

Resurfacing Asteroid Dekat-Bumi dengan Spektrum Tipe-Q akibat Papasan Dekat dengan Planet Bumi

Annisa Bagja Mulyani*, Judhistira Aria Utama, Mimin Iryanti

Program Studi Fisika, FPMIPA, Universitas Pendidikan Indonesia

*e-mail : bagjaannisa@upi.edu

ABSTRAK

Meteorit yang paling banyak ditemukan di permukaan Bumi adalah meteorit *Ordinary Chondrites*. Meteorit ini memiliki kemiripan mineralogis dengan asteroid tipe-S dan Q serta kemiripan spektrum dengan asteroid tipe-Q. Dibandingkan dengan asteroid tipe-Q, asteroid tipe-S terlihat lebih merah dengan pita absorpsi yang lebih lemah. Perbedaan ini timbul karena permukaan asteroid tipe-S mengalami pelapukan antariksa. Sementara permukaan asteroid tipe-Q tampak lebih segar karena mengalami mekanisme *resurfacing* di permukaannya. Mekanisme *resurfacing* diduga terjadi akibat papasan dekat yang dialami asteroid tipe-Q dengan planet Bumi. Penelitian ini dilakukan untuk memverifikasi hipotesis di atas, dengan meninjau frekuensi papasan dekat dan jarak terdekat yang dicapai. Pada penelitian ini digunakan 70 sampel asteroid dekat-Bumi (ADB) tipe-Q dan 57 sampel tipe-S, dengan orbit yang dikenal baik. Evolusi orbit asteroid diperoleh menggunakan integrator *EVORB15* selama waktu integrasi 5 juta tahun ke depan. Hingga akhir integrasi orbit diperoleh banyaknya papasan dekat yang dialami ADB tipe-Q dan S dengan planet Bumi masing-masing sebanyak 394 kali dan 510 kali. Rentang jarak papasan dekat kedua tipe asteroid dengan planet Bumi masing-masing bernilai 0,0009-0,0217 sa dan 0,0011-0,0217 sa. Meskipun dari sisi jumlah peristiwa papasan dekat yang terjadi antara asteroid tipe-Q dengan planet Bumi lebih sedikit dibandingkan asteroid tipe-S, jarak papasan dekat yang lebih kecil yang dialaminya dengan planet Bumi menjadi indikasi atas bekerjanya mekanisme *resurfacing* asteroid tipe-Q.

Kata Kunci : Asteroid Tipe-Q, Asteroid Tipe-S, Mekanisme *Resurfacing*, Papasan Dekat

ABSTRACT

The most common meteorites found on the Earth are the Ordinary Chondrite (OC) meteorites. These meteorites are mineralogically similar to Q and S-type asteroids and have identical spectral to Q-type asteroids. Q-type asteroids themselves are similar to S-type asteroids, but S-type asteroids are redder and have weaker absorption bands. The differences are because of the alteration of asteroid surfaces due to space weathering. Q-type asteroids surface are fresher because they have a resurfacing mechanism. The resurfacing is due to close planetary encounters. This research goal is to verify that the Q-type asteroids have a resurfacing mechanism due to their close encounters to the Earth by considering the number of close encounters and the closest distance they achieved. This research used 70 Q-type and 57 S-type of near-Earth asteroids (NEAs) with well-known orbits. The orbits computation was performed by using the *EVORB15* integrator for 5×10^6 years forward. At the end of the computations, the number of close encounters to the Earth experienced by Q and S-type asteroids is 394 times and 510 times, respectively. The range of close encounter distance of Q and S-type asteroids to Earth is 0.0009-0.0217 au and 0.0011-0.0217 au. Even though the S-type asteroids are more frequent in experiencing close encounters with the Earth than the Q-type, the smaller close encounters distance achieved by Q-type asteroids could be an indicator for the resurfacing work.

Keywords : Q-type Asteroids, S-type Asteroids, Resurfacing Mechanism, Close Encounter

PENDAHULUAN

Meteorit yang paling banyak ditemukan di permukaan Bumi adalah meteorit yang diklasifikasikan sebagai *ordinary chondrite* dengan komposisi utamanya mineral silikat, olivine, dan piroksin (Binzel dkk., 1996). Asteroid tipe-S secara mineralogis mirip dengan meteorit *ordinary chondrite* namun spektrumnya berbeda (Reddy dkk., 2015). Sebagian kecil populasi asteroid, yaitu asteroid tipe-Q, memiliki spektrum yang sama dengan meteorit *ordinary chondrite* (DeMeo dkk., 2009). Asteroid tipe-Q dan S berbeda dalam hal asteroid tipe-S terlihat lebih merah dengan pita absorpsi yang lebih lemah daripada asteroid tipe-Q (Binzel dkk., 1996).

