

**EFEK YARKOVSKY DAN DINAMIKA ORBIT  
POPULASI ASTEROID DEKAT-BUMI  
DENGAN JARAK PERIHELION KECIL**

Disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Sains



Disusun oleh

Siti Afifah Julfrikar Islamina

1704552

**PROGRAM STUDI FISIKA**

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN FISIKA**

**FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA**

**2021**

**EFEK YARKOVSKY DAN DINAMIKA ORBIT  
POPULASI ASTEROID DEKAT-BUMI  
DENGAN JARAK PERIHELION KECIL**

Oleh:

Siti Afifah Julfrikar Islamina

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

Konsentrasi Fisika Bumi dan Antariksa

FPMIPA UPI

© Siti Afifah Julfrikar Islamina

Universitas Pendidikan Indonesia

2021

Hak Cipta dilindungi undang-undang.

Skripsi ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau pun sebagian, dengan dicetak  
ulang, difotokopi, atau cara lainnya tanpa seizin penulis.

## **LEMBAR PENGESAHAN**

**SITI AFIFAH JULFRIKAR ISLAMINA**

**EFEK YARKOVSKY DAN DINAMIKA ORBIT POPULASI  
ASTEROID DEKAT-BUMI DENGAN JARAK PERIHELION KECIL**  
disetujui dan disahkan oleh pembimbing:

Pembimbing I



Dr. Judhistira Aria Utama, M.Si.

NIP. 197703312008121001

Pembimbing II



Dr. Minin Iryanti, S.Si. M.Si.

NIP. 197712082001122001

Mengetahui

Ketua Program Studi Fisika



Dr. Endi Suhendi, M.Si

NIP. 197905012003121001

i

**Siti Afifah Julfrikar Islamina, 2021**

***Efek Yarkovsky dan Dinamika Populasi Orbit Asteroid Dekat-Bumi dengan Jarak Perihelion Kecil***

Universitas Pendidikan Indonesia | [repositori.upi.edu](http://repositori.upi.edu) | [perpustakaan.upi.edu](http://perpustakaan.upi.edu)

## **PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI**

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Siti Afifah Julfrikar Islamina

NIM : 1704552

Program Studi : Fisika

Jenjang: : S1

Judul Skripsi : Efek Yarkovsky dan Dinamika Orbit Populasi

Asteroid Dekat-Bumi dengan Jarak Perihelion Kecil

Dengan Ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Efek Yarkovsky dan Dinamika Orbit Populasi Asteroid Dekat-Bumi dengan Jarak Perihelion Kecil” ini beserta isinya adalah benar-benar karya saya sendiri. Saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara yang tidak sesuai dengan etika ilmu yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Atas pernyataan ini, saya siap menanggung resiko dan sanksi apabila dikemudian hari ditemukan adanya pelanggaran etika keilmuan atau ada klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya saya ini.

Penulis



**Siti Afifah Julfrikar Islamina**

NIM. 1704552

## **UCAPAN TERIMA KASIH**

Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu dan Ayah penulis, Ade Dian Islamina dan Agus Thanhung Wangsaatmadja yang selalu menemani, membiayai perkuliahan, memotivasi, dan mendoakan anaknya dengan tulus.
2. Dr. Judhistira Aria Utama, M.Si selaku Dosen Pembimbing 1 yang telah membimbing, memberikan arahan dan masukan, dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi.
3. Dr. Mimin Iryanti, S.Si, M.Si. selaku Dosen Pembimbing 2 dan Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing, memberikan arahan dan masukan, dan motivasi kepada penulis.
4. Seluruh dosen program studi fisika, yang telah memberikan ilmunya serta motivasi selama perkuliahan.
5. Rekan KBK Fisika Antariksa yaitu Wahyudin, Annisa, dan Nagia berjuang bersama selama perkuliahan dan juga sebagai teman diskusi baik selama perkuliahan maupun diluar.
6. Feby Andriany, selaku rekan dari Fisika 2017 yang selalu mendengarkan, menolong dan sebagai teman diskusi selama perkuliahan maupun diluar.
7. Okta Canda Pritiwi, selaku rekan dari Fisika 2017 yang selalu mendengarkan, menolong dan sebagai teman diskusi selama perkuliahan maupun diluar.
8. Rekan mahasiswa Fisika dan Pendidikan Fisika 2017 yang berjuang bersama dari awal masuk perkuliahan hingga saat ini.
9. Serta semua pihak yang berjasa dalam penulisan skripsi sehingga penulis tidak dapat sebutkan satu-persatu

Semoga Allah SWT membalas kebaikan kepada pihak-pihak yang berjasa selama penyusunan skripsi.

