

**TINJAUAN PAPASAN DEKAT POPULASI ASTEROID DEKAT-
BUMI DENGAN PLANET-PLANET TERESTRIAL SEBAGAI
MEKANISME *RESURFACING* ASTEROID BERSPEKTRUM TIPE
Q-KOMPLEKS**

SKRIPSI

diajukan untuk memenuhi sebagian syarat memperoleh gelar Sarjana Sains

Program Studi Fisika

Konsentrasi Fisika Antariksa



Oleh :

Annisa Bagja Mulyani (1704020)

PROGRAM STUDI FISIKA

DEPARTEMEN PENDIDIKAN FISIKA

FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA

2021

Annisa Bagja Mulyani, 2021

*TINJAUAN PAPASAN DEKAT POPULASI ASTEROID DEKAT-BUMI DENGAN PLANET-PLANET TERESTRIAL
SEBAGAI MEKANISME RESURFACING ASTEROID BERSPEKTRUM TIPE Q-KOMPLEKS*

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

**TINJAUAN PAPASAN DEKAT POPULASI ASTEROID DEKAT-BUMI
DENGAN PLANET-PLANET TERESTRIAL SEBAGAI MEKANISME
RESURFACING ASTEROID BERSPEKTRUM TIPE Q-KOMPLEKS**

Oleh

Annisa Bagja Mulyani

Sebuah skripsi yang diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Sains di Program Studi Fisika

Konsentrasi Fisika Antariksa

FPMIPA UPI

© Annisa Bagja Mulyani

Universitas Pendidikan Indonesia

Juli 2021

Hak cipta dilindungi undang-undang.

Skripsi ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya ataupun sebagian,

Dengan dicetak ulang, difotokopi, atau cara lainnya tanpa izin penulis.

Annisa Bagja Mulyani, 2021

**TINJAUAN PAPASAN DEKAT POPULASI ASTEROID DEKAT-BUMI DENGAN PLANET-PLANET
TERESTRIAL SEBAGAI MEKANISME RESURFACING ASTEROID BERSPEKTRUM TIPE Q-KOMPLEKS**
Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

LEMBAR PENGESAHAN

ANNISA BAGJA MULYANI

**TINJAUAN PAPASAN DEKAT POPULASI ASTEROID
DEKAT-BUMI DENGAN PLANET-PLANET TERESTRIAL
SEBAGAI MEKANISME *RESURFACING* ASTEROID
BERSPEKTRUM TIPE Q-KOMPLEKS**

disetujui dan disahkan oleh :

Pembimbing I,



Dr. Judhistira Aria Utama, M.Si.

NIP. 197703312008121001

Pembimbing II,



Dr. Mimin Iryanti, M.Si.

NIP. 197712082001122001

Ketua Program Studi Fisika,



Dr. Endi Suhendi, M.Si.

NIP.197905012003121001

HALAMAN PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Tinjauan Papasan Dekat Populasi Asteroid Dekat-Bumi dengan Planet-Planet Terrestrial sebagai Mekanisme *Resurfacing* Asteroid Berspektrum Tipe Q-kompleks” ini beserta seluruh isinya adalah benar-benar karya saya sendiri. Saya tidak melakukan 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 dikemudian hari ditemukan adanya pelanggaran etika keilmuan atau ada klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya saya ini.

Bandung, Juli 2020

Yang membuat pernyataan,

Annisa Bagja Mulyani

NIM 1704020

TINJAUAN PAPASAN DEKAT POPULASI ASTEROID DEKAT-BUMI DENGAN PLANET-PLANET TERESTRIAL SEBAGAI MEKANISME *RESURFACING* ASTEROID BERSPEKTRUM TIPE Q-KOMPLEKS

Annisa Bagja Mulyani

1704020

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

Pembimbing 2 : Dr. Mimin Iryanti, M.Si.

