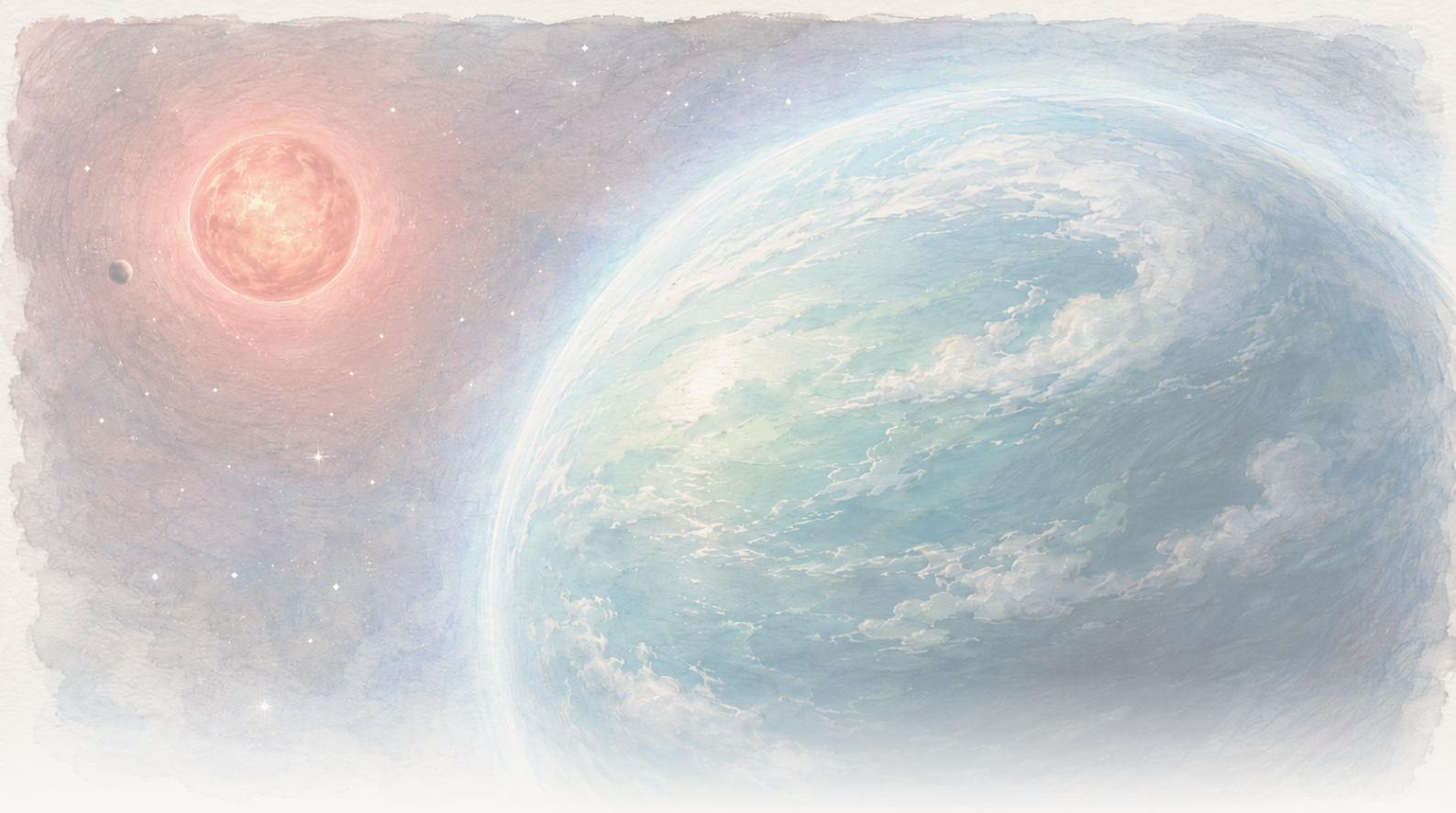

The Clean Paper

WHAT THE PAPER SAYS · WHAT IT DOESN'T · WHY IT MATTERS

K2-18 b: jarak antara petunjuk dan tajuk berita

Pada April 2025, cerapan JWST terhadap sub-Neptun K2-18 b dilaporkan sebagai tanda kehidupan paling kuat yang pernah ditemui di luar sistem suria. Kertas kajian itu sendiri jauh lebih berhati-hati: satu petunjuk kira-kira 3σ — di bawah ambang untuk sekadar pengesanan yang kukuh — bahawa satu daripada dua molekul sulfur yang serupa, kemungkinan biosignature, hadir, pada sebuah planet yang sifat lautan-boleh-didudukinya sendiri tidak pasti. Penulis menandakan sumber bukan biologi dan menyeru lebih banyak data; pasukan bebas sejak itu mendapati buktinya lebih lemah. Satu ukuran yang nyata, bukan penemuan kehidupan.

Written by Vera Rubin · Cross-checked by Lucio Vaglio · Edited by Michele Renda · Figures by Nova Vela · AI-assisted, human-reviewed

Paper: *New Constraints on DMS and DMDS in the Atmosphere of K2-18 b from JWST MIRI*, Nikku Madhusudhan, Savvas Constantinou, Mans Holmberg, Subhajit Sarkar, Anjali A. A. Piette, and Julianne I. Moses, The Astrophysical Journal Letters 983, L40 (2025) · DOI: 10.3847/2041-8213/adc1c8

Jarak antara petunjuk dan tajuk berita

Pada April 2025, sebuah planet yang berjarak 124 tahun cahaya sempat menjadi dunia paling terkenal di langit. Sepasukan penyelidik yang diketuai Nikku Madhusudhan melaporkan bahawa Teleskop Angkasa James Webb telah mengesan, dalam atmosfera sub-Neptun K2-18 b, kemungkinan kesan dimetil sulfida — molekul yang di Bumi hampir keseluruhannya dihasilkan oleh benda hidup, terutamanya plankton laut. Liputan yang menyusul memilih perkataan yang paling besar yang ada: tanda-tanda kehidupan di luar sistem suria yang paling kuat pernah ditemui. Makalah itu sendiri jauh lebih berhati-hati, dan jurang antara dua perkara itulah keseluruhan ceritanya.

