Astrobiologi:
Asal usul dan evolusi kehidupan

Vassilissa Vinogradoff, Beatriz García, Rosa M. Ros

International Astronomical Union
CNRS, Aix-Marseille Université, PIIM laboratory, Marseille, France.
CONICET/Universidad Tecnológica Nacional, Mendoza, Argentina
Universidad Politécnica de Cataluña, Spain

Definisi Astrobiologi

Astrobiologi bukanlah disiplin tunggal, tetapi kegiatan interdisipliner seputar pertanyaan tentang asal-usul dan evolusi kehidupan di Bumi dan kemungkinan keberadaannya dalam Alam Semesta; Ini mencakup semua bidang yang tertarik dalam masalah ini, dari Astronomi hingga Biologi, termasuk Geologi dan Kimia, juga Sejarah dan Filsafat Sains.

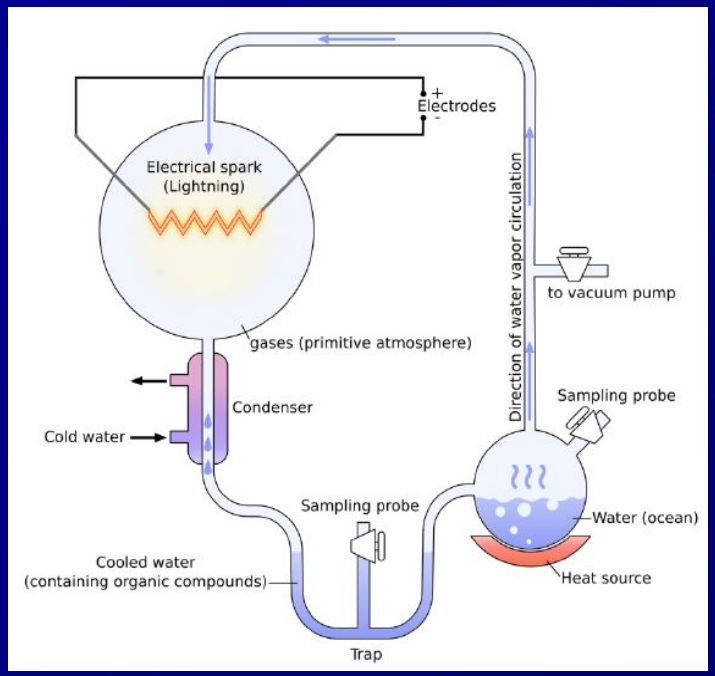
Etimologi: Eksobiologi dan Astrobiologi

Dengan perlombaan ruang angkasa dan misi eksplorasi bulan dan Mars pertama, terdapat resiko kontaminasi biologis.

Pertama, para ilmuwan berasumsi bahwa mikroba tidak mungkin bertahan dalam kondisi ruang hampa.
Saat ini kita tahu bahwa ini bukanlah masalah, misalnya, Tardigrada mampu menahan kondisi ekstrem, termasuk yang ada di luar angkasa, dan ini bukan kasus yang terisolasi.

Beruang air (Tardigrade),
Hypsibius Exemplaris
(Kredit: B. Goldstein & V. Madden)

Etimologi: Eksobiologi dan Astrobiologi



Skema percobaan Miller-Urey. (Kredit: S. La Barre)

Dalam percobaan perintis, Miller-Urey memulai studi kimia untuk mensintesis molekul prebiotik pertama di laboratorium.

Sebuah disiplin kunci baru untuk pencarian asal usul kehidupan melalui eksplorasi ruang angkasa muncul: **Exobiology**, istilah yang diperkenalkan oleh Joshua Lederberg pada tahun 1960.

Istilah "**Astrobiologi**" diadopsi pada tahun 2015 oleh IAU.

Tujuan Astrobiologi

- Menentukan apa itu Hidup.
  Menentukan asal usul kehidupan.
  Mencari jejak kaki tertua.
  Memahami mekanisme evolusinya di Bumi.
  Mencari kehidupan di alam semesta.

Definisi Kehidupan

Pertanyaan ini membutuhkan argumen ilmiah, namun itu juga merupakan pertanyaan filosofis.

Kehidupan adalah karakteristik organisme hidup yang membedakan dari organisme mati atau makhluk tidak hidup, yang secara spesifik dibedakan oleh kapasitas untuk

- **tumbuh.**
  melakukan metabolisme.
  tanggap terhadap rangsangan.
  beradaptasi.
  mereproduksi.