Program Studi Fisika FPMIPA UPI

ABSTRAK

Asteroid tipe Q memiliki kemiripan mineralogis dengan asteroid tipe S, yaitu komposisi kedua asteroid tersebut mengandung *Ordinary Chondrite*. Namun, permukaan asteroid tipe S terlihat lebih merah dengan pita penyerapan yang lebih rendah dibandingkan permukaan asteroid tipe Q. Perbedaan tersebut disebabkan asteroid tipe S mengalami pelapukan antariksa. Sedangkan asteroid tipe Q yang lebih *fresh* karena terdapat mekanisme *resurfacing* pada permukaannya. Mekanisme *resurfacing* diduga disebabkan oleh papasan dekat asteroid tipe Q dengan planet. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk membuktikan hipotesis di atas, dengan meninjau jumlah papasan dekat, jarak papasan dekat, dan distribusi jarak minimum. Sampel data yang digunakan terdiri dari 70 sampel ADB (Asteroid Dekat-Bumi) tipe Q-kompleks dan 98 sampel ADB tipe S-kompleks, dengan orbit yang dikenal baik ($U=0$). Evolusi orbit diperoleh dengan menggunakan integrator EVORB15 dengan waktu integrasi selama 5×10^5 tahun ke belakang dan 5×10^6 tahun ke depan. Berdasarkan hasil integrasi diperoleh bahwa ADB tipe Q-kompleks lebih sering berpapasan dekat dengan Merkurius dan Venus. Sedangkan ADB tipe S lebih sering berpapasan dekat dengan Bumi dan Mars yang menyebabkan perubahan spektrum yang dulunya tipe S menjadi tipe Q. Kemudian jarak papasan dekat antara planet terestrial dengan ADB tipe Q-kompleks lebih dekat daripada dengan ADB tipe S-kompleks. Pendekatan jarak papasan dan MOID (*Minimum Orbit Intersection Distance*) memberikan hasil yang berbeda. Dari pendekatan MOID, diperoleh nilai frekuensi kedekatan dan frekuensi tumbukan yang lebih kecil dibandingkan pendekatan jarak papasan. Selain itu, pendekatan MOID memiliki hasil yang lebih dekat dengan hasil penelitian terdahulu. Pendekatan jarak papasan dapat digunakan sebagai perspektif baru dalam meninjau mekanisme *resurfacing* di permukaan asteroid tipe Q-kompleks.

Kata Kunci : asteroid tipe Q, asteroid tipe S, papasan dekat, MOID, mekanisme *resurfacing*

REVIEW OF CLOSE ENCOUNTERS BETWEEN NEAR-EARTH ASTEROIDS POPULATION AND TERRESTRIAL PLANETS AS A RESURFACING MECHANISM OF COMPLEX Q-TYPE ASTEROIDS

Annisa Bagja Mulyani

1704020

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

Pembimbing 2 : Dr. Mimin Iryanti, M.Si.

Program Studi Fisika FPMIPA UPI

ABSTRACT

The Q-type asteroids are mineralogically similar to S-type asteroids, with Ordinary Chondrite present in both. But, the S-type asteroids surface are redder and have weaker absorption band than the Q-type asteroids. The difference are because the S-type asteroids have a space weathering. And the Q-type asteroids are fresher due to they have a resurfacing mechanism on their surface. The resurfacing mechanism is caused by close encounters with planets. This research goal is to examine that the resurfacing mechanism due to Q-type asteroids close encounters to the planet terrestrial by considering the number of close encounters, the distance of close encounters, and the the distribution of the minimum distance among asteroids and planets. This research used 70 Q-type and 98 S-type of near-Earth asteroids (NEAs) with well-known orbits. The orbital evolution was determined by using the EVORB15 integrator for 5×10^5 years backward and 5×10^6 years forward. At the end of integrations, Q-type NEAs are more frequent in experiencing close encounters with Mercury and Venus. While, S-type NEAs are more frequent in experiencing close encounters with Earth and Mars. Then, the distances of close encounters to the terrestrial planets of Q-type NEAs are closer than S-type NEAs. The distance of close encounters method and MOID (Minimum Orbit Intersection Distance) method have different results. When used MOID method, the closeness frequency and the collision frequency are smaller than close encounters method, and the value is closer to the previous research. The use of physical distance during close encounters can be used as a new perspective in investigating resurface mechanism on Q-type asteroids.