Permukaan kedua tipe asteroid tersebut mengalami perubahan akibat pelapukan antariksa. Angin surya dan dampak mikrometeorit merupakan penyebab terjadinya pelapukan antariksa (Brunetto dkk., 2015). Pelapukan antariksa yang terjadi berakibat pada, diantaranya, permukaan asteroid menjadi tampak lebih merah/menggelap (Binzel dkk., 2010). Asteroid tipe-Q memiliki permukaan yang lebih segar daripada tipe-S diduga karena mengalami proses *resurfacing* sehingga asteroid tipe-Q pun memiliki albedo (rasio antara sinar yang dipantulkan dengan sinar yang datang di permukaan) yang tinggi (Carry dkk., 2016; Prymek dkk., 2018).

Menurut Nesvorný dkk. (2005), papasan dekat dengan planet yang dialami asteroid merupakan faktor dominan terjadinya *resurfacing* asteroid. Papasan dekat dengan planet dapat menghasilkan cukup gaya pasang surut untuk mengatur ulang permukaan asteroid disebabkan longsor, gangguan butiran permukaan, dan diikuti terbuka/terbongkarnya permukaan/material yang *fresh* dimana material tersebut memiliki spektrum tipe-Q, yang biasa disebut sebagai hipotesis papasan dekat planet (close planetary encounters) (Nesvorný dkk., 2005).

Pada pekerjaan Prymek, dkk. (2018), papasan dekat dengan planet dilakukan menggunakan pendekatan MOID (jarak terdekat dua orbit benda langit). Asteroid tipe-Q lebih sering mengalami peristiwa papasan dekat dengan planet dengan MOID terkecil daripada asteroid tipe-S (Prymek dkk., 2018). Hasil pekerjaan Prymek, dkk. (2018), ADB Tipe-Q memiliki MOID terkecil. Pada penelitian ini, untuk mengetahui terjadinya peristiwa papasan dekat dengan planet Bumi yang dialami ADB tipe-Q dan tipe-S dilakukan

menggunakan pendekatan jarak terdekat asteroid ke Bumi (dua objek langit yang berada pada orbitnya dan posisi keduanya saling berdekatan), selain itu dengan meninjau jumlah peristiwa papasannya dengan Bumi.

Untuk mengetahui terjadinya peristiwa papasan dekat dengan planet yang dialami asteroid di masa lampau atau di masa yang akan datang dapat memanfaatkan nilai-nilai elemen orbit, yaitu dengan mengikuti evolusi elemen orbit asteroid melalui simulasi numerik menggunakan integrator (Utama dkk., 2015).

METODE

Data asteroid diperoleh dari laman https://ssd.jpl.nasa.gov/sbdb_query.cgi dengan melakukan proses seleksi asteroid dekat-Bumi pada kelas Amor [a (setengah sumbu panjang orbit) > 1 SA (satuan astronomi), dan $1.017 < q$ (jarak perihelion) < 1.3 SA], Apollo ($a > 1$ SA, dan $q < 1.017$ SA), Aten [$a < 1$ SA, dan Q (jarak aphelion) > 0.983 SA], dan Atira ($a < 1$ SA, dan $Q < 0.983$ SA), dengan orbit yang diketahui sangat baik (*condition code* $U=0$; bersesuaian dengan batas galat orbit kurang dari $1''$ /dekade), diperoleh data sebanyak 4549 sampel asteroid. Dari 4549 sampel hanya terdiri 70 sampel asteroid dekat-Bumi (ADB) tipe-Q dan 57 sampel ADB tipe-S. Data yang diperoleh terdiri dari elemen-elemen orbit Keplerian tiap asteroid.

Data yang sudah diperoleh kemudian diintegrasikan menggunakan Integrator EVORB15, namun terdapat keterbatasan dalam integrator ini, yaitu hanya bisa mengintegrasikan 500 objek, oleh karena itu data dipisahkan dalam 10 *batch*. *Batch 1* sampai *batch 9* terdiri dari 500 objek, yaitu 9 objek masif (8 Planet dan Bulan) dan 491 asteroid. *Batch 10* terdiri dari 139 objek, yaitu 9 objek masif dan 130 asteroid. Proses komputasi dilakukan hingga 5×10^6 tahun.

