

## KRITERIA PLANET LAYAK HUNI SEBAGAI ANALISIS KEBERADAAN DOPPELGANGER BUMI

Berthianna Nurcresia<sup>1</sup>, Tua Raja Simbolon<sup>1</sup>, Lu'lu Rihhadhatul Aisy<sup>2</sup>,  
 Manis Sembiring<sup>1</sup>, Johnny Setiawan<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departemen Fisika, Universitas Sumatera Utara

<sup>2</sup>Program Studi DIII Pajak, Politeknik Keuangan Negara STAN

<sup>3</sup>Unimatrix UG, Berlin, Germany

Email: berthiflynn@gmail.com

### Abstract

*The discovery of extrasolar planets has reached rapid development. Until now, various earth-sized planets called terrestrial planets around their parent stars have been discovered. It is well known that some of these planets orbit their parent stars in habitable zone around their parent stars in class G-M. Some parameters have been determined to re-categorize these planets whether as habitable planets or as Earth's doppelganger, so that various fundamental parameters assumptions to re-categorize the planets appear. We have studied 300 extrasolar planets — located in habitable zone — data by using our calculations to determine the fundamental parameters which determine the position of these planets whether as habitable or as Earth's doppelganger. Earth's doppelganger must be able to maintain water in liquid form and must have fingerprints which are exactly same like Earth does. Therefore, we determine four fundamental parameters, the physical condition of the planet, the surface temperature of the planet, the parent star parameters, and the location of the habitable zone. We set the Earth's doppelganger to have the standard parameter of  $\pm 1$  and assume all of Earth parameters as the standard values. After carrying out four analysis processes, we have found only two Earth's doppelganger candidates.*

**Keywords:** Habitable Planet, Earth's Doppelganger, Kepler-69 C

### Abstrak

Penemuan planet-planet ekstrasolar saat ini telah mencapai perkembangan pesat. Hingga saat ini telah ditemukan berbagai planet yang seukuran dengan Bumi yang bisa disebut sebagai planet terestrial di sekitar bintang induk mereka. Telah banyak diketahui, beberapa dari planet tersebut mengorbit bintang induknya di dalam zona layak huni di sekitar bintang induk yang berada di kelas G – M. Beberapa parameter telah ditentukan untuk mengkategorikan kembali planet-planet tersebut hanyalah planet layak huni atautkah doppelganger Bumi, sehingga muncul berbagai anggapan parameter dasar untuk mengkategorikan kembali planet-planet tersebut. Kami telah mempelajari 300 data planet ekstrasolar yang berada dalam zona layak huni menurut perhitungan kami untuk menentukan parameter-parameter dasar yang menentukan posisi planet-planet tersebut berada dalam kategori planet layak huni atau doppelganger Bumi. Planet yang menjadi doppelganger bagi Bumi harus dapat mempertahankan air dalam bentuk cair dan memiliki sidik jari yang persis seperti Bumi. Oleh karena itu, kami menentukan empat parameter dasar yaitu kondisi fisik planet, temperatur permukaan planet, parameter bintang induk, dan letak zona layak huni. Kami menetapkan doppelganger Bumi memiliki parameter standar  $\pm 1$  dan menganggap seluruh parameter Bumi sebagai nilai standar. Setelah melakukan empat proses analisis, kami menemukan hanya dua planet yang berada dalam kandidat doppelganger Bumi.

**Kata kunci:** Planet layak huni, Doppelganger Bumi, Kepler-69 C

### PENDAHULUAN

Pencarian planet yang memiliki kemungkinan adanya kehidupan di luar tata surya telah menjadi topik yang populer saat

ini, dengan tujuan utama untuk menemukan planet yang mirip dengan Bumi (Franck et al, 2007) dan mengorbit bintang seperti matahari. Sejak ditemukannya planet

Berthianna dkk/Doppelganger Bumi/Vol 5, No.1, Hal 73-87, (2019)

pertama yang mengorbit bintang 51 Pegasi tahun 1995 oleh Mayor dan Queloz, bidang riset Astrobiologi menjadi semakin berkembang pesat untuk mencari kemungkinan kehidupan di luar Bumi. Walaupun sejauh ini diketahui hanya Bumilah satu-satunya planet yang mendukung kehidupan (Altermann, 2008; Pilat-Lohinger, 2015), para peneliti tidak berhenti untuk terus mendeteksi keberadaan planet yang mendukung kehidupan sama seperti Bumi. Pernyataan ini didukung dengan keberhasilan misi Kepler NASA mendeteksi ribuan planet ekstrasurya dan mendeteksi daerah galaksi dimana zona layak huni dapat dipertahankan dengan baik (Chaplain, 2009; Borucki et al, 2011; Fressin et al, 2013; Lissauer et al, 2011) dan menemukan banyak planet superterran (Howard et al, 2012; Batalha et al, 2013; Petigura et al, 2013) sampai seukuran Bumi (Wittenmeyer et al, 2006; Robertson et al, 2012 a,b; Zechmeister et al, 2013), serta diluncurkannya wahana baru NASA yang bernama TESS (the Transiting Exoplanet Survey Satellite) pada April 2018 yang akan memonitor 200.000 bintang yang memiliki sistem surya (Ricker et al, 2015; Sullivan et al, 2018; Bouma et al, 2017). Namun, sekitar tahun 2013 sampai 2015 beberapa peneliti mengungkapkan dalam penelitian mereka bahwa ada sekitar 30%

planet mirip Bumi yang mengitari bintang kelas M (Dressing and Charbonneau, 2015), dan 20% yang mengelilingi bintang kelas FGK (Pettigura et al, 2013; Foreman-Mackey et al, 2014; Burke et al, 2015; Silburt et al, 2015).