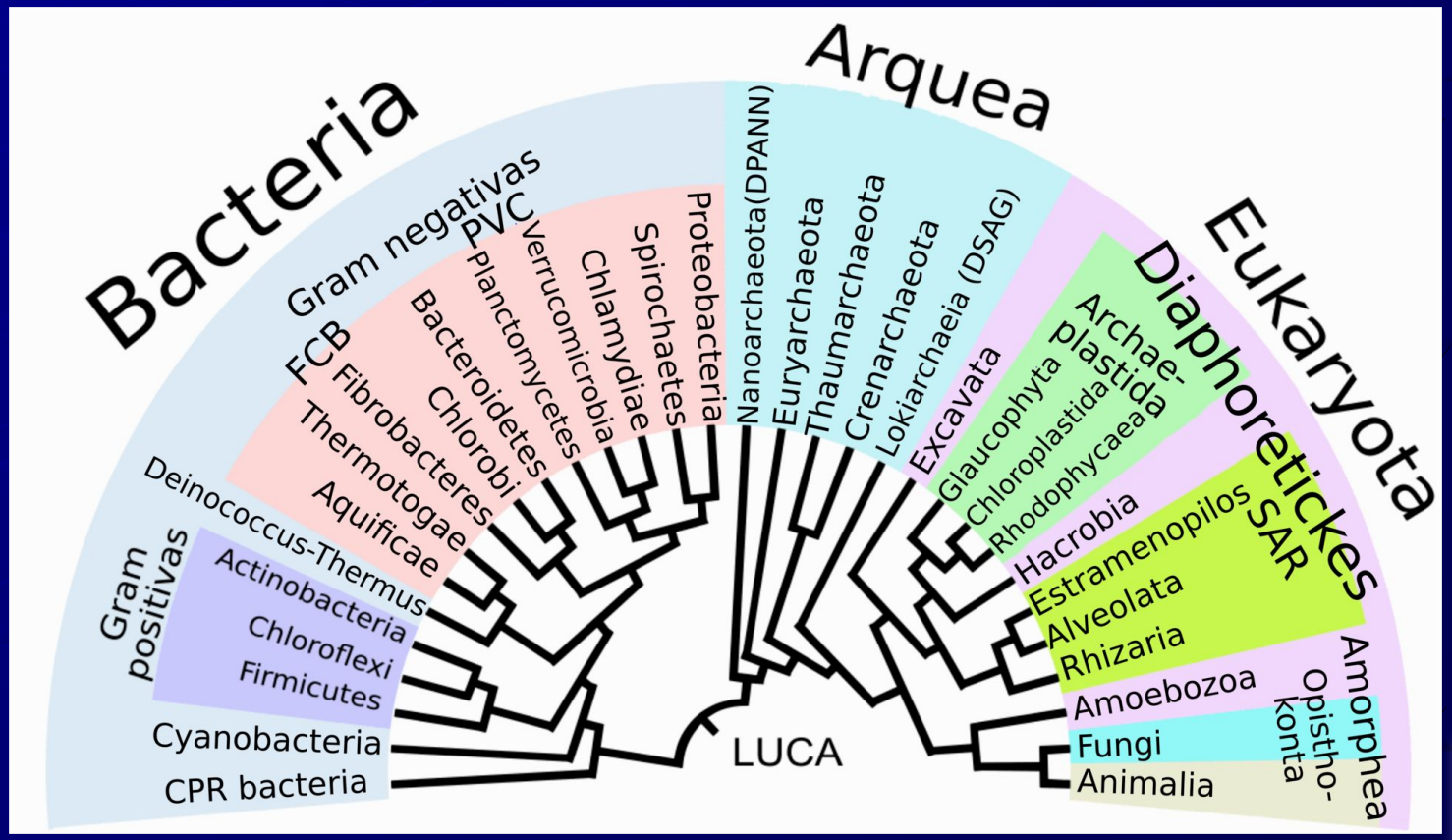
Keanekaragaman Makhluk Hidup di Bumi

Satu-satunya contoh kehidupan yang diketahui adalah kehidupan terestrial.

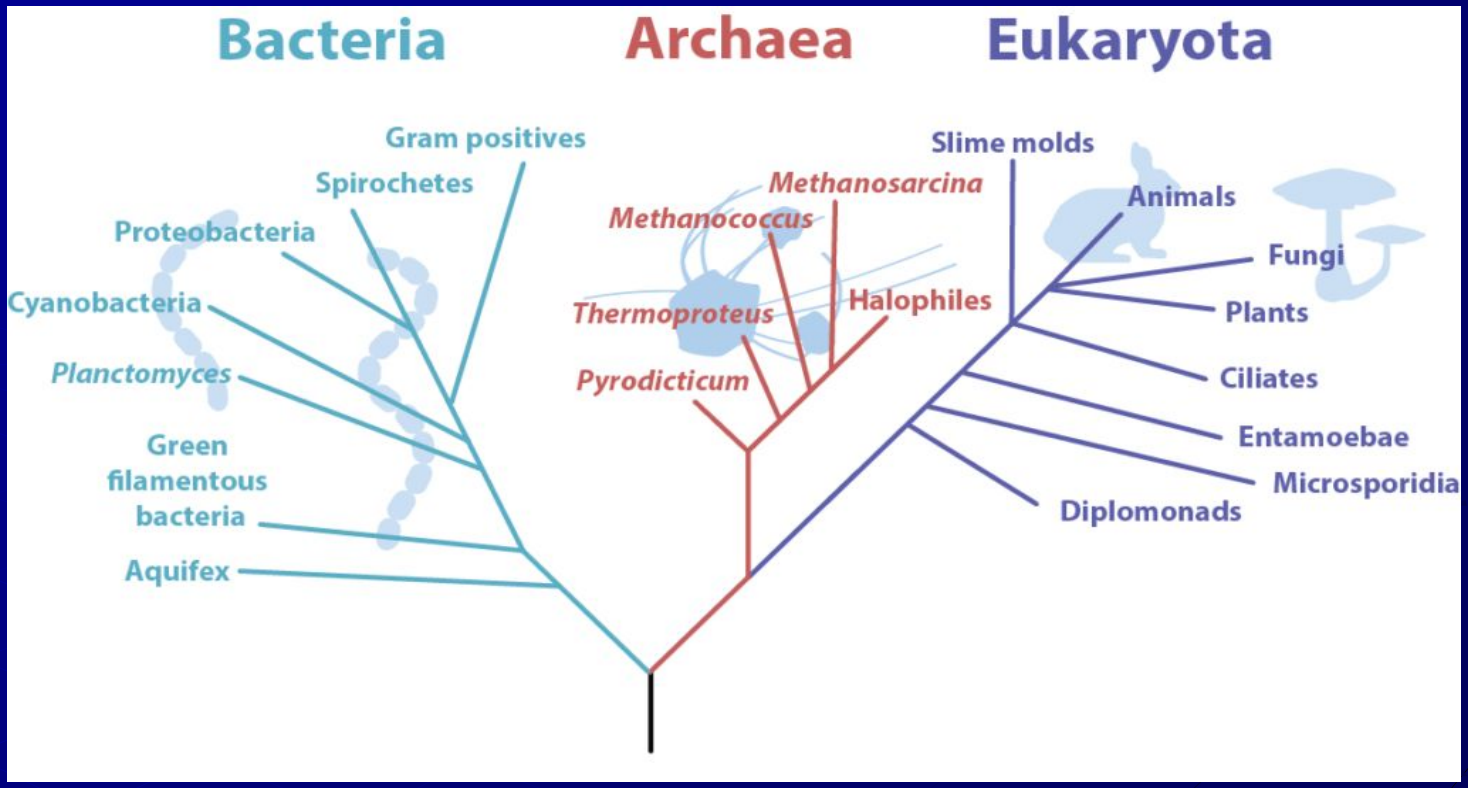
Astrobiologi memusatkan banyak upayanya untuk mempelajari kehidupan terestrial di semua lingkungan, terutama di lingkungan yang paling ekstrem, seperti mata air hidrotermal bawah laut, danau air asin atau tempat-tempat beku.

Jenis lingkungan ini bisa menjadi analogi yang baik untuk lokasi luar angkasa.

Untuk lebih memahami batas-batas organisme hidup dan mekanisme yang bekerja di lingkungan yang ekstrem, para ilmuwan berusaha untuk menentukan keragaman filogenetik dan metabolisme organisme hidup.



(Kredit: Wikipedia)



(Kredit: open.oregonstate.education)

Salah satu cabang pohon kehidupan yang menjadi perhatian khusus adalah Archaebacteria (atau Archaea), berbeda dari bakteri Prokariotik karena urutan RNA Ribosom mereka dan terutama disesuaikan dengan lingkungan yang ekstrim (yakni tekanan, suhu, salinitas, nutrisi, dll).

Mencari jejak kehidupan tertua di Bumi: Kesulitan

1) Bumi adalah planet "hidup" (tektonik, erosi) dan karena itu telah berkembang pesat sejak pembentukannya 4,5 miliar tahun yang lalu. Berdasarkan silsilah spesies, organisme hidup pertama pastilah makhluk bersel tunggal yang mirip dengan bakteri.
2) Organisme primitif haruslah mikroskopis. Jejak kehidupan tertua yang terbukti di Bumi berasal dari 3,48 miliar tahun yang lalu dan ditemukan di Australia.
3) Kesulitan dalam interpretasi dan perbandingan dengan sistem abiotik, yang bisa membentuk sidik jari yang mirip dengan tanda tangan biologis atau morfologi.

