1), 154–167, <https://doi.org/10.1006/icar.1998.5995>
- Ye 叶, Q, 泉志, Masci, F. J., Ip 葉, W.-H, 永烜, Prince, T. A., Helou, G., Farnocchia, D., Bellm, E. C., Dekany, R., Graham, M. J., Kulkarni, S. R., Kupfer, T., Mahabal, A., Ngeow, C.-C., Reiley, D. J., & Soumagnac, M. T. (2020), A Twilight Search for Atiras, Vatiras, and Co-orbital Asteroids: Preliminary Results, *The Astronomical Journal*, 159(2), 70, <https://doi.org/10.3847/1538-3881/ab629c>