Seperti namanya, planet mirip Bumi haruslah memiliki karakteristik yang sama dengan Bumi untuk mendukung kehidupan. Kondisi planet yang harus berbatu (Durand – Manterola, 2010), Sumbu semi mayor (Kasting et al, 1993), kondisi atmosfer (Stevenson, 1999; Schwarz et al, 2005; Vladilo et al, 2013), ukuran (Erkaev et al, 2014; Wittenmeyer et al, 2014), temperatur permukaan (Lee, 2003; Mallama et al, 2006; Mallama, 2007; Cabrol dan Grin, 2010; Leconte et al, 2013), kondisi bintang induk baik kondisi bentuk, ukuran, sampai kondisi fotometris (Kopparapu et al, 2013; Ramirez et al, 2014ab; Leconte et al, 2013; von Braun et al, 2011), dan kondisi zona layak huni (Kaltenegger dan Sasselov, 2011; Selsis et al, 2007; Kasting et al, 1993) merupakan syarat – syarat utama sebuah planet untuk dapat membuktikan dapat atau tidaknya suatu planet mendukung kehidupan bagi makhluk hidup.

Kemungkinan untuk menemukan planet mirip Bumi tergantung pada kelengkapan yang sama, dan kelengkapan tersebut sangat bervariasi. Planet mirip Bumi harus memiliki air di permukaannya

Berthianna dkk/Doppelganger Bumi/Vol 5, No.1, Hal 73-87, (2019)

(Hart, 1978; Kopparapu et al, 2014) untuk mendukung siklus karbon dan siklus silikat – karbonat (Kopparapu et al, 2013; Zsom et al 2013). Ini berarti planet mirip Bumi harus berada dalam zona layak huni dan merupakan planet layak huni. Zona layak huni didefinisikan sebagai daerah dimana planet-planet berbatu dapat mempertahankan air dalam bentuk cair dengan bantuan kondisi atmosfer permukaan planet – planetnya (Huang, 1959; Kasting et al, 1993; Selsis et al, 2007; Kane dan Hinkel, 2012; Haghighipour dan Kaltenecker, 2013; Liu et al, 2013; Forgan, 2014; Mason et al, 2015). Ukuran planet yang umumnya kecil (Pettigura et al, 2013; Burke et al, 2015; Dressing dan Charbonneau, 2015), walaupun ada juga beberapa planet raksasa yang ditemukan dalam zona layak huni (Heller dan Armstrong, 2014; Barclay et al, 2013). Zona layak huni tersebut juga harus didukung oleh nilai batas dalam dan batas luar yang sesuai, dimana batas dalam dipertimbangkan berdasarkan kondisi tekanan atmosfer di permukaan planet yang cukup untuk mempertahankan air dalam bentuk cair sedangkan untuk batas luar dipertimbangkan berdasarkan kemampuan planet untuk mempertahankan CO<sub>2</sub> di permukaannya (Forget dan Pierrehumbert, 1997). Di dalam paper ini, kami telah menganalisis hubungan beberapa parameter

yang kami anggap penting bagi planet mirip Bumi. Hasil analisis ini akan digunakan sebagai bahan penelitian lanjutan untuk mencari planet mirip Bumi yang semirip mungkin. Kami menyaring data dari planet layak huni yang didapatkan menggunakan model sederhana zona layak huni yang telah dibuat dalam paper sebelumnya, dan beberapa data yang diambil dari katalog planet ekstrasuryal sebagai pelengkap.

Kami memaparkan metode yang kami pertimbangkan dan gunakan pada bab “Metode” artikel ilmiah ini, memberikan hasil analisis parameter planet mirip Bumi pada bab “Hasil”, diskusi pada bab “Pembahasan”, dan simpulan serta saran yang akan dibahas dalam bab “Simpulan dan Saran”.

## **METODE PENELITIAN**

Sebelum pengelompokan, kami menentukan beberapa parameter yang akan kami pertimbangkan untuk menentukan kelayakan dari planet mirip Bumi. Beberapa parameter tersebut ada yang sudah pernah dibahas dalam beberapa studi (Franck et al, 1999; Williams, D. M. dan Pollard, D, 2003; Lucarini et al, 2013; Vladilo et al, 2013; Lisenmeier et al, 2014; Kalidindi et al, 2017), namun dalam pembagian kategori dalam paper ini akan dibahas beberapa parameter yang dianggap penting untuk menggambarkan planet mirip

Berthianna dkk/Doppelganger Bumi/Vol 5, No.1, Hal 73-87, (2019)

Bumi. Parameter yang kami pertimbangkan untuk mengukur kelayakan sebuah planet menjadi planet mirip Bumi diantaranya adalah: Kondisi Planet; Temperatur Permukaan Planet; Kondisi Bintang Induk; dan Kondisi Zona Layak Huni.

### **Kondisi Bumi**

Kondisi planet dipertimbangkan karena kondisi interior dan eksterior dari sebuah planet merupakan faktor utama untuk mengetahui apakah sebuah planet seperti Bumi dapat mempertahankan kehidupan layaknya di Bumi.

Ukuran - (Erkaev et al, 2014). Ukuran, massa, dan volume merupakan parameter termudah yang dapat diidentifikasi dari exoplanet. Menurut Dorand – Manterolla (2010), kondisi yang layak bagi planet yang memiliki massa yang dekat dengan Bumi. Walaupun ada beberapa penelitian yang menunjukkan bahwa ada planet raksasa yang dapat dihuni (von Bloh et al, 2007; Valencia et al, 2006; Udry et al, 2007), ataupun mengambil massa kritis lebih kecil dari massa Bumi (Raymond et al, 2007), namun kondisi tersebut tidak dapat kami perhitungkan karena kami benar – benar harus mempertimbangkan ukuran Bumi sebagai sumber kelayakan utama bagi planet mirip Bumi dikarenakan planet superterran juga memiliki inti yang padat (Valencia, 2006),

maka kami akan memasukkan jenis planet ini kedalam kategori tertentu.

