



ESTIMASI KONTRIBUSI ASTEROID DEKAT-BUMI KELAS APOLLO TERHADAP JUMLAH POPULASI KEADAAN TUNAK ASTEROID DEKAT-MATAHARI

M. Furqon Iskandar Fatah^{1*}, Judhistira Aria Utama², Yuyu Rachmat Tayubi³

^{1,2,3}Program Studi Fisika, Universitas Pendidikan Indonesia, Jl. Dr. Setiabudhi 229 Bandung

*Alamat Korespondensi : furqon.aizen@upi.edu

ABSTRAK

Dari empat kelas asteroid dekat-Bumi (ADB) yang diketahui, telah dilakukan estimasi kontribusi kelas Apollo, sebagai kelas ADB dengan populasi terbanyak, terhadap populasi keadaan tunak asteroid dekat-Matahari (ADM). Dengan metode numerik menggunakan paket integrator Swift RMVS4 (*Regularized Mixed-Variable Symplectic*) yang telah dimodifikasi untuk dapat menyertakan pula gaya termal selain gaya gravitasi, telah dilakukan komputasi orbit selama 5 juta tahun ke masa depan terhadap seluruh sampel populasi asteroid kelas Apollo yang orbitnya telah diketahui dengan baik (memiliki nilai $U = 0$). Dari analisis terhadap hasil komputasi orbit diperoleh fluks kelas Apollo menjadi asteroid dekat-Matahari ialah 29 ± 3 objek per juta tahun dengan $H < 18$ untuk model Tata Surya di bawah pengaruh gravitasi dan efek Yarkovski. Berdasarkan nilai fluks yang diperoleh, estimasi kontribusi ADB kelas Apollo terhadap keadaan tunak populasi ADM adalah sebesar $\sim 4 \pm 1$ objek untuk $H < 18$ pada setiap saat.

© 2021 Departemen Pendidikan Fisika FPMIPA UPI

Kata kunci: Asteroid Dekat-Bumi, Asteroid Dekat-Matahari, Populasi Keadaan Tunak

PENDAHULUAN

Dari keempat kelas asteroid dekat-Bumi, kelas yang paling banyak memiliki jumlah populasi ialah Apollo (Farinella et al., 1994). Orbit asteroid dekat-Bumi (ADB) diketahui sangat tak tentu, kebanyakan disebabkan karena efek dari mendekati planet-planet, sehingga keanggotaan suatu asteroid dalam kelas tertentu itu bersifat sementara (Milani et al., 1989). Kemudian tumbukan antara asteroid dengan Matahari lazim terjadi karena 70% dari populasinya mengalami hal tersebut (S. Marchi, 2009).

Asteroid dekat-Bumi yang memiliki *perihelion* yang sangat kecil akan mengalami interaksi dengan atmosfer Matahari yang berpengaruh terhadap sifat fisik permukaannya (Emel'yanenko, 2017), mengalami perubahan terhadap reflektansi spektralnya (Hiroi et al., 1996), serta dapat memicu tersebarannya debu akibat dari rekahan termal (Jewitt, 2012; Jewitt & Li, 2010).

Penelitian sebelumnya belum mengklasifikasikan kontribusi tiap kelas ADB terhadap populasi keadaan tunak asteroid dekat-Matahari (ADM), sehingga tujuan dari penelitian ini ialah untuk mengestimasi seberapa besar kontribusi ADB kelas Apollo terhadap populasi keadaan tunak ADM.

METODE

Penelitian ini dilakukan dalam komputasi numerik N-benda dengan data sebanyak 1731 asteroid dekat-Bumi kelas Apollo yang bersumber dari *JPL-NASA Small Body Database Search Engine* (https://ssd.jpl.nasa.gov/sbdb_query.cg) dengan *epoch* yang dipilih yaitu MJD57400. Objek yang digunakan memiliki orbit yang sangat baik, sehingga sesuai dengan batas galat orbit kurang dari 1 detikbusur/decade.

Dengan menggunakan paket integrator SWIFT-RMVS4 (*Regularized Mixed-Variable Symplectic*), evolusi orbit

ADB dapat diperoleh hingga kurun waktu 5 juta tahun ke depan untuk model Tata Surya yang dipengaruhi oleh gaya gravitasi dan efek Yarkovsky. Karena komputasi pada keseluruhan sampel ADB telah berjalan hingga 5 juta tahun, sehingga penelitian ini hanya membatasi durasinya hingga 5 juta tahun saja. Kami menggunakan model Tata Surya dimana objek masifnya ialah Matahari dan juga delapan planet yang mengitarinya dari Merkurius hingga Neptunus, dan Bulan menjadi objek yang terpisah, kemudian memperhitungkan gaya gravitasi dan juga efek Yarkovsky.