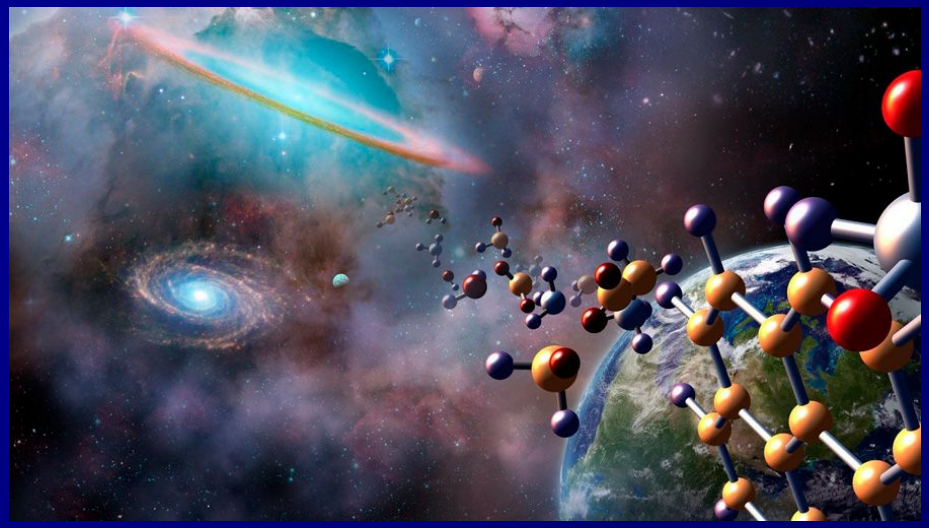
Kimia prebiotik dan transisi dari tidak hidup ke hidup

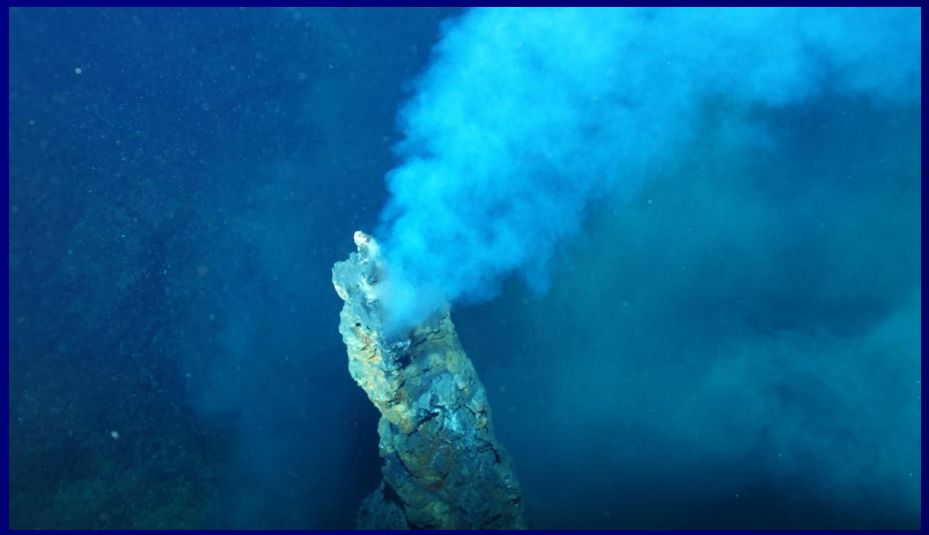
Saat ini, di semua spesies hidup di Bumi, di antara semua keanekaragaman yang ada, ada blok senyawa dasar yang terbuat dari C, H, N dan O

Blok-blok senyawa ini adalah protein, dasar replikasi, DNA (Asam Deoksiribonukleat), yang membawa informasi genetik, dan amfifil, yang merupakan dinding sel untuk kompartementalisasi.

Oleh karena itu, bangun unsur yang dimiliki setiap spesies hidup di Bumi adalah lima jenis molekul (kadang-kadang disebut batu bata kehidupan): Asam Amino, Basa Nitrogen, Gula, Fosfor, Lipid (atau asam lemak).

Kimia prebiotik dan transisi dari tidak hidup ke hidup



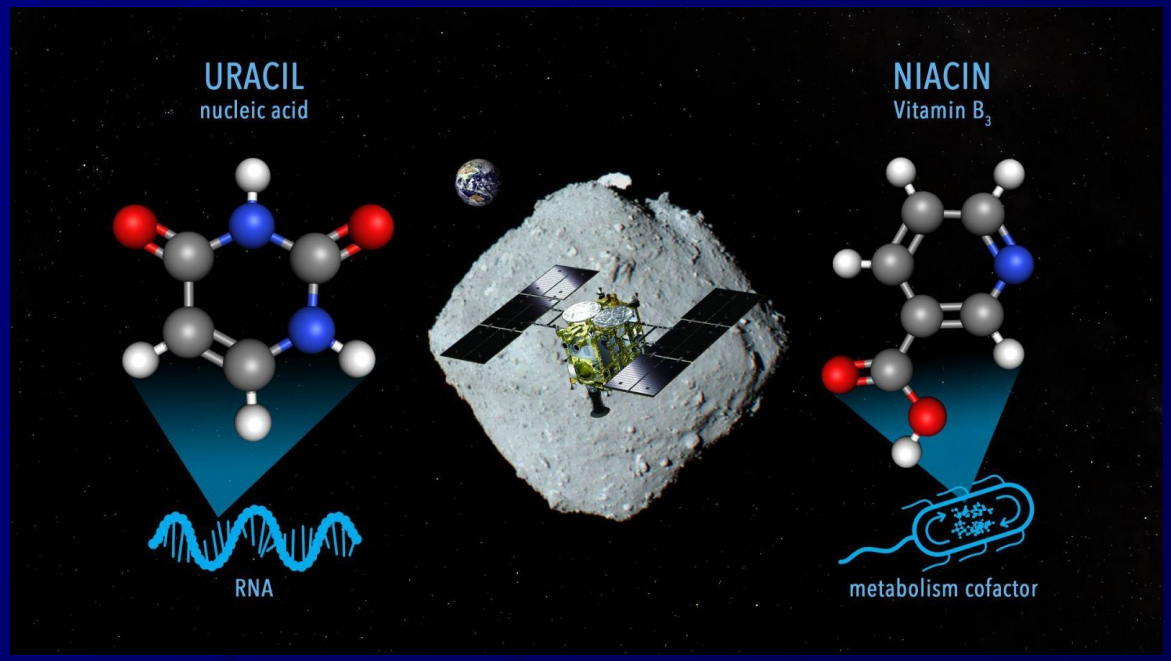


Unsur-unsur ini sangat penting untuk kehidupan terestrial dan studi tentang asal-usulnya memungkinkan kita untuk memberikan lebih banyak batasan pada asal usul kehidupan itu sendiri.