Penelitian ini akan didukung oleh beberapa hubungan yang berkaitan dengan hubungan massa-radius dan massa bintang-luminositas.

Diagram hubungan massa-radius untuk planet layak huni biasanya digunakan oleh peneliti sebelumnya untuk memahami komposisi exoplanet (Seager et al, 2007; Lissauer et al, 2011; Sohl et al, 2012; Swift et al, 2012; Enoch et al, 2012; Weiss dan Marcy, 2013; Weiss et al, 2013). Dalam penelitian ini, diagram hubungan tersebut akan digunakan untuk memahami parameter yang tepat untuk kategori planet mirip Bumi.

Hubungan massa bintang-luminositas digunakan untuk membantu mencari lifetime dari bintang induk. Hubungan ini telah dimodelkan sebelumnya (LoPresto, 2018) dan akan kembali digunakan oleh penelitian kami untuk mengetahui seberapa lama bintang induk dari sebuah sistem surya mempertahankan zona layak huni di lingkungannya.

Jarak – Kondisi jarak atau semi mayor axis juga menjadi pengaruh besar bagi planet mirip Bumi. Semi mayor axis inilah yang akan menentukan apakah planet berada pada posisi tepat di zona layak huni atau tidak.

Kondisi interior - juga sangat memengaruhi planet mirip Bumi. Kondisi interior yang memengaruhi berupa kondisi yang padat dan berbatu serta inti yang padat. Namun, kami telah menyaring planet tersebut dari data planet layak huni pada paper sebelumnya yang telah kami anggap planet tersebut adalah planet terrestrial.

### Temperatur Permukaan Planet

Kehidupan di Bumi dibentuk berdasarkan kandungan molekul karbon sebagai fondasi utama bagi biomassa, adanya air, dan reaksi kimia ekserginik. Ketiga komponen tersebut adalah sumber energi utama bagi Bumi untuk mempertahankan kehidupan (Schulze-Makuch, 2015). Planet terrestrial yang memiliki temperatur sekitar 15°C dan tekanan atmosfer sebesar 1 bar merupakan syarat umumnya. Namun, temperatur yang relatif tinggi juga dibutuhkan bagi keberlangsungan pembentukan makhluk hidup, khususnya DNA yang dapat terbentuk dengan temperatur di atas 150°C (White, 1984; Madigan and Orent, 1999).

Sebuah planet dapat dikatakan layak dihuni oleh makhluk hidup jika berada dalam temperatur kesetimbangan dalam daerah yang sudah didefinisikan sebelumnya. Temperatur permukaan planet dipengaruhi oleh iklim, orbit, letak planet yang berada pada zona layak huni. temperatur ini harus benar – benar dapat

mempertahankan kehidupan. Menurut Lee et al (2003), temperatur yang memungkinkan sebuah planet untuk mempertahankan kehidupan adalah kurang dari 60°C, dan pernyataan ini juga didukung oleh Kasting (1993) yang menyatakan bahwa temperatur yang tepat untuk mempertahankan rumah kaca adalah tidak lebih dari 60°C. Pernyataan tersebut cukup membantu dalam menentukan zona layak huni bagi sebuah sistem surya. Maka itu mayoritas studi menempati sumbu semi mayor dari Venus yang menjadi batas dalam bagi zona layak huni dalam tata surya kita. Tabel 1 memperlihatkan temperatur perbandingan untuk membatasi temperatur bagi planet mirip Bumi (Mallama, et al, 2006; Mallama, 2007; Cabrol dan Grin, 2010).

**Tabel 1.** Temperatur Perbandingan Planet Mirip Bumi

Perbandingan temperatur	Venus	Bumi	Mars
Kesetimbangan temperatur secara umum	307 K 34°C 93°F	255 K -18°C -0,4°F	206 K -67°C -88,6°F
Efek Rumah Kaca	737 K 464°C 867°F	288 K 15°C 59°F	210 K -63°C -81°F
Penguncian pasang surut	Hampir	Tidak ada	Tidak ada
Albedo	0,9	0,29	0,25

Untuk memperkirakan temperatur permukaan planet, dapat ditentukan dengan persamaan 1. (LoPresto dan Hagoort, 2011).

$$T \cong \left( \frac{279}{r^{0.5}} \right) \quad (1)$$

dengan  $r$  adalah sumbu semi mayor (SA). Gambar 1 menampilkan daerah zona layak huni secara umum menurut sumbu semi mayornya dengan perkiraan temperatur efektif untuk mendukung kehidupan adalah 200-300 K. Gambar 1 menunjukkan bahwa planet-planet yang memiliki sumbu semi mayor kurang dari 1 SA akan menerima panas yang cukup tinggi dari bintang induknya. Begitu pula dengan planet yang memiliki sumbu semi mayor diatas 1 SA yang memiliki temperatur kesetimbangan lebih dari Bumi.

### Kondisi Bintang Induk

Kriteria selanjutnya untuk planet mirip Bumi yaitu kondisi bintang induknya yang harus seperti Matahari. Kemiripannya didasarkan pada kondisi fotometri (kelas spektrum) dari bintang induk. Oleh karena itu, komposisi planet dalam suatu sistem surya akan serupa dengan komposisi planet yang mengitari Matahari. Karena telah terlihat sebelumnya bahwa ukuran kandidat planet mirip Bumi yang ditemukan ada yang berupa planet gas dan superterran, maka itu ukuran planet tidak dapat diandalkan untuk menentukan apakah planet tersebut mirip Bumi atau tidak.

