

Model resonansi orbit harmonik dan implementasinya dalam memprediksi jarak planet luar - tata surya dari bintang induknya

Popi Siti Patimah^{1*}, Judhistira Aria Utama¹, Ferry Mukharradi Simatupang²

¹Departemen Pendidikan Fisika, Universitas Pendidikan Indonesia

²Kelompok Keahlian (KK) Astronomi, Program Studi Astronomi FMIPA Institut Teknologi Bandung

*e-mail: popisitipatimah@student.upi.edu

ABSTRAK

Sampai dengan akhir November 2017 terdapat 3504 planet luar – Tata Surya (*exoplanets*) yang telah berhasil dikonfirmasi keberadaannya. Jumlah tersebut tergabung dalam 2657 sistem keplanetan yang 134 diantaranya merupakan sistem bintang ganda. Berbeda dengan penelitian-penelitian sebelumnya yang memprediksi jarak planet luar – Tata Surya menggunakan model logaritmik yang kurang memiliki makna fisis, dalam penelitian ini digunakan teori resonansi orbit harmonik yang mengkuantisasi rasio periode orbit. Rasio tersebut nilainya merupakan bilangan bulat terkecil dari dua planet bertetangga. Dengan data yang digunakan, umumnya rasio periode harmonik antara dua planet bertetangga merupakan bilangan (5:1), (2:1), (5:3), (3:2), dan (5:2), dan selebihnya dalam jumlah minor berupa (5:4), (4:3), (4:1), dan (3:1). Dengan menggunakan model ini telah diprediksi jarak 1289 planet luar – Tata Surya dari bintang induknya yang tergabung dalam 515 sistem keplanetan dan dalam setiap sistem terdiri atas dua hingga delapan planet di dalamnya. Akurasi prediksi jarak planet luar – Tata Surya dari bintang induknya secara umum lebih baik jika bintang induknya mirip dengan Matahari. Informasi ini bermanfaat dalam pencarian planet luar – Tata Surya yang belum berhasil ditemukan dan untuk mengetahui planet mana saja yang berada di zona layak huni.

Kata kunci: planet luar - Tata Surya, resonansi orbit harmonik, sistem keplanetan

1. Pendahuluan

Memprediksi jarak planet luar – Tata Surya (*exoplanets*) dari bintang induknya sangat menarik untuk dilakukan, salah satunya untuk memprediksi keberadaan planet yang belum ditemukan dalam suatu sistem keplanetan maupun untuk mengetahui ada atau tidak adanya planet yang berada di zona layak huni. Zona layak huni didefinisikan sebagai suatu rentang jarak orbit suatu planet dari bintang induknya, yang di jarak tersebut dimungkinkan hadirnya air dalam wujud cair sebagai suatu syarat untuk berlangsungnya kehidupan seperti yang dijumpai di Bumi. (Overbye, D., 2015)

Penemuan planet luar – Tata Surya pertama datang pada tahun 1992

dengan ditemukannya dua planet yang mengorbit pulsar PSR B1257 + 12. Beberapa planet luar – Tata Surya bahkan telah berhasil dicitrakan langsung oleh teleskop, tetapi sebagian besar berhasil dideteksi melalui metode tidak langsung, seperti metode transit dan metode kecepatan radial. (Wolszczan, dkk., 1992)

Pada penelitian-penelitian sebelumnya, untuk memprediksi jarak planet luar – Tata Surya dari bintang induknya digunakan logaritmik jarak yang tidak memiliki model fisis, yaitu model empirik seperti Hukum Titius – Bode. Dengan pertimbangan bahwa model tersebut tidak konsisten dengan rasio orbit harmonik, maka model tersebut tidak disarankan untuk digunakan dalam memprediksi lokasi planet luar – Tata Surya yang hilang atau belum

ditemukan dalam observasi. (Aschwaden, M.J, 2018)

Di dalam penelitian ini digunakan teori resonansi orbit harmonik yang mengkuantisasi rasio periode orbit dari dua planet bertetangga dalam suatu sistem keplanetan. Menggunakan Tata Surya sebagai rujukan, model ini menghasilkan perhitungan yang lebih akurat dibandingkan Hukum Titius –

a. Model resonansi orbit harmonik

Asumsi yang mendasari model resonansi orbit harmonik adalah adanya resonansi orbit dua benda untuk orbit yang stabil dalam jangka panjang (orde miliar tahun). Kondisi resonansi ini didefinisikan sebagai:

$$1 - \frac{H_{i+1}}{H_i} \left(\frac{T_i}{T_{i+1}} \right) = \omega_{i,i+1} \quad (1)$$

(Aschwaden, M.J, 2018)

Dalam Persamaan (1), $\omega_{i,i+1}$ menyatakan residu yang ada dari resonansi yang tidak diperhitungkan akibat kehadiran benda langit lainnya.

