

# Jejak Kehidupan di Alam Semesta

Taufiq Hidayat  
Observatorium Bosscha  
FMIPA – ITB

Pengamatan Virtual Langit Malam – Observatorium Bosscha – 28 Agustus 2021

# Bumi, planet yang unik

Apa penyebab ledakan Cambrian?

Sekitar 540 juta tahun yang lalu lautan “tiba-tiba” dihuni oleh beraneka ragam hewan.



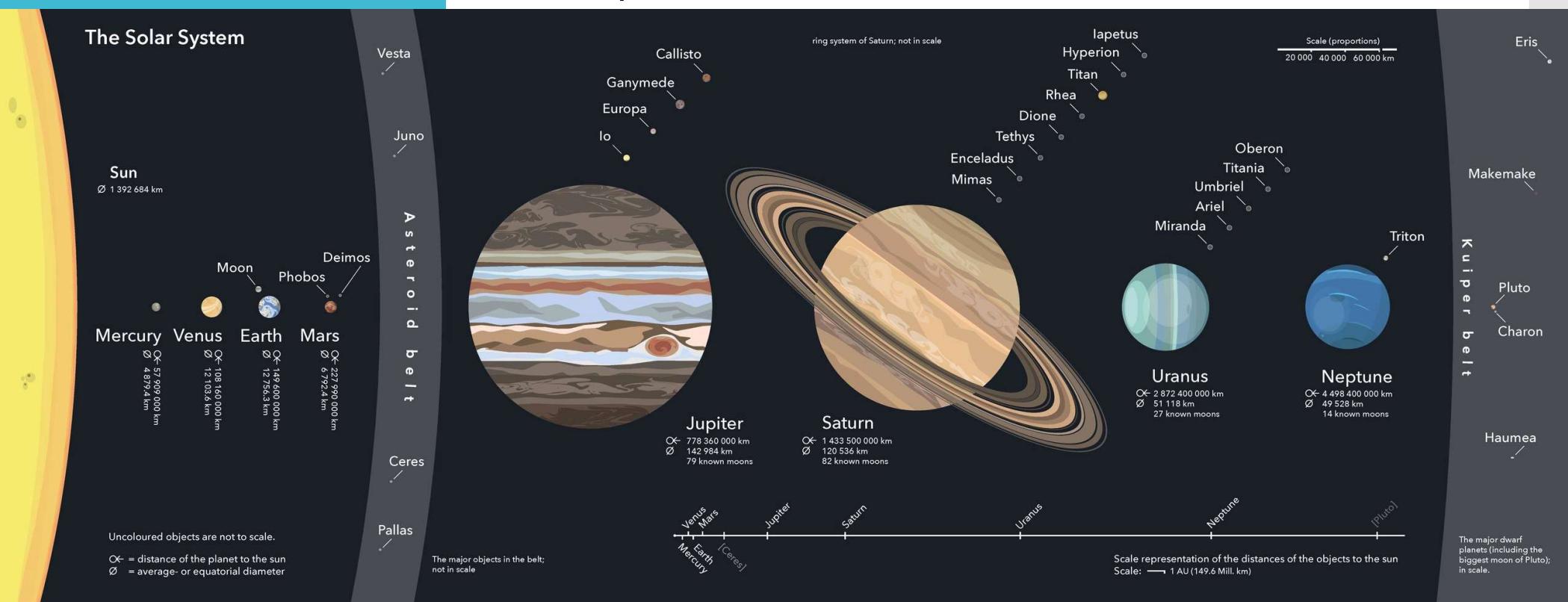
<https://www.nature.com/news/what-sparked-the-cambrian-explosion-1.19379>

# Asumsi Fundamental

- Kita perlu air
  - Seluruh LAWKI\* perlu air sebagai pelarut utama, maka "follow the water..."
- Kita perlu senyawa kimia yang tepat untuk kehidupan (C, H, O, N, P, S)
- Kita perlu sumber energi untuk kehidupan
  - Radiasi matahari merupakan sumber energi utama di Bumi, walaupun *hydrothermal vent* bisa merupakan sumber alternatif
  - Di bagian luar Tata Surya kita perlu mencari sumber lain selain Matahari
    - *Hydrothermal vent* merupakan kandidat yang paling mungkin
- Menilik kondisi masa kini, bisa jadi suatu objek tidak layak huni, namun mungkin saja kehidupan pernah ada *di situ* di masa lalu...

\*LAWKI = *Life as we know it*

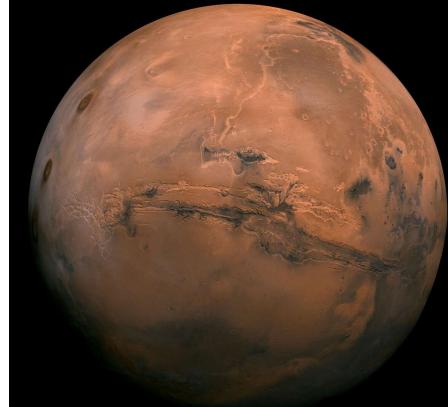
# Tata Surya



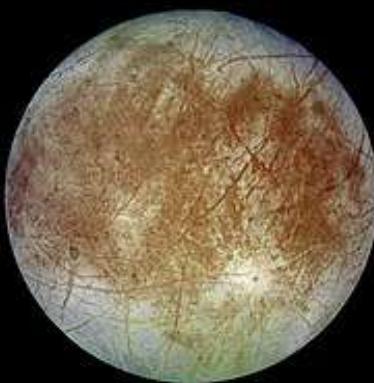
<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/64/Solar-System.pdf>

# Mencari kehidupan di Tata Surya

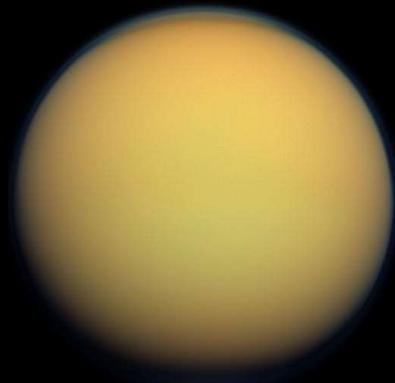
Mars?



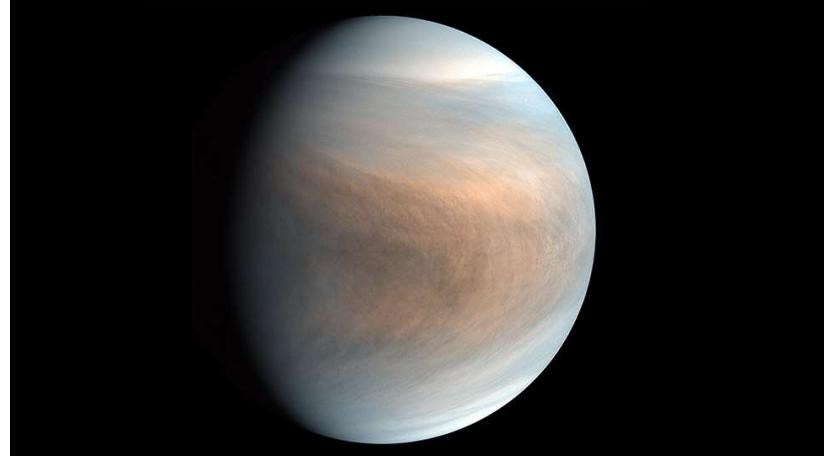
Europa?



Titan?



Venus?



Serta Jupiter, Saturnus  
(sekitar 1 bar),..

Di bawah permukaan  
komet, asteroid, benda-  
benda di Sabuk Kuiper...



Planet Mars

Observatorium Bosscha  
Departemen Astronomi - ITB

# Mars

## MARS OPPOSITION

13 OCTOBER 2020 15:57 UT

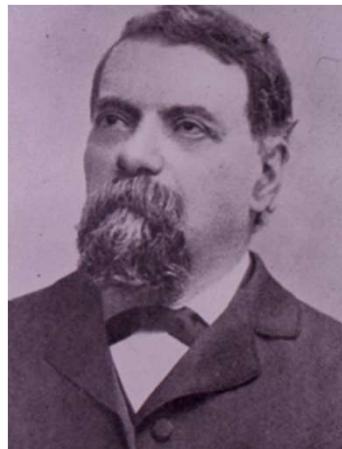


**BOSSCHA OBSERVATORY**

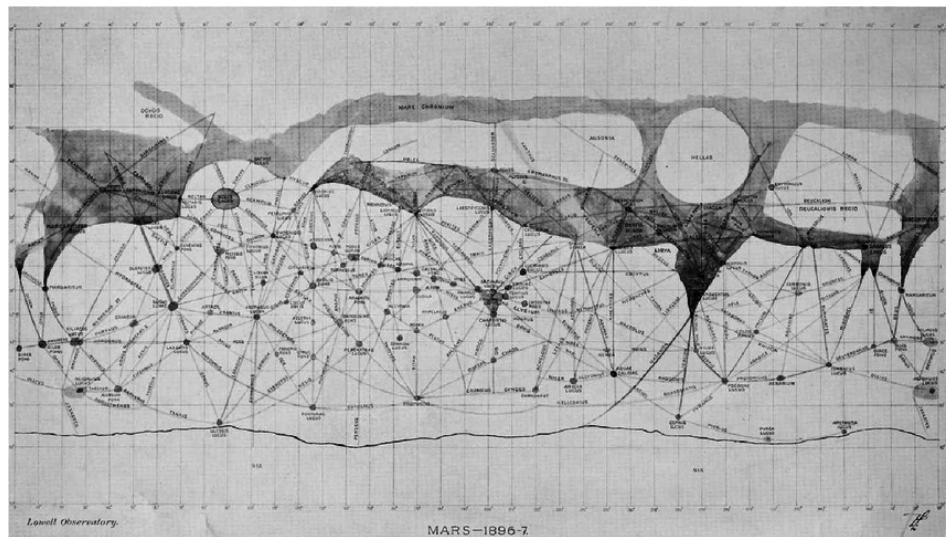
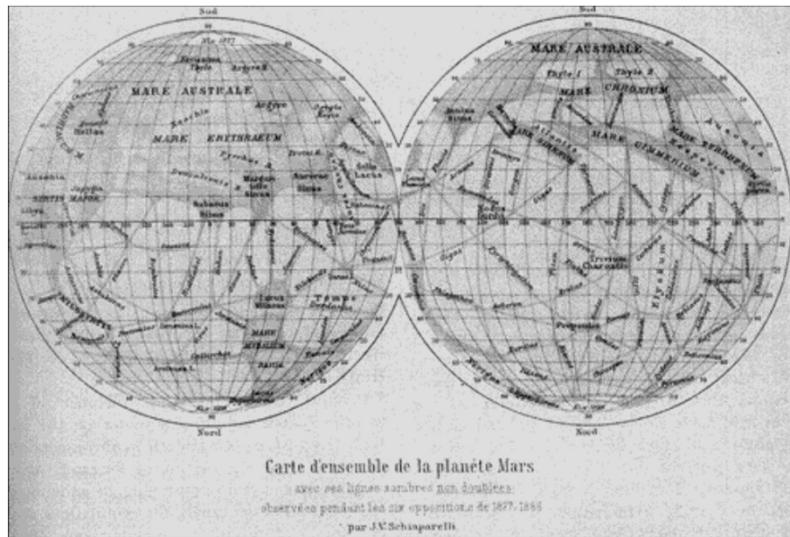
ZEISS DOUBLE REFRACTOR

MUHAMMAD YUSUF

# Kanal di Mars



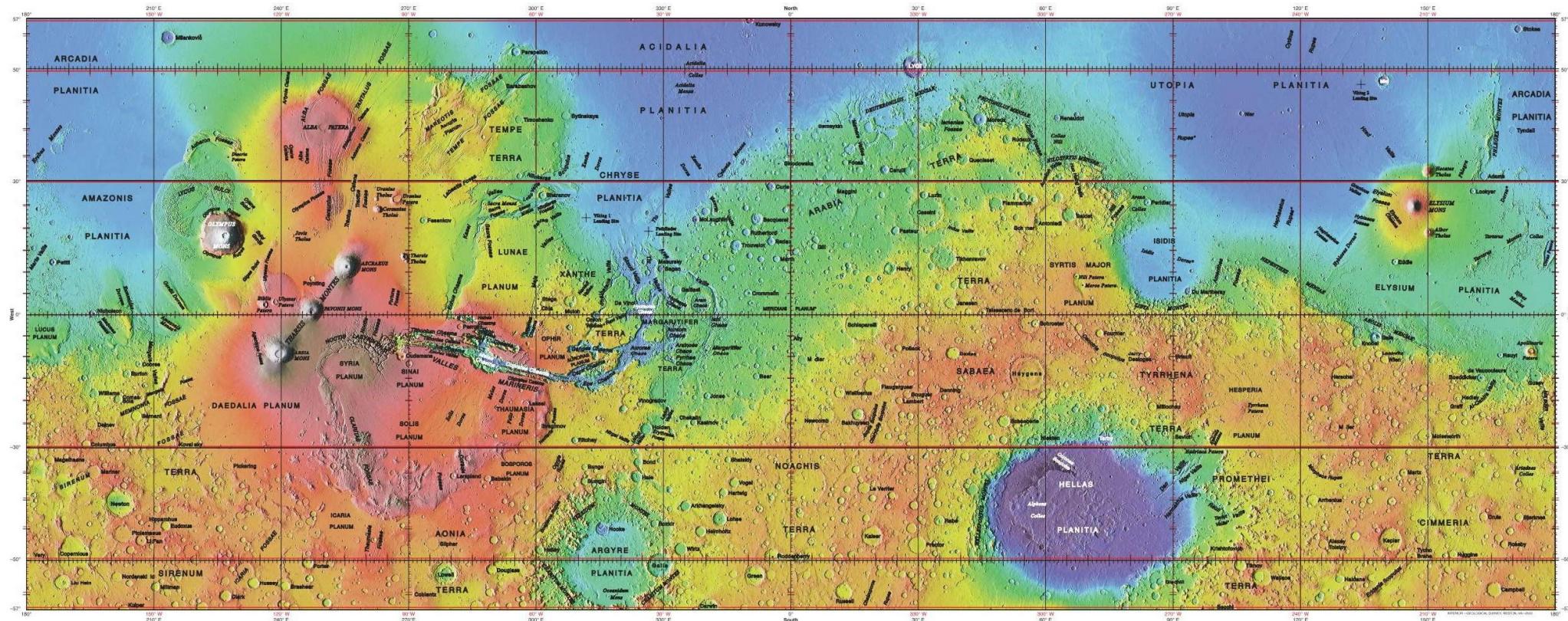
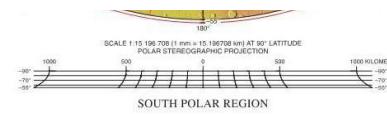
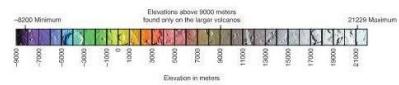
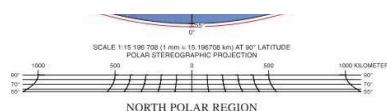
The Canals of Mars, Giovanni Schiaparelli published a map (1877) of *canali* (channels)



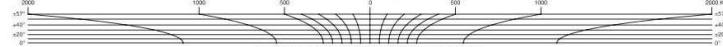
Map of Mars by Percival Lowell, 1897

# Mars merupakan kandidat yang sangat menarik

- Mars **kini** bukanlah tempat yang **nyaman** untuk ditinggali: dingin, atmosfer yang tipis, tak ada pelindung UV, tak ada air (?)
- Tapi mungkin berbeda di masa lalu: sekitar 3 – 4 miliar tahun yang lalu, terdapat atmosfer yang tebal dan air dalam fase cair.
- Mungkinkah kehidupan telah muncul sekitar satu miliar tahun pertama Mars?
- Jika memang ada, apakah masih survive hingga sekarang? Atau dapatkah ditemukan sisanya?
- Ingat bahwa terdapat makhluk hidup yang mampu bertahan dalam kondisi ekstrem di Bumi (extremophiles)



Prepared on behalf of the Planetary Geology and Geophysics Program,  
Solar System Exploration Division, Office of Space Science,  
National Aeronautics and Space Administration.  
Map last updated by publication December 17, 2002.