Keywords : Q-type asteroids, S-type asteroids, close encounters, MOID, resurfacing mechanism

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena dengan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “Tinjauan Papasan Dekat Populasi Asteroid Dekat-Bumi dengan Planet-Planet Terrestrial sebagai Mekanisme *Resurfacing* Asteroid Berspektrum Tipe Q-kompleks”. Shalawat serta salam semoga selalu tercurah kepada Nabi Muhammad SAW., keluarganya, sahabat-sahabatnya, tabi’it tabi’in, dan seluruh umatnya yang senantiasa taat dan patuh kepadanya.

Penulis yakin bahwa dalam menyusun Skripsi ini tak lepas dari bimbingan dan arahan dari berbagai pihak. Semoga semua pihak yang telah memberikan bantuannya pada penulis mendapatkan balasan yang terbaik dari Allah Swt.

Penulis telah menyusun Skripsi ini dengan sebaik-baiknya, tetapi tidak menutup kemungkinan masih ada kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun guna sempurnanya Skripsi ini.

Penulis berharap semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi pembaca pada umumnya serta perkembangan ilmu pengetahuan. Akhir kata semoga Allah SWT. senantiasa membuka jalan bagi peningkatan kualitas ilmu pengetahuan dalam upaya mendapatkan ridho-Nya. Aamiin.

Bandung, Juli 2021

Penulis,

Annisa Bagja Mulyani

1704020

UCAPAN TERIMAKASIH

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT. karena dengan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “Tinjauan Papasan Dekat Populasi Asteroid Dekat-Bumi dengan Planet-Planet Terrestrial sebagai Mekanisme *Resurfacing* Asteroid Berspektrum Tipe Q-kompleks”. Skripsi ini dapat terselesaikan berkat doa, bimbingan, pengarahan dan bantuan, serta motivasi dari berbagai pihak yang telah bersedia meluangkan waktunya untuk membantu penulis. Oleh karena itu pada kesempatan kali ini, penulis sampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Judhistira Aria Utama, M.Si. selaku Dosen Pembimbing I atas kesediaannya memberikan bimbingan, masukan, perhatian, dan waktunya dalam penulisan skripsi ini;
2. Ibu Mimin Iryanti, M.Si. selaku Dosen Pembimbing II dan Dosen Pembimbing Akademik yang senantiasa memberikan bimbingan, masukan, perhatian dan waktunya dalam penulisan skripsi ini;
3. Bapak Dr. Endi Suhendi, M.Si. selaku Ketua Program Studi Fisika Universitas Pendidikan Indonesia yang membantu proses administrasi sehingga skripsi diselesaikan;
4. Seluruh Dosen Departemen Pendidikan Fisika yang telah membekali penulis dengan ilmu pengetahuan yang bermanfaat selama masa kuliah;
5. Seluruh staf Tata Usaha Departemen Pendidikan Fisika yang telah memberikan bantuan dan layanan dalam proses administrasi penulisan skripsi ini;
6. Bapak Lili dan Ibu Tuti selaku orang tua penulis yang senantiasa selalu sabar dalam mendidik, memberikan dukungan, dan doa kepada penulis;
7. Wahyudin dan Afifah selaku teman seperjuangan dalam KBK Fisika Antariksa yang selalu memberikan semangat pada penulis; dan
8. Semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu yang telah memberikan dorongan, semangat, dan doanya kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
HALAMAN PERNYATAAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	v
UCAPAN TERIMAKASIH	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	Error! Bookmark not defined.
1.1 Latar Belakang	Error! Bookmark not defined.
1.2 Rumusan Masalah	Error! Bookmark not defined.
1.3 Tujuan Penelitian	Error! Bookmark not defined.
1.4 Manfaat Penelitian	Error! Bookmark not defined.
1.5 Batasan Masalah	Error! Bookmark not defined.
1.6 Sistematika Penulisan	Error! Bookmark not defined.
BAB II KAJIAN TEORI	Error! Bookmark not defined.
2.1 Asteroid Dekat Bumi	Error! Bookmark not defined.
2.2 Tipe-Tipe Spektrum Asteroid	Error! Bookmark not defined.
2.3 Planet Terrestrial/Kebumian	Error! Bookmark not defined.
2.4 Proses Mekanisme Resurface Asteroid ...	Error! Bookmark not defined.
2.5 Papasan Dekat dengan Planet mengakibatkan Resurfacing Asteroid	Error! Bookmark not defined.
2.6 Jarak Papasan dekat dengan Planet yang Efektif menghasilkan Gaya Pasang Surut untuk Proses <i>Resurfacing</i> Asteroid	Error! Bookmark not defined.
2.7 Hukum-Hukum Fisika yang Berlaku	Error! Bookmark not defined.
2.7.1 Hukum Gravitasi Newton dan Hukum Kepler	Error! Bookmark not defined.
2.7.2 Masalah N-Benda	Error! Bookmark not defined.
2.7.3 Radius Hill	Error! Bookmark not defined.

