

BUKTI VISUAL PENEMUAN PLANET PADA BINTANG FOMALHAUT

Emanuel Sungging Mumpuni
Peneliti Bidang Matahari dan Antariksa, LAPAN

RINGKASAN

Untuk pertama kalinya keberadaan planet di luar sistem Tata Surya kita berhasil dibuktikan keberadaannya dari pengamatan optis, berdasarkan pengamatan yang dilakukan oleh *Hubble Space Telescope*. Planet yang diperkirakan berbobot tiga kali massa Jupiter, disebut sebagai Fomalhaut b, ditemukan pada bintang Fomalhaut, bintang paling terang pada konstelasi Piscis Australis, berjarak 25 tahun cahaya dari Tata Surya.

1 PENDAHULUAN

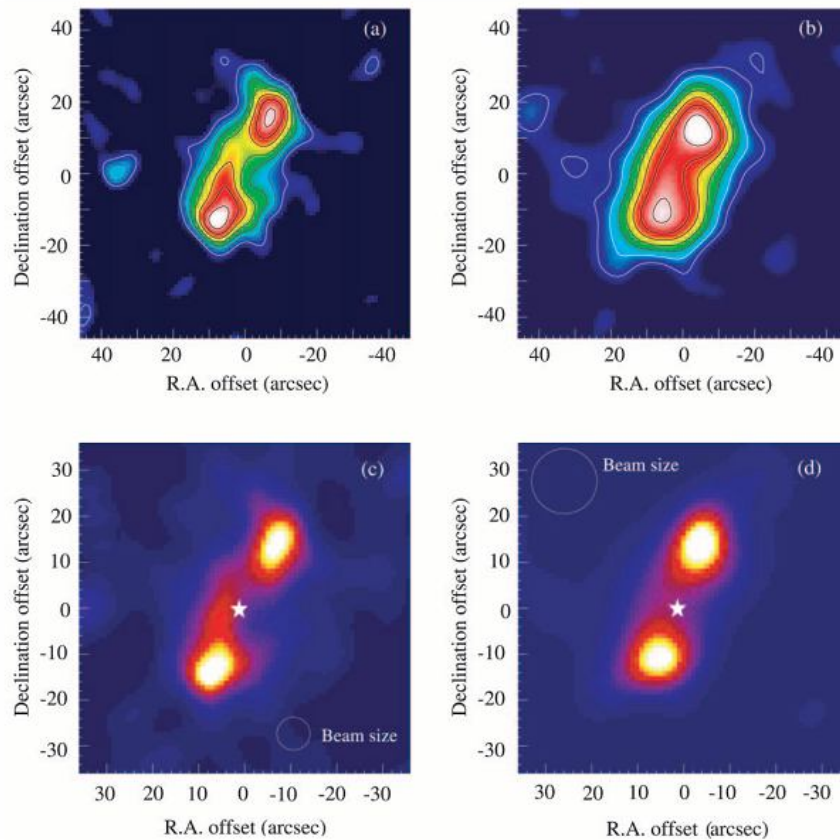
Fomalhaut adalah sebuah bintang deret utama yang paling terang pada konstelasi Piscis Australis, berjarak cukup jauh dengan sistem Tata Surya kita ($7,7 \text{ pc} = 25 \text{ tahun cahaya}$ ($25 \times 9,461 \times 10^{12} \text{ km}$)), dengan kelas spektrum A3V, bermassa 2,3 kali massa Matahari, 1,7 kali diameter Matahari, 16 kali luminositas Matahari, lebih besar dan lebih panas dari Matahari, dengan umur sekitar 200-300 juta tahun, yang artinya bintang tersebut masih muda, dan jika ada planet pada Fomalhaut maka planet tersebut masih sangat muda dan masih memancarkan panas dari proses pembentukan dan sangat memungkinkan untuk bisa ditemukan. Pengamatan menggunakan IRAS (*Infra Red Astronomical Satellite*) pada tahun 1980-an menunjukkan adanya emisi merah-infra yang berlebih pada Fomalhaut, mengindikasikan adanya piringan debu di sekitar Fomalhaut (Stapelfeldt et al., 2004).

2 INDIKASI PLANET PADA FOMALHAUT

Pengamatan lebih lanjut pada rentang sub-mm (450 dan 850 μm) dari pengamatan

SCUBA bolometer camera pada *James Clerk Maxwell Telescope* memperlihatkan adanya struktur distribusi debu non-simetri sumbu (Holland et al., 2003) (Gambar 2-1). Citra (a) dan (b) adalah citra sebelum diproses, sedangkan citra (c) dan (d) setelah diproses. Posisi bintang ditandai dengan simbol bintang, dengan resolusi pancaran untuk setiap instrumen ditandai dengan lingkaran *beam size*. Sebelah kiri adalah citra dengan pita 450 μm , sedangkan kanan adalah pita 850 μm .