**Topographic Map of Mars**  
**M 25M RKN**  
By  
U.S. Geological Survey  
2003

NOTE TO USERS  
Users noting errors or omissions are urged to indicate them  
to the U.S. Geological Survey, Planetary Geology and Geophysics Program, U.S.  
Geological Survey, 2255 North Gemini Drive, Flagstaff,  
Arizona 86001. A replacement copy will be returned.

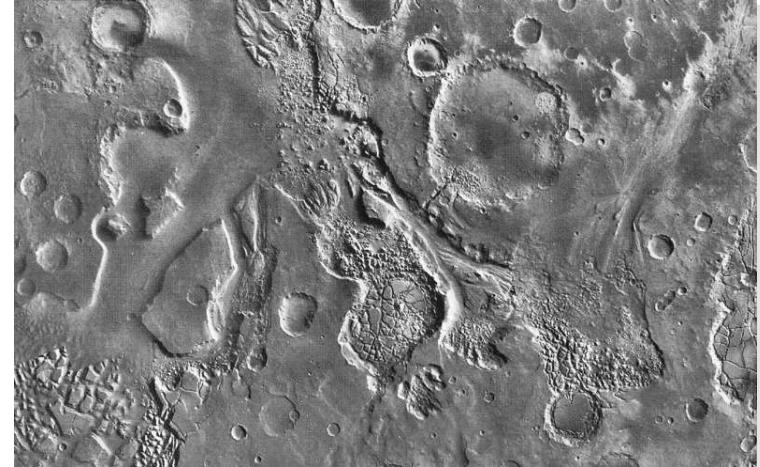
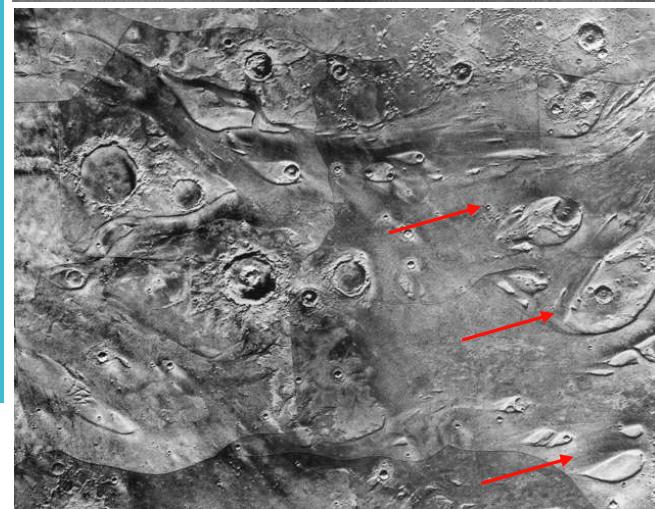
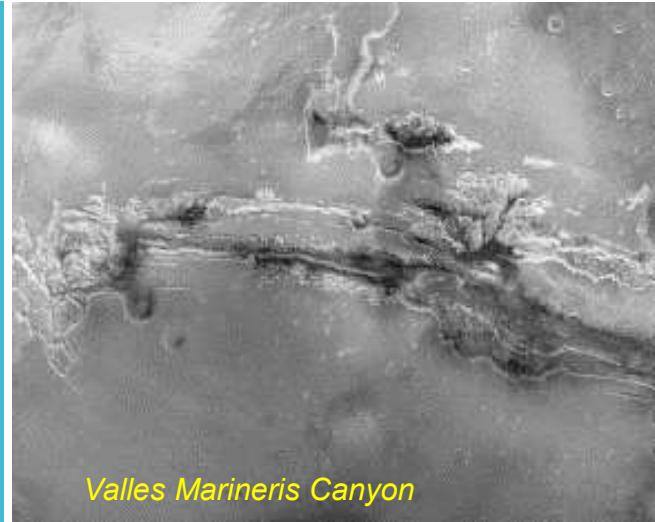
ISSN 0-167-81378-8  
9 78067 89378 0

Any use of trade, product, or firm names in this publication is for  
descriptive purposes only and does not imply endorsement by the U.S.  
Government.

For sale by U.S. Geological Survey, Information Services, Box 2336,  
Federal Center, Denver, Colorado 80225.  
Digital files available on World Wide Web at <http://geopubs.usgs.gov>.

Printed on recycled paper

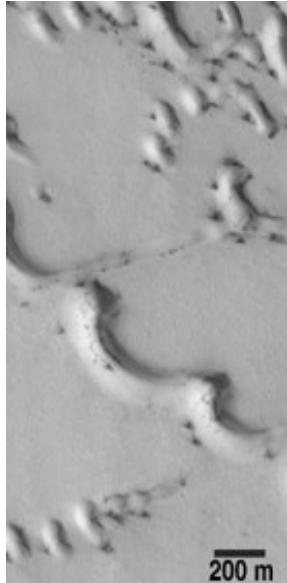
## Jejak air di Mars



Terdapat bekas-bekas aliran air; longsoran

Kemungkinan 3-3.5 miliar tahun yang lalu – saat yang sama ketika muncul stromatolites di Bumi

## Jejak air di Mars (MGS)



Di dataran tinggi Mars di wilayah khatulistiwa ada banyak saluran sempit yang terlihat seperti saluran limpasan yang membawa air dari hujan badai. Saluran ini biasanya memiliki kedalaman beberapa meter, lebar puluhan meter dan panjang sekitar 10 hingga 20 km. Saluran limpasan ini adalah bagian dari bukti bahwa Mars memiliki banyak air permukaan pada periode awal dalam sejarahnya.

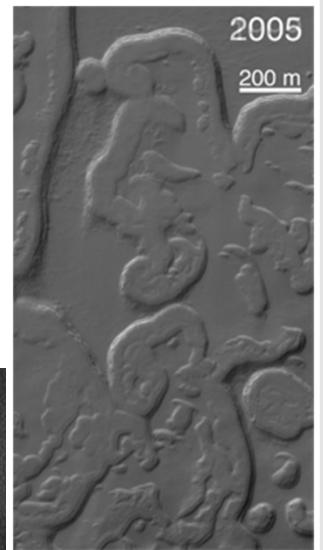
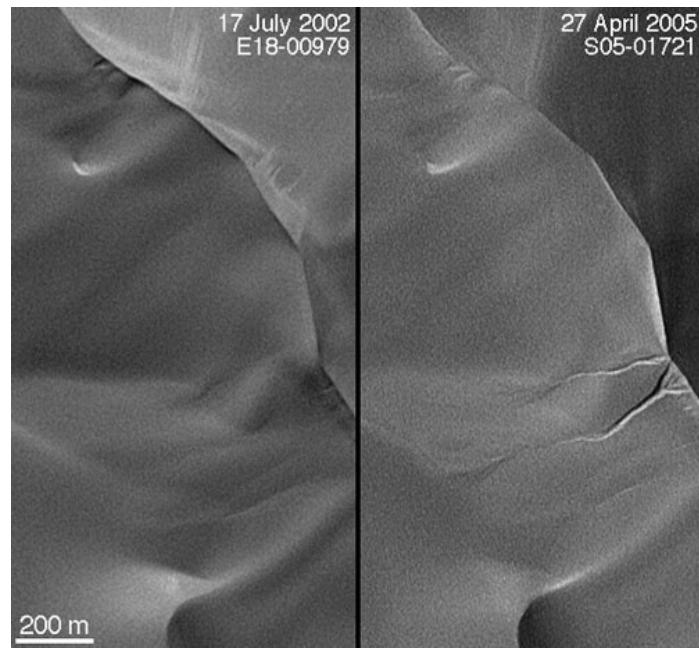
# Mars Global Surveyor (MGS)



*Longsoran  
(gullies) di  
bukit-bukit  
pasir*

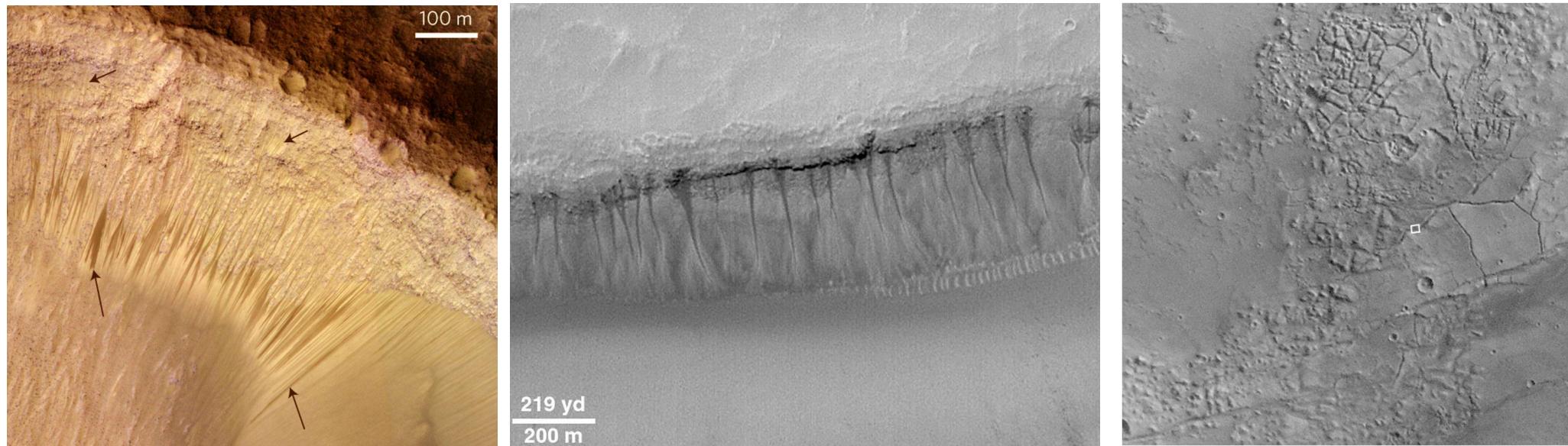


Gullies mungkin akibat rembesan air dari tanah



Daerah kutub selatan

8 tahun operasi kontinu mengizinkan perubahan di permukaan dapat diamati



<https://www.jpl.nasa.gov/spaceimages/details.php?id=PIA01032>

Citra yang diperoleh dari Mars Global Surveyor (MGS) - Mars Orbiter Camera (MOC) pada Mei 2000 menunjukkan banyak contoh saluran Mars yang semuanya berawal -- atau mengarah -- pada lapisan tertentu kira-kira seratus meter di bawah permukaan Mars. Fitur-fitur ini terletak di dinding palung yang menghadap ke selatan di wilayah Gorgonum Chaos, sebuah area yang ditemukan memiliki banyak contoh parit yang diduga terbentuk akibat rembesan dan limpasan air cair baru-baru ini.

# Jejak air di Mars

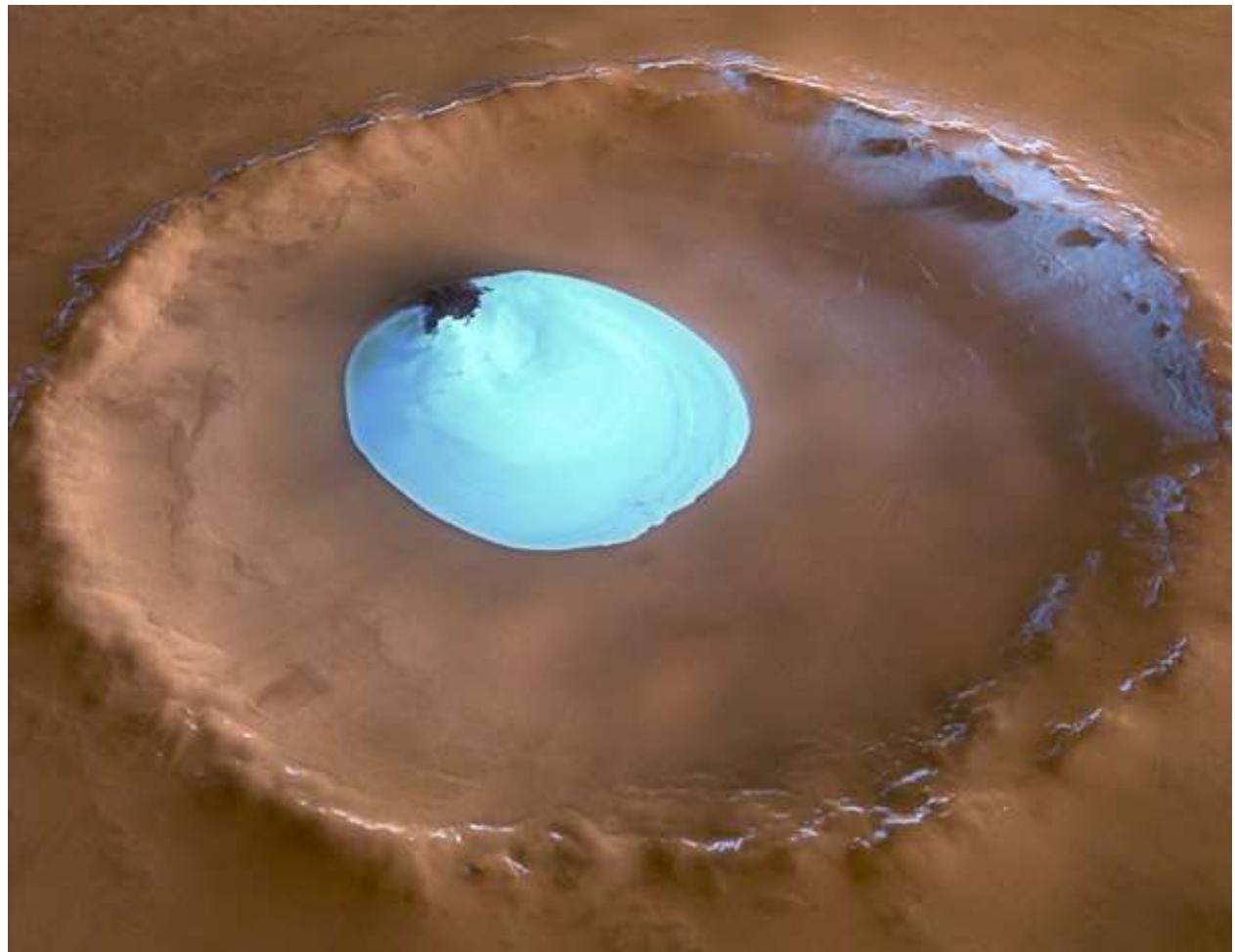
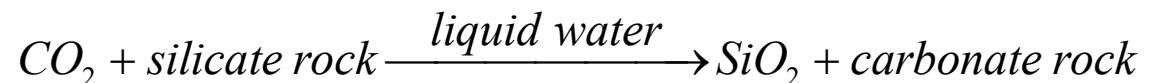


Foto diperoleh dari misi Mars Express - European Space Agency - diambil pada 2 Februari 2005. Ini menunjukkan sisa es air di suatu kawah, terletak di lintang utara Mars.  
Sumber: [http://www.esa.int/SPECIALS/Mars\\_Express/SEMGKA808BE\\_1.html](http://www.esa.int/SPECIALS/Mars_Express/SEMGKA808BE_1.html)

# Evolusi atmosfer Bumi, Venus, Mars

Diawali dengan atmosfer yang didominasi oleh CO<sub>2</sub>. Di Bumi, CO<sub>2</sub> dapat diserap oleh batu-batuan (Urey Reaction) dengan bantuan air.