Rasio harmonik $\left(\frac{H_{i+1}}{H_i} \right)$ yang memenuhi Persamaan (1) diperoleh dengan menyulihkan periode orbit dua planet bertetangga untuk seluruh nilai rasio harmonik yang mungkin. Nilai rasio harmonik yang memberikan residual terkecil dipilih sebagai rasio harmonik untuk pasangan planet bertetangga tersebut. Dalam hal Tata Surya, diketahui terdapat 9 rasio harmonik, yaitu $\left(\frac{H_i}{H_{i+1}} \right) = (5:4), (4:3), (3:2), (5:3), (2:1), (5:2), (3:1), (4:1),$ dan $(5:1)$.

Rasio periode orbit dua planet bertetangga dalam Persamaan (1) digunakan untuk memprediksi planet luar – Tata Surya yang belum terdeteksi di suatu sistem keplanetan. Rasio periode dengan nilai $Q \geq 3,1$ ditafsirkan sebagai hadirnya celah (*gap*) dengan

Bode maupun Hukum Titius – Bode yang diperluas. Keberadaan resonansi orbital di dalam Tata Surya sendiri telah diketahui sejak lama, contoh faktanya adalah tiga satelit Galilean dari Jupiter (Io, Europa, dan Ganymede) yang menunjukkan stabilitas ketiga satelit tersebut dalam jangka panjang berdasarkan teori gangguan dalam mekanika benda langit. (Peale, S. J., 1976)

satu atau lebih planet yang “hilang” atau planet yang belum terdeteksi. Periode orbit planet luar – Tata Surya yang belum terdeteksi tersebut dapat dihitung menggunakan hubungan :

$$T_{i+1}^{pred} = T_i^{pred} + \frac{H_{i+1}}{H_i}, \quad i = 1, \dots, n_p - 1 \quad (2)$$

(Aschwaden, M.J, dkk, 2017)

dengan n_p menyatakan banyaknya planet dalam sistem keplanetan yang ditinjau. Sementara, banyaknya planet luar – Tata Surya yang “hilang” atau belum terdeteksi diprediksi dari :

$$n_{miss} = \text{Round} \left[\frac{\log Q_{obs}}{\log q Q_{gap}} \right] \quad (3)$$

(Aschwaden, M.J, dkk, 2017)

Dengan mengetahui rasio harmonik untuk setiap pasangan planet bertetangga, menggunakan Hukum III Kepler untuk nilai T_i dapat dihitung jarak planet dari bintang induknya R_i , yaitu :

$$\left(\frac{R_{i+1}}{R_i} \right) = \left(\frac{T_{i+1}}{T_i} \right)^{2/3} = \left(\frac{H_{i+1}}{H_i} \right)^{2/3} \quad (4)$$

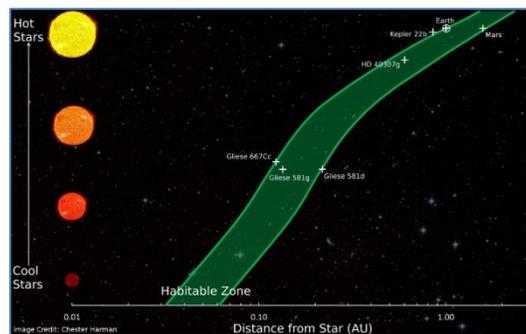
(Aschwaden, M.J, dkk, 2017)