2.7.4	Efek Relativistik.....	Error! Bookmark not defined.
BAB III METODE PENELITIAN.....		Error! Bookmark not defined.
3.1	Desain Penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
3.2	Sampel Data Penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
3.3	Integrasi Numerik Sampel Asteroid menggunakan Integrator EVORB15	Error! Bookmark not defined.
3.4	Minimum Orbit Intersection Distance (MOID)	Error! Bookmark not defined.
3.5	Pengolahan Data.....	Error! Bookmark not defined.
3.5.1	Pengolahan Data Jumlah Papasan Dekat dengan Planet Terrestrial yang dialami ADB Tipe Q-kompleks dan S-kompleks	Error! Bookmark not defined.
3.5.2	Pengolahan Data Jarak Papasan ADB tipe Q-kompleks dan S-kompleks dengan Planet Terrestrial	Error! Bookmark not defined.
3.5.3	Pengolahan Data MOID ADB Tipe Q-kompleks dan S-kompleks	Error! Bookmark not defined.
BAB IV TEMUAN DAN PEMBAHASAN		Error! Bookmark not defined.
4.1	Peristiwa Papasan Dekat ADB Tipe Q-kompleks dan S-kompleks dengan Planet Terrestrial Selama 500 Ribu Tahun ke Belakang...	Error! Bookmark not defined.
4.1.1	Jumlah Papasan ADB tipe Q-kompleks dan S-kompleks dengan Planet Bumi dan Mars Selama 500.000 Tahun ke Belakang.....	Error! Bookmark not defined.
4.1.2	Jarak Papasan ADB tipe Q-kompleks dan S-kompleks dengan Planet Bumi dan Mars Selama 500.000 Tahun ke Belakang..	Error! Bookmark not defined.
4.1.3	Jumlah Papasan Dekat sebagai Fungsi Jarak Minimum Selama 500.000 Tahun ke Belakang.....	Error! Bookmark not defined.
4.2	Peristiwa Papasan Dekat ADB Tipe Q-kompleks dan S-kompleks dengan Planet Terrestrial Selama 5 Juta Tahun ke Depan.....	Error! Bookmark not defined.
4.2.1	Jumlah Papasan ADB tipe Q-kompleks dan S-kompleks dengan Planet Terrestrial Selama 5 Juta Tahun ke Depan.....	Error! Bookmark not defined.
4.2.2	Jarak Papasan ADB tipe Q-kompleks dan S-kompleks dengan Planet Terrestrial Selama 5 Juta Tahun ke Depan.....	Error! Bookmark not defined.