Secara abiotik, molekul-molekul ini bisa terbentuk di atmosfer bumi, tetapi juga di ventilasi hidrotermal.

Kimia prebiotik dan transisi dari tidak hidup ke hidup

Hipotesis lain mengusulkan bahwa molekul-molekul ini bisa saja dibawa oleh benda-benda langit (Meteorit), yang berasal dari Asteroid dan Komet: Meteorit telah terbukti memiliki kekayaan organik yang besar.



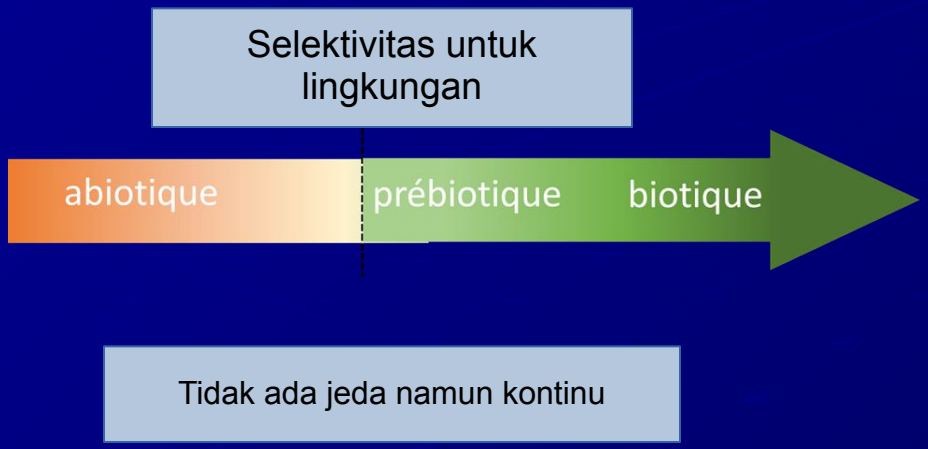
Representasi asteroid Ryugu
(Kredit: NASA Goddard / JAXA / Dan Gallagher

Kimia prebiotik dan transisi dari tidak hidup ke hidup

Ketika jatuh ke Bumi, meteorit bisa mengangkut sebagian elemen air dan siderofil yang ditemukan di permukaannya setelah diferensiasi 4,5 miliar tahun yang lalu.

Belum ada bentuk kehidupan yang ditemukan dalam benda-benda ini, tetapi mereka mengandung ribuan molekul yang beragam dan beragam seperti yang diperlukan dalam sintesis abiotik.

Kimia prebiotik dan transisi dari tidak hidup ke hidup

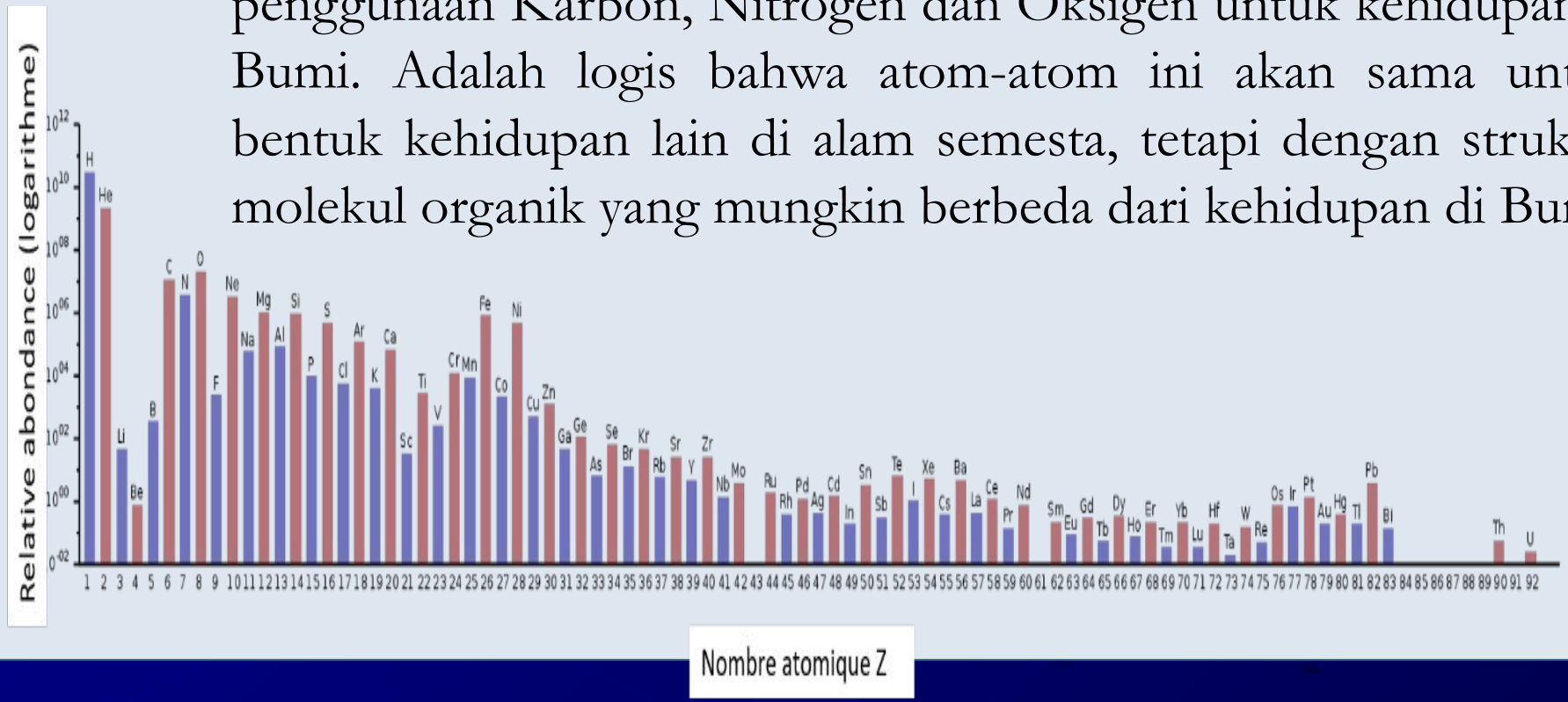


Tidak akan ada pemisahan yang ketat antara sistem abiotik dan biotik, melainkan suatu kontinuitas melewati kimia prebiotik tersebut.

Bagaimana dan di mana kehidupan muncul di Bumi tetap menjadi pertanyaan eksobiologis yang paling kompleks dan jalur kimia yang mungkin begitu banyak sehingga tidak jelas bahwa jawabannya suatu hari akan ditemukan.