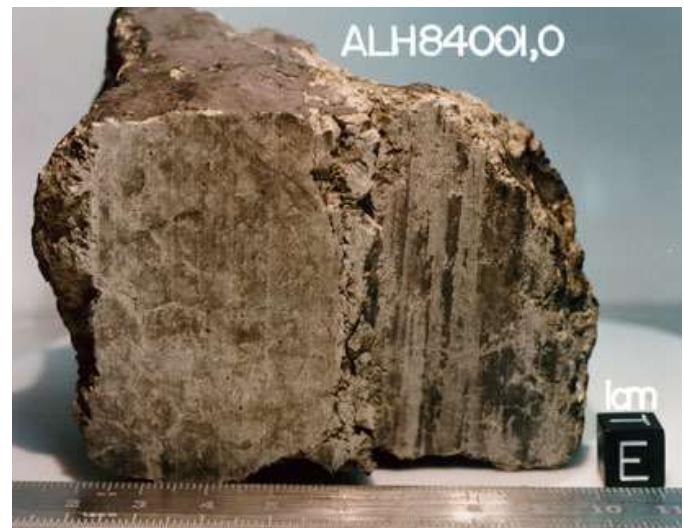
Di Venus tak ada air yang dapat mengurangi banyaknya CO<sub>2</sub> di atmosfernya.

Mars sangat dingin, sebagian besar air membeku. Tidak terjadi efek rumah kaca yang cukup (tidak terjadi pemanasan). Tidak ada siklus CO<sub>2</sub> karena tidak ada tektonisme seperti di Bumi.

# Meteorit dari Mars

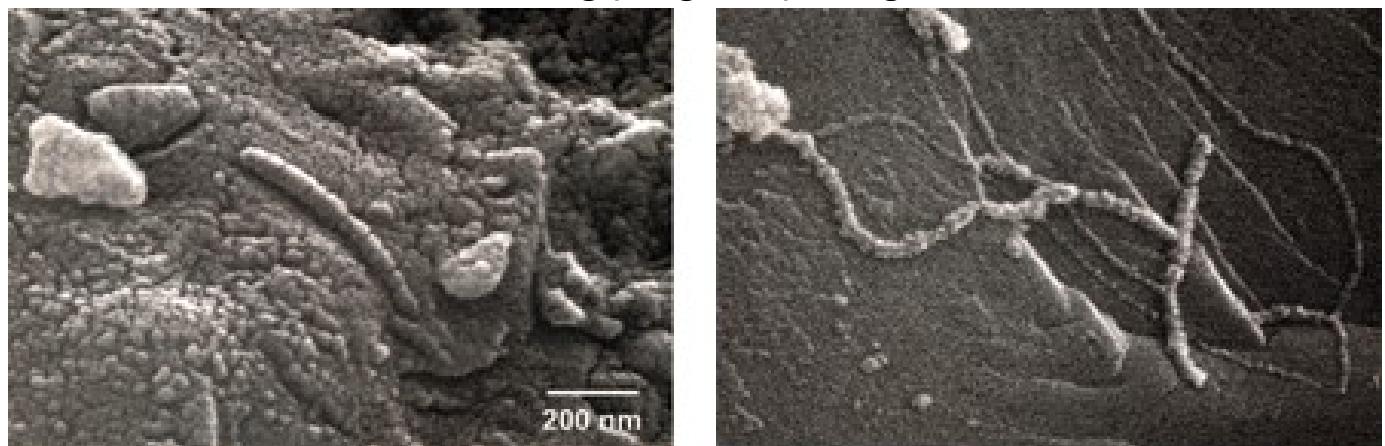
## ALH84001

- ~2 kg, ditemukan di Antartika tahun 1984, usia ~4.5 miliar tahun
- Terlepas dari Mars ~16 juta tahun yang lalu
- Jatuh ke Bumi ~13,000 tahun yang lalu (carbon dating)
- Diteliti selama 12 tahun sampai ditemukannya tanda-tanda kehidupan oleh McKay, Gibson et al. (1996)



# Microfossils

- Citra dari SEM menunjukkan butiran karbonat yang berbentuk **bulat telur (ovoid)** dan berbentuk tabung yang mirip dengan bakteri tanah di Bumi.



- Ukurannya merentang dari 40-80 nm (ovoids), tube-shaped bodies (20-40 x 30-170 nm) dan ada yang sebesar 700 nm
- Struktur ini ~30 kali lebih kecil daripada hal yang sama di Bumi. Terlalu kecil untuk dapat mengandung informasi genetik dan perangkat metabolisme? (>250 nm)

# Hasil di Mars

- Belum adanya bukti **kehidupan aktif** di Mars, paling tidak di **permukaannya**.
- Tapi kita belum melihat di banyak tempat. Mungkinkah ada di lokasi yang lain?
- Mungkin ada jauh di **bawah tanah** atau di **tudung kutub**?
- Penemuan fosil atau kehidupan aktif tentu sangat mengejutkan

# Satelit Galilean Jupiter (bulan es/icy moons)

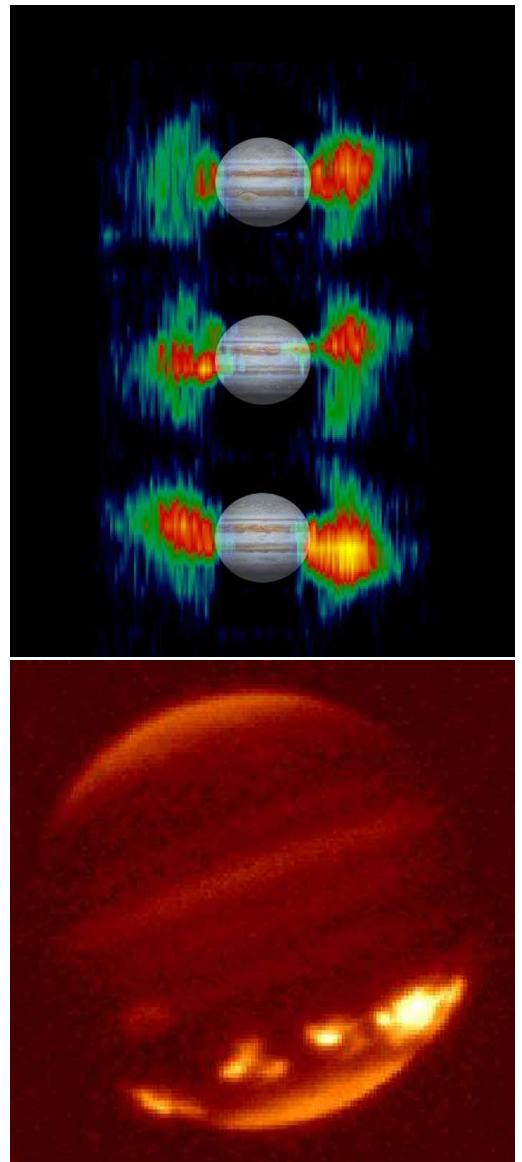


	Jarak rata-rata dari Jupiter/ $10^3$ km	Periode Orbit / hari	Diameter / km
Europa	670.9	3.55	3130 ( $\frac{2}{3}$ ukuran Merkurius)
Ganymede	1070	7.15	5268 ( $\frac{3}{4}$ ukuran Mars)
Callisto	1883	16.7	4806 (~ukuran Merkurius)

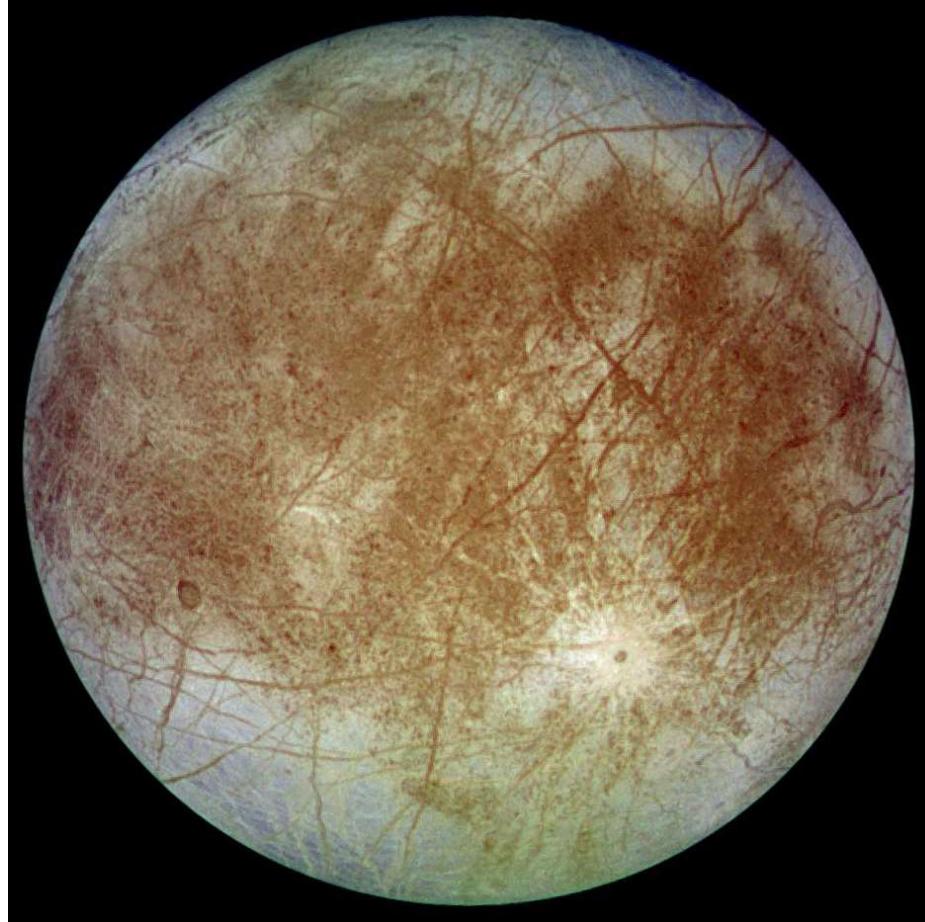
# Lingkungan sekitar Jupiter

- Medan radiasi sangat kuat
  - Medan magnet Jupiter sangat kuat dan menangkap banyak partikel bermuatan yang berenergi tinggi
  - Io melalui daerah radiasi yang paling kuat
- Jupiter menangkap banyak komet dan benda lain (contoh: komet Shoemaker-Levy 9)
  - Kemungkinan banyak material organik dijatuhkan di bulan-bulan Jupiter

Medan radiasi



# Europa



Citra dari Galileo

# Europa

Permukaan yang sangat datar dengan sedikit relief

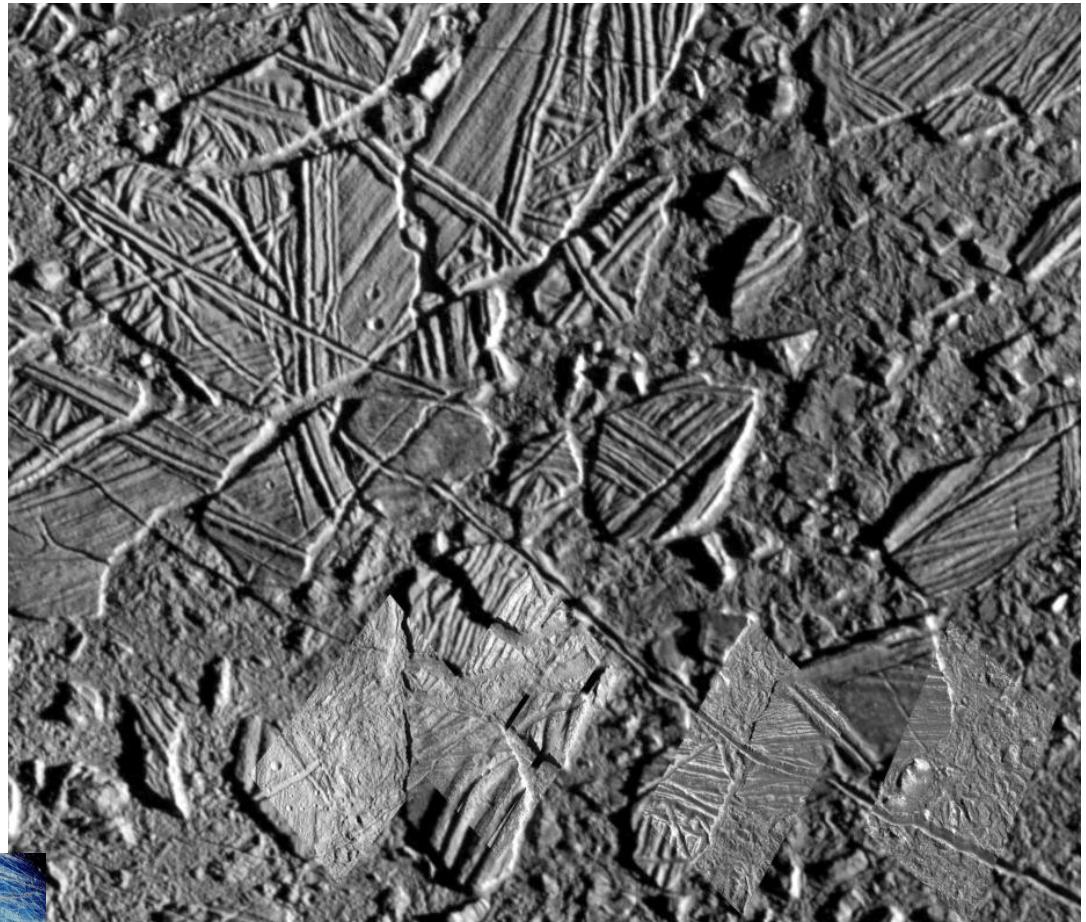
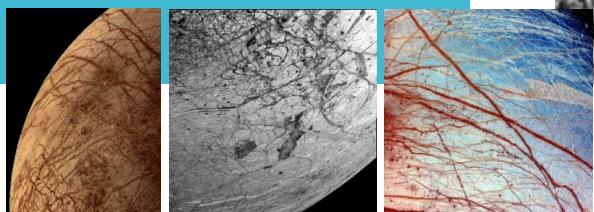
Mirip dengan bola biliar!

Sangat sedikit kawah tumbukan,  
kemungkinan permukaan diperbarui secara  
teratur - setiap 10 Myr?

Permukaan es ditutupi dengan pita warna  
yang berbeda

Ada yang gelap, ada yang sangat terang. Pita  
terang di dalam pita gelap juga terjadi. Pita  
gelap yang terkait dengan lembaran es yang  
bergerak terpisah

Data medan magnet menunjukkan bahwa di  
suatu tempat di bawah permukaan ada air  
yang bergerak



## Ciri Permukaan

Fitur utama Europa disebut linea dan maculae.

Ketinggian vertikal dibatasi hingga beberapa ratus meter.