Kesesuaian yang sangat baik antara jarak observasi dan jarak prediksi menggunakan Persamaan (4) mencapai 8x lebih baik daripada yang dihasilkan dengan menggunakan Hukum Titius-Bode dan 3x lebih baik daripada Hukum Titius – Bode yang diperluas. (Aschwaden, M.J, 2018)

b. Planet luar – tata surya

Istilah planet luar – Tata Surya ditujukan ke sebuah atau beberapa planet yang mengorbit sebuah bintang atau sistem bintang yang berada di luar Tata Surya. Sejak tahun 2004, program *High Accuracy Radial Velocity Planet Searcher* (HARPS) telah berhasil menemukan sekitar 100 planet di luar Tata Surya, sementara teleskop ruang angkasa Kepler telah menemukan lebih dari 2000 planet luar – Tata Surya sejak beroperasi pada tahun 2009 silam. Kepler juga mendeteksi beberapa ribu kandidat planet. Dalam beberapa kasus, beberapa planet telah diamati di sekitar bintang. Menurut Cassan (2012) sekitar

1 dari 5 bintang mirip Matahari memiliki planet seukuran Bumi di zona layak huni. Zona layak huni merupakan rentang jarak planet dari bintang induknya, tidak terlalu jauh dan juga tidak terlalu dekat, yang memungkinkan hadirnya air dalam fase cair di planet tersebut. Gambar 1 menunjukkan ilustrasi zona layak huni untuk berbagai jarak planet dari bintang induknya. Dengan asumsi terdapat 200 miliar bintang di galaksi Bima Sakti, berimplikasi terdapat 11 miliar kandidat planet seperti Bumi dan layak huni di Bima Sakti. Hipotesis tersebut bertambah menjadi 40 miliar planet jika terdapat banyak planet yang mengorbit bintang Katai Merah.



Gambar 1. Zona layak huni untuk berbagai jarak planet dari bintang induknya.

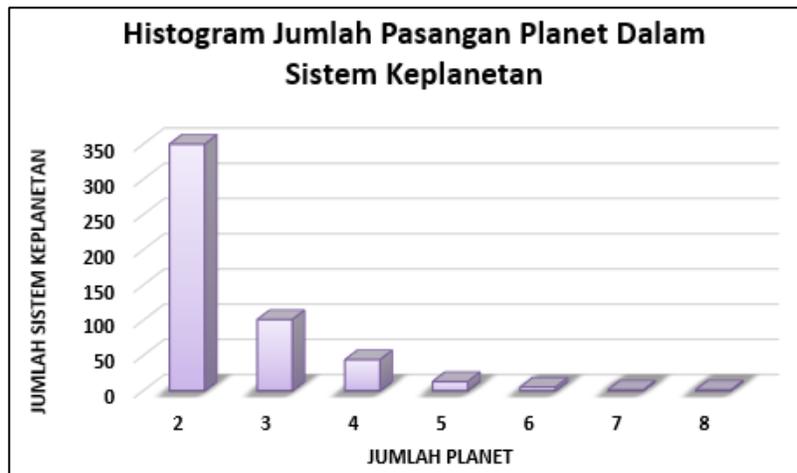
Sumber: www.scitechdaily.com

2. Metode

Metode dalam penelitian ini adalah deskriptif kuantitatif. Data yang diuji dengan model resonansi orbit harmonik bersumber dari laman <http://exoplanet.hanno-rein.de>. Tahapan dalam penelitian ini meliputi pengumpulan, penyeleksian, melengkapi data dan memperoleh rasio harmonik dari seluruh planet bertetangga dalam sistem keplanetan terseleksi.

3. Hasil dan Pembahasan

Dari katalog planet luar – Tata Surya yang tersedia *on line* di laman <http://exoplanet.hanno-rein.de>, dapat dihasilkan histogram sistem keplanetan yang memiliki bintang induk berupa bintang tunggal dengan jumlah planet pengiring yang telah terkonfirmasi. Hasilnya ditunjukkan dalam Gambar 2. Jumlah total planet luar – Tata Surya dalam penelitian ini sejumlah 1289 planet yang tergabung dalam 515 sistem keplanetan.



Gambar 2. Jumlah planet di masing-masing sistem keplanetan dengan bintang induk berupa bintang tunggal.

Dengan menggunakan Persamaan (1) diperoleh rasio harmonik di sistem keplanetan luar – Tata Surya dari yang terbesar hingga terkecil adalah (5:1), (2:1), (5:3), (3:2), (5:2), (3:1), (4:1), (4:3), dan (5:4). Lima rasio teratas yang paling dominan, yaitu (5:1), (2:1), (5:3), (3:2), dan (5:2), meliputi 72% kasus dan

sebanyak 4 rasio harmonik sisanya sebesar 28% kasus. Lima rasio harmonik dominan tersebut yang akan dipilih sebagai prediktor untuk planet luar – Tata Surya yang “hilang” atau belum terdeteksi (Q_{gap}). Pada Tabel 1 disajikan hasil perhitungan untuk sistem keplanetan di bintang HD 10180 yang memiliki enam planet pengiring.