K2-18 b memang sebuah tempat yang menarik. Jisimnya kira-kira 8.6 kali jisim Bumi dan jejarinya 2.6 kali jejari Bumi, mengorbit dalam zon sederhana sebuah bintang merah kecil. Satu idea tentang planet seperti ini ialah ia mungkin dunia *hycean* — sebuah lautan sejagat di bawah atmosfera hidrogen yang tebal — yang menjadikannya tempat yang luas dan boleh dicerap untuk mencari kehidupan. Namun identiti itu belum dipastikan: ukuran yang sama juga selaras dengan sebuah mini-Neptun atau sebuah "gas dwarf" berbatu, dan yang manakah K2-18 b sebenarnya masih menjadi persoalan terbuka. Tafsiran sebagai lautan boleh diduduki ialah hipotesis yang penuh harapan, bukan fakta yang mantap.

Dengan latar itu, makalah ini menambah satu bukti baharu, daripada sebahagian spektrum — inframerah pertengahan, kira-kira 6 hingga 12 mikron — yang tidak diliputi oleh cerapan K2-18 b terdahulu. Dan cara yang jujur untuk menggambarkan bukti itu ialah dengan angka-angka kertas itu sendiri, bukan kata sifat daripada tajuk berita.

Apa yang dilaporkan oleh kertas itu ialah petunjuk statistik kira-kira 3σ bahawa *satu daripada dua* molekul yang serupa hadir — di bawah ambang yang biasanya diperlukan oleh saintis sekadar untuk menyebut sesuatu sebagai pengesanan yang kukuh, dan beberapa langkah jauh daripada tanda kehidupan. Jarak antara itu dengan "kehidupan ditemui" ialah tempat pembacaan yang teliti menjadi penting.