Garis-garis yang saling berpotongan memungkinkan penentuan usia relatif fitur



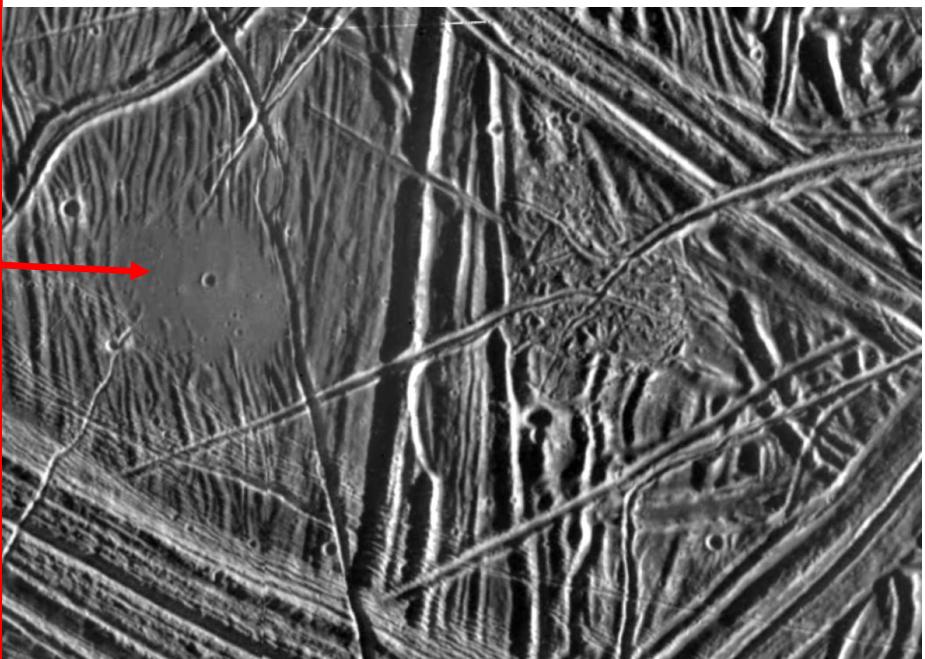
# Lelehan Lokal

Daerah datar di sebelah kanan gambar terlihat seperti contoh lelehan lokal yang relatif baru

Mungkinkah ini menyiratkan lapisan es atas tipis?

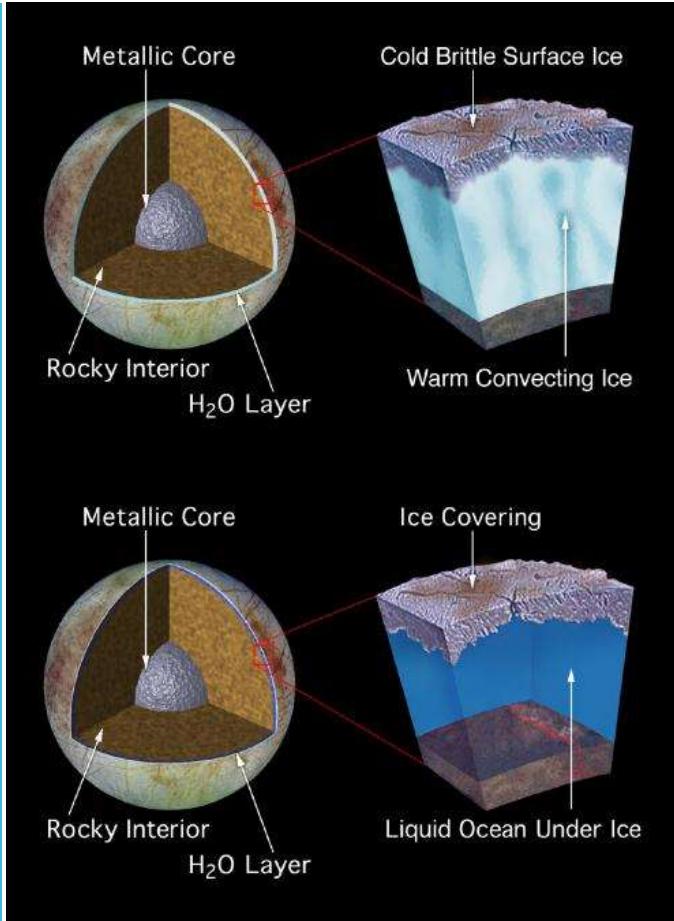
Mungkinkah semacam pemanasan lokal?

Bintik gelap - *upwelling?*



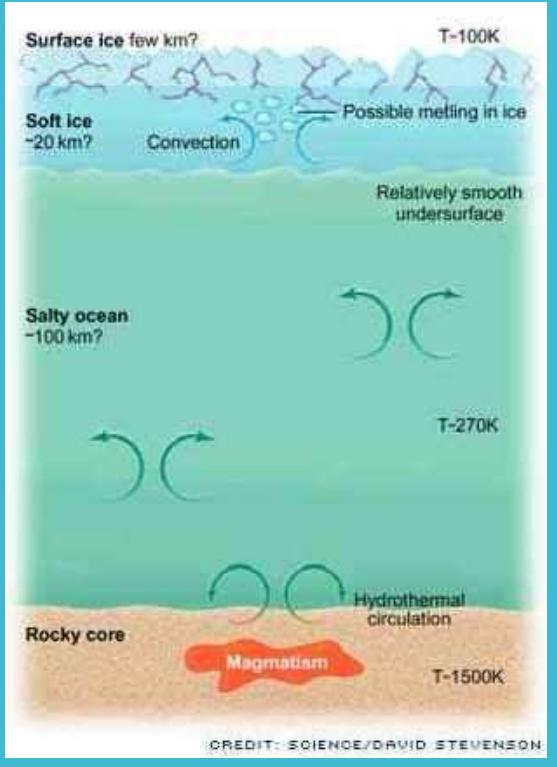
Juga ada bukti gunung es yang terbelah....

# Struktur Internal



- Pengukuran gravitasi yang sangat sensitif memungkinkan untuk menyimpulkan struktur interior
- Data geofisika menunjukkan lapisan "es" setebal 100 km, tetapi tidak jelas apakah ada lautan bawah permukaan global atau tidak.
- Kerapatan rata-rata sekitar  $3 \text{ g cm}^{-3}$ . Interiornya sebagian besar berbatu (silikat)
- Inti logam?
- Pertanyaan terbuka: Apakah Europa memiliki inti logam? Berapa ketebalan lapisan air?

## Kehidupan di Europa (?)



- Berapa persisnya pemanasan yang dialami karena gaya pasang surut yang mempengaruhi inti planet maupun permukaan es tidak diketahui. Jika semuanya mempengaruhi permukaan, maka mungkin tidak ada sumber geothermal. Isu yang sangat penting.
- Catatan Bukti RNA menunjukkan bahwa kehidupan di Bumi memiliki leluhur yang sama dari mikroba termofilik yang lebih bergantung pada kemosintesis daripada fotosintesis
- Juga belum jelas persisnya reaksi kimia apa yang akan digunakan biota di dekat sumber panas tersebut

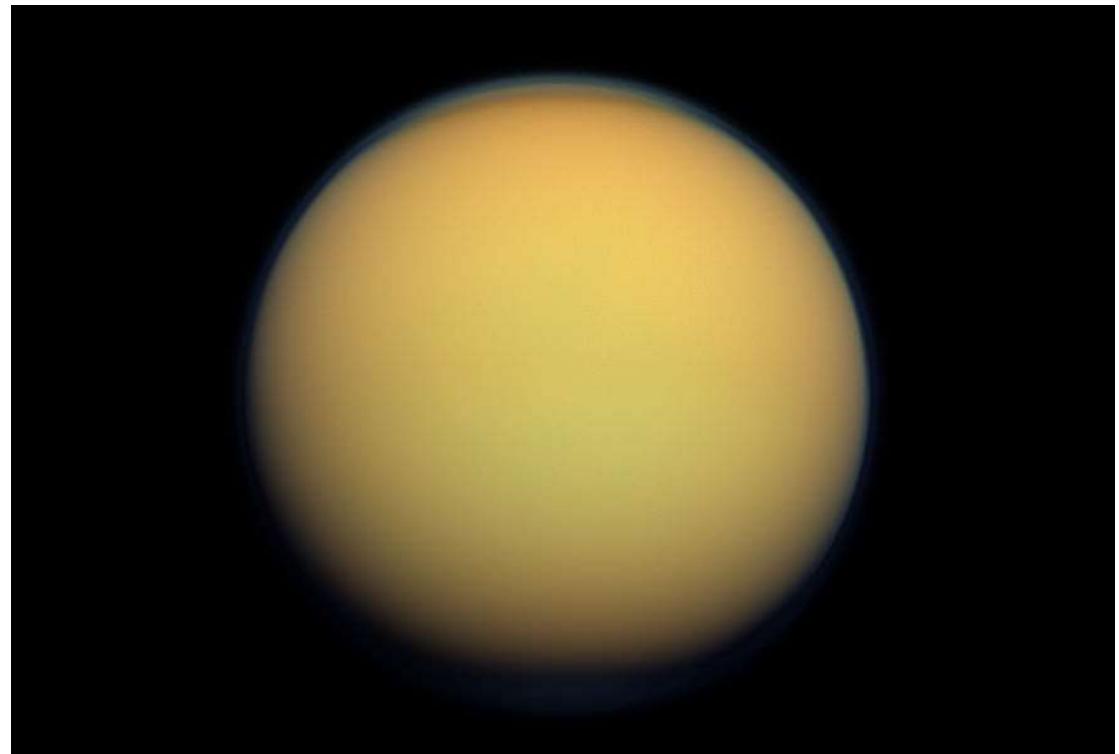
## Europa lander & probe concept

(diusulkan sejak  
1990-an)

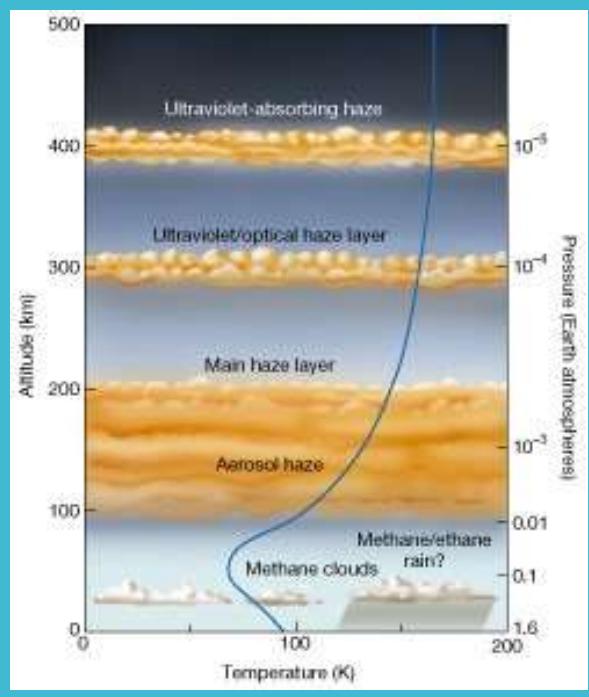


"Dasar laut" Europa mungkin menyerupai lingkungan hidrotermal di Bumi (!) Mungkin hanya ada sedikit O<sub>2</sub> di dalam air (?) Harus meninjau sumber anaerob. NASA mengembangkan rencana awal untuk misi eksplorasi pengeboran/penyelaman

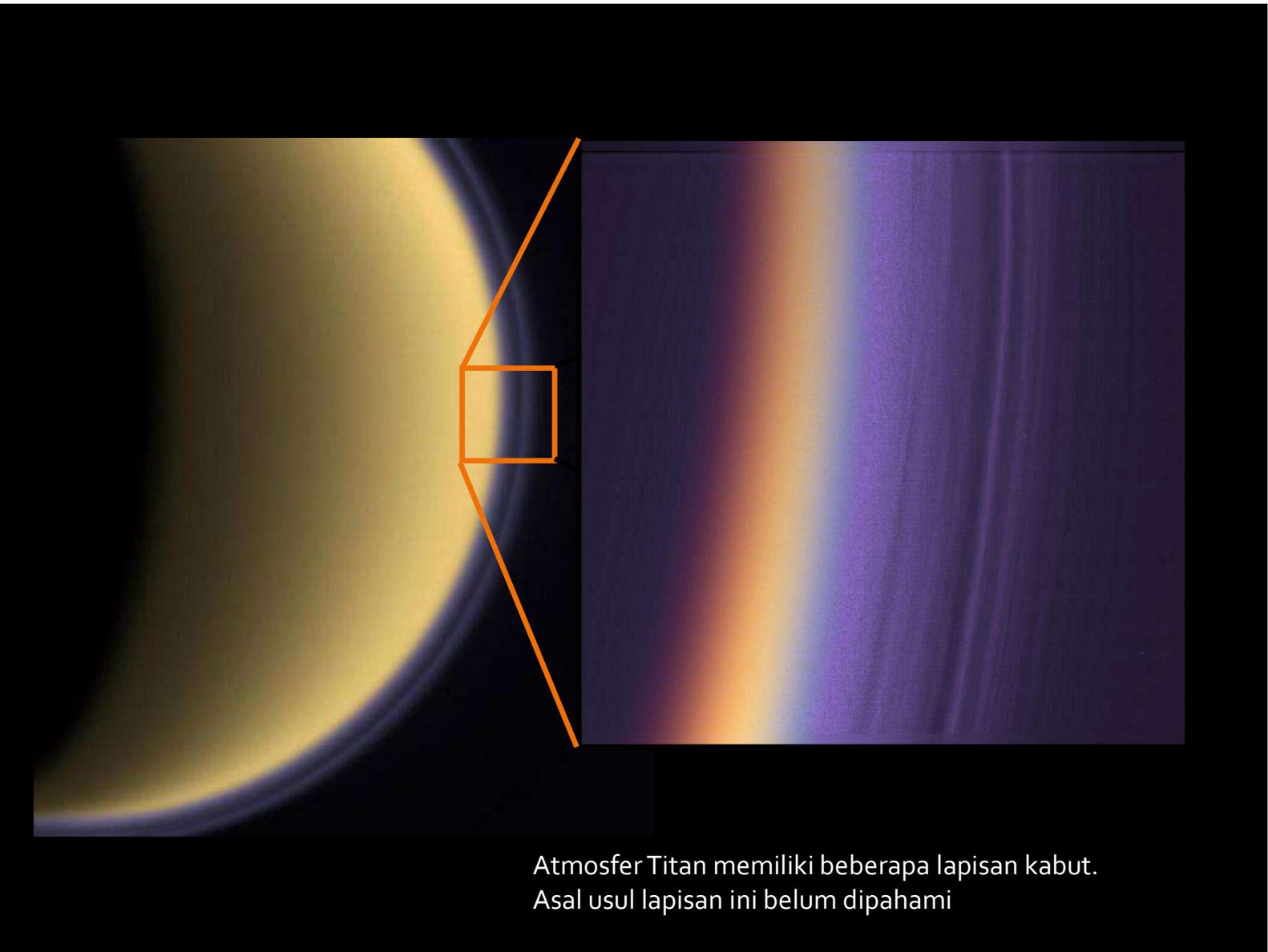
Titan



# Titan



- Diameter Titan 5150 km lebih besar dari Merkurius tetapi lebih kecil dari Mars
- Rotasi Titan sangat lambat – satu Hari Titan sama dengan sekitar 16 hari Bumi
- Titan terkunci secara gravitasional di sekitar Saturnus seperti Bulan kita → Sisi yang sama selalu menunjuk ke arah Saturnus
- Periode orbit 16 hari Bumi, dengan periode orbit Saturnus 29,5 tahun, sehingga satu tahun di Titan adalah sekitar 673 hari Titan
- Terinklinasi 26,7° terhadap Matahari (bandingkan dengan Bumi ~23°) → Titan mengalami musim
- Kita hanya tahu sedikit tentang struktur internalnya