Beberapa data telah kami analisis kembali. Kami mengambil beberapa

parameter yang kami anggap cukup layak untuk menentukan kondisi bagi bintang induk planet mirip Bumi, diantaranya adalah:

Massa dan radius - merupakan dua parameter paling dasar yang dapat diukur dari sebuah bintang. Sudah banyak penelitian yang membuat model massa – radius untuk bintang (Kraus et al, 2011; Feiden dan Chabover, 2012; Zhou et al, 2014). Kami akan mengkategorikan bintang induk berdasarkan kedua parameter ini yang akan difungsikan untuk mencari bintang yang mirip dengan Matahari (memiliki massa dan radius yang cukup kecil).

Kelas spektrum - Kelas spektrum dari bintang mengindikasikan temperatur fotosfer bintang tersebut, dimana (untuk bintang deret utama) dihubungkan dengan massanya. Rentang spektrum yang sesuai untuk bintang bagi planet layak huni yaitu kelas F dengan usia lanjut, atau G, sampai pertengahan K, sesuai dengan rentang temperatur yang lebih dari 7000 K sampai sedikit lebih dari 4000 K (6700°C sampai 3700°C). Matahari berada pada kelas spektrum G5V yang memiliki temperatur 5777 K, dan masih berada dalam rentang temperatur yang efektif untuk diorbit oleh planet – planet layak huni. Untuk kelas spektrum ini, hanya ada sekitar 5% sampai 10% dalam galaksi Bima Sakti. Bintang

Berthianna dkk/Doppelganger Bumi/Vol 5, No.1, Hal 73-87, (2019)

kelas menengah seperti ini memiliki sejumlah karakteristik yang dianggap penting bagi kelayakhunian sebuah planet (Turnbull dan Tarter, 2003).

Masa hidupnya setidaknya beberapa miliar tahun guna mendukung adanya kehidupan berkembang di dalamnya. Kelas spektrum bintang O, B, dan A biasanya hidup kurang dari satu miliar tahun dan biasanya kurang dari 10 juta tahun.

Memancarkan radiasi ultraviolet dengan frekuensi tinggi yang cukup untuk memicu dinamika atmosfer yang penting bagi pembentukan lapisan ozon, namun tidak terlalu banyak sehingga proses ionisasi menghancurkan kehidupan yang baru saja terbentuk.

Air dalam fase cair kemungkinan ada dalam permukaan planet yang mengorbit bintang-bintang tersebut pada jarak yang cukup jauh sehingga tidak menginduksi penguncian pasang surut.

Penelitian terbaru (Shields et al, 2013) menunjukkan bahwa bintang yang bersuhu lebih dingin memancarkan radiasi inframerah yang lebih ringan dan dapat mengurangi es pada permukaan planet. Panjang gelombang ini diserap oleh planet – planet es dan gas rumah kaca agar menjaga temperatur permukaan planet tersebut tetap hangat.

Luminositas – luminositas akan berpengaruh terhadap perubahan nilai inner

dan outer dari zona layak huni. evolusi bintang akan mempengaruhi perubahan nilai luminositas (Danchi and Lopez, 2013).

### **Kondisi Zona Layak Huni**

Salah satu kriteria yang terpenting bagi doppelganger Bumi adalah planet tersebut harus berupa planet terrestrial dan berada dalam zona layak huni. Zona layak huni akan membantu planet untuk mempertahankan kehidupan, serta menjaga temperatur permukaan berada dalam kondisi stabil. Namun, pada kenyataannya beberapa kandidat planet mirip Bumi tersebut memiliki jarak yang terlalu dekat dari bintang induknya atau bahkan tidak berada di zona layak huni.

Untuk mempermudah penentuan planet mirip Bumi, kami menggunakan model sederhana zona layak huni yang telah kami buat dalam penelitian sebelumnya. Kami mempersempit zona layak huni dengan mengambil sumbu semi mayor dari Venus dan Mars agar mendapatkan hasil semaksimal mungkin, dengan dibantu oleh persamaan 2.

$$i = K_a M_{\odot} + d_i \quad (2)$$

yang dapat digunakan untuk mencari nilai batas dalam, dan persamaan 3.

$$o = K_b M_{\odot} + d_o \quad (3)$$

untuk menentukan nilai batas luar. Nilai  $K_a$  dan  $K_b$  masing – masing sudah ditentukan di penelitian sebelumnya.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mendapatkan hasil kandidat planet mirip Bumi, kami menggunakan beberapa tahap dengan menggunakan beberapa parameter yang ditentukan. Berikut akan dijelaskan secara rinci.

### Analisis Kondisi Fisik Planet

Pada tahap ini, kami menyaring data menggunakan kriteria kondisi fisik planet. Planet mirip Bumi harus memiliki permukaan yang padat atau berbatu. Kondisi ini yang akan membuat planet layak untuk dihuni (Rugheimer et al, 2015). Dalam tahap ini, didapatkan hasil sebagaimana terdapat pada tabel 2.

Kandidat didasarkan pada beberapa pertimbangan termasuk massa dan radius planet. Dalam tabel tersebut masih terlihat banyak kandidat planet yang memiliki massa lebih dari  $\pm 1$  kali massa Bumi. Planet tersebut ada yang berupa planet gas (yang berukuran lebih dari 10 kali massa Bumi) atau bahkan planet superterran (berukuran 2 – 10 kali massa Bumi). Tentunya dari planet-planet tersebut masih ada yang belum dapat dikatakan sebagai planet mirip Bumi. Namun, planet tersebut termasuk kandidat bagi planet mirip Bumi karena planet-planet tersebut memiliki radius yang masih memenuhi kriteria bagi planet mirip Bumi.