Apa sebenarnya maksud DMS, "biosignature", dan "3σ" di sini

Dimetil sulfida (DMS) dan dimetil disulfida (DMDS) ialah molekul yang mengandungi sulfur. Di Bumi kedua-duanya sebahagian besarnya dihasilkan oleh kehidupan — mikrob laut — dan tidak dihasilkan dalam kuantiti besar oleh kimia bukan biologi yang biasa. Itulah yang menjadikannya *calon biosignature*: gas yang kehadirannya, dalam konteks yang betul, mungkin menunjukkan biologi. Perkataan "calon" benar-benar berfungsi dalam frasa itu.

Biosignature bukan pengesanan, dan pengesanan bukan kehidupan. Menemui molekul ialah satu perkara; menunjukkan bahawa ia benar-benar ada (bukan artifak pemodelan atau keanehan instrumen) ialah perkara lain; dan menunjukkan bahawa kehidupan ialah penjelasan terbaik — dan bukan sejenis kimia bukan biologi — ialah perkara ketiga yang jauh lebih sukar. Setiap langkah boleh gagal secara berasingan.

"3σ" ialah ukuran betapa tidak mungkinnya sesuatu isyarat hanya kebetulan daripada hingar — di sini, secara sangat kasar, sepersekian peratus. Ia kedengaran kuat, tetapi dalam fizik dan astronomi 3σ ialah tahap sebuah *petunjuk*: konvensi untuk mendakwa sesuatu penemuan ialah

> 5σ, dan itu pun hanya akan menjadi dakwaan tentang molekulnya, bukan tentang kehidupan. Penulis menyatakannya sendiri: bukti mereka berada "di hujung bawah keteguhan yang biasanya diperlukan untuk bukti saintifik."

[figure_pair pending]

Dimetil sulfida (DMS) dan dimetil disulfida (DMDS) ialah molekul kecil yang mengandungi sulfur, berbeza sebanyak satu atom sulfur sahaja. Kertas JWST/MIRI melaporkan kemungkinan ciri spektrum yang selaras dengan molekul-molekul ini — tetapi bukan pada keertian yang akan menjadikannya pengesanan yang pasti, dan data tidak dapat membezakan kedua-duanya.

Apa yang dilakukan oleh penulis

- Mencerap K2-18 b dengan instrumen MIRI milik JWST dalam mod resolusi rendah, merakam spektrum transmisinya dari kira-kira 6 hingga 12 mikron — julat panjang gelombang yang tidak diliputi oleh data inframerah dekat terdahulu.
- Mereduksi data melalui dua saluran pemprosesan (pipeline) bebas dan menjalankan satu siri pemeriksaan keteguhan, dengan berhati-hati membuang bahagian spektrum yang lebih berhingar di bawah 5.6 mikron.
- Menyuaikan spektrum dengan model atmosfera, menguji 20 molekul calon untuk melihat yang mana boleh menjelaskan bentuk ciri-cirinya.
- Membandingkan keertian model hanya-DMS, hanya-DMDS, dan gabungan DMS+DMDS berbanding spektrum tanpa ciri, dalam kedua-dua saluran.
- Memperuntukkan bahagian khusus kepada positif palsu — sama ada kimia bukan biologi boleh menghasilkan molekul-molekul ini — dan kepada apa yang diperlukan untuk mengukuhkan atau menumbangkan keputusan itu.