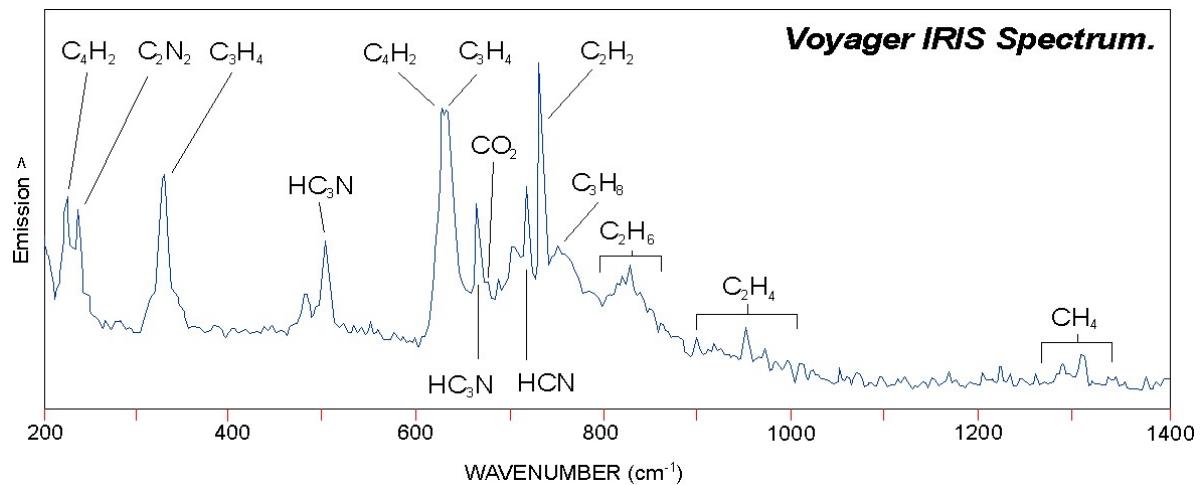
Atmosfer Titan memiliki beberapa lapisan kabut.  
Asal usul lapisan ini belum dipahami

# Komposisi Atmosfer

Atmosfer sebagian besar terdiri dari nitrogen, mengandung beberapa persen metana, dan banyak senyawa mengandung H, C, N: tetapi tidak ada O<sub>2</sub> bebas.

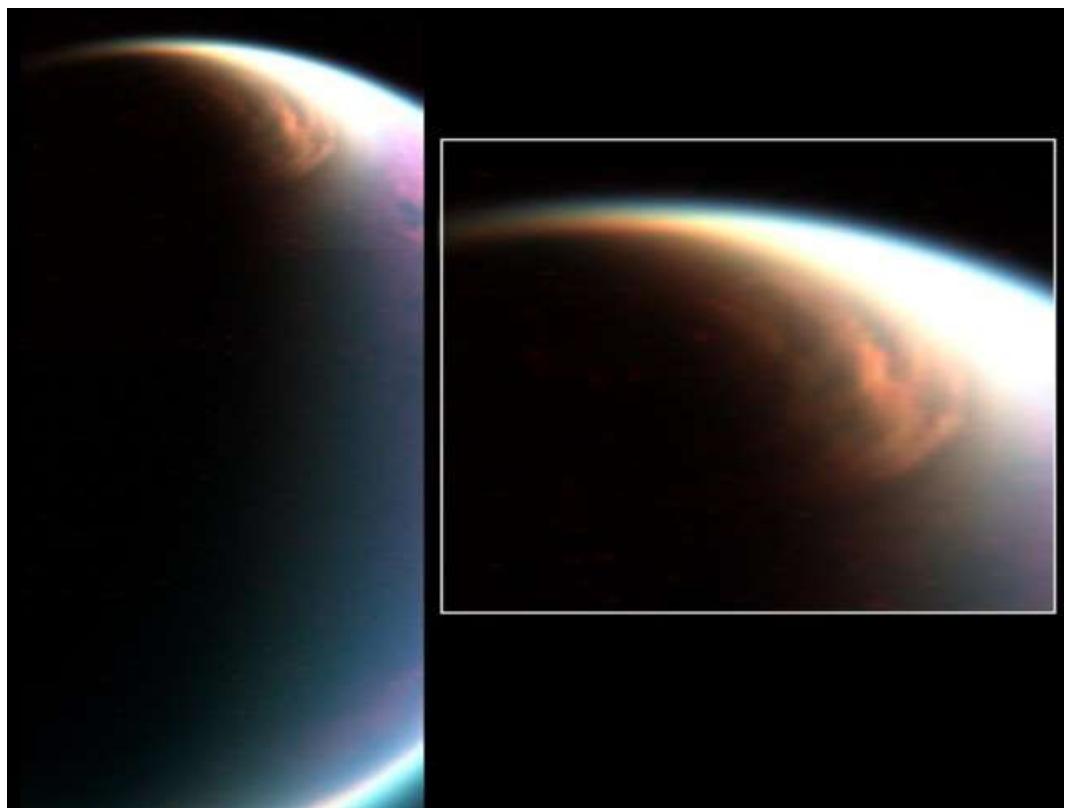
Namun, telah diusulkan bahwa air bisa ada sementara di kolam lelehan yang dihasilkan oleh tumbukan. Mungkin juga ada air cair di bawah permukaan seperti es

Kolam lelehan besar dengan kedalaman ratusan meter mungkin membutuhkan waktu berabad-abad atau bahkan ribuan tahun (jika dicampur dengan amonia) untuk membeku sepenuhnya.



# Iklim di Titan

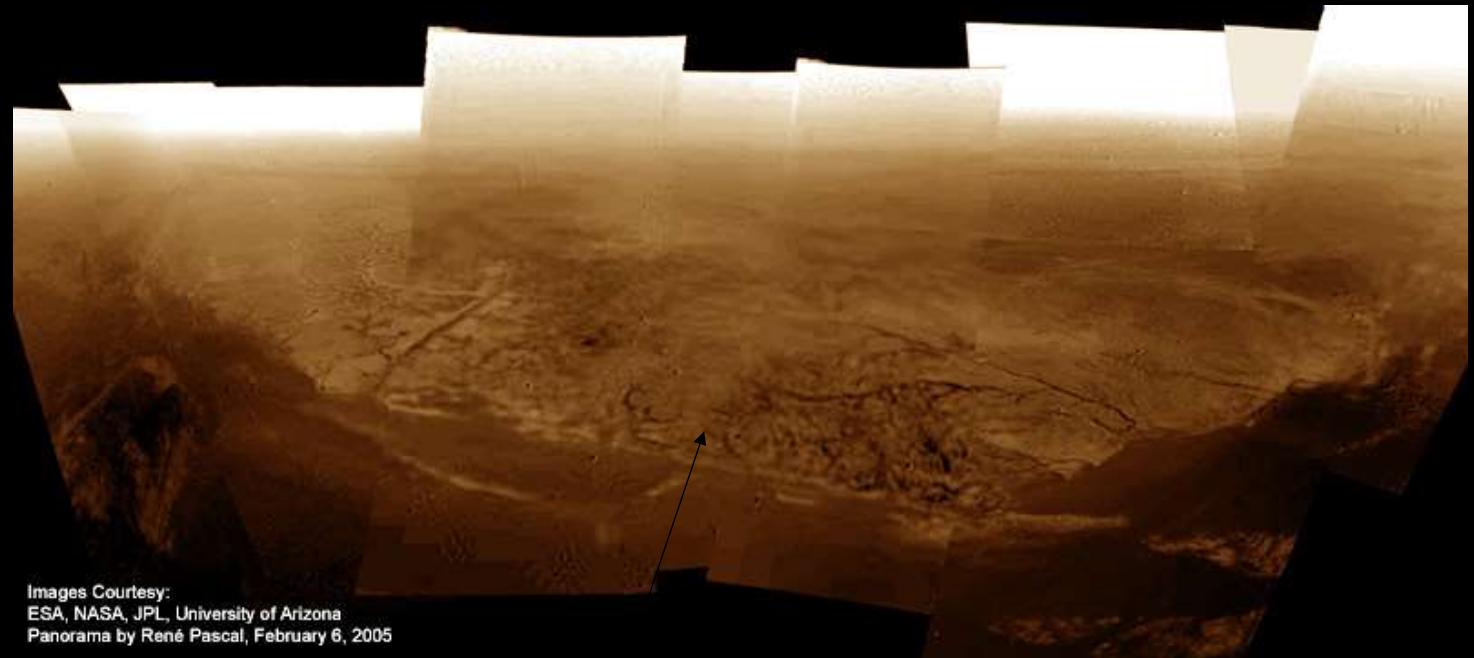
- Pada  $T = 94\text{ K}$  air tidak akan menguap sehingga pada dasarnya tidak ada uap air di atmosfer
- Awan terdiri dari metana/etana dan molekul organik sederhana lainnya
- Menghasilkan metana cair dan hujan etana!
- Akan membantu membentuk danau dan lautan hidrokarbon



Danau hidrokarbon.... Gambaran artist

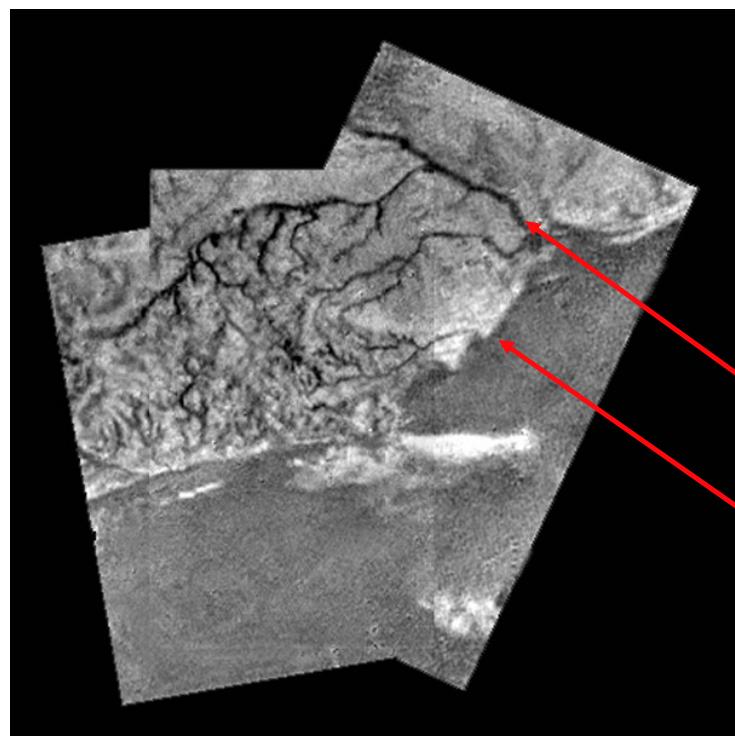


## Panorama dari pendaratan Huygens

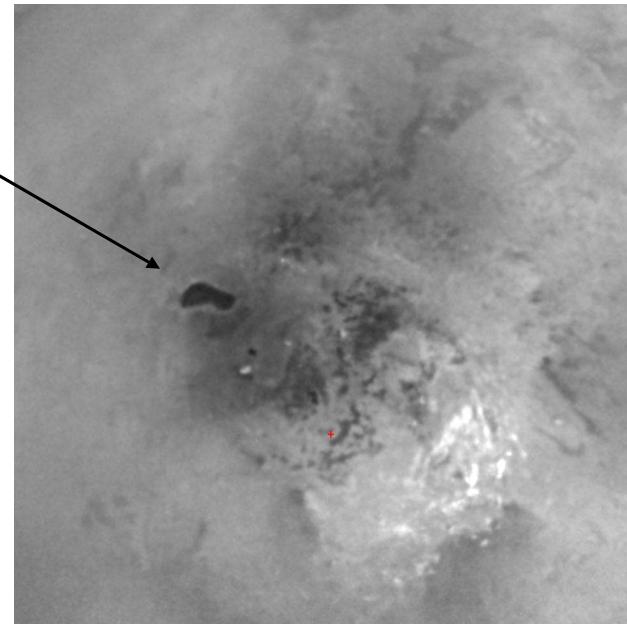
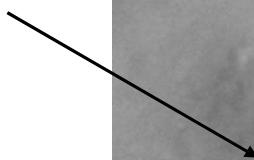


Images Courtesy:  
ESA, NASA, JPL, University of Arizona  
Panorama by René Pascal, February 6, 2005

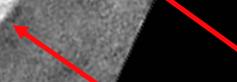
Gambar diambil saat probe masih beberapa km di atas permukaan



Danau hidrokarbon?



Aliran sungai?

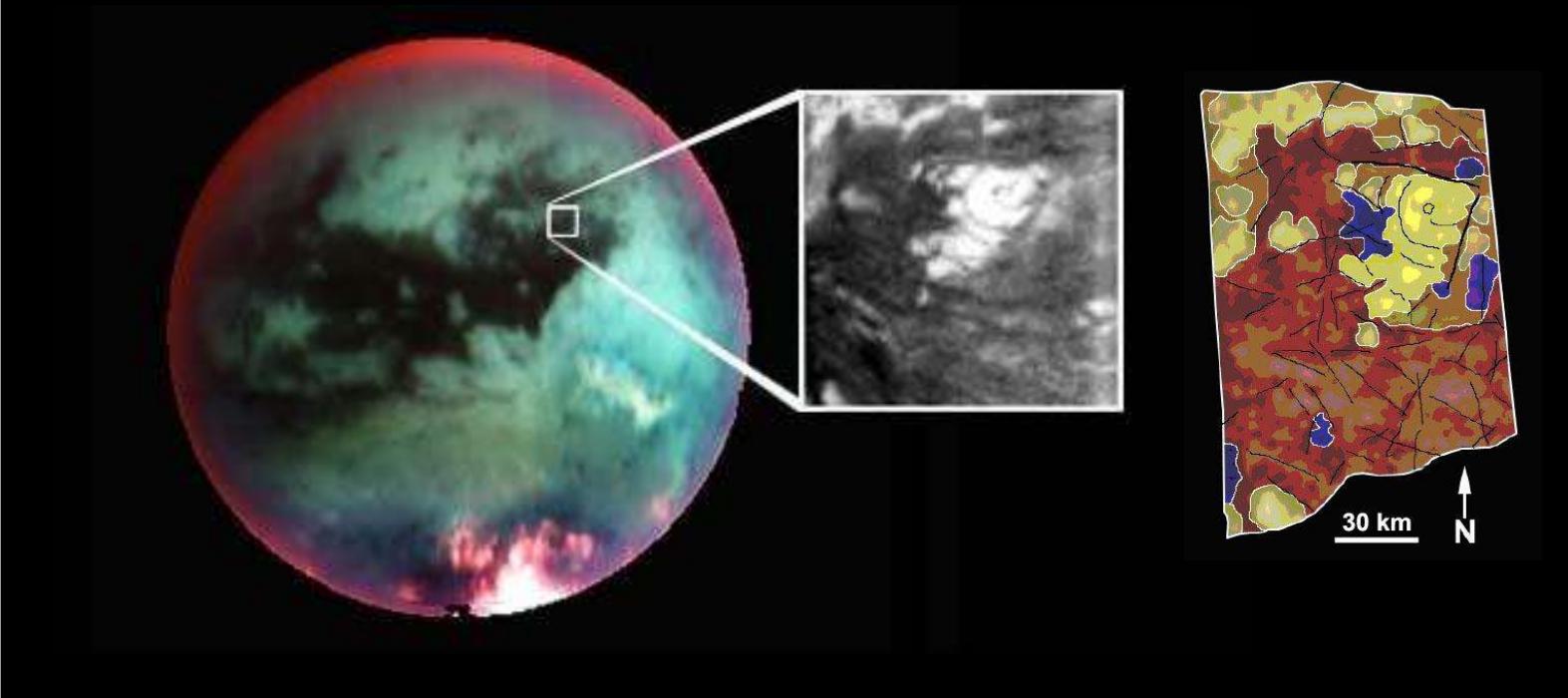


Garis pantai?