# **EFEK YARKOVSKY DAN DINAMIKA ORBIT POPULASI ASTEROID DEKAT-BUMI DENGAN JARAK PERIHELION KECIL**

Siti Afifah Julfrikar Islamina

1704552

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

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

Program Studi Fisika FPMIPA UPI

## **ABSTRAK**

Evolusi orbit pada populasi asteroid dekat-Bumi (ADB) dapat terjadi akibat dari gaya gravitasi antarplanet maupun gaya non-gravitasi akibat radiasi Matahari. Salah satu gaya non-gravitasi yang memberikan pengaruh kuat kepada asteroid berdiameter  $< 40$  km adalah gaya Yarkovsky yang berupa efek termal. Efek Yarkovsky hadir ketika panas dari Matahari, yang diemisikan kembali oleh asteroid menciptakan dorongan kecil. Dorongan ini dapat menghasilkan perubahan orbit dalam rentang waktu jutaan hingga milyaran tahun. Perubahan orbit yang terjadi akibat dari efek Yarkovsky di antaranya adalah ingusutan setengah sumbu panjang ( $da/dt$ ). Umumnya, nilai  $da/dt$  untuk ukuran sub-kilometer ini pada rentang  $10^{-3}$ - $10^{-4}$  sa/juta tahun. Dalam pekerjaan ini, diperoleh sebanyak 14 asteroid dengan jarak perihelion teoretiknya  $q' < 0,1$  sa yang mendefinisikan populasi orbit asteroid dekat-Matahari (ADM). Menggunakan parameter Tisserand diperoleh sebanyak 8 asteroid yang menunjukkan karakteristik sebagai asteroid aktif layaknya komet, yang memenuhi  $a < a_j$  dan  $T_j > 3$ . Sementara, 6 asteroid lainnya tidak menunjukkan aktivitas seperti halnya komet, ( $a < a_j$  dan  $T_j < 3$ ). Menggunakan data observasi dan bantuan perangkat lunak FindOrb dengan pilihan implementasi model Komet dan *Solar Radiation Pressure* (SRP) telah diperoleh nilai parameter Yarkovsky,  $A_2$ , yaitu komponen percepatan dalam arah tangensial. Dengan bantuan integrator Swift RMVS4 yang telah dimodifikasi untuk mengakomodasi efek Yarkovsky dilakukan komputasi orbit keempatbelas sampel ADM tersebut hingga jutaan tahun ke masa depan. Di dalam pekerjaan ini diperoleh nilai  $da/dt$  keempat belas sampel ADM dari perhitungan analitik dan pencocokan kurva linier berada dalam rentang  $\sim 10^9$ - $10^3$  sa/juta tahun, lebih besar daripada nilai  $da/dt$  maksimum

teoretiknya ( $10^{-3}$ - $10^{-4}$  sa/juta tahun). Dengan demikian, ingsutan setengah sumbu panjang orbit yang valid dari keempat belas sampel ADM tidak dapat dideteksi.