Tabel 1.

Prediksi periode harmonik dan jumlah planet luar – Tata Surya yang “hilang” atau belum terdeteksi dalam sistem keplanetan HD 10180.

No	Nama Eksoplanet	Periode (tahun)	$\frac{T_{i+1}}{T_i}$	$\frac{H_{i+1}}{H_i}$	n_{miss}
1	HD 10180 c	0,015769	2,83991	3,000	-
2	HD 10180 d	0,044783	3,041389	3,000	-
3	HD 10180 e	0,136203	2,467315	2,500	-
4	HD 10180 f	0,336055	4,926269	5,000	0,990769≈ 1
5	HD 10180 g	1,655496	3,646617	4,000	0,933279≈ 1
6	HD 10180 h	6,036961			-

Dari Tabel 1, dalam sistem keplanetan HD 10180 diketahui terdapat 2 planet yang “hilang” atau belum ditemukan dari pengamatan yang telah dilakukan, yaitu di antara HD 10180 f dan HD 10180 g serta di antara HD

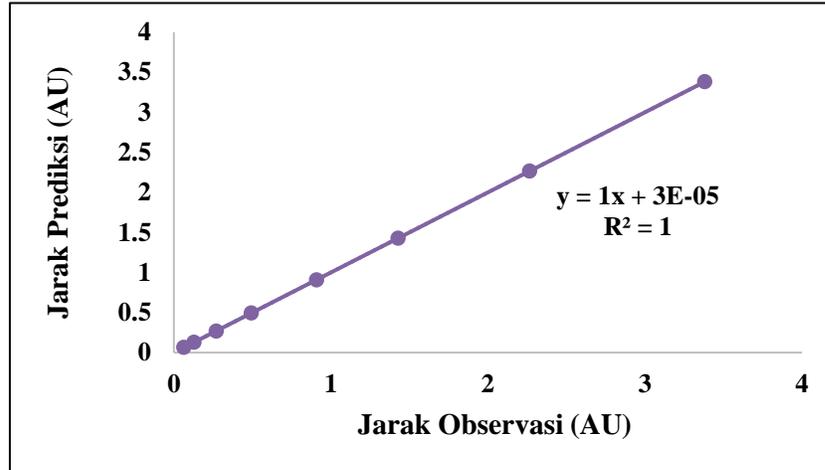
10180 g dan HD 10180 h yang ditandai dengan nilai $Q = T_{(i+1)}/T_i > 3,1$. Dalam Tabel 2 disajikan hasil perhitungan prediksi jarak planet luar – Tata Surya dari bintang induknya (HD 10180) menggunakan model resonansi orbit harmonik.

Tabel 2
Jarak prediksi planet luar – Tata Surya di sistem keplanetan HD 10180
berdasarkan model resonansi orbit harmonik.

No.	Nama Planet Luar – Tata Surya	Rasio Harmonik $\frac{H_{i+1}}{H_i}$	Jarak Observasi (AU)	Jarak Prediksi (AU)
1	HD 10180 c	3,00	0,064	0,064
2	HD 10180 d	3,00	0,129	0,129
3	HD 10180 e	2,50	0,270	0,270
4	HD 10180 f	5,00	0,493	0,493
5	X			0,908
6	HD 10180 g	4,00	1,427	1,427
7	y			2,265
8	HD 10180 h		3,381	3,381

Tabel 2 menunjukkan prediksi model resonansi orbit harmonik terkait adanya dua planet luar – Tata Surya yang “hilang” atau belum terdeteksi, yaitu planet x di jarak 0,908 AU (1 AU = $1,496 \times 10^8$ km) dan planet y yang mengorbit bintang HD 10180 di jarak rata-rata 2,265 AU. Dari Tabel 2 juga