Tempat komputasi orbit penelitian ini berlangsung yaitu di Program Studi Astronomi FMIPA ITB dan Departemen Pendidikan Fisika FPMIPA UPI. Setiap langkah waktu perhitungan itu senilai 1:1000 tahun. Komputasi orbit dapat mengetahui asteroid yang menumbuk Matahari, terlempar keluar dari Tata Surya ($a > 100$ sa), atau menumbuk planet-planet. Untuk asteroid yang telah mencapai $a > 100$, maka akan dieliminasi dari proses karena perlu waktu yang sangat panjang untuk kembali ke dalam kawasan dekat-Bumi.

Metode Emel'yanenko (2017) digunakan dalam penelitian ini untuk menentukan apakah suatu asteroid telah menjadi ADM yang sebelumnya dari populasi ADB. Parameter q' , yaitu nilai q terkecil yang mungkin dimiliki oleh asteroid, dapat dicapai pada saat $\cos(i) = 1$ (i menyatakan sudut inklinasi orbit asteroidnya), dihitung menggunakan hubungan:

$$q' = a(1 - \sqrt{1 - c^2}) \quad (1)$$

dengan c yang persamaannya sebagai berikut:

$$c = \sqrt{1 - e^2} \cos i \quad (2)$$

Pada persamaan (1), a menyatakan setengah sumbu panjang orbit, kemudian e dan i pada persamaan (2) berurutan menyatakan eksentrisitas dan inklinasi. Kozai (1962) memperkenalkan parameter c yang merupakan integral gerak di dalam model sekular gerak asteroid yang telah diidealkan. Memiliki nilai parameter c yang sangat kecil ialah keharusan yang patut dimiliki oleh objek-objek yang menjadi penumbuk Matahari karena harus berada dalam orbit yang eksentrik. Batas $q' < 0,1$ sa digunakan sebagai pernyataan bahwa asteroid tersebut telah menjadi anggota populasi ADM.

Skenario yang digunakan pada penelitian ini sudah pernah diterapkan pada penelitian estimasi populasi ADM yang sebelumnya ADB namun masih menyatukan data dari seluruh kelas ADB (Utama et al., 2020). 1731 data ADB yang mewakili kelas Apollo ini dapat diketahui jumlahnya hingga 5 juta tahun ke depan. Jumlah Apollo akan terus menurun karena fluks populasi yang diamati pada penelitian ini adalah kontribusi Apollo terhadap populasi ADM, sehingga tak menghiraukan adanya penambahan jumlah Apollo karena perpindahan ADB kelas lainnya yang berubah menjadi kelas Apollo. Asteroid akan dieliminasi jika terdeteksi sempat menjadi ADM dan jumlah pun akan berkurang seiring waktu karena keberadaan asteroid tersebut tidak akan diperhitungkan lagi.

Kemudian dari akhir integrasi pada populasi sampel ADB, dapat dibuat sebuah kurva peluruhannya. Bentuk fungsi dari menganggap proses peluruhannya berlangsung secara eksponensial (Morais & Morbidelli, 2002) yaitu:

$$y = Ae^{-Bx} \quad (3)$$

digunakan sehingga dapat memperoleh laju peluruhan fraksional. Pada persamaan (3), y , A , B dan x berurutan menyatakan, jumlah sampel tersisa, jumlah awal populasi, laju peluruhan fraksional, dan waktu.

Setelah mendapatkan laju peluruhan fraksional, dapat mengestimasi fluks-masuk ADM yang berasal dari ADB dengan persamaan:

$$F_{ADB \rightarrow ADM} = |B|N_s \quad (4)$$

N_s pada persamaan (4) menyatakan jumlah keadaan tunak populasi Apollo sebesar 610 ± 70 objek (B. Gladman,

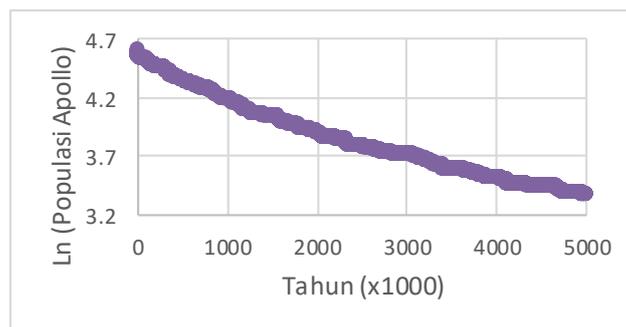
2000). Estimasi kontribusi ADB kelas Apollo terhadap populasi ADM dapat diketahui dengan persamaan:

$$N_{ADM} = F_{ADB \rightarrow ADM} \times \langle L \rangle \quad (5)$$

dimana N_{ADM} menyatakan jumlah keadaan tunak populasi ADM dan $\langle L \rangle$ menyatakan rata-rata kala hidup sebagai ADM.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 1 memperlihatkan grafik peluruhan ADB kelas Apollo menjadi ADM setelah komputasi untuk 5 juta tahun.