Integrator EVORB15 melakukan simulasi numerik dalam bentuk masalah N-Benda. Parameter-parameter planet yang dimasukkan ke dalam integrator; yaitu element orbit [a (setengah sumbu panjang), e (eksentrisitas), i (inklinasi), ω (argumen periapse), Ω (bujur simpul naik), M (anomali rata-rata)], massa, dan radius. Dan parameter-parameter asteroid yang dimasukkan ke dalam integrator, yaitu elemen orbit ($a, e, i, \omega, \Omega, M$). Integrator ini menggunakan algoritma Wisdom dan Holman untuk mengintegrasikan persamaan gerak Hamiltonian, kemudian menggunakan algoritma Bulirsch-Stoer saat terjadi papasan dekat

dengan planet dengan jarak kurang dari 3 kali radius Hill (Fernández dkk., 2002).

Menurut Holman (1994), persamaan Hamiltonian untuk sistem N-benda :

$$H=H_{\text{Kepler}}+H_{\text{Interaksi}} \quad (2.1)$$

H_{Kepler} merupakan Keplerian Hamilton yang merepresentasikan gerak Kepler tiap benda dan $H_{\text{Interaksi}}$ merepresentasikan interaksi gravitasi di antara planet-planet. Dengan H_{Kepler} sebagai berikut

$$H_{\text{Kepler}}=\sum_{i=1}^{n-1}\left(\frac{p_i^2}{2m_i}-\frac{Gm_im_\odot}{r_{i\odot}}\right) \quad (2.2)$$

dan $H_{\text{Interaksi}}$ sebagai berikut

$$H_{\text{Interaksi}}=\sum_{i=1}^{n-1}Gm_im_\odot\left(\frac{1}{r_i}-\frac{1}{r_{i\odot}}\right)-\sum_{0<i<j} \frac{Gm_im_j}{r_{ij}} \quad (2.3)$$

p_i merupakan momentum planet masif, m_i adalah massa planet masif, m_\odot adalah massa matahari, $r_{i\odot}$ adalah jarak planet masif ke Matahari, m_j massa asteroid, dan r_{ij} adalah jarak planet masif ke asteroid (Holman, 1994).

Asteroid dikatakan mengalami papasan dekat dengan planet jika jarak asteroid ke planet lebih kecil dari 3 radius Hill

$$r_{ij}<3R_H \quad (2.4)$$

Integrator EVORB15 menyertakan koreksi relativistik selain efek gravitasi. Persamaan koreksi relativistik yang digunakan integrator EVORB15

$$\Delta\dot{r}=\frac{\mu}{r^3c^2}\left[\left(\frac{4\mu}{r}-v^2\right)r+4(v\cdot r)v\right] \quad (2.5)$$

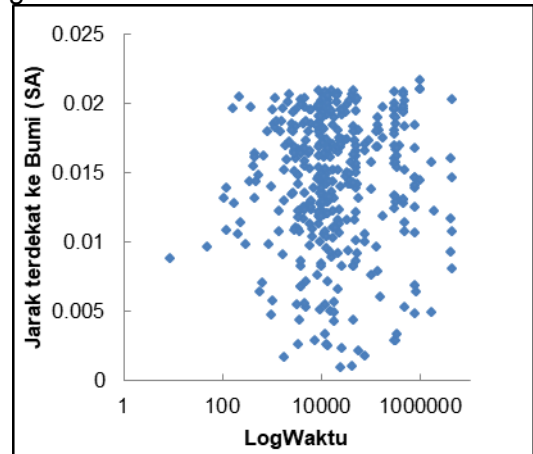
Dimana $\mu=k^2M_\odot$ dengan k bernilai 0.0172, c adalah kecepatan cahaya, dan v adalah kecepatan barisentrik (Venturini dkk., 2009).

Data yang akan dianalisis adalah jarak papasan dekat dan jumlah papasan dekat yang dicapai oleh asteroid-asteroid tipe spektrum Q dan S dengan planet Bumi.