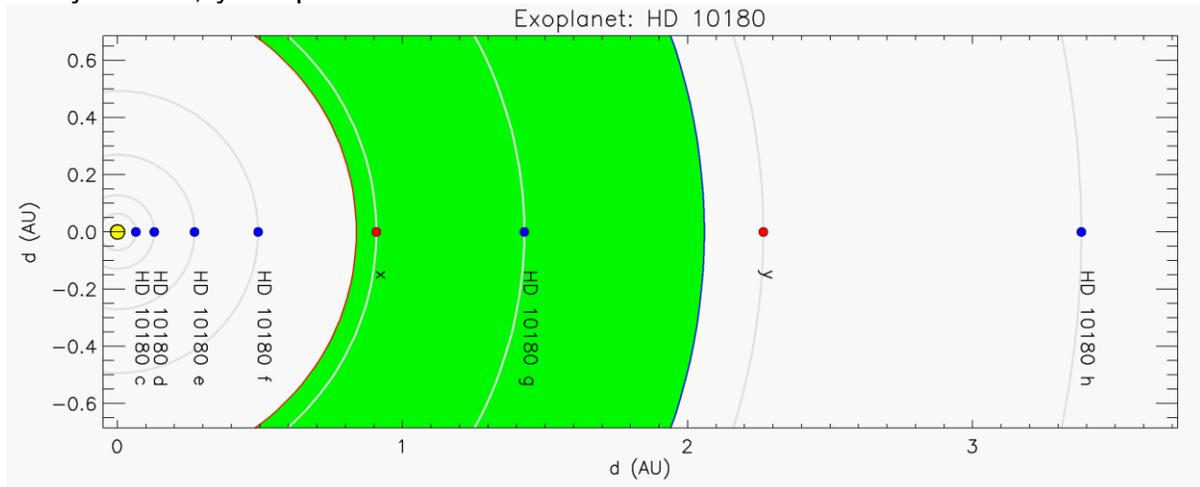
terlihat kesesuaian yang baik antara jarak prediksi dengan jarak hasil observasi sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 2. Bintang HD 10180 diketahui adalah bintang yang mirip dengan Matahari, yaitu dengan massa 1,06 kali M_{\odot} dan suhu 5911 K (suhu Matahari 5780 K).



Gambar 1. Kesesuaian antara jarak observasi dan jarak prediksi di sistem keplanetan HD 10180.

Dua planet dalam sistem keplanetan HD 10180 diketahui berada di dalam zona layak huni, yaitu planet x dan HD

10180 g. Zona layak huni dalam sistem ini ditunjukkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Sistem keplanetan HD 10180 dengan 6 planet yang diketahui melalui observasi (warna biru) dan dua planet yang diprediksi belum ditemukan (warna merah, dengan masing-masing dirujuk sebagai x dan y). Bagian yang diarsir hijau adalah zona layak huni dari sistem keplanetan ini.

4. Simpulan

Dalam penelitian ini telah diperoleh 5 rasio harmonik dominan (72%), yaitu (5:1), (2:1), (5:3), (3:2), dan (5:2), sementara rasio harmonik (5:4), (4:3), (4:1), dan (3:1) tergolong minor (28%).

Dengan menggunakan model resonansi orbit harmonik berhasil diprediksi jarak planet luar – Tata Surya dari bintang induknya dengan hasil yang identik dengan jarak yang diperoleh melalui observasi dan prediksi banyaknya planet yang “hilang”

atau belum ditemukan. Berdasarkan data yang memenuhi kriteria yang digunakan, rata-rata terdapat dua planet luar – Tata Surya yang belum dideteksi melalui observasi.

Daftar Pustaka

- Aschwaden, M. J. dan Scholkmann, F. 2017. *Exoplanet Predictions Based on Harmonic Orbit Resonances*. *Galaxies*, 5: 1.
- Aschwaden, M. J. 2018. *Self Organizing Systems in Planetary Physics: Harmonic resonances of planet and moon orbits*. *New Astronomy*, 58: 107.
- Cassan, A., Kubas, D., et all. 2012. *One or More Bound Planets per Milky Way Star From Microlensing Observations*. *Nature*, 481: 167.
- Overbye, D. (2015). *As Ranks of Goldilocks Planets Grow, Astronomers Consider What's Next*. *New York Times*.
- Peale, S. J. (1976). *Orbital Resonances in The Solar System*. *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, 14: 215.
- Wolszczan, A. dan Frail, D. A. (1992). *A Planetary System Around the Millisecond Pulsar PSR1257 + 12*. *Nature*, 355: 145.