Gambar 1 memperlihatkan grafik peluruhan ADB kelas Apollo menjadi ADM setelah komputasi untuk 5 juta tahun

Berdasarkan grafik tersebut, kami menggunakan proses *fitting* dari tahun ke 2 juta hingga 5 juta karena itu cukup *linear* sehingga didapat laju peluruhan fraksional sebesar 0,048 per juta tahun.

Setelah melalui proses *fitting* untuk mendapatkan nilai laju peluruhan fraksional, nilai tersebut digunakan untuk mendapatkan fluks-masuk ADM dari ADB kelas Apollo. Dengan mengadopsi nilai keadaan tunak populasi ADB kelas Apollo dari Gladman et al. (2000), dapat diketahui nilai fluks-masuk sebesar $29,48 \pm 3,38$ asteroid per juta tahun untuk $H < 18$.

Komputasi pada sampel menghasilkan rata-rata kala hidup kelas Apollo sebesar $1,47 \times 10^5$ tahun. Berdasarkan Marchi et al. (2009), -1% populasi ADB menghabiskan

waktu selama $\sim(1 - 1000)$ ribu tahun dalam orbit dengan $q < 0,1$ sa. Dengan menggunakan rata-rata kala hidup kelas Apollo, dapat diketahui estimasi kontribusi ADB kelas Apollo terhadap keadaan tunak populasi ADM sebesar $0,03 \pm 0,003$ hingga $4,34 \pm 0,5$ objek untuk $H < 18$.

Dari hasil yang diperoleh sehingga terbukti bahwa ADB kelas Apollo berkontribusi untuk keadaan tunak populasi ADM setiap saatnya.

PENUTUP

Dari analisis terhadap hasil komputasi orbit, diperoleh fluks kelas Apollo menjadi ADM ialah 29 ± 3 objek per juta tahun dengan $H < 18$ untuk model Tata Surya di bawah pengaruh gaya gravitasi dan efek Yarkovsky. Nilai tersebut kemudian dapat

digunakan untuk memperoleh estimasi kontribusi ADB kelas Apollo terhadap keadaan tunak populasi ADM sebesar $\sim 4 \pm 1$ objek untuk $H < 18$ pada setiap saat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia dengan kontrak bernomor 281/UN40.LP/PT.01.03/2021.

DAFTAR PUSTAKA

- B. Gladman, P. M. C. F. (2000). The near-Earth object population. *Icarus*, *146*(1), 176–189. <https://doi.org/10.1006/icar.2000.6391>
- Emel'yanenko, V. V. (2017). Near-Sun asteroids. *Solar System Research* *2017* *51*:1, *51*(1), 59–63. <https://doi.org/10.1134/S0038094616060010>
- Farinella, P., Froeschlé, C., Froeschlé, C., Gonczi, R., Hahn, G., Morbidelli, A., & Valsecchi, G. B. (1994). Asteroids falling into the Sun. *Nature* *1994* *371*:6495, *371*(6495), 314–317. <https://doi.org/10.1038/371314a0>
- Hiroi, T., Zolensky, M. E., Pieters, C. M., & Lipschutz, M. E. (1996). Thermal metamorphism of the C, G, B, and F asteroids seen from the 0.7 μm , 3 μm , and UV absorption strengths in comparison with carbonaceous chondrites. *Meteoritics & Planetary Science*, *31*(3), 321–327. <https://doi.org/10.1111/J.1945-5100.1996.TB02068.X>
- Jewitt, D. (2012). THE ACTIVE ASTEROIDS. *The Astronomical Journal*, *143*(3), 66. <https://doi.org/10.1088/0004-6256/143/3/66>
- Jewitt, D., & Li, J. (2010). ACTIVITY IN GEMINID PARENT (3200) PHAETHON. *The Astronomical Journal*, *140*(5), 1519. <https://doi.org/10.1088/0004-6256/140/5/1519>
- Kozai, Y. (1962). Secular perturbations of asteroids with high inclination and eccentricity. *Astron. J.*, *67*, 591–598. <https://doi.org/10.1086/108790>
- Milani, A., Carpino, M., Hahn, G., & Nobili, A. M. (1989). Dynamics of planet-crossing asteroids: Morais, M. H. M., & Morbidelli, A. (2002). The Population of Near-Earth Asteroids in Coorbital Motion with the Earth. *Icarus*, *160*(1), 1–9. <https://doi.org/10.1006/ICAR.2002.6937>
- S. Marchi, M. D. A. M. P. P. M. L. (2009). Heating of near-Earth objects and meteoroids due to close approaches to the Sun. *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, *400*(1), 147–153. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2009.15459.x>
- Utama, J. A., Simatupang, F. M., Riza, L. S., & Hidayat, T. (2020). ESTIMASI KELIMPAHAN KEADAAN TUNAK POPULASI ASTEROID DEKAT-MATAHARI. *Jurnal Sains Dirgantara*, *17*(2), 61–68. <https://doi.org/10.30536/J.JSD.2020.V17.A3264>