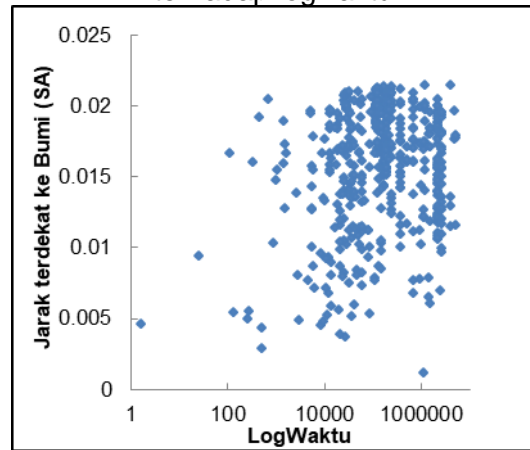
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini digunakan 70 sampel ADB tipe-Q dan 57 sampel ADB tipe-S. Selama integrasi, ADB tipe-Q mengalami papasan dekat dengan planet Bumi sebanyak 394 kali dan ADB tipe-S sebanyak 510 kali. Dengan demikian diperoleh rata-rata peristiwa papasan dekat yang dialami asteroid tipe-Q dan tipe-S masing-masing adalah 1.12×10^{-6} dan 1.79×10^{-6} untuk setiap asteroidnya selama selang waktu integrasi. Selama waktu integrasi,

diperoleh jarak terdekat ADB tipe-Q ke Bumi dalam rentang 0.0009-0.0217 SA. Diperoleh juga jarak terdekat ADB tipe-S ke Bumi dalam rentang 0.0011-0.0217 SA.

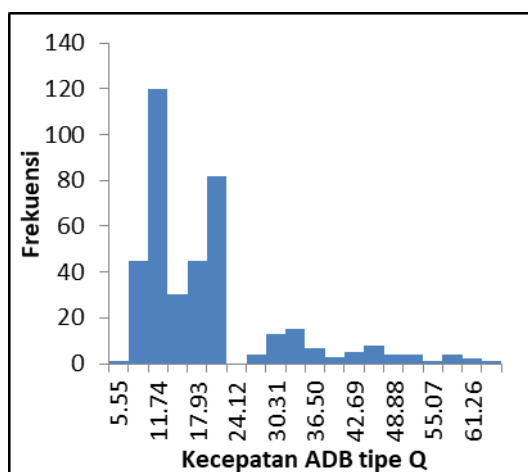


Gambar 3. 1. Grafik jarak terdekat ADB tipe-Q terhadap logwaktu



Gambar 3. 2. Grafik jarak terdekat ADB tipe-S terhadap logwaktu

Berdasarkan data, diketahui bahwa ADB tipe-S lebih sering mengalami papasan dekat dengan planet Bumi dibandingkan ADB tipe-Q, hal ini berbeda dengan hasil pekerjaan Prymek, dkk. (2018) di mana asteroid tipe-Q lebih sering mengalami peristiwa papasan dekat dengan planet. Namun, ketika peristiwa papasan dekat dengan planet Bumi, ADB tipe-Q memiliki jarak terdekat ke Bumi yang lebih kecil daripada ADB tipe-S. Peristiwa papasan dekat di jarak yang lebih kecil dengan planet Bumi dapat memberi penjelasan atas mekanisme *resurfacing* asteroid tipe-Q.



Gambar 3.3 Grafik frekuensi terhadap kecepatan ADB tipe-Q saat berpapasan dekat dengan Bumi

Puncak kurva pada Gambar 3.3 berada pada sisi kiri yang artinya pada saat ADB tipe-Q berpapasan dekat dengan Bumi, paling sering bergerak dengan kecepatan rendah, hal ini menunjukkan gaya pasang surut pada asteroid yang dipengaruhi Bumi lebih kuat. Hal tersebut akan berpengaruh pula pada permukaan ADB tipe-Q.

Selama integrasi, terdapat beberapa kali ADB tipe-Q dan tipe-S berpapasan dekat dengan planet Bumi pada jarak yang lebih dekat daripada jarak Bumi-Bulan ($<0.002569 SA$) dan lebih kecil dari MOID PHA ($<0.05 SA$). Papasan dekat dengan planet Bumi yang dialami ADB tipe-Q dan tipe-S dengan jarak papasan yang ekstrim (sangat dekat) dapat mengakibatkan asteroid menumbuk Bumi, atau keluar dari sistem tata surya, atau *sun-grazing*.