Gambar 2-1 memperlihatkan pengamatan emisi debu Fomalhaut pada pita 450 μm (kiri), dan 850 μm (kanan), dengan arah utara di atas dan timur di kiri, dengan resolusi digambarkan sebagai ukuran pancaran (*beam size*) 7",5 dan 14" untuk setiap pita. Gambar yang telah diproses, (c) dan (d) memperlihatkan adanya distribusi debu non-simetri sumbu, dengan teramatinya emisi dalam bentuk lengkungan menuju arah timur. Lengkungan tersebut diduga merupakan gumpalan debu terperangkap menyerupai cincin eliptis, akibat resonansi dengan suatu planet besar.

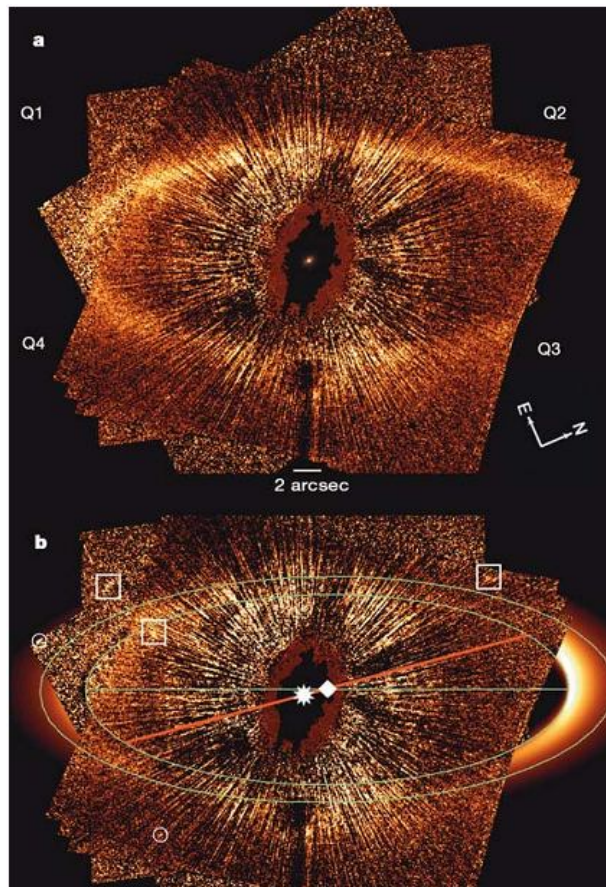


Gambar 2-1: Emisi debu di sekitar Fomalhaut, dengan utara di atas dan timur di kiri. R.A. dan deklinasi waktu pengamatan relatif terhadap J2000 untuk Fomalhaut. (sumber: Holland et al., 2003)

Dengan pengamatan yang lebih baik lagi, memanfaatkan *Advanced Camera for Surveys* (ACS) pada *Hubble Space Telescope*, maka debu-debu tersebut dapat diamati secara optis dengan resolusi 100 kali lebih tajam dari pengamatan sebelumnya. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa cincin debu pada Fomalhaut berpusat pada suatu lokasi yang berjarak 15 AU dari bintang. Cincin debu Fomalhaut menyerupai piringan debu yang terbentuk di Tata Surya sebagai sabuk Kuiper, tetapi mencapai sekitar empat kali lebih besar daripada Tata Surya kita, dengan batas dalam tepi pada 120-140 AU dan batas luarnya antara 140-158 AU. Dengan membandingkan terhadap model sabuk debu Kuiper Tata Surya, maka bagian dalam tepi sabuk tersebut berakitan dengan resonansi planet. Serta dengan tidak tepatnya posisi bintang pada pusat piringan memperkuat dugaan bahwa ada planet pada Fomalhaut (Kalas et al., 2005). Selain itu, dari pekerjaan Kalas et al., (2005), terdapat juga

beberapa sumber terang tambahan (*extended objects*) yang masih harus ditentukan apakah merupakan anggota dalam sistem Fomalhaut ataukah merupakan benda di luar Fomalhaut. (Gambar 2-2).