**Kata Kunci:** Asteroid Dekat-Bumi, Efek Yarkovsky, Ingsutan Setengah Sumbu Panjang

# **YARKOVSKY EFFECT AND DYNAMICAL ORBIT OF NEAR-EARTH ASTEROID POPULATIONS WITH SMALL PERIHELION DISTANCE**

Siti Afifah Julfrikar Islamina

1704552

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

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

Program Studi Fisika FPMIPA UPI

## **ABSTRACT**

The orbital evolution of the near-Earth asteroid population (NEA) can occur as a result of interplanetary gravitational forces or non-gravitational forces due to solar radiation. One of the non-gravitational forces that exert a strong influence on asteroids < 40 km in diameter is the Yarkovsky force in the form of a thermal effect. The Yarkovsky effect occurs when heat from the Sun, which is re-emitted by the asteroid, creates a small push. This thrust can produce orbital changes over millions to billions of years. The orbital changes that occur as a result of the Yarkovsky effect include the semimajor axis drift ( $da/dt$ ). Generally, the  $da/dt$  value for this sub-kilometer size is in the range of  $10^{-3}$ - $10^{-4}$  AU/Myr. In this work, 14 asteroids were obtained with a theoretical perihelion distance of  $q' < 0.1$  AU which defines the population of near-Sun asteroid (NSA). Using the Tisserand parameter, 8 asteroids were obtained that showed characteristics as active asteroids like comets, which met  $a < a_j$  and  $T_j > 3$ . Meanwhile, the other 6 asteroids did not show activity like comets, ( $a < a_j$  and  $T_j < 3$ ). Using observation data and FindOrb software with implementing the Comet and Solar Radiation Pressure (SRP) model, we compute the Yarkovsky parameter value,  $A_2$ , namely the acceleration component in the tangential direction. With the help of the Swift RMVS4 integrator which has been modified to accommodate the Yarkovsky effect, computations of the orbits of 14

NSA samples are carried out millions of years into the future. In this work, it was found that the  $da/dt$  values of the fourteen NSA samples from analytical calculations and linear curve fitting were in the range of  $\sim 10^9$ - $10^{-3}$  AU/Myr, greater than their theoretical maximum  $da/dt$  values ( $10^{-3}$ - $10^{-4}$  sa/million years). Thus, the valid semimajor drift orbital of 14 NSA samples could not be detected.

**Key Words:** Near-Earth Asteroid, Yarkovsky Effect, Semimajor Axis Drift

## **Kata Pengantar**

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT karena atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul Efek Yarkovsky dan Dinamika Orbit Populasi Asteroid-Dekat Bumi dengan Jarak Perihelion Kecil. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Sains, program studi S1 Fisika, Departemen Pendidikan Fisika, FPMIPA UPI.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah membantu selama pembuatan Skripsi, diantaranya:

1. Ibu dan Ayah selaku orang tua penulis yang selalu mendoakan dengan tulus.
2. Dr. Judhistira Aria Utama, M.Si selaku Dosen Pembimbing 1.
3. Dr. Mimin Iryanti, S.Si, M.Si. selaku Dosen Pembimbing 2.
4. Mahasiswa Rekan KBK Fisika Antariksa.
5. Mahasiswa Fisika dan Pendidikan Fisika 2017.

Semua pihak yang telah membantu penulis yang tidak dapat ditulis satu-persatu.

Semoga amal baik dan semua bantuan yang telah diberikan mendapatkan imbalan berlipat ganda dari Allah yang Maha Pengasih dan Maha Pemurah. Penulis berharap penulisan skripsi ini dapat bermanfaat, serta dapat dijadikan sebagai salah satu sumber dalam mempelajari efek Yarkovsky dan dinamika populasi asteroid dekat-Bumi dengan jarak perihelion kecil.

Bandung, Juli 2021

Siti Afifah Julfrikar Islamina

1704552

## Daftar Isi

LEMBAR PENGESAHAN .....	i
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	i
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iii
ABSTRAK .....	iv
ABSTRACT.....	vi
Kata Pengantar .....	viii
Daftar Isi .....	ix
Daftar Gambar.....	xi
Daftar Tabel .....	xiii
Bab I: Pendahuluan .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.1 Latar Belakang .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.2 Rumusan Masalah .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.3 Tujuan Penelitian.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.4 Manfaat Penelitian.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.5 Sistematika Penulisan.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Bab II: Kajian Pustaka .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.1 Asteroid Dekat-Bumi .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.2 Persamaan Gerak Sistem Tiga Benda Terbatas	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3 Asteroid Aktif.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.4 Efek Yarkovsky.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.4.1 Komponen Harian .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.4.2 Komponen Musiman.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.5 Model Non-gravitasi untuk Asteroid Aktif ..	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.6 Model <i>Solar Radiation Pressure</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