PENUTUP

Berdasarkan hasil integrasi data yang telah dilakukan, diperoleh jumlah total peristiwa papasan dekat planet Bumi yang dialami ADB tipe-Q dan S masing-masing sebanyak 394 kali dan 510 kali. ADB tipe-S lebih sering mengalami papasan dekat daripada ADB tipe-Q, hal ini berbeda dengan penjelasan dari Prymek, dkk. (2018). Kemudian diperoleh jarak terdekat ADB tipe-Q dan S ke Bumi masing-masing dalam rentang 0,0009-0,0217 SA dan 0,0011-0,0217 SA. ADB tipe-Q memiliki jarak ke Bumi yang lebih dekat daripada ADB tipe-S, hal ini memiliki korelasi dengan penjelasan Prymek, dkk. (2018), dimana ADB tipe-Q memiliki MOID terkecil. Peristiwa papasan dekat di jarak yang lebih kecil dengan planet Bumi dapat memberi penjelasan atas mekanisme *resurfacing* asteroid tipe-Q.

Dari semua peristiwa papasan dekat dengan planet Bumi yang dialami ADB tipe-Q dan tipe-S, terdapat beberapa kali asteroid berpapasan dengan jarak yang ekstrim yaitu lebih dekat daripada jarak rata-rata Bumi-Bulan atau lebih kecil dari MOID (*Minimum Orbital Intersection Distance*) untuk kelas PHAs (*Potentially Hazardous Asteroids*). Hal tersebut menjadi indikasi orbit yang mudah berubah yang dialami oleh populasi ADB. Saat salah satu kelas ADB menjadi juga kelas khusus PHAs, maka orbitnya perlu senantiasa dipantau melalui patroli pengamatan. Guna memperdalam analisis atas mekanisme *resurfacing* yang dipicu oleh papasan dekat ini, dalam penelitian berikutnya akan ditinjau pula pengaruh peristiwa tumbukan non-katastropik antar-asteroid.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia dengan kontrak bernomor 429/UN40.D/PT/2020.

DAFTAR PUSTAKA

- Binzel, R. P., Bus, S. J., Burbine, T. H., & Sunshine, J. M. (1996). "Spectral properties of near-earth asteroids: Evidence for sources of ordinary chondrite meteorites". *Science*. **273**, (5277), 946–948.
- Binzel, R. P., Morbidelli, A., Merouane, S., Demeo, F. E., Birlan, M., Vernazza, P., Thomas, C. A., Rivkin, A. S., Bus, S. J., & Tokunaga, A. T. (2010). "Earth encounters as the origin of fresh surfaces on near-Earth asteroids". *Nature*. **463**, (7279), 331–334.
- Brunetto, R., Loeffler, M. J., Nesvorný, D., Sasaki, S., & Strazzulla, G. (2015). "Asteroid surface alteration by space weathering processes". *Asteroids IV*. 597–616.
- Carry, B., Solano, E., Eggl, S., & DeMeo, F. E. (2016). "Spectral properties of near-Earth and Mars-crossing asteroids using Sloan photometry". *Icarus*. **268**, 340–354.
- DeMeo, F. E., Binzel, R. P., Slivan, S. M., & Bus, S. J. (2009). "An extension of the Bus asteroid taxonomy into the near-infrared". *Icarus*. **202**, (1), 160–180.
- Fernández, J. A., Gallardo, T., & Brunini, A. (2002). "Are there many inactive Jupiter-

- family comets among the near-earth asteroid population?". *Icarus*. **159**, (2), 358–368.
- Holman, M. J. (1994). *Symplectic maps for the n-body problem with applications to solar systems dynamics*. In Ph.D. Thesis Massachusetts Inst. of Tech.
- Nesvorný, D., Jedicke, R., Whiteley, R. J., & Ivezić, Ž. (2005). "Evidence for asteroid space weathering from the Sloan Digital Sky Survey". *Icarus*. **173**, (1), 132–152.
- Prymek, M., Graves, K., Minton, D. (2018). "Fresh Surfaces on Q-Type Asteroids: Close Planetary Encounters Unlikely to Be the Source". *Journal Purdue Undergraduate Research*. **8**, 50–56.
- Reddy, V., Dunn, T. L., Thomas, C. A., Moskovitz, N. A., & Burbine, T. H. (2015). "Mineralogy and surface composition of asteroids". *Asteroids IV*.
- Utama, J.A., Dermawan, B., Hidayat, T., & Fauzi, U. (2015). "Dinamika Orbit Asteroid 2012 Da14 Pascapapasan Dekat Dengan Bumi". *Spektra*. **16**, (1), 1–5.
- Venturini, J., & Gallardo, T. (2009). "How to take into account the relativistic effects in dynamical studies of comets". *Proceedings of the International Astronomical Union*. **5**, (S263), 106–109.