Pada Gambar 2-2, bagian (a) menggambarkan citra kronografis dari Fomalhaut untuk mendapatkan sabuk Kuiper Fomalhaut, sedangkan (b) adalah citra yang telah diproses, garis melingkar eliptis menandai daerah sabuk yang diperkirakan, yang merentang pada 133–158 AU. Tanda segi empat menandai pusat sabuk, sedangkan tanda bintang menandai posisi bintang. Garis melintang putih menandai setengah sumbu panjang sabuk, sedangkan garis merah menandai vektor antara sabuk dan pusat Bintang. Kotak putih menandai adanya benda-benda sumber terang tambahan, sedangkan lingkaran putih adalah bintang-bintang latar belakang.



Gambar 2-2: Citra koronagrafis Fomalhaut, dengan utara agak menyimpang 66° dari vertikal (Sumber: Kalas et al., 2005)

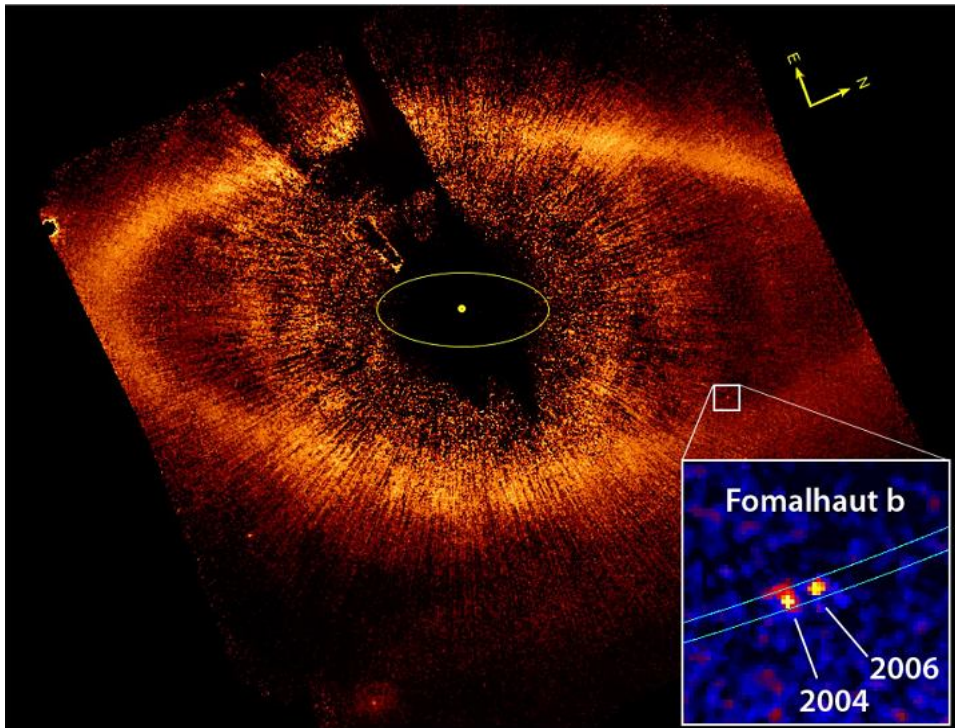
3 PENEMUAN PLANET DI FOMALHAUT

Planet di Fomalhaut baru ditemukan pada tahun 2008 (Kalas et al., 2008), maka pengamatan secara visual menunjukkan adanya planet yang mengorbit Fomalhaut. Planet raksasa tersebut diberi nama Fomalhaut b, dekat dengan tepi dalam pada piringan debunya, dengan massa tidak mencapai tiga kali massa Jupiter, berjarak sekitar 119 AU dan mengorbit bintang setiap 872 tahun. Hal ini telah didapatkan dari pengamatan koronagrafis menggunakan *Hubble Space Telescope*.

Untuk memastikan adanya anggota-anggota Fomalhaut, maka harus ditentukan gerak diri (*proper motion*) benda-benda yang ada di sekitar Fomalhaut. Jika benda teramati yang ada bukan anggota Fomalhaut, maka tidak akan bergerak bersama bintang. Jika merupakan benda latar belakang, maka akan tampak bergerak ke arah barat-daya relatif terhadap bintang, sedangkan arah gerak diri Fomalhaut adalah 0,425 detik busur per tahun pada arah

tenggara langit. Hal ini diperkuat dari pengamatan Observatorium Gemini dengan pengamatan pada $3,8 \mu\text{m}$.