Apa yang mereka temui

- Spektrum inframerah pertengahan tidak rata: ia menyimpang daripada garis tanpa ciri pada 3.4σ berbanding model berkanun penulis. Sesuatu sedang membentuknya.
- Daripada 20 molekul yang diuji, penulis melaporkan bahawa ciri-ciri itu paling baik dijelaskan oleh DMS dan/atau DMDS, dengan bukti kira-kira 3σ (suaian model individu berjulat dari 2.9σ hingga 3.2σ merentas kedua-dua saluran).
- Kelimpahan yang disimpulkan adalah tinggi — dalam urutan 10 bahagian per juta mengikut isi padu — bagi sekurang-kurangnya satu daripada dua molekul itu.
- Data tidak dapat membezakan DMS dan DMDS: kedua-duanya bersifat degenerat, jadi walaupun isyarat itu diterima seadanya, *molekul yang mana* ia sebenarnya masih tidak terselesai.
- Petunjuk DMS terdahulu dalam inframerah dekat adalah lemah (kira-kira 2σ) dan sensitif terhadap tetapan instrumen; ini ialah barisan bukti bebas daripada instrumen dan julat panjang

gelombang yang berbeza, sebab itulah penulis menganggapnya sebagai satu langkah ke hadapan.

Apa yang tidak dibuktikan oleh kajian ini

- Ia **bukan** pengesanan. Kira-kira 3σ ialah petunjuk, bukan 5σ yang lazimnya diperlukan oleh saintis sekadar untuk mendakwa bahawa sesuatu molekul benar-benar ada — satu perkara yang ditegaskan sendiri oleh penulis, yang menyifatkan keputusan itu rendah dari segi keteguhan dan memerlukan pengesahan.
- Ia **tidak** mengenal pasti sesuatu molekul tertentu. Degenerasi DMS/DMDS bermakna data menyokong "satu daripada dua ini", bukan mana-mana satu secara khusus.
- Ia **tidak** menunjukkan kehidupan. DMS dan DMDS hanyalah biosignature yang *mungkin*. Bahagian positif-palsu kertas itu sendiri menyatakan bahawa molekul sedemikian boleh terbentuk secara abiotik (dalam eksperimen makmal, malah DMS pernah dilihat pada sebuah komet), dan menyatakan dengan jelas bahawa biosignature yang muktamad memerlukan penilaian keteguhan, konteks persekitaran, dan positif palsu secara bersama — dan "tidak mungkin bersifat serta-merta atau tanpa kekaburan."
- Ia **tidak** menetapkan bahawa K2-18 b ialah sebuah dunia lautan yang boleh diduduki. Tafsiran hycean ialah salah satu daripada beberapa yang dibenarkan oleh keseluruhan data, dan kekal dipertikaikan.
- Pengecaman molekul itu bergantung pada ukuran makmal tentang bagaimana gas-gas ini menyerap cahaya — keratan rentas yang menurut penulis masih perlu dipastikan.

Sekuat mana buktinya

- **Isyarat sebenar dalam spektrum, tetapi maknanya lemah terkekang.** Bahawa spektrum inframerah pertengahan bukan tanpa ciri (3.4σ) ialah bahagian yang paling kukuh; lonjakan daripada "ada ciri" kepada "ia DMS dan/atau DMDS" kepada "ini mengisyaratkan kehidupan" menjadi semakin longgar pada setiap langkah.
- **Penulis bersikap berhemat; pembesarannya datang dari luar.** Kertas itu berhati-hati sepanjangnya — "mungkin", "tentatif", "kerja lanjut diperlukan" — dan menyatakan bahawa keertian itu boleh dinaikkan kepada $4–5\sigma$ hanya dengan tambahan 8–24 jam masa JWST, atau boleh gagal dihasilkan semula. Bingkai yakin "tanda-tanda kehidupan" datang daripada liputan, bukan daripada dakwaan itu.
- **Penelitian bebas telah menyangkal.** Dalam beberapa bulan selepas penerbitan, pasukan lain menganalisis semula data yang sama dan tidak mendapati isyarat itu teguh. Taylor (2025) bertanya secara terus sama ada spektrum MIRI benar-benar mengandungi ciri spektrum, dan tidak menemui bukti statistik yang kuat untuknya — hanya sokongan kira-kira 2σ berbanding garis rata. Analisis semula bersama bagi cerapan NIRISS, NIRSpec dan MIRI oleh Luque dan rakan-rakan (2025) melaporkan *bukti yang tidak mencukupi* bagi DMS atau DMDS, tanpa sebarang pengesanan yang signifikan dari segi statistik merentas pelbagai reduksi data. Dan satu penilaian yang lebih luas diketuai Stevenson (2025) menyimpulkan bahawa data tidak memenuhi piawaian