Bab III: Metode Penelitian.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.1 Model Penelitian .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.2 Sampel Penelitian.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.3 Instrumen Penelitian.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.4 Prosedur Penelitian.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.5 Diagram Alir Penelitian .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Bab IV: Temuan dan Pembahasan.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.1 Gaya non-gravitasi model komet .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.1.1 Asteroid 10563 Izhdubar (1993 WD) ...	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.1.2 Asteroid 333889 (1998 SV4) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.1.3 Asteroid 137924 (2000 BD19).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.1.4 Asteroid 138925 (2001 AU43) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.1.5 Asteroid 374158 (2004 UL).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.1.6 Asteroid 434677 (2006 BZ7) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.1.7 Asteroid 184990 (2006 KE89).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.1.8 Asteroid (2011 LD19).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.2 Gaya non-gravitasi model <i>Solar Radiation Pressure</i>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.2.1 Asteroid 399457 (2002 PD43) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.2.2 Asteroid (2004 LG).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.2.3 Asteroid (2005 BW1).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.2.4 Asteroid 394130 (2006 HY51) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.2.5 Asteroid 2008 HW1 .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.2.6 Asteroid (2009 WN25) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Bab V: Simpulan dan Rekomendasi .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Daftar Pustaka.....	40

LAMPIRAN .....Error! Bookmark not defined.

## Daftar Gambar

Gambar 2.1 Tiga benda bermassa masing-masing  $m_1$ ,  $m_2$ , dan  $m_3$  dengan jarak  $r_1$ ,  $r_2$  dan  $r_3$  saling berinteraksi  $\mathbf{r}_{ij} = \mathbf{r}_j - \mathbf{r}_i$ .  $\mathbf{r}$  merupakan vektor posisiError! Bookmark not defined.

Gambar 2.2 Pada titik  $P_1$  benda bermassa  $M$ , titik  $P_2$  benda bermassa  $m$  dan titik  $P_3$  benda dengan massa <<< dengan  $M$  dan  $m$ . Sumber gambar : researchgate.net .....Error! Bookmark not defined.

Gambar 2.3 Komponen harian efek Yarkovsky (a) akan terjadi pada asteroid yang sumbu rotasi tegak lurus dengan bidang orbit. Asteroid akan menyerap kalor dari Matahari kemudian mengemisikan kembali dalam panjang gelombang yang lebih panjang. Komponen musiman efek Yarkovsky (b) akan terjadi pada asteroid dengan sumbu putar di bidang orbit yang mengalami pemanasan dan pendinginan di bagian utara dan bagian selatan sehingga menghasilkan efek Yarkovsky. Meskipun setengah hemisfer di bagian A dan C mengalami paparan panas Matahari secara maksimum, namun resultan gaya dorong maksimum terjadi bagian B dan D.

.....Error! Bookmark not defined.

Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....Error! Bookmark not defined.

Gambar 4.1 Grafik setengah sumbu panjang terhadap waktu untuk asteroid 10563 Izhdubar (1993 WD) .....Error! Bookmark not defined.

Gambar 4.2 grafik setengah sumbu panjang terhadap waktu untuk asteroid 333889 (1998 SV4).....Error! Bookmark not defined.

Gambar 4.3 grafik setengah sumbu panjang terhadap waktu untuk asteroid 137924 (2000 BD19) .....Error! Bookmark not defined.

Gambar 4.4 grafik setengah sumbu panjang terhadap waktu untuk asteroid 138925 (2001 AU43) .....Error! Bookmark not defined.

Gambar 4.5 grafik setengah sumbu panjang terhadap waktu untuk asteroid 374158 (2004 UL).....Error! Bookmark not defined.

Gambar 4.6 grafik setengah sumbu panjang terhadap waktu untuk asteroid 434677 (2006 BZ7).....Error! Bookmark not defined.