Konfirmasi Fomalhaut b sebagai benda astrofisika dilakukan dari enam pengamatan *Hubble Space Telescope* yang saling independen pada dua pita pengamatan optis ($0,6$ dan $0,8 \mu\text{m}$). Fomalhaut b mengorbit dalam co-planar dalam sabuk debu dengan setengah sumbu panjang ≈ 115 AU. Untuk sebuah benda dengan setengah sumbu panjang sebesar 115 AU dengan massa bintang mencapai dua kali massa Matahari dalam gerak yang hampir lingkaran dalam gerak Keplerian, maka periode orbitnya mencapai 872 tahun dengan laju sirkular mencapai $3,9$ km/dtk. Fomalhaut b sedang berada pada belahan redup sabuk sehingga Fomalhaut b berada pada bidang angkasa (Bumi – Fomalhaut – Fomalhaut b), dengan sudut 126° , yaitu pada $\sim 51^\circ$ setelah melewati konjungsi dengan arah orbit berlawanan arah jarum jam (Gambar 3-1).



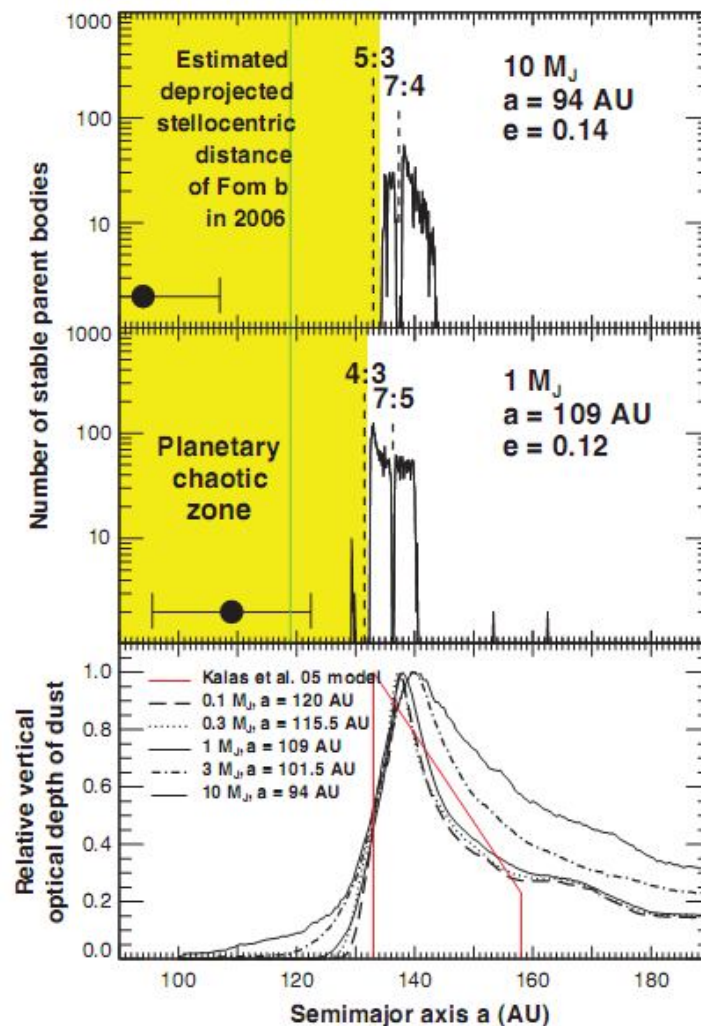
Gambar 3-1: Citra koronagrafis Fomalhaut pada $0,6 \mu\text{m}$, memperlihatkan Fomalhaut b dalam kotak putih berjarak 12,7 detik busur radius dari bintang dalam batas dalam sabuk debu. Dalam kotak tersebut adalah pengamatan Fomalhaut b pada tahun 2004 dan 2006, relatif terhadap Fomalhaut. (Sumber: Kalas et al., 2008)

Untuk menentukan massa planet Fomalhaut b, maka dilakukan pemodelan pengaruh gravitasi pada sabuk debu dan hasilnya disesuaikan dengan sebaran cahaya sabuk yang teramati oleh *Hubble Space Telescope*, dengan mengasumsikan bahwa Fomalhaut b adalah satu-satunya yang bertanggung jawab pada morfologi sabuk. Dua tren muncul sebagai hasil. Pertama jika massa terus menerus naik, maka planet akan mengganggu bulir debu menjadi bentuk orbit eksentris sehingga profil tebal optis menjadi terlalu lebar pada jarak yang lebih besar dari 140 AU, sedangkan jika debu tidak terganggu, maka massa yang lebih besar harus berada pada orbit yang lebih dalam, dan itu tidak sesuai dengan hasil pengamatan yang diperoleh (Gambar 3-2).