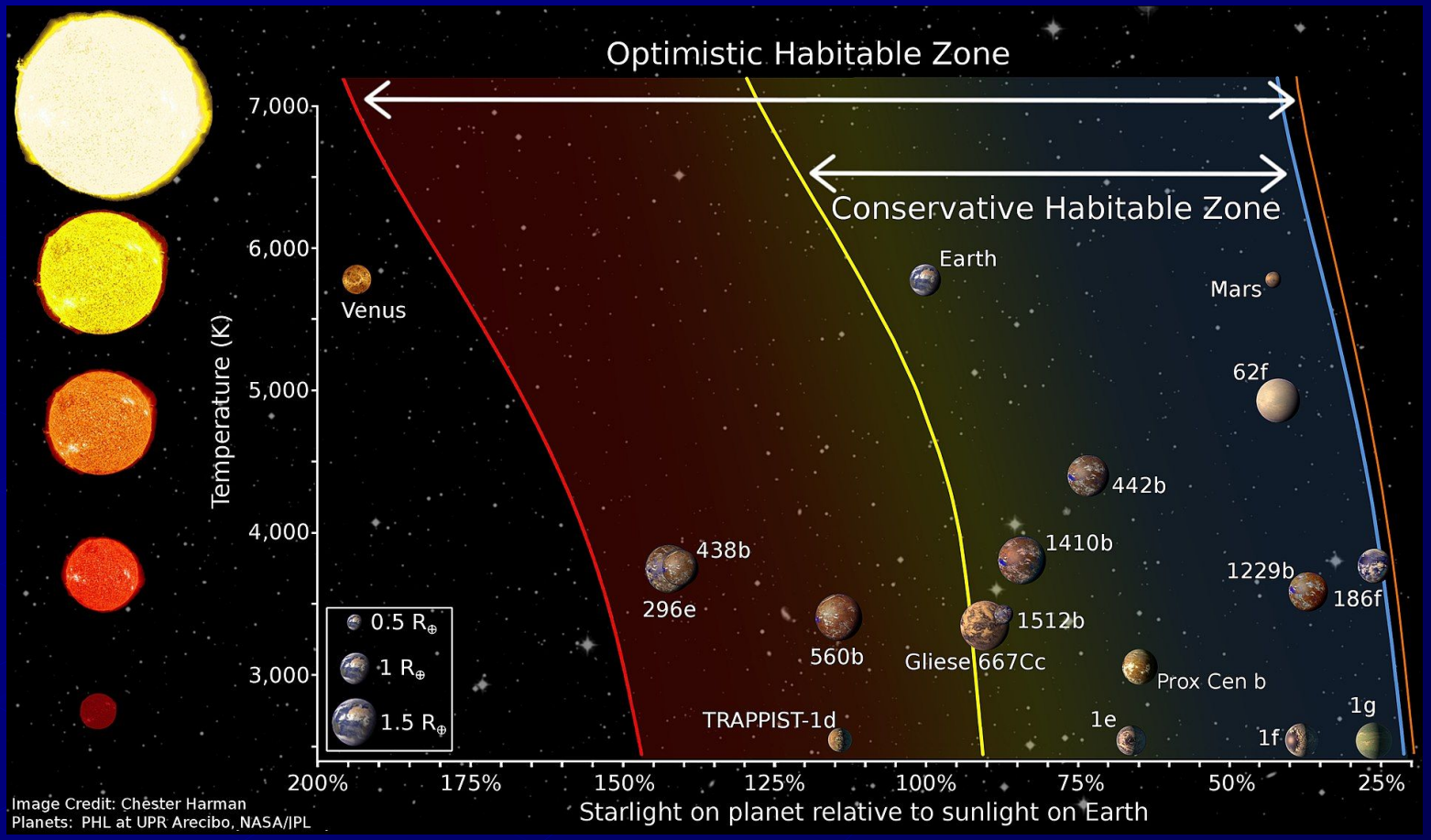
Mencari kehidupan di mana saja

Susunan kimia atom di alam semesta telah mengarahkan penggunaan Karbon, Nitrogen dan Oksigen untuk kehidupan di Bumi. Adalah logis bahwa atom-atom ini akan sama untuk bentuk kehidupan lain di alam semesta, tetapi dengan struktur molekul organik yang mungkin berbeda dari kehidupan di Bumi.



Untuk mencari kehidupan di tempat lain kita harus tahu apa yang harus dicari dan salah satu dasar Astrobiologi, tetapi sekaligus kelemahannya, adalah pencarian kehidupan yang secara biologis mirip dengan kita.