- Gambar 4.7 grafik setengah sumbu panjang terhadap waktu untuk asteroid (2011 LD19).....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.8 grafik setengah sumbu panjang terhadap waktu untuk asteroid 399457 (2002 PD43).....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.9 grafik setengah sumbu panjang terhadap waktu untuk asteroid (2004 LG).....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.10 grafik setengah sumbu panjang terhadap waktu untuk asteroid (2005 BW1).....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.11 grafik setengah sumbu panjang terhadap waktu untuk asteroid 394130 (2006 HY51) .....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.12 grafik setengah sumbu panjang terhadap waktu untuk asteroid (2008 HW1).....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.13 grafik setengah sumbu panjang terhadap waktu untuk asteroid (2009 WN25).....**Error! Bookmark not defined.**

## Daftar Tabel

Tabel 4.1 Orbit elemen dari delapan objek yang memenuhi Tisserand Parameter.	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 4.2 Nilai ingsutan setengah sumbu panjang $da/dt$ untuk delapan objek asteroid model komet.	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 4.3 Nilai $A_2$ Harapan dari filterisasi (iii) dan nilai $da/dt$ Harapan dari persamaan (2.28)	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 4.4 Nilai ingsutan setengah sumbu panjang $da/dt$ untuk enam objek asteroid model SRP	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 4.5 Nilai $A_2$ Harapan dari filterisasi (iii) dan nilai $da/dt$ Harapan dari persamaan (2.28)	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

## Daftar Pustaka

- AAS/AIAA Astrodynamics Specialist Conference - Scientific Figure on ResearchGate. Available from: [https://www.researchgate.net/figure/Diagram-of-the-Circular-Restricted-Three-Body-Problem-and-a-rotating\\_fig1\\_2611837](https://www.researchgate.net/figure/Diagram-of-the-Circular-Restricted-Three-Body-Problem-and-a-rotating_fig1_2611837) [accessed 3 Aug, 2021]
- 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., Chodas, P. W., Milani, A., Valsecchi, G. B., & Yeomans, D. K. (2002). Quantifying the Risk Posed by Potential Earth Impacts. *Icarus*, 159(2), 423–432. <https://doi.org/10.1006/icar.2002.6910>
- Desmars, J. (2015). Detection of Yarkovsky acceleration in the context of precovery observations and the future *Gaia* catalogue. *Astronomy & Astrophysics*, 575, A53. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201423685>
- Emel'yanenko, V. V. (2017). Near-Sun asteroids. *Solar System Research*, 51(1), 59–63. <https://doi.org/10.1134/S0038094616060010>
- Eugster, O. (2003). Cosmic-ray Exposure Ages of Meteorites and Lunar Rocks and Their Significance. *Geochemistry*, 63(1), 3–30. <https://doi.org/10.1078/0009-2819-00021>
- Farinella, P., Froeschlé, C., Froeschlé, C., Gonczi, R., Hahn, G., Morbidelli, A., & Valsecchi, G. B. (1994). Asteroids falling into the Sun. *Nature*, 371(6495), 314–317. <https://doi.org/10.1038/371314a0>

- Farinella, P., & Vokrouhlický, D. (1999). Semimajor Axis Mobility of Asteroidal Fragments. *Science*, 283(5407), 1507–1510.  
<https://doi.org/10.1126/science.283.5407.1507>
- Farnocchia, D., Chesley, S. R., Vokrouhlický, D., Milani, A., Spoto, F., & Bottke, W. F. (2013). Near Earth Asteroids with measurable Yarkovsky effect. *Icarus*, 224(1), 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2013.02.004>
- Galushina, T. Y., & Letner, O. N. (2020). *Influence Of The Yarkovsky Effect On Motion Of Asteroids With Small Perihelion Distance*. 8.
- Gladman, B. J., Migliorini, F., Morbidelli, A., Zappalà, V., Michel, P., Cellino, A., Froeschlé, C., Levison, H. F., Bailey, M., & Duncan, M. (1997). Dynamical Lifetimes of Objects Injected into Asteroid Belt Resonances. *Science*, 277(5323), 197–201. <https://doi.org/10.1126/science.277.5323.197>
- Ieva, S., Micheli, M., Perna, D., Popescu, M., Dotto, E., Mazzotta Epifani, E., Antoniucci, S., Fulvio, D., Brucato, J. R., Poggiali, G., Barucci, M. A., & Perozzi, E. (2019). Physical characterization of 2009 WN25: Exploring the link with November i-Draconids meteor shower. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 487(2), 2335–2339.  
<https://doi.org/10.1093/mnras/stz1430>
- Islamina, S. A. J., Utama, J. A., & Arifin, M. (2020). Dinamika Orbit Asteroid Dekat-Bumi dengan Jarak Perihelion yang Pendek. *Proceeding Seminar Nasional Fisika*, 1(1), 235–243.
- Jewitt, D. (2012). The Active Asteroids. *The Astronomical Journal*, 143(3), 66.  
<https://doi.org/10.1088/0004-6256/143/3/66>