# *Cryovolcano di Titan?*

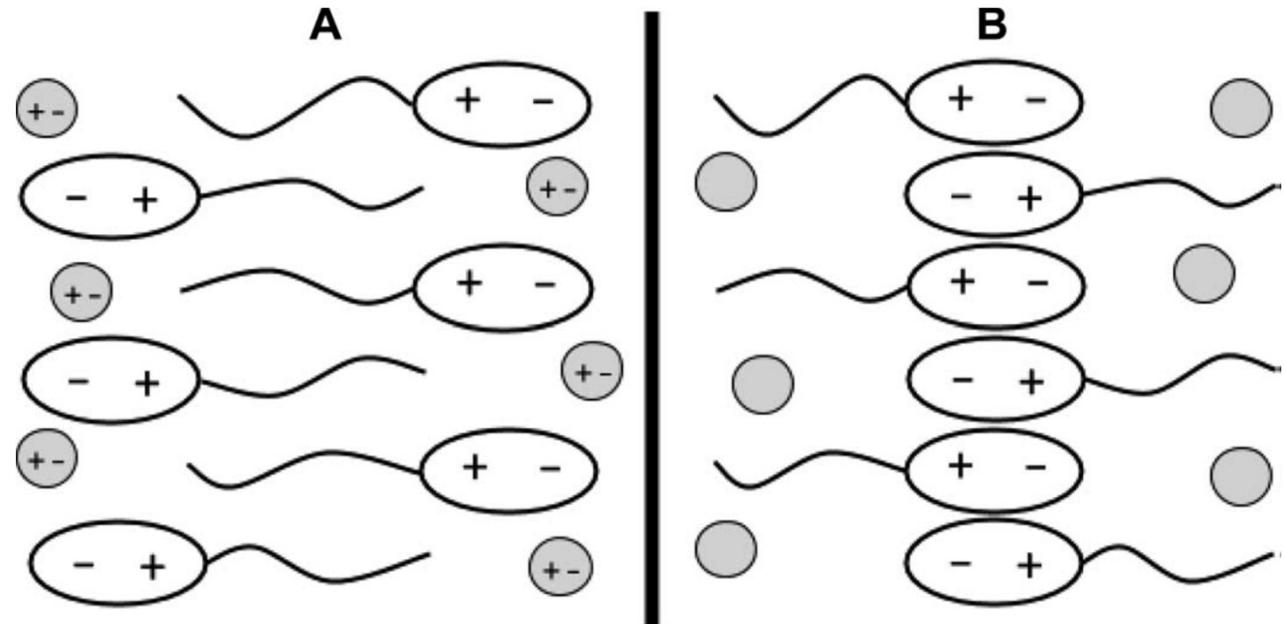
- Tim Huygens menghasilkan gambar kemungkinan gunung berapi ini, dengan dua 'lengan' yang keluar
- Alih-alih memuntahkan lava, gunung ini diyakini memuntahkan campuran metana, amonia, dan air es



## Pentadiyenenitrile ( $\text{HC}_5\text{N}$ ) untuk keperluan Astrobiologi

Liposom adalah membran sel yang ada di Bumi pelarutnya adalah air. Azotosom adalah membran sel yang terbentuk di larutan non polar ( $\text{CH}_4$ ), bagian ekornya akan berikatan dengan kepala yang mengandung nitrogen ( $\text{HC}_5\text{N}$ ).

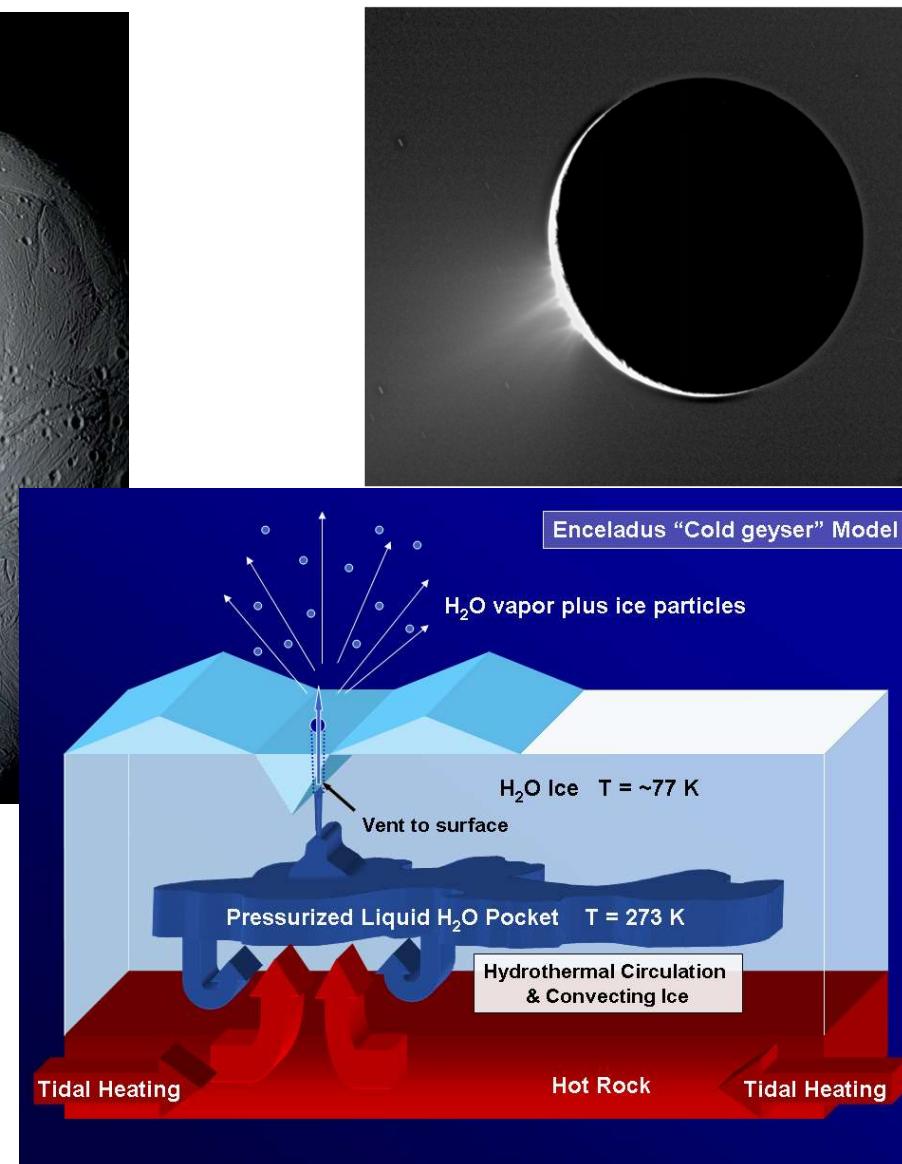
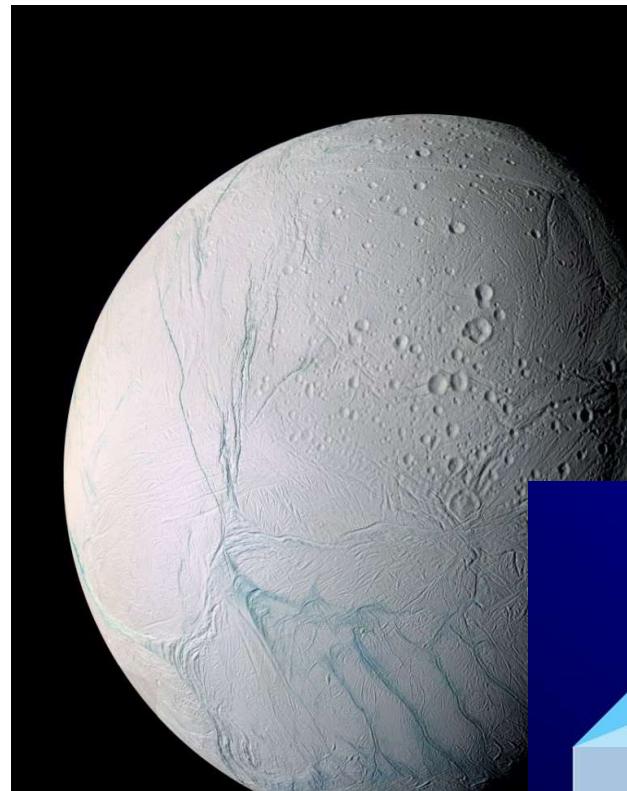
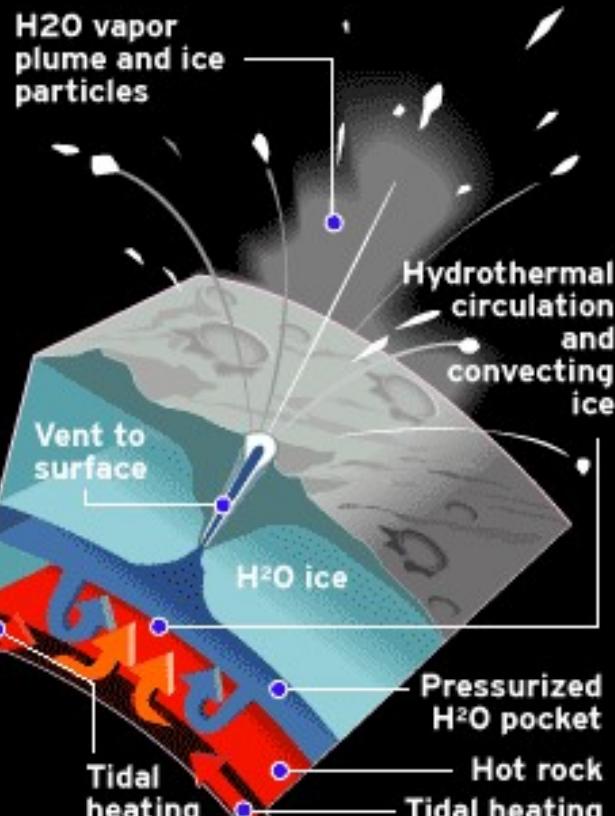
Stevenson et al. (2015)



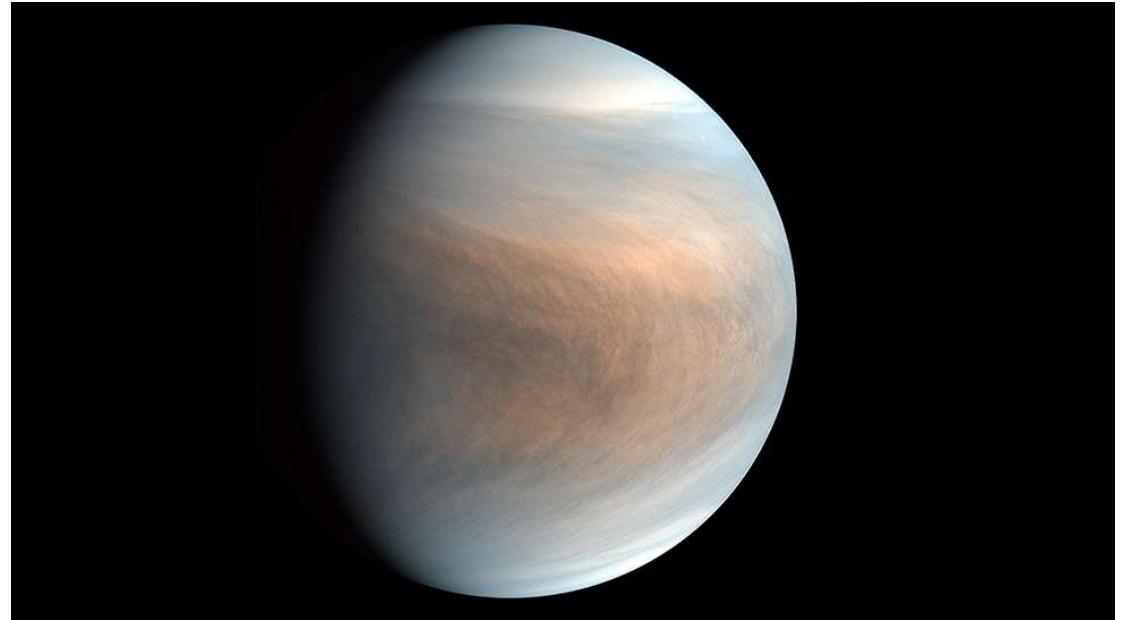
Gambar 12. (A) Liposom (B) Azotosom  
(Stevenson et al. 2015)

## Enceladus erupts

Scientists say subsurface reservoirs of pressurized liquid water could fuel geysers on the Saturnian moon, sending jets of icy material into space.



# Venus

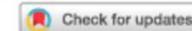


JAXA/ISAS/AKATSUKI PROJECT TEAM

# Venus

Venus tidak berada di urutan teratas dalam daftar planet yang berpotensi memiliki kehidupan di Tata Surya kita. Dibandingkan dengan Bumi, planet ini adalah sangat panas. Dengan 96% atmosfer terdiri dari karbon dioksida, planet ini telah mengalami efek rumah kaca yang tak terkendali. Suhu permukaan seperti di oven pizza – dengan temperatur lebih dari 400 °C.





## Phosphine gas in the cloud decks of Venus

Jane S. Greaves<sup>1,2</sup>✉, Anita M. S. Richards<sup>1,3</sup>, William Bains<sup>4</sup>, Paul B. Rimmer<sup>1,5,6,7</sup>, Hideo Sagawa<sup>1,8</sup>, David L. Clements<sup>9</sup>, Sara Seager<sup>1,4,13,14</sup>, Janusz J. Petkowski<sup>1,4</sup>, Clara Sousa-Silva<sup>1,4</sup>, Sukrit Ranjan<sup>4</sup>, Emily Drabek-Maunder<sup>1,10</sup>, Helen J. Fraser<sup>11</sup>, Annabel Cartwright<sup>1</sup>, Ingo Mueller-Wodarg<sup>1,9</sup>, Zhuchang Zhan<sup>4</sup>, Per Friberg<sup>1,12</sup>, Iain Coulson<sup>12</sup>, E'lisa Lee<sup>12</sup> and Jim Hoge<sup>12</sup>

Measurements of trace gases in planetary atmospheres help us explore chemical conditions different to those on Earth. Our nearest neighbour, Venus, has cloud decks that are temperate but hyperacidic. Here we report the apparent presence of phosphine ( $\text{PH}_3$ ) gas in Venus's atmosphere, where any phosphorus should be in oxidized forms. Single-line millimetre-waveband spectral detections (quality up to  $\sim 15\sigma$ ) from the JCMT and ALMA telescopes have no other plausible identification. Atmospheric  $\text{PH}_3$  at  $\sim 20$  ppb abundance is inferred. The presence of  $\text{PH}_3$  is unexplained after exhaustive study of steady-state chemistry and photochemical pathways, with no currently known abiotic production routes in Venus's atmosphere, clouds, surface and subsurface, or from lightning, volcanic or meteoritic delivery.  $\text{PH}_3$  could originate from unknown photochemistry or geochemistry, or, by analogy with biological production of  $\text{PH}_3$  on Earth, from the presence of life. Other  $\text{PH}_3$  spectral features should be sought, while in situ cloud and surface sampling could examine sources of this gas.