4.2.3 Jumlah Papasan Dekat sebagai Fungsi Jarak Papasan Dekat yang Ekstrim dan MOID yang Ekstrim Selama 5 Juta Tahun ke Depan..... **Error! Bookmark not defined.**

BAB V SIMPULAN DAN REKOMENDASI**Error! Bookmark not defined.**

5.1 Simpulan.....**Error! Bookmark not defined.**

5.2 Rekomendasi**Error! Bookmark not defined.**

DAFTAR PUSTAKA 52

LAMPIRAN**Error! Bookmark not defined.**

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Deskripsi dan Definisi Kelas Orbit ADB **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 1 Persentase Sampel ADB Tipe Q-kompleks dan S-kompleks **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 2 Jumlah papasan dekat antara ADB tipe Q-kompleks dan S-kompleks dengan Bumi **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 3 Jumlah papasan dekat antara ADB tipe Q-kompleks dengan Mars **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 4 Frekuensi kedekatan dan frekuensi tumbukan antara Bumi dan Mars dengan ADB tipe Q-kompleks dan S-kompleks **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 5 Persentase Sampel ADB Tipe Q-kompleks dan S-kompleks **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 6 Jumlah papasan dekat antara ADB tipe Q-kompleks dan S-kompleks dengan Merkurius..... **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 7 Jumlah papasan dekat antara ADB tipe Q-kompleks dan S-kompleks dengan Venus **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 8 Jumlah papasan dekat antara ADB tipe Q-kompleks dan S-kompleks dengan Bumi **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 9 Jumlah papasan dekat antara ADB tipe Q-kompleks dan S-kompleks dengan Mars **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 10 Frekuensi kedekatan dan frekuensi tumbukan antara masing-masing planet terestrial dengan ADB tipe Q-kompleks dan S-kompleks **Error! Bookmark not defined.**

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 2. 1 Perbedaan MOID dengan Jarak Terdekat **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2. 2 Ilustrasi Elemen-Elemen Orbit Keplerian **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2. 3 Ilustrasi Radius Hill.....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3. 1 Diagram Alir Prosedur Penelitian**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3. 2 Ilustrasi Geometri Bidang Orbit Dua Objek Benda Langit..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3. 3 Segitiga yang dibentuk Matahari, objek A dan objek B di bidang meridional yang ditetapkan oleh anomali benar**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3. 4 Formula Excel untuk memperoleh jumlah papasan dekat antara satu asteroid dengan satu planet**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3. 5 Formula Excel untuk menyeleksi data waktu papasan dekat dengan planet yang dialami asteroid.....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3. 6 Plot rata-rata jumlah papasan dekat terhadap jarak papasan ADB tipe Q-kompleks dengan planet Mars, untuk mengetahui distribusi jarak minimum ADB tipe Q-kompleks dengan planet Mars.**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3. 7 Grafik MOID terhadap waktu hasil pekerjaan Binzel dkk. (2010)**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3. 8 Grafik distribusi jarak minimum ADB dengan planet berdasarkan data MOID**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 1 Histogram jarak papasan dekat ADB tipe Q-kompleks dan S-kompleks ke Bumi.....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 2 Histogram jarak papasan dekat ADB tipe Q-kompleks dan S-kompleks ke Mars**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 3 Distribusi jarak minimum ADB tipe Q-kompleks dengan planet Mars. Δ adalah jarak papasan dekat yang ekstrim dan N merupakan rata-rata jumlah papasan dekat per tahun.**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 4 Distribusi jarak minimum ADB tipe S-kompleks dengan planet Bumi dan Mars. Δ adalah jarak papasan dekat yang ekstrim dan N merupakan rata-rata jumlah papasan dekat per tahun.**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 5 MOID ADB 1566 Icarus terhadap Bumi, kanan hasil simulasi pada penelitian ini, kiri hasil pekerjaan Binzel dkk. (2010) **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 6 Histogram jarak papasan dekat ADB tipe Q-kompleks dan S-kompleks ke Venus**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 7 Histogram jarak papasan dekat ADB tipe Q-kompleks dan S-kompleks ke Bumi.....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 8 Histogram jarak papasan dekat ADB tipe Q-kompleks dan S-kompleks ke Mars**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 9 Distribusi Spasial Papasan dekat ADB dengan Bumi, kiri untuk ADB tipe Q-kompleks, dan kanan untuk ADB tipe S-kompleks.. **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 10 Distribusi spasial papasan dekat antara ADB dengan Mars, kiri untuk ADB tipe Q-kompleks, dan kanan untuk ADB tipe S-kompleks **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 11 Distribusi jarak minimum ADB tipe Q-kompleks dengan planet Bumi dan Mars. Δ adalah jarak papasan dekat yang ekstrim dan N merupakan rata-rata jumlah papasan dekat per tahun.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 12 Distribusi jarak minimum ADB tipe S-kompleks dengan planet Venus, Bumi, dan Mars. Δ adalah jarak papasan dekat yang ekstrim dan N merupakan rata-rata jumlah papasan dekat per tahun. **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 13 Distribusi MOID ADB tipe Q-kompleks dengan planet Venus, Bumi, dan Mars. Δ adalah MOID yang ekstrim dan N merupakan rata-rata jumlah MOID yang terjadi per tahun.**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 14 Distribusi jarak minimum ADB tipe S-kompleks dengan planet Bumi dan Mars. Δ adalah MOID yang ekstrim dan N merupakan rata-rata jumlah MOID yang terjadi per tahun.**Error! Bookmark not defined.**