### Analisis Temperatur Permukaan Planet

Pada tahap ini, kami menganalisis menggunakan parameter temperatur. Sebelumnya, sudah ada beberapa peneliti yang memodelkan temperatur permukaan untuk planet mirip Bumi (Vladilo et al, 2015). Planet yang memiliki temperatur rendah akan lebih mudah untuk kehilangan air di permukaannya (Kasting et al, 2013). Oleh karena itu, tahap ini akan menyaring kembali temperatur planet yang cocok agar air dapat dipertahankan dan temperaturnya cukup hangat untuk dihuni oleh makhluk hidup.

Kondisi temperatur kandidat planet-planet layak huni tersebut masih banyak yang belum memenuhi kriteria. Planet-planet tersebut memiliki temperatur permukaan yang cukup tinggi sehingga tidak dapat mempertahankan kehidupan di dalamnya. Dalam gambar 2 ditunjukkan bahwa semakin besar sumbu semi mayor planet ke bintang induknya, maka temperatur permukaan planet akan semakin dingin dan sulit untuk mempertahankan kehidupan di permukaannya. Namun berdasarkan tabel 3, masih ada dua kandidat planet mirip Bumi yang memiliki temperatur permukaan yang stabil dikarenakan letaknya yang berada pada zona layak huni sehingga dimungkinkan kedua planet tersebut dapat

Berthianna dkk/Doppelganger Bumi/Vol 5, No.1, Hal 73-87, (2019)

mempertahankan kehidupan di permukaannya.

Berdasarkan temperatur patokan, hanya ada dua planet yang dapat dikatakan memiliki temperatur yang cocok atau normal seperti Bumi yaitu Kepler-69 c dan Kepler-186 f.

### **Analisis Parameter Bintang Induk**

Parameter yang diperhitungkan pada tahap ini adalah parameter dari bintang induk. Kondisi bintang induknya harus seperti Matahari. Kemiripannya didasarkan pada kondisi fotometri (kelas spektrum) dari bintang induk. Oleh karena itu, komposisi planet dalam suatu sistem surya akan serupa dengan komposisi planet yang mengitari Matahari. Karena telah diketahui sebelumnya bahwa ukuran kandidat planet mirip Bumi yang ditemukan ada yang berupa planet gas dan superterran, ukuran planet tidak dapat diandalkan untuk menentukan apakah planet tersebut mirip Bumi atau tidak. Tabel 4 menunjukkan kondisi fotometris bintang induk dari kandidat planet mirip Bumi.

Kondisi fotometris pada kandidat planet-planet mirip Bumi tersebut berada pada kisaran kelas spektrum G, K, dan M. Dari temperatur bintang induknya dapat dipastikan bahwa kandidat – kandidat tersebut memiliki kondisi yang cocok untuk mempertahankan kehidupan bagi planet –

planet yang mengitarinya. Maka itu perlu dikaji kembali mengenai kriteria – kriteria yang mendukung untuk mengetahui keberadaan planet mirip Bumi.

### **Analisis Zona Layak Huni Planet**

Dalam paper ini, zona layak huni merupakan parameter terakhir yang dijadikan dasar pertimbangan bagi doppelganger Bumi. Menurut hasil analisis, diperoleh hasil sebagaimana terdapat dalam tabel 5.

Data pada tabel 5 menunjukkan bahwa lebih banyak planet yang berada di luar zona layak huni sehingga temperatur permukaan planet tersebut akan terlalu panas. Temperatur permukaan yang terlalu panas tidak dapat mempertahankan kehidupan di dalam planet tersebut, atau dapat dikatakan kemungkinan planet tersebut cukup gersang untuk ditinggali oleh makhluk hidup.

### **PEMBAHASAN**

Kepler-69 C dan Kepler-186 F sebagai Kandidat Doppelganger Bumi Berdasarkan empat kategori analisis dengan parameter berupa kondisi fisik planet, temperatur, bintang induk, dan keberadaannya pada zona layak huni, kandidat doppelganger Bumi menurut kami adalah Kepler-69 c dan Kepler-186 f. Menurut analisis kami, kedua planet

Berthianna dkk/Doppelganger Bumi/Vol 5, No.1, Hal 73-87, (2019)

tersebut masih dapat dikategorikan sebagai doppelganger Bumi dikarenakan beberapa parameter memenuhi kriteria yang kami tentukan. Namun tampak pada data, Kepler-186 F memiliki massa yang cukup besar (Quintana et al, 2014).

Menurut analisis kondisi zona layak huni, kedua planet ini memiliki lokasi yang cukup strategis dan termasuk dalam planet layak huni (Lissauer, 2007; Raymond, 2007). Untuk Kepler-186 f menempati posisi batas dalam 0.20 – 0.23 SA (Kopparapu et al, 2013; Kopparapu et al, 2014), dan setara dengan hasil yang kami dapatkan menggunakan persamaan kami (2) yang bernilai 0. 25 SA. Sedangkan untuk batas luar, kami mendapatkan nilai 0.79 SA dengan menggunakan persamaan 3. Begitupula dengan Kepler-69 C, kami mendapatkan nilai batas dalam dan luar berturut – turut adalah 0.43 SA dan 1.34 SA. Sedangkan menurut Kane et al (2013), nilai batas dalam dan luar berturut – turut adalah 0.88 SA dan 1.51 SA. Namun yang perlu diingat adalah, planet yang mengorbit dalam zona layak huni belum tentu membuat planet tersebut layak huni (Bolmont et al, 2014). Masih banyak faktor yang mempertimbangkan apakah planet tersebut layak huni atau tidak (Schulze-Makuch et al, 2011).