Pada Gambar 3-2, terlihat bahwa histogram dari rata-rata waktu setengah sumbu panjang dari benda utama yang membentuk

Fomalhaut b dengan parameter dipilih sehingga tepi dalam sabuk pada 133 AU dan eliptisitas 0,11. Benda utama akan meninggalkan zona kacau (wilayah kuning) dan akan terbentuk daerah senjang pada resonansi planet, sebagaimana pada senjang Kirkwood dalam Tata Surya kita. Noktah hitam dan tanda palang menunjukkan jarak pusat bintang terentang oleh model. Pada jarak aposentris 10 massa Jupiter tidak konsisten dengan pengamatan jarak pusat bintang (garis hijau). Model satu massa Jupiter konsisten. Pada bagian bawah, sumbu vertikal menggambarkan profil tebal optis dari pembentukan debu planet. Orbit planet disesuaikan sehingga setengah maksimumnya pada 133 AU, dengan model garis berwarna merah.

Dari kedua hasil tersebut, maka massa Fomalhaut b harus lebih kecil dari tiga kali massa Jupiter.



Gambar 3-2: Model dinamis pembentukan sabuk Kuper. Atas dan tengah: Histogram dari rata-rata waktu setengah sumbu panjang dari benda utama yang membentuk Fomalhaut untuk massa 10 massa Jupiter dan 1 massa Jupiter. Bawah: profil tebal optis debu (Sumber: Kalas et al., 2008)

Dari pengamatan fotometri dan membandingkannya dengan model atmosfer planet, maka dapat ditentukan tipe planet tersebut dan usianya. Dengan mengambil nilai dasar temperatur 400 K, gravitasi 46 m/dt^2 , kelimpahan lima kali kelimpahan Matahari, sebagai nilai awal model (Fortney et al., 2008), diperoleh bahwa massa planet sekitar 2,5 massa Jupiter dengan umur sekitar 200 juta tahun, dan model ini memperhitungkan flux pada $0,8 \mu\text{m}$. Pada model dengan temperatur lebih dingin (350 K), tidak diperoleh adanya flux $0,8 \mu\text{m}$, sedangkan pada model yang lebih panas (500 K) terdapat masalah pada flux $1,6 \mu\text{m}$, oleh karena itu 400 K merupakan batas atas dari temperatur objek.

Kendati demikian, masih banyak hal lain yang berkaitan dengan keberadaan planet Fomalhaut b masih belum diketahui, seperti pada pengamatan $0,6 \mu\text{m}$, terdapat variabilitas kecerlangan yang belum bisa dijelaskan dari model radiasi termal exoplanet. Diduga variabilitas tersebut berasal dari pantulan cahaya bintang yang dipantulkan oleh piringan selubung planet, dengan radius $\sim 20 - 40$ radius Jupiter, sebanding dengan jejari orbit satelit-satelit Galilean Jupiter.

4 KESIMPULAN

Untuk pertama kalinya secara visual ditemukan adanya planet di luar Tata Surya kita, seperti Fomalhaut b yang mengorbit bintang Fomalhaut setiap 872 tahun pada jarak

sekitar 119 AU (1,8 milyar km). Karena Fomalhaut adalah bintang yang masih muda, maka pengetahuan akan planet tersebut akan membantu kita memahami bagaimana terbentuknya sistem Tata Surya kita juga. Seiring dengan keterbatasan pengamatan yang ada, maka dengan pengamatan yang lain, seperti pengamatan pada domain merah-infra, serta pencarian bukti adanya awan uap air di atmosfer bisa membantu kita memahami evolusi Tata Surya.

DAFTAR RUJUKAN

Fortney, J. J.; Marley, M. S.; Saumon, D.; Lodders, K., 2008. *Synthetic Spectra and Colors of Young Giant Planet Atmospheres:*

Effects of Initial Conditions and Atmospheric Metallicity, Astrophys. J. 683, 1104.

Holland, W. S., Greaves, J. S., W. R. F. Dent, W. R. F., Wyatt, M. C., 2003. *Submillimeter Observations of an Asymmetric Dust Disk around Fomalhaut, Astrophys. J.* 582, 1141.

Kalas, P., Graham J. R., et al., 2008. *Optical Images of Exosolar Planet 25 Light Years from Earth, Science,* 322, 1345.

Kalas, P., Graham, P. J., Clampin, M., 2005. *A Planetary System as the Origin of Structure in Fomalhaut's Dust Belt, Nature* 435, 1067.

Stapelfeldt, K. R., et al., 2004. *First Look at the Fomalhaut Debris Disk With The Spitzer Space Telescope, Astrophys. J. Suppl. Ser.* 154, 458.