- Jewitt, D. (2013). Properties Of Near-Sun Asteroids. *The Astronomical Journal*, 145(5), 133. <https://doi.org/10.1088/0004-6256/145/5/133>
- Letner, O. N., & Galushina, T. Y. (2020). Motion features of the asteroid 137924 2000 BD19. *Planetary and Space Science*, 181, 104818. <https://doi.org/10.1016/j.pss.2019.104818>
- Levison, H. F., & Duncan, M. J. (1994). The Long-Term Dynamical Behavior of Short-Period Comets. *Icarus*, 108(1), 18–36. <https://doi.org/10.1006/icar.1994.1039>
- Marchi, S., Delbo', M., Morbidelli, A., Paolicchi, P., & Lazzarin, M. (2009). Heating of near-Earth objects and meteoroids due to close approaches to the Sun. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 400(1), 147–153. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2009.15459.x>
- Marsden, B. G., Sekanina, Z., & Yeomans, D. K. (1973). Comets and nongravitational forces. V. *The Astronomical Journal*, 78, 211. <https://doi.org/10.1086/111402>
- Martyusheva, A., Oskina, K., Petrov, N., & Polyakhova, E. (2015). Solar radiation pressure influence in motion of asteroids, including near-Earth objects. *2015 International Conference on Mechanics - Seventh Polyakov's Reading*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/POLYAKHOV.2015.7106756>
- Milani, A., Carpino, M., Hahn, G., & Nobili, A. M. (1989). Dynamics of planet-crossing asteroids: Classes of orbital behavior. *Icarus*, 78(2), 212–269. [https://doi.org/10.1016/0019-1035\(89\)90174-7](https://doi.org/10.1016/0019-1035(89)90174-7)
- Mommert, M., Trilling, D. E., Hora, J. L., Lejoly, C., Gustafsson, A., Knight, M., Moskovitz, N., & Smith, H. A. (2020). Systematic Characterization of and Siti Afifah Julfrikar Islamina, 2021 *Efek Yarkovsky dan Dinamika Populasi Orbit Asteroid Dekat-Bumi dengan Jarak Perihelion Kecil*

- Search for Activity in Potentially Active Asteroids. *The Planetary Science Journal*, 1(1), 10. <https://doi.org/10.3847/PSJ/ab8191>
- Morbidelli, A., Jr, W. F. B., Froeschlé, C., & Michel, P. (2002). *Origin and Evolution of Near-Earth Objects*. 14.
- Nugent, C. R. (2013). *Solar Radiation and Near-Earth Asteroids: Thermophysical Modeling and New Measurements of the Yarkovsky Effect* [UCLA]. <https://escholarship.org/uc/item/7cw4r38w>
- 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>
- O'Brien, D. P. (2004). *The Collisional And Dynamical Evolution Of The Main Belt, Nea And Tno Populations*. 191.
- Vigna, A. D., 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>
- Vokrouhlický, D., Milani, A., & Chesley, S. R. (2000). Yarkovsky Effect on Small Near-Earth Asteroids: Mathematical Formulation and Examples. *Icarus*, 148(1), 118–138. <https://doi.org/10.1006/icar.2000.6469>
- Vokrouhlický, D., & Nesvorný, D. (2012). Sun-grazing orbit of the unusual near-Earth object 2004 LG. *Astronomy & Astrophysics*, 541, A109. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201118585>

Wlodarczyk, I., Cernis, K., Boyle, R. P., & Laugalys, V. (2014). Discovery and dynamical characterization of the Amor-class asteroid 2012 XH16. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 438(3), 2621–2633.

<https://doi.org/10.1093/mnras/stt2382>