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Data Massa Planet, Jejari Khatulistiwa Planet, dan Vesc Planet
.....**Error! Bookmark not defined.**
- Lampiran 2. Perhitungan Rc.....**Error! Bookmark not defined.**
- Lampiran 3. Perhitungan Frekuensi Kedekatan dan Frekuensi Tumbukan ... **Error!
Bookmark not defined.**

DAFTAR PUSTAKA

- Anugraha, R. (2011). *Teori relativitas dan kosmologi*. Yogyakarta: FMIPA UGM.
- 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. doi: <https://doi.org/10.1126/science.273.5277.946>
- 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. doi: <https://doi.org/10.1038/nature08709>
- Binzel, R. P., Perozzi, E., Rivkin, A. S., Rossi, A., Harris, A. W., Bus, S. J., Valsecchi, G. B., & Slivan, S. M. (2004). Dynamical and compositional assessment of near-Earth object mission targets. *Meteoritics and Planetary Science*, 39(3), 351–366. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1945-5100.2004.tb00098.x>
- Bottke, W. F., Morbidelli, A., Jedicke, R., Petit, J. M., Levison, H. F., Michel, P., & Metcalfe, T. S. (2002). Debaised Orbital and Absolute Magnitude Distribution of The Near-Earth Objects. *Icarus*, 156, 399–433.
- Brunetto, R., Loeffler, M. J., Nesvorný, D., Sasaki, S., & Strazzulla, G. (2015). Asteroid surface alteration by space weathering processes. *Asteroids IV, June 2016*, 597–616. doi: https://doi.org/10.2458/azu_uapress_9780816532131-ch031
- 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. doi: <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2015.12.047>
- Chebotarev, G. A. (1964). Gravitational Spheres of the Major Planets, Moon, and Sun. *Soviet Astronomy*, 7(5).
- DeMeo, F. E., Binzel, R. P., & Lockhart, M. (2013). Mars encounters cause fresh surfaces on some near-Earth asteroids. *Icarus*, 227(September 2013), 112–122. doi: <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2013.09.014>
- 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. doi: <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2009.02.005>
- 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. doi: <https://doi.org/10.1006/icar.2002.6903>
- Galad, A. (2005). On Intrinsic Collision Probability of Subkilometer Asteroids

with the Earth. *Cotrib. Astron. Obs. Skalnaté Pleso*, 35, 65–75.