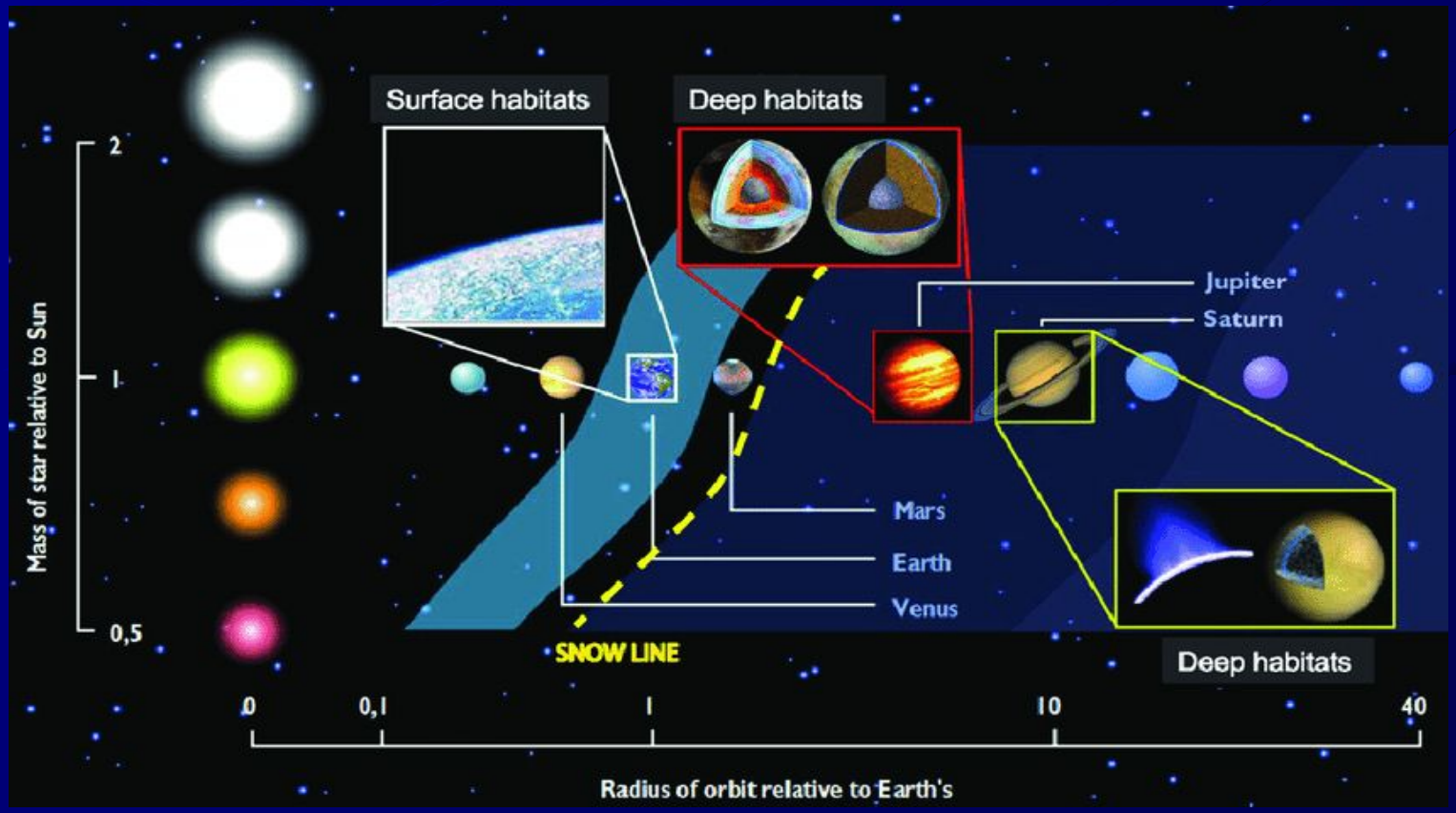
Mancari kehidupan di mana saja



Gagasan tentang kelayakhunian adalah topik yang diperdebatkan , definisinya terkait dengan kondisi yang memungkinkan munculnya dan evolusi satu-satunya kehidupan (terestrial) yang kita ketahui.

Mencari kehidupan di mana saja

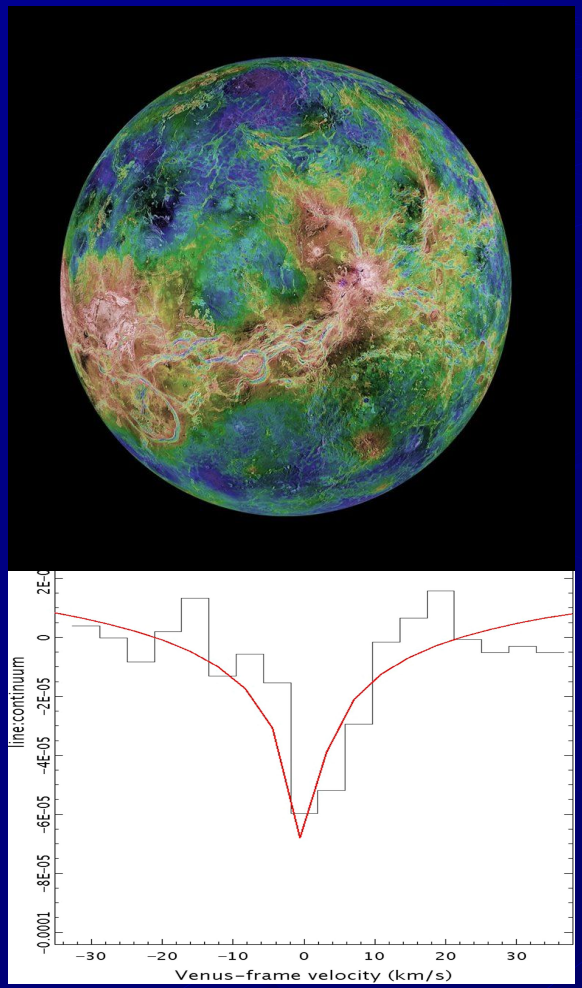
Perluasan zona layak huni ke lingkungan bawah tanah adalah contoh penelitian tentang kemungkinan kehidupan di lingkungan Tata Surya ini.



Benda-benda di Tata Surya dan minat Astrobiologis

Studi Astrobiologi tertarik pada kemungkinan munculnya kehidupan di lingkungan luar Bumi, di planet-planet yang telah didefinisikan sebagai layak huni

Planet di Tata Surya dan minat Astrobiologis: VENUS



"Planet saudara" kita memiliki komposisi kimia organik yang relatif kompleks, dengan molekul Sulfur dan Fosfor dalam atmosfer yang sangat padat yang terdiri dari lebih dari 96% CO_2.
Itu tidak ditemukan di zona layak huni tata surya dan tidak memiliki komponen penting yakni air di permukaannya.

Air terdeuterasi (HDO) (Kredit: Greaves, JS, Richards, AMS, Bains, W. et al.)

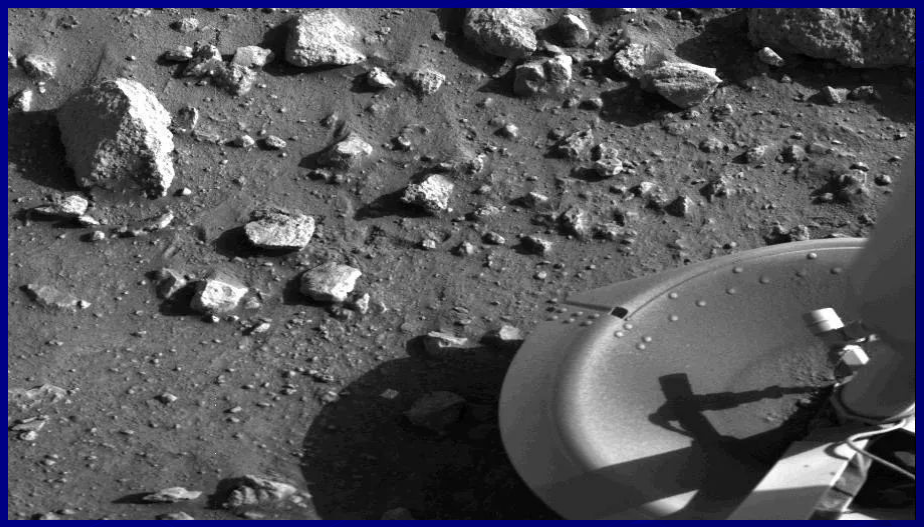
Planet di Tata Surya dan minat astrobiologisnya: VENUS

Venus mendapat manfaat dari input eksogen seperti halnya Bumi setelah pembentukannya. Venus mungkin memiliki zat cair di permukaannya dan atmosfer yang kaya air 4,5 miliar tahun yang lalu untuk beberapa saat.

Saat ini permukaannya hanya vulkanisme aktif dengan suhu sekitar 460 °C.