Dari sisi parameter bintang induk, Kepler-186 f yang mengitari bintang

induknya, Kepler-186 memiliki temperatur bintang induk yang cukup rendah, dan berada di kelas M (Quintana et al, 2014). Namun, Kepler-69 C memiliki keistimewaan, yaitu temperaturnya yang hampir menyamakan temperatur Matahari (Barclay et al, 2013).

Pengaruh Perubahan Jarak Bintang Induk terhadap Zona Layak Huni Doppelganger Bumi

Pengetahuan mengenai jarak bintang telah berkembang sejak diluncurkannya misi Hipparcos dan Gaia (Van Leeuwen, 2007; Prusti et al, 2016). Kedua misi ini tentunya dapat memperbaiki pengetahuan manusia mengenai jarak bintang (Van Grootel et al, 2018). Seperti yang sudah diketahui, selain perubahan pada sifat dasar bintang dan planet, perubahan jarak sistem keplanetan juga dapat mengubah fluks sistem tersebut karena bergantung pada luminositas bintang yang terukur (Kane, 2018). Hal inilah yang akan menentukan batasan dari zona layak huni. Umumnya, batasan zona layak huni dibedakan menjadi dua, yaitu Optimistic Habitable Zone (OHZ) yang memiliki gambaran batasan Venus dan Mars, dan Circumstellar Habitable Zone (CHZ) yang membatasi zona layak huni dengan banyaknya CO<sub>2</sub>. Kedua batasan zona layak huni ini memiliki persamaan yaitu bergantung kepada luminositas dan temperatur efektif dari

Berthianna dkk/Doppelganger Bumi/Vol 5, No.1, Hal 73-87, (2019)

bintang induk sistem keplanetan (Kane, 2014).

Dalam kasus sistem keplanetan Kepler-186, planet tersebut dikategorikan sebagai yang paling mirip Bumi jika dipandang dari sisi ukuran dan fluks daripada keempat planet yang lain di dalam sistem keplanetannya (Bolmont et al, 2014). Namun, penambahan jarak bintang menjadi  $177.51 \pm 0.79$  pcs menyebabkan luminositas bertambah sebesar 38.2% dan radius bintang bertambah sebesar 17.6% (Kane, 2018). Pertambahan radius bintang induknya tersebut menyebabkan pertambahan radius planet hingga 1.31 kali massa Bumi. Inilah yang menyebabkan planet tersebut masih dalam kondisi planet terrestrial (Chen dan Kipping, 2017). Untuk planet Kepler-186 f yang awalnya berada di luar zona layak huni dan seukuran Bumi telah berubah statusnya menjadi super Bumi dan berada di tengah zona layak huni (Kane, 2018).

Sebagai catatan, luminositas bukanlah satu-satunya faktor yang dapat mempertahankan planet dalam zona layak huni. Faktor intrinsik planet juga berpengaruh seperti batas atmosfer, rotasi planet, ataupun proses geologis (Abbot, 2016; Yang et al, 2014).

## SIMPULAN DAN SARAN

Kriteria yang kami pakai dalam studi kami terhadap 300 planet ekstrasuryal yang berada dalam zona layak huni adalah kriteria umum yang telah digunakan oleh banyak peneliti sebelumnya untuk menentukan planet – planet mana yang termasuk dalam kandidat planet mirip Bumi. Namun dalam paper ini, kami telah menggunakan parameter – parameter tersebut sebagai kriteria dasar atau sidik jari bagi doppelganger Bumi. Kriteria ini akan membantu kami untuk mengembangkan kriteria lanjutan yang lebih kompleks lagi terhadap pencarian doppelganger Bumi.

Dalam paper ini, dari 300 planet ekstrasuryal, kami menyaring kembali data tersebut berdasarkan massa dan radius planet, sehingga kami hanya menemukan 9 kandidat bagi doppelganger Bumi. Saat empat kali proses analisis, kami hanya menemukan dua kandidat awal doppelganger Bumi, yaitu Kepler-186 f dan Kepler-69 C. Kedua planet ini memiliki properti yang cukup seperti Bumi jika dipandang dari sisi massa ( $1.5 < \text{massa Bumi} > 0.5$ ) dan radius planetnya ( $2 < \text{radius Bumi} > 1.5$ ). Kondisi fotometris bintang induk dari planet Kepler-69 C memiliki keistimewaan, yaitu berada di kelas G4V sehingga planet ini memiliki kondisi yang cukup strategis yaitu berada dalam zona layak huni. Sedangkan untuk

Berthianna dkk/Doppelganger Bumi/Vol 5, No.1, Hal 73-87, (2019)

bintang induk dari Kepler-186 f sendiri memiliki kondisi fotometris yang cukup berbeda, yaitu M1V. kondisi bintang yang dingin, namun planet dalam kondisi yang memungkinkan dalam zona layak huni karena bertambahnya luminositas bintang induknya yang membuat Kepler-186 f mengalami penambahan massa. Kondisi – kondisi ini akan mampu mempertahankan kedua planet tersebut mempertahankan air dalam bentuk cair sehingga dapat dikaji lebih jauh lagi apakah kedua planet tersebut benar – benar doppelganger Bumi atau hanya menempati posisi sebagai planet layak huni.

#### DAFTAR PUSTAKA

A-Escudé, G., Amado, P. J., Barnes, J., et al. (2016). *Nature*. 536(7617): 437 – 440.

Barclay, T., Burke, C. J., Howell, S. B., et al. (2013). *ApJ*. 768(2): 101.

Batalha, N. M., Rowe, J. F., Bryson, S. T. et al. (2013). *ApJS*. 204: 24.

Bixel, A., Apai, D. (2017). *ApJL*. 836(2): L31.