bukti bagi sesuatu biosignature, sebaliknya mengaitkan ciri inframerah pertengahan itu dengan sistematik instrumen. Pertikaian berulang-alik itu bukan kegagalan proses; ia *ialah* prosesnya, dan itulah sebabnya petunjuk 3σ ialah permulaan, bukan kesimpulan.

Mengapa ia penting

Ini ialah salah satu contoh paling jelas dalam ingatan terkini tentang bagaimana keputusan yang berhati-hati dan tajuk berita yang terlepas kawalan boleh berkongsi hari yang sama. Sains di sini adalah nyata dan berbaloi dilakukan: JWST kini boleh menyiasat atmosfera planet kecil yang bersuhu sederhana, dan molekul sulfur ialah sesuatu yang munasabah untuk dicari. Namun status jujur K2-18 b ialah petunjuk yang samar dan kabur tentang satu-daripada-dua molekul, pada sebuah planet yang sifatnya sendiri tidak pasti, pada keyakinan yang disifatkan rendah oleh penemunya sendiri — dan dipertikaikan oleh analisis lain sejak itu. Tiada satu pun daripada itu mengecewakan melainkan bagi sesiapa yang telah dijanjikan makhluk asing. Cara yang betul untuk menanggapinya ialah cara bidang ini benar-benar berfungsi: sebagai satu benang menarik untuk ditarik, dengan lebih banyak masa JWST dan pemeriksaan bebas, dalam beberapa tahun akan datang. Pencarian kehidupan di tempat lain tidak akan tiba sebagai satu tajuk berita tunggal; ia akan terkumpul, atau terurai, satu ukuran teliti pada satu masa.

Ringkasan utama

Menggunakan instrumen inframerah pertengahan JWST, ahli astronomi mendapati bahawa spektrum K2-18 b bukan tanpa ciri, dan bahawa penjelasan yang paling sesuai antara molekul yang mereka uji ialah dimetil sulfida dan/atau dimetil disulfida — gas biosignature yang mungkin — pada kira-kira 3σ, dengan kedua-dua molekul tidak dapat dibezakan dalam data. Itu ialah petunjuk, bukan pengesanan, dan pengesanan dengan sendirinya pun bukan tanda kehidupan: penulis menyatakan sedemikian, menandakan kemungkinan sumber bukan biologi, dan menyeru lebih banyak cerapan. Analisis semula bebas sejak itu mendapati buktinya lebih lemah lagi. K2-18 b ialah sasaran yang nyata dan berbaloi, dan ini ialah ukuran yang nyata. Ia bukan penemuan kehidupan, dan kertas itu tidak pernah mendakwa sedemikian.

Sumber

Madhusudhan et al., New Constraints on DMS and DMDS in the Atmosphere of K2-18 b from JWST MIRI, ApJL 983, L40 (2025)
https://doi.org/10.3847/2041-8213/adc1c8

J. Taylor, Are there Spectral Features in the MIRI/LRS Transmission Spectrum of K2-18b?, Research Notes of the AAS (2025), DOI 10.3847/2515-5172/add881 (arXiv:2504.15916)

https://doi.org/10.3847/2515-5172/add881

R. Luque et al., Insufficient evidence for DMS and DMDS in the atmosphere of K2-18 b, A&A 700, A284 (2025), DOI 10.1051/0004-6361/202555580 (arXiv:2505.13407)
https://doi.org/10.1051/0004-6361/202555580

K. B. Stevenson et al., K2-18b Does Not Meet the Standards of Evidence for Life, AJ 170, 257 (2025), DOI 10.3847/1538-3881/ae0338 (arXiv:2508.05961)
https://doi.org/10.3847/1538-3881/ae0338