Jika kehidupan berkembang pada waktu yang paling menguntungkan, diusulkan bahwa ia bertahan dalam bentuk mikroorganisme di awan atmosfernya, dengan suhu ~ 75 °C

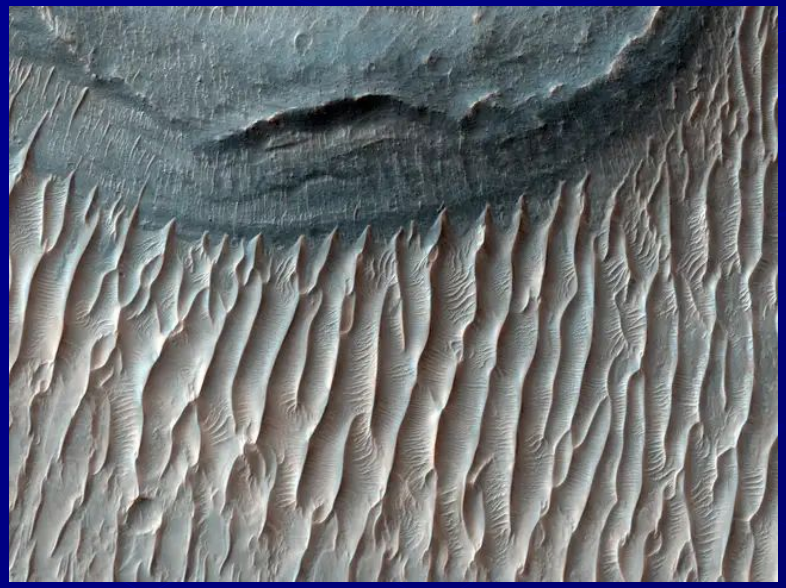
Planet di Tata Surya dan minat astrobiologisnya: MARS



Planet ini sering dipikirkan sebagai tempat terbaik di Tata Surya untuk memiliki, atau masih memiliki, kondisi untuk kehidupan.

Keberadaan kehidupan Mikroba sudah dipertimbangkan pada tahun 70-an selama persiapan misi Viking: Para pendarat dilengkapi dengan instrumen yang mampu melakukan eksperimen yang bertujuan menyoroti kehidupan Mars, mendeteksi aktivitas biologis fotosintesis memberikan nutrisi kepada bakteri Mars, dengan tanggapan

Planet di Tata Surya dan minat astrobiologisnya: MARS



Sumber: Curiosity, NASA/JPL)

Viking mengkonfirmasi keberadaan zat cair di masa lalu Mars, mengamati saluran, sungai kering dan lembah Dendritik. Air bisa tetap berada di permukaannya setidaknya selama satu miliar tahun dan masih ada dalam mineral yang saat ini menutupi permukaan.

Terdapat es di tudung kutub dan diduga bahwa air hadir dalam jumlah yang lebih besar di kerak Mars

Planet di Tata Surya dan minat astrobiologisnya: MARS

Kehidupan bisa berkembang di Mars pada saat yang sama seperti di Bumi dan mungkin bertahan di bawah tanah.

Menemukan kehidupan di Mars akan memberikan banyak jawaban tentang munculnya kehidupan di planet kita.

Jika kehidupan ada di Mars, bahkan dalam bentuk mikroorganisme, dan karena planet ini tidak lagi aktif secara geologis, seharusnya mungkin untuk menemukannya dalam bentuk jejak fosil di permukaan atau bahkan berharap bahwa itu ada dan bertahan di bawah tanah.

Benda-benda di Tata Surya dan minat astrobiologis mereka: SATELIT ALAM

Dalam beberapa dekade terakhir, benda-benda astrobiologis layak huni lainnya telah ditemukan di luar barikade Asteroid: Satelit alam planet gas raksasa.

Planet raksasa menarik minat yang terbatas secara astrobiologi karena mereka tidak memiliki permukaan dan karenanya tidak ada batuan.

Satelit alam mereka penting dipelajari untuk memahami asal-usul dan evolusi Tata Surya.

Satelit alam di Tata Surya dan minat Astrobiologisnya

Planet Jupiter: Ganymede, Callisto dan Europa.

Planet Saturnus: Enceladus dan Titan.

Terungkap berkat penyelidikan Cassini-Huygens (1997-2017), yang mengunjungi dunia-dunia ini selama 15 tahun, satelit es Saturnus mengejutkan dengan keragaman dan kelimpahan zat cair yang dikandungnya.

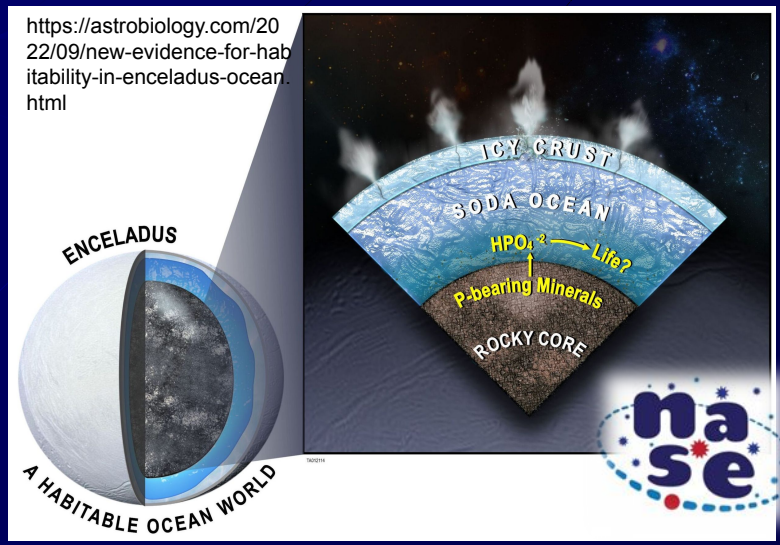
Satelit di Tata Surya dan minat astrobiologisnya

Europa akan berisi lautan sepuluh kali lebih besar dari Bumi, sementara tiga kali lebih kecil dari planet kita.

Enceladus: Pada tahun 2014 ditemukan geyser air di permukaannya, yang membentang hingga 100 km di atas permukaannya.

Pengamatan ini telah mengungkapkan adanya lautan di bawah lapisan es.

Kelvinsong – Own job, CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=23640295



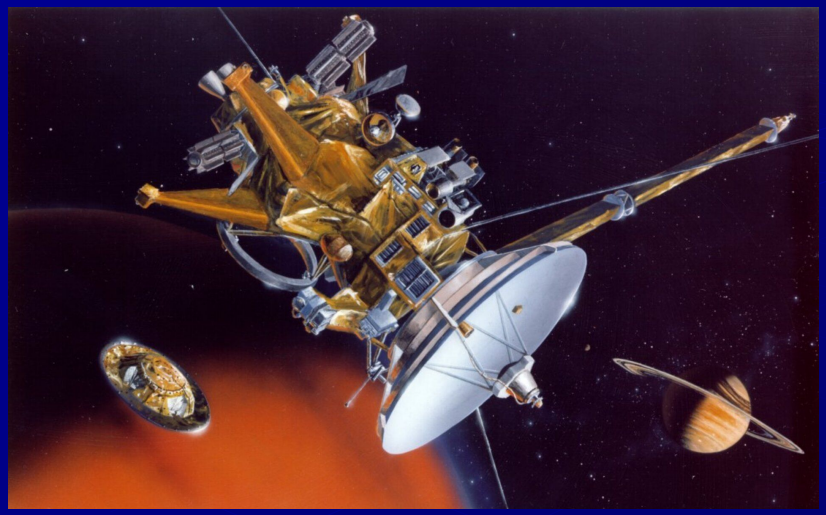
Satelit Alam di Tata Surya dan minat astrobiologisnya: TITAN

Satelit alam terbesar Saturnus, Titan, menyajikan sejumlah besar bahan organik yang terbentuk di atmosfernya.