**S**tudying rocky-planet atmospheres gives clues to how they interact with surfaces and subsurfaces, and whether any non-equilibrium compounds could reflect the presence of life. Characterizing extrasolar-planet atmospheres is extremely challenging, especially for rare compounds<sup>1</sup>. The Solar System thus offers important testbeds for exploring planetary geology, climate and habitability, via both in situ sampling and remote monitoring. Proximity makes signals of trace gases much stronger than those from extrasolar planets, but issues remain in interpretation.

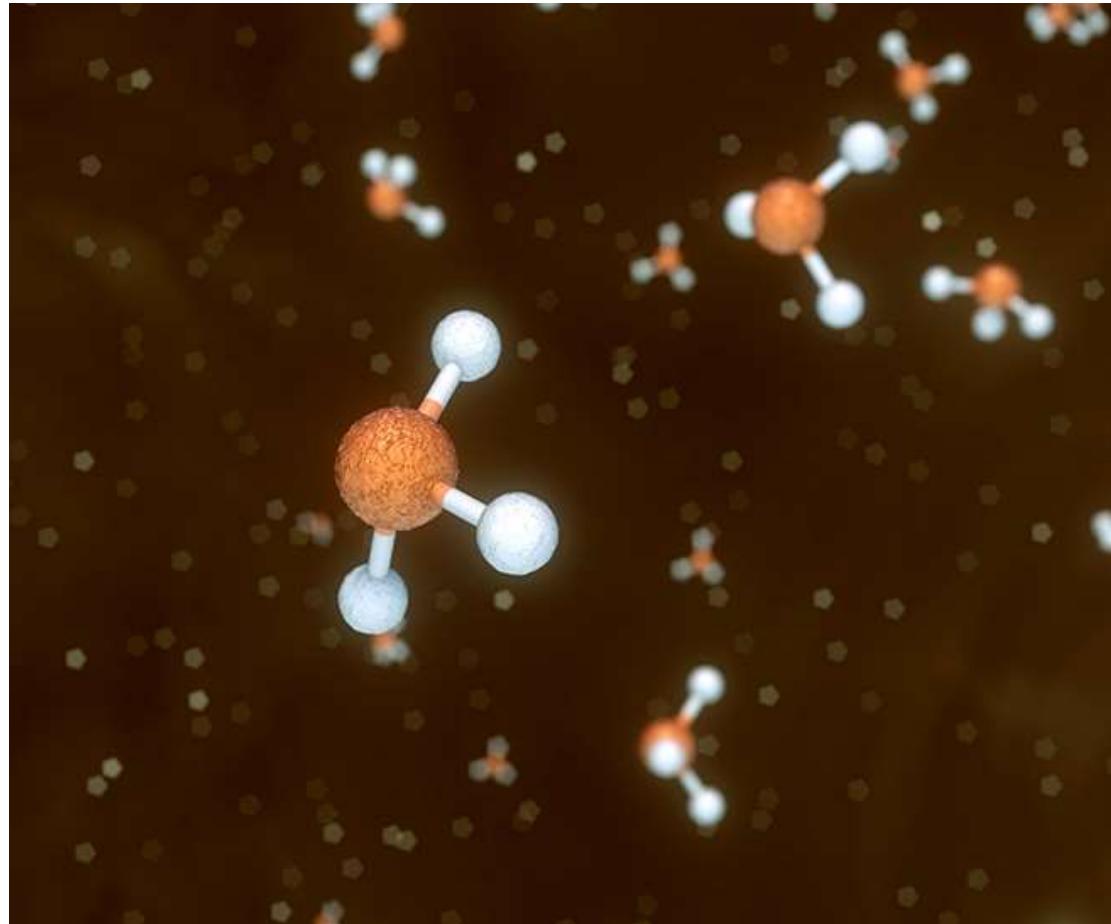
Thus far, Solar System exploration has found compounds of interest, but often in locations where the gas sources are inaccessible such as the Martian subsurface<sup>2</sup> and water reservoirs inside

dredged upwards by convection<sup>14,15</sup>. Solid surfaces of rocky planets present a barrier to their interiors, and  $\text{PH}_3$  would be rapidly destroyed in their highly oxidized crusts and atmospheres. Thus  $\text{PH}_3$  meets most criteria for a biosignature-gas search, but is challenging as many of its spectral features are strongly absorbed by Earth's atmosphere.

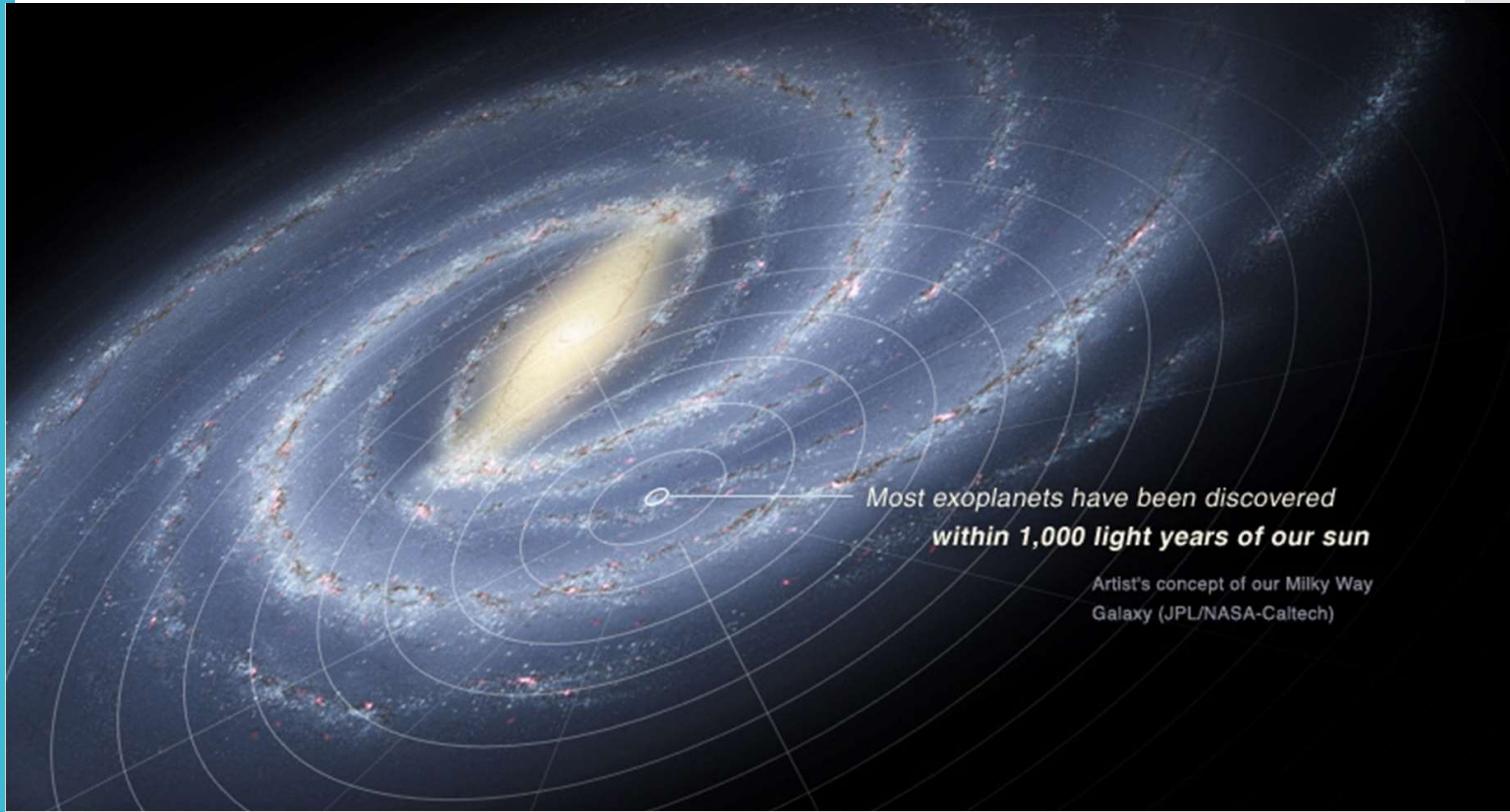
Motivated by these considerations, we exploited the  $\text{PH}_3$  1–0 millimetre-waveband rotational transition that can absorb against optically thick layers of Venus's atmosphere. Long-standing speculations consider aerial biospheres in the high-altitude cloud decks<sup>16,17</sup>, where conditions have some similarity to ecosystems making  $\text{PH}_3$  on Earth<sup>18</sup>. We exploited good instrument sensitivity 25 yr after

Gas itu adalah fosfin - molekul yang terdiri dari satu atom fosfor dan tiga atom hidrogen. Di Bumi, fosfin dikaitkan dengan kehidupan, dengan mikroba yang hidup di usus hewan seperti penguin, atau di lingkungan yang miskin oksigen seperti rawa. Tentu saja, fosfin juga diproduksi oleh industri, tetapi tidak ada pabrik di Venus; dan tentu saja tidak ada penguin. Mengingat semua yang kita ketahui tentang Venus dan kondisi yang ada di sana, belum ada yang mampu menjelaskan jalur abiotik menuju fosfin, pada kelimpahan yang telah terdeteksi. Ini berarti sumber dari kehidupan layak untuk dipertimbangkan.

- Sejauh yang diketahui, di planet berbatu seperti Venus dan Bumi, fosfin hanya dapat dibentuk oleh kehidupan—baik manusia maupun mikroba.
- Digunakan sebagai senjata kimia selama Perang Dunia I, fosfin masih diproduksi sebagai desinfektan untuk pertanian, digunakan dalam industri semikonduktor, dan merupakan produk sampingan yang buruk dari laboratorium shabu.
- Tetapi fosfin juga terbentuk secara alamiah oleh beberapa spesies bakteri anaerob—organisme yang hidup di lingkungan tempat pembuangan sampah yang kekurangan oksigen, tanah rawa, dan bahkan usus hewan.

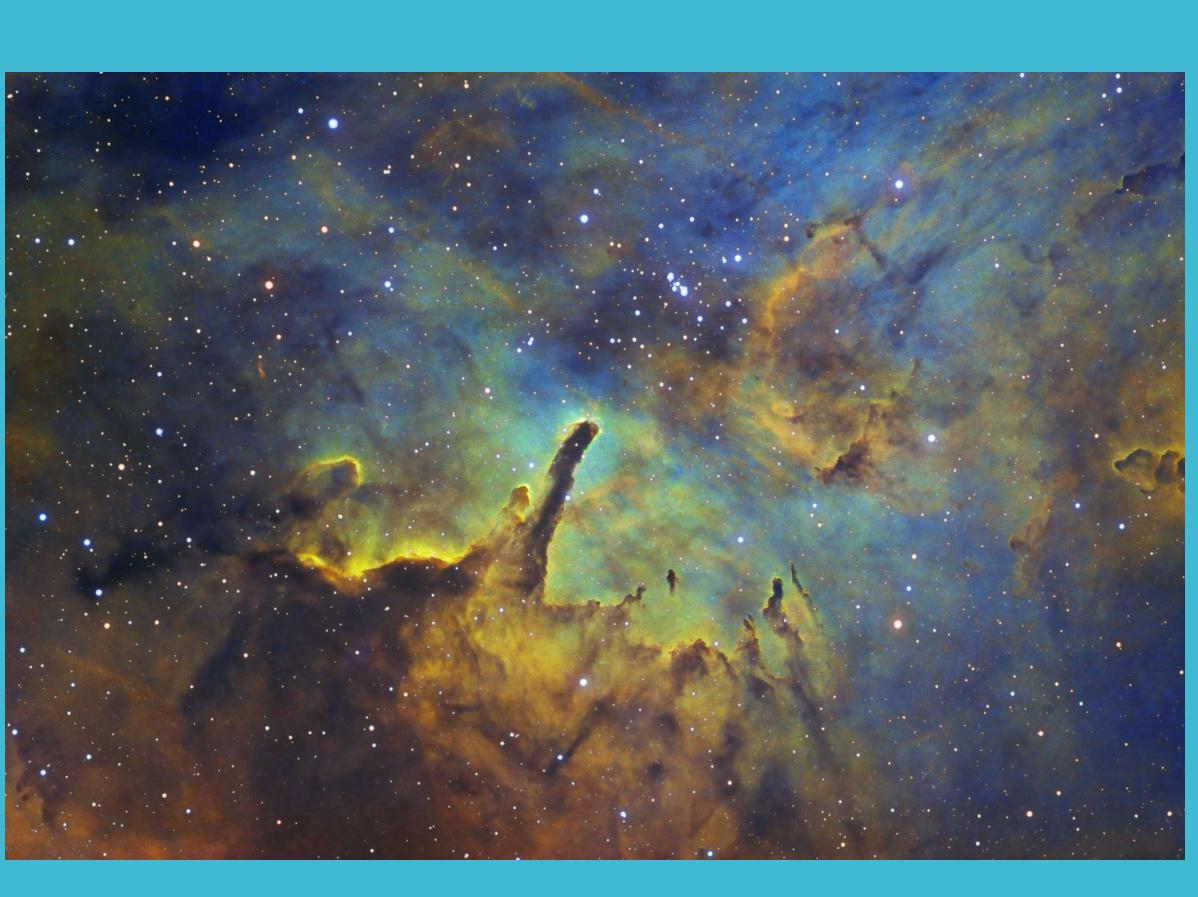


## Kita ada di mana (dalam Bima Sakti)?



- Sekitar 5–10% bintang seperti matahari di daerah tetangga Tata Surya memiliki planet masif
- Kemungkinan 30% atau lebih, memiliki planet dengan massa lebih kecil dan orbit yang lebih jauh
- Jika jumlah ini diekstrapolasi, maka ada miliaran planet di galaksi kita yang sedang menanti ditemukan