- Galiazzo, M. A., Silber, E. A., & Bancelin, D. (2016). V-type Near-Earth asteroids: dynamics, close encounters and impacts with terrestrial planets. *Astronomische Nachrichten*, 1–10.
- Giesen, J. (2015). *The Hill Sphere*. [Online]. Diakses dari <http://www.jgiesen.de/astro/stars/roche.htm>
- Graves, K. J., Minton, D. A., Molaro, J. L., & Hirabayashi, M. (2019). Resurfacing asteroids from thermally induced surface degradation. *Icarus*, 322(August 2018), 1–12. doi: <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2019.01.003>
- Greenstreet, S. (2020). Orbital dynamics of 2020 AV2: The first Vatira asteroid. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*, 493(1), L129–L131. doi: <https://doi.org/10.1093/mnrasl/slaa025>
- Harvard, & Smithsonian. (n.d.). "Conversion of Absolute Magnitude to Diameter". [The International Astronomical Union]. Diakses dari <https://www.minorplanetcenter.net/iau/Sizes.html>
- Hasegawa, S., Hiroi, T., Ohtsuka, K., Ishiguro, M., Kuroda, D., Ito, T., & Sasaki, S. (2019). Q-type asteroids: Possibility of non-fresh weathered surfaces. *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 71(5), 1–13. doi: <https://doi.org/10.1093/pasj/psz088>
- Holman, M. J. (1994). *Symplectic maps for the n-body problem with applications to solar systems dynamics*. (Disertasi). Massachusetts Inst. of Tech, Cambridge.
- Iorio, L. (2002). Recent Improvements in Testing General Relativity with Satellite Laser Ranging. *NUOVO CIMENTO Rivista Serie*, 1–71.
- Levison, H. F., & Duncan, M. J. (1994). The Long-Term Dynamical Behavior of Short-Period Comets. *Icarus*, 108(1), 18–36. doi: <https://doi.org/10.1006/icar.1994.1039>
- Nesvorný, D., Bottke, W. F., Vokrouhlický, D., Chapman, C. R., & Rafkin, S. (2010). Do planetary encounters reset surfaces of near Earth asteroids? *Icarus*, 209(2), 510–519. doi: <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2010.05.003>
- Nesvorný, David, Jedicke, R., Whiteley, R. J., & Ivezić, Ž. (2005). Evidence for asteroid space weathering from the Sloan Digital Sky Survey. *Icarus*, 173(1), 132–152. doi: <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2004.07.026>
- 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. doi: <https://doi.org/https://doi.org/10.5703/1288284316739>
- Siregar, S. (2017). *Fisika Tata Surya*. Bandung: Fakultas Matematika dan Ilmu

Pengetahuan Alam ITB.

- Stuart, J. S. (2003). *Observational Constraints on the Number, Albedos, Size, and Impact Hazards of the Near-Earth Asteroids*. (Disertasi). Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.
- Sutantyo, W. (1984). *Astrofisika Mengenal Bintang*. Bandung: ITB.
- Thomas, C. A., Trilling, D. E., Emery, J. P., Mueller, M., Hora, J. L., Benner, L. A. M., Bhattacharya, B., Bottke, W. F., Chesley, S., Delbó, M., Fazio, G., Harris, A. W., Mainzer, A., Mommert, M., Morbidelli, A., Penprase, B., Smith, H. A., Spahr, T. B., & Stansberry, J. A. (2011). ExploreNEOs. V. Average albedo by taxonomic complex in the near-earth asteroid population. *Astronomical Journal*, 142(3). doi: <https://doi.org/10.1088/0004-6256/142/3/85>
- 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. (2010). How to take into account the relativistic effects in dynamical studies of comets. *Proceedings of the International Astronomical Union*, 5(S263), 106–109. doi: <https://doi.org/10.1017/s1743921310001596>
- Vernazza, P., Binzel, R. P., Rossi, A., Fulchignoni, M., & Birlan, M. (2009). Solar wind as the origin of rapid reddening of asteroid surfaces. *Nature*, 458(7241), 993–995. doi: <https://doi.org/10.1038/nature07956>
- Wiśniowski, T., & Rickman, H. (2013). Fast geometric method for calculating accurate Minimum Orbit Intersection Distances. *Acta Astronomica*, 63(2), 293–307.
- Włodarczyk, I. (2004). *The Role Of The Distance Between Orbital Node Of The Asteroid And True Orbit Of The Earth In Computing Close Approaches*.