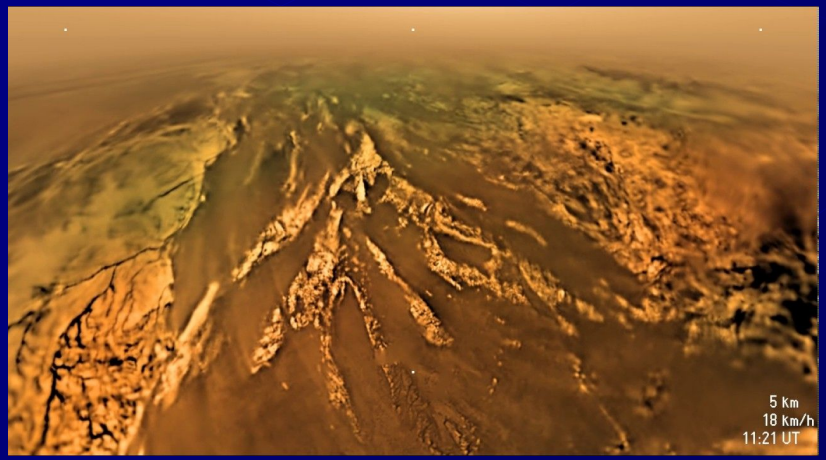
Pada tahun 1980 dan 1981, *Probe* Voyager 1 dan 2 mengungkapkan atmosfer yang sangat padat terutama terdiri dari Nitrogen dan Metana.

Komposisi kimia di atmosfer Titan telah terbukti sangat kompleks, menghasilkan pembentukan Aerosol organik yang mengendap di permukaan.

Misi Cassini-Huygens (1997-2017) mengkonfirmasi komposisi kimia organik kompleks di atmosfer Titan.



Misi Cassini / Huygens (Kredit: NASA)

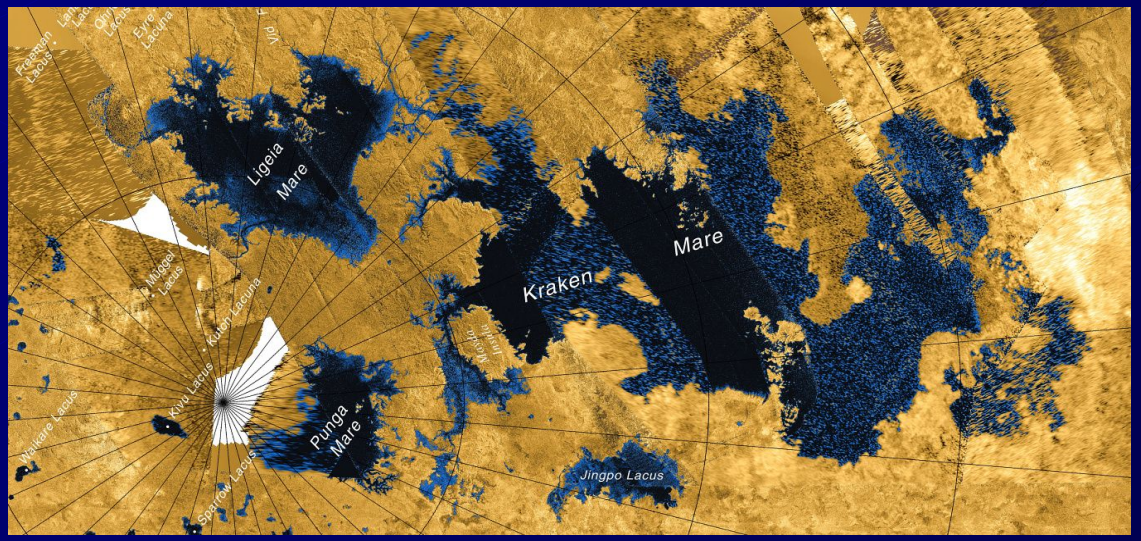


Titan (Kredit: Cassini / Huygens, NASA)

Gambar yang mengesankan diperoleh dari permukaan yang ditutupi dengan biji-bijian organik, bukit pasir dan danau hidrokarbon.

Model Astrofisika telah mengusulkan bahwa Titan dapat menampung lautan air cair di bawah permukaannya dan menyajikan semua bahan yang diperlukan untuk munculnya kimia prebiotik yang kaya dan kemungkinan bentuk kehidupan.

Model geokimia evolusioner menunjukkan bahwa dari jutaan tahun pertama setelah pembentukan Titan, lautan bawah tanah ini bersentuhan dengan atmosfer, di mana molekul kompleks pertama akan diproduksi.
Analogi dengan Bumi, diharapkan kehadiran ventilasi hidrotermal di lautan Titan ini, yang merupakan sumber energi untuk molekul organik dan lingkungan potensial untuk sistem prebiotik.



Di luar Tata Surya

5500 Eksoplanet (hingga sekarang 2024) telah ditemukan dan dikonfirmasi di galaksi kita. Ini membantu kita untuk memahami pembentukan Tata Surya kita dan itu mungkin unik.

Dengan kondisi pengetahuan dan kemajuan saat ini di bidang Astrobiologi, sangat sulit untuk berhipotesis tentang planet yang dihuni dan keberadaan kehidupan yang terbukti di galaksi kita atau di luarnya.

Tampaknya ada semakin banyak situs potensial untuk pengembangan kehidupan, tetapi bagaimana dengan perkembangan kehidupan yang sebenarnya?

Kesimpulan

- Astrobiologi mencoba untuk menentukan apakah kehidupan bisa ada di bagian lain alam semesta dan, jika demikian, dalam bentuk apa, untuk mencoba menjawab pertanyaan eksistensial: Apakah kita sendirian di alam semesta?

- Selama beberapa dekade, memahami penampilan kehidupan di Bumi sangat penting untuk menentukan apakah itu kebetulan atau fenomena yang dapat direproduksi dalam kondisi dan lingkungan tertentu.

Kesimpulan

Pemahaman ini diperlukan untuk menarik kesimpulan tentang kemungkinan kehidupan di tempat lain di alam semesta.
Meskipun ada upaya aktif, belum ada kesimpulan seperti itu yang telah dicapai.

Terima kasih atas perhatiannya..