Bolmont, E., Raymond, S. N., von Paris, P., et al. (2014). *ApJ*. 793: 3

Borucki, W. J., et al. (2011). *ApJ*. 736(1): 19.

Bouma, L. G., Winn, J. N., Kosiarek, J., et al. (2017). ArXiv: 1705.0889.

Buchhave, L.A., Dressing, C. D., Dumusque, X., et al. (2016). *ApJ*. 152: 160.

Burke, C. J., Christiansen, J. L., Mullally, F., et al. (2015). *ApJ*. 809: 8.

von Bloh, W., Bounama, C., Cuntz, M., et al. (2007). *A&A*. 476: 1365 – 1371.

von Braun, K., Boyajian, T. S., ten Brummelaar, T. A., et al. (2011). *ApJ*. 740 : 49.

Cabrol, N. dan Grin, E. (2010). *Lakes on Mars*. NY: Elsevier.

C, Cristina. (2009). Washington: U.S. Govt.

Demory, B. –O., Ségransan, D., Forveille, T., et al. (2009). *A&A*. 505: 205 – 215.

Dressing, C.D., Charbonneau, D. (2015). *ApJ*. 807: 45.

Dumusque, Xavier, et al “An Earth-mass Planet Orbiting  $\alpha$  Centauri B.” *Nature* 207-211 491 (2012): n. pag. Nature.com. Nature, 17 Oct. 2012. Web. 20 Oct. 2013.

Durand-Manterola, H. J. (2010). ArXiv: 1010.2735.

Enoch, B., Collier, C. A., Horne, K. (2012). *A&A*. 540 : A99.

Erkaev, N. V., Lammer, H., Elkins–Tanton, L. T., Stöki, et al. (2014). *Planetary & Space Science*. 98. 106 - 119.

Feiden, G. A., and Chabover, B. (2012). *ApJ*. 757: 42.

Berthianna dkk/Doppelganger Bumi/Vol 5, No.1, Hal 73-87, (2019)

- Foresman-Mackey, D., Hogg, D. W., dan Morton, T. D. (2014). *ApJ*. 795: 64.
- Forgan, D. (2014). *Mon.Not R. Astron. Soc.* 432:1352-1361.
- Forget, F., Pierrehumbert, R. T. (1997). *Science*. 278:1273.
- Franck, S., Block, A., von Bloh, W., et al. (1999). *Planetary & Space Science*. 48: 1099 – 1105.
- Franck, S., von Bloh, W., Bounama, C. (2007). *Int'l Journal of Astrobiology*. 6(2).153– 157.
- Fressin, F., Torres, G., Rowe, J. F., et al. (2011). *Nature*. 482: 195 – 198.
- Fressin, F., et al. (2013). *ApJ*. 766(2): 81.
- Fuhrmann, K., Chini, R., Hoffmeister, V. H., et al. (2011). *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 411: 2311 – 2318.
- Gautier III, T. N., Charbonneau, D., Rowe, J. F., et al. (2012). *ApJ*. 749: 15.
- Haghighipour, N. and Kaltenegger, L. (2013). *ApJ*. 777: 166.
- Hart, M. H. (1978). *Icarus*. 33: 23.
- Havel, M., Guillot, T., Valencia, D., dan Crida, A. (2011). *A&A*. 531: A3.
- Heller, R. dan Armstrong, J. (2014). *Astrobiology*. 14(1): 50 – 66.
- Huang, S. S. (1959). *American Scientist*. 47: 397.
- Holman, M. J., Fabrycky, D. C., Ragozzine, D., et al. (2010). *Science*. 330: 51.
- Howard, A. W., Marcy, G. W., Bryson, S. T., et al. (2012). *ApJS*. 201: 15.
- Kalidindi, S., Reick, C. H., Raddatz, T., et al. (2017). *Earth System Dynamics Discussion*.
- Kaltenegger, L. Sasselov, D. (2011). *ApJL*. 736: 2.
- Kane, S.R. and Hinkel, N. R. (2012). *ApJ*. 762:7.
- Kane, S. R., Barclay, T., dan Gelino, D. M. (2013). *ApJ*. 770(2): L20.
- Kasting, J. F., Whitmire, D. P., and Reynolds, R. T. (1993). *Icarus*. 101: 108.
- Kasting, J. F., Kopparapu, R., Ramirez, R. M., et al. (2013). *PNAS*. 111(35) :12641 – 12646.
- Keenan, P. C., dan McNeil, R. C. (1989). *ApJ suppl. Series*. 71: 245.
- Kinver, Mark (10 December 2009). "Global average temperature may hit record level in 2010". BBC. Retrieved 22 April 2010.
- Kopparapu, R. K., Ramirez, R. M., Kasting, J., et al. (2013). *ApJ*. 765(2): 131.
- Kopparapu, R. K., Ramirez, R. M., SchottelKotte, J., et al. (2014). *ApJ*. 787(2): L29.
- Kraus, A. L., Tucker, R. A., Thompson, M. I, Craine, E. R., et al. (2011). *ApJ*. 728: 4.
- Leconte, J., Forget, F., Charnay, B., et al. (2013). *Nature*. 504: 268 – 271.
- Lee, R. W. (2003). *Biol Bull*. 205: 98 – 101.

Berthianna dkk/Doppelganger Bumi/Vol 5, No.1, Hal 73-87, (2019)

- Léger, A., Rouan, D., Schneider, J., et al. (2009). *A&A*. 506: 287 - 302.
- Lissauer, J. J., Fabrycky, D. C., Ford, E. B., et al. (2011). *Nature*. 470:53.
- Lisenmeier, M., Pascale, S., dan Lucarini, V. (2014). Arxiv: 1401.5323.
- Lissauer, J. J. (2007). *ApJ*. 660:L149 – L152.
- Lissauer, J. J., et al. (2011). *ApJ.Suppl.Ser.197*: 8.
- LoPresto, M. C., and Hagoort, N. (2011). *Phys. Teach*. 49: 113 – 116.
- Lucarini, V., Pascale, S., Boschi, R., et al. (2013). Arxiv: 1303.5937.
- Madigan, M. T., and Orent, A. (1999). *Curr. Opin. Microbiol*. 2: 265- 269.
- Mallama, A., Wang, D., dan Howard, R. A. (2006). *Icarus*. 182(1): 10 – 22.
- Mallama, A. (2007). *Icarus*. 192(2):404– 416.
- Mason, P. A., Zuluaga, J. L., Cuartas – Restrepo, P. A., dan Clark, J. M. (2015). *International Journal of Astrobiology*. 14: 391 – 400.
- Neuforge-Verhecke.C. Margain,P. (1997). *A&A*. 328:261-268.
- Petigura, E. A., Howard, A. W., and Marcy, G. W. (2013). *Proceedings of the National Academy of Science*. 110: 19273.
- Pilat-Lohinger, Elke. (2015). Arxiv: 1505.07039.
- Plavchan, P., Chen, X., dan Pohl, G. (2015). *ApJ*. 805(2):174.
- Queloz, D., Bouchy, F., Moutou,C., et al. (2009). *A&A*. 506: 303.
- Quintana, E., Barclay, T., Raymond, S. N., et al. (2014). *Science*. 344 (6181): 277-280.
- Ramirez, R. M., Kopparapu, R., Zugger, M. E., et al. (2014). *Nature Geoscience*. 7(1):59–63.
- Ramirez,R.M., Kopparapu,R.K., Lindner,V. et al. (2014). *Astrobiology*. 14(8):714-731.
- Raymond, S. N., Scalo, J., dan Meadows, V. S. (2007). *ApJ*. 669: 606 – 614.
- Ricker, G. R., Winn, J. N., Vanderspek, R., et al. (2015). *Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems*. (1): 014003.
- Robertson,P., Endl,M., Cochran,W., et al. (2012). *ApJ*. 749:39.
- Robertson, P., Horner, J., Wittenmeyer, R. A., et al. (2012). *ApJ*. 754: 50.
- Rugheimer, S., Segura, A., Kaltenegger, L., et al. (2015). Arxiv: 1506. 07200.
- Santos. N. C., Israelian, G., Mayor, M., et al. (2005). *A&A*. 437: 1127 – 1133.
- Schulze-Makuch, D., Méndez, A., Fairén, A. G., et al. (2011). *Astrobiology*. 11: 1041.
- Schulze-Makuch,D. (2015) .“The Landscape Life,”in The Impact of

Berthianna dkk/Doppelganger Bumi/Vol 5, No.1, Hal 73-87, (2019)

- Disc Life Beyond Earth. Cambridge. Cambridge Univ.Press.
- Schwarz, R., Pilat-Lohinger, E., Dvorak, R., et al. (2005). *Astrobiology*. 5: 1 – 8.
- Seager, S., Kuchner, M., Hier-Majumder, C. A., dan Militzer, B. (2007). *ApJ*. 669: 1279.
- Selsis, F., Kasting, J. F., Levrard, B., et al. (2007). *A&A*. 476(3): 1373 – 1378.
- Shields, A. L., Meadows, V. S., Bitz, C. M., Pierrehumbert, R. T., et al. (2013). *Astrobiology*. 13(8): 715 – 39.
- Silburt, A., Gaidos, E., Wu, Y. (2015). *ApJ*. 799: 180.
- Sohl, F., Wagner, F. W., and Rauer, H. (2012). *Proceeding IAU Symposium*. 293.
- Stevenson, D. J. (1999). *Nature*. 400: 32.
- Torres, G., Fressin, F., Batalha, N. M., et al. (2011). *ApJ*. 727: 24.
- Tuomi, M., Jones, H. R. A., Jenkins, J. S., et al. (2012). *A&A*. 551: A79.
- Turnbull, M.C., Tarter, J.C. (2003). *ApJS*. 145: 181–198.
- Udry, S., Bonflis, X., Delfosse, X., et al. (2007). *A&A*. 469: 43.
- Valencia, D., O’Connell, R. J., dan Sasselov, D. 2006. *Icarus*. 181: 545.
- Valenti, J. A., dan Fischer, D. A. 2005. *ApJ Suppl. Series*. 159: 141 – 166.
- Vladilo, G., Murante, G., Silva, L., et al. 2013. *ApJ*. 767: 65.
- Vladilo, G., Silva, L., Murante, G., et al. 2015. *ApJ*. 804: 50.
- Weiss, L.M. Marcy, G.W. 2014. *ApJL*. 783: L6.
- Weiss, L. M., Marcy, G. W., Rowe, J. F., et al. (2013). *ApJ*. 768: 14.
- White. R. H. (1984). *Nature*. 310: 340 – 342.
- Williams, D. M. dan Pollard, D. (2003). *Int’l Journal of Astrobiology*. 2: 1 – 19,
- Wittenmeyer, R. A., Endl, M., Cochran, W. D., et al. (2006). *ApJ*. 132: 177.
- Wittenmeyer, R. A., Tuomi, M., dan Butler, R. P. (2014). Arxiv: 1406.5587.
- Zechmeister, M., Kürster, M., Endl, M., et al. (2013). *A&A*. 552: A78.
- Zhou, G., Bayliss, D., Hartman, J. D., Bakos, G. Á., et al. (2014). *MNRAS*. 437: 2831 – 2844.
- Zsom, A., Seager, S., dan De Wit, J. (2013). *ApJ*. 778: 109.