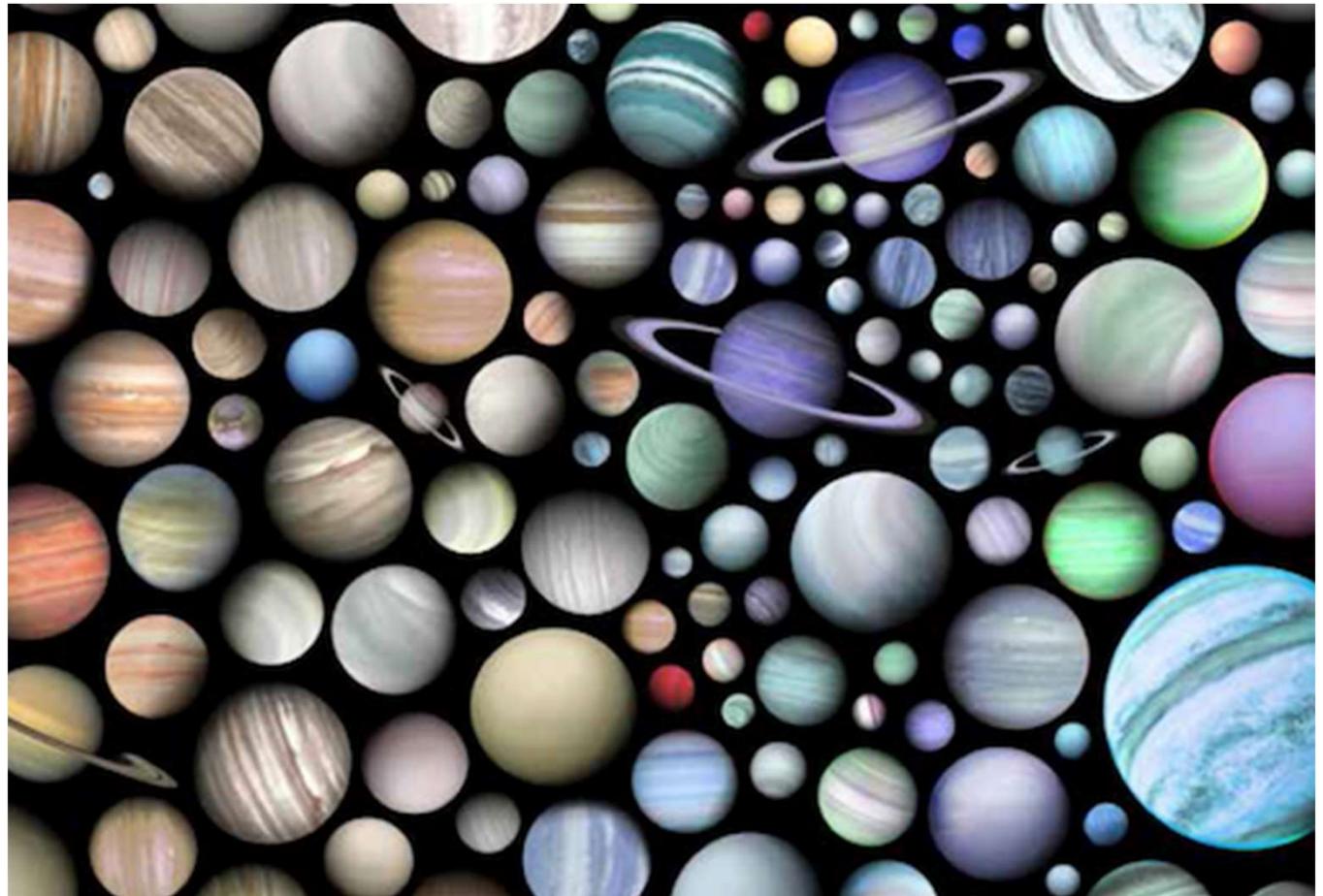
# Pembentukan bintang dan planet



© 2014 Pearson Education, Inc.

## Eksoplanet

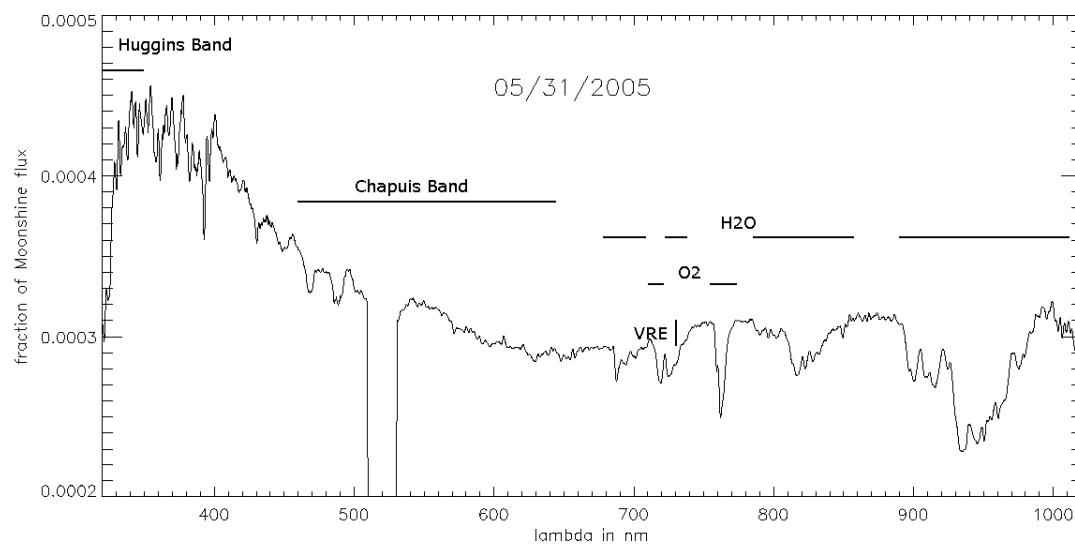
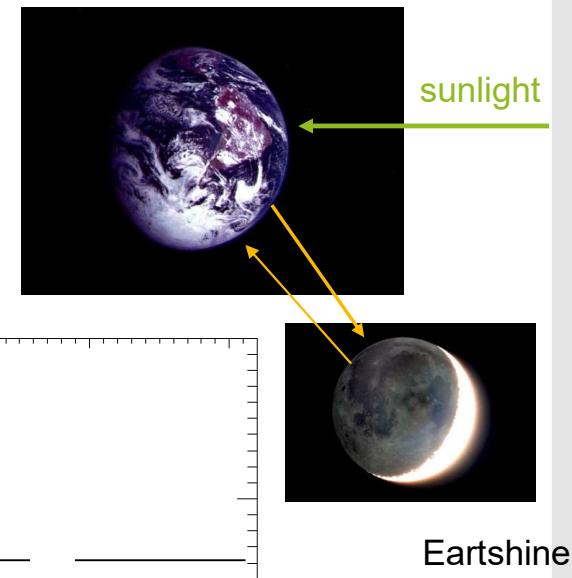
Dalam beberapa dekade terakhir, para astronom telah menemukan berbagai macam eksoplanet, termasuk Jupiter panas, planet mengelilingi pulsar, Bumi super, dan Neptunus panas.



<https://astronomy.com/magazine/2018/07/exoplanets-burst-onto-the-scene>

# Mendeteksi tanda-tanda kehidupan di Eksoplanet

Mendeteksi Kehidupan di Bumi - vegetasi menjadi sangat reflektif dalam inframerah-merah. Mungkin terlihat melalui *Earthshine*?



Sangat sulit untuk “melihat” kehidupan di Bumi, apalagi di eksoplanet!

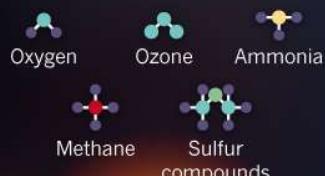
# Pengembangan Teknik Deteksi

## SEARCHING FOR ALIEN LIFE

Astrobiologists are fine-tuning the list of substances that, if spotted on a planet orbiting another star, could constitute evidence of extraterrestrial life.

### LIFE AS WE KNOW IT

One method is to study a star's light for the chemical imprint of gases that may have been formed by living organisms.



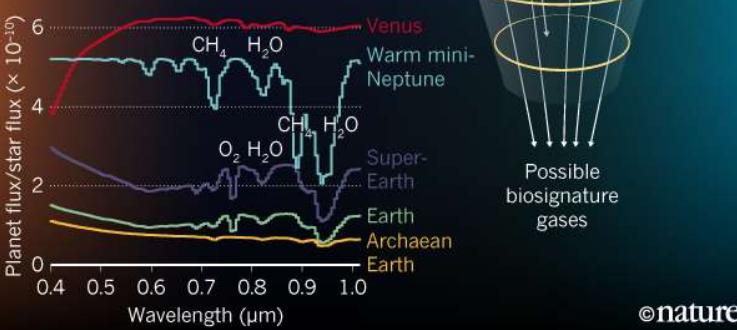
### LIFE AS WE DON'T

Another approach is to evaluate a huge range of molecules, winnowing them down on the basis of factors such as stability and detectability.

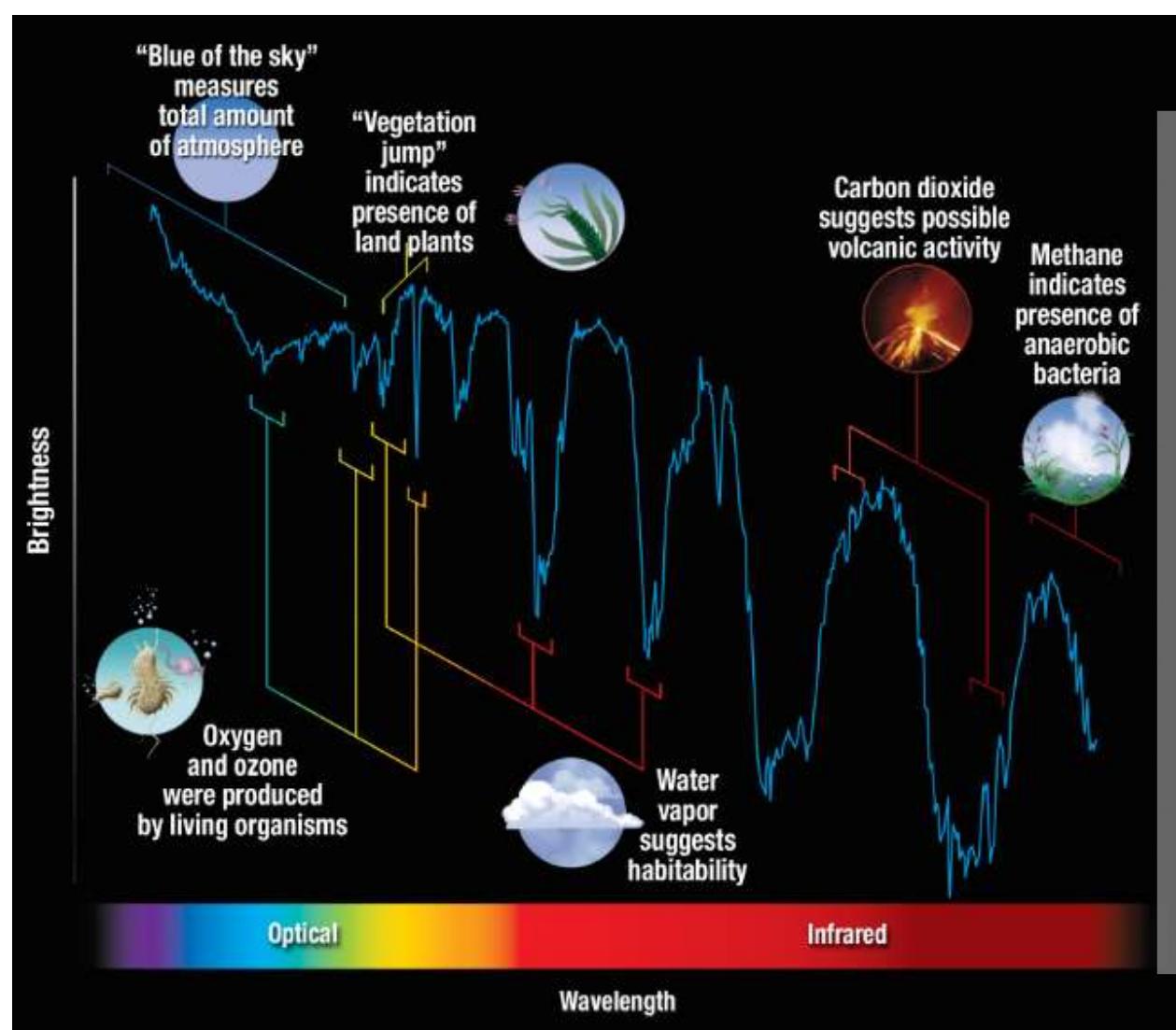
All small molecules



Changes in the starlight transmitted through the planet's atmosphere reveal gases within.

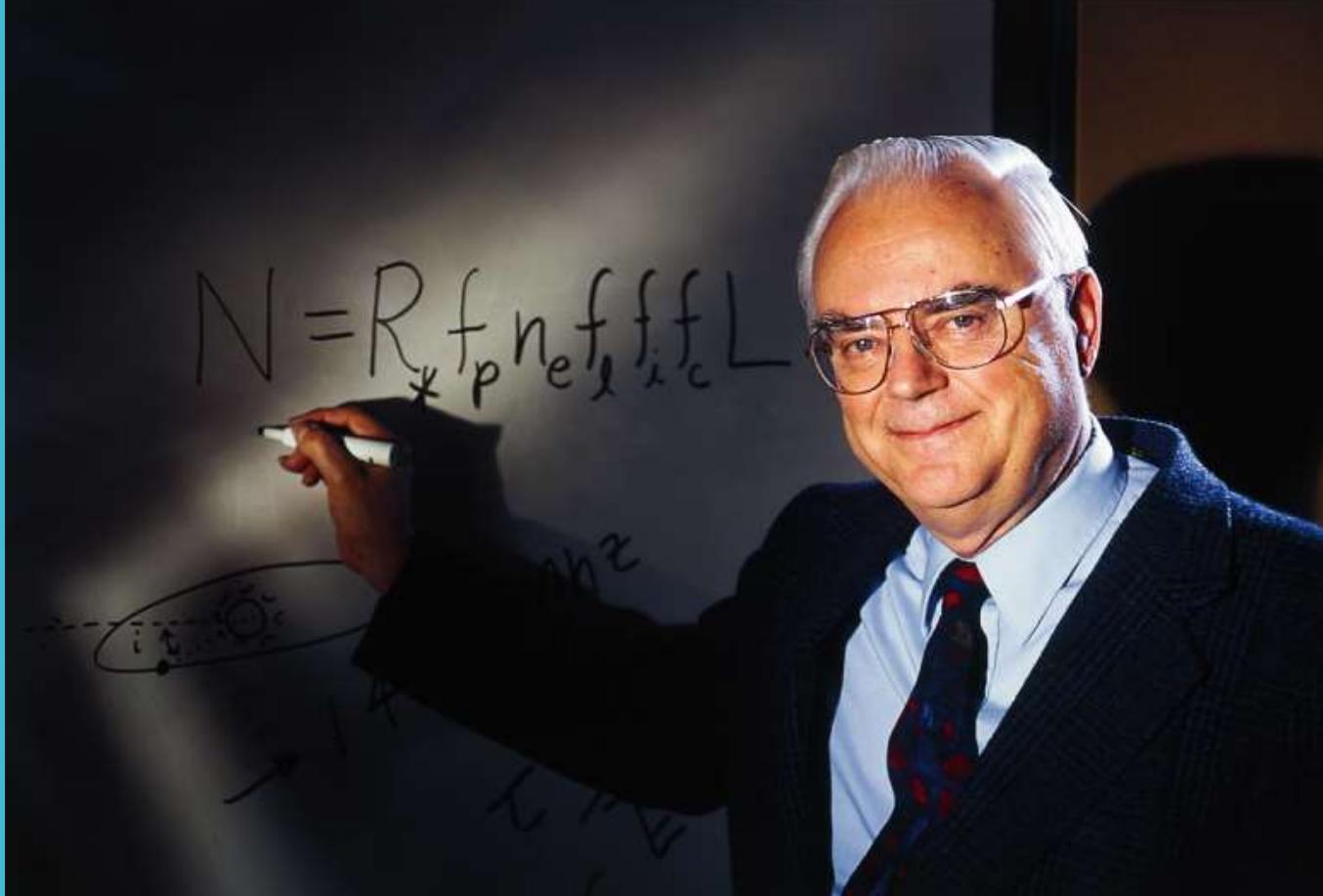


©nature



<https://medium.com/discourse/addendum-on-scaling-up-origins-of-life-research-325c65ed846f>

Adakah  
peradaban  
cerdas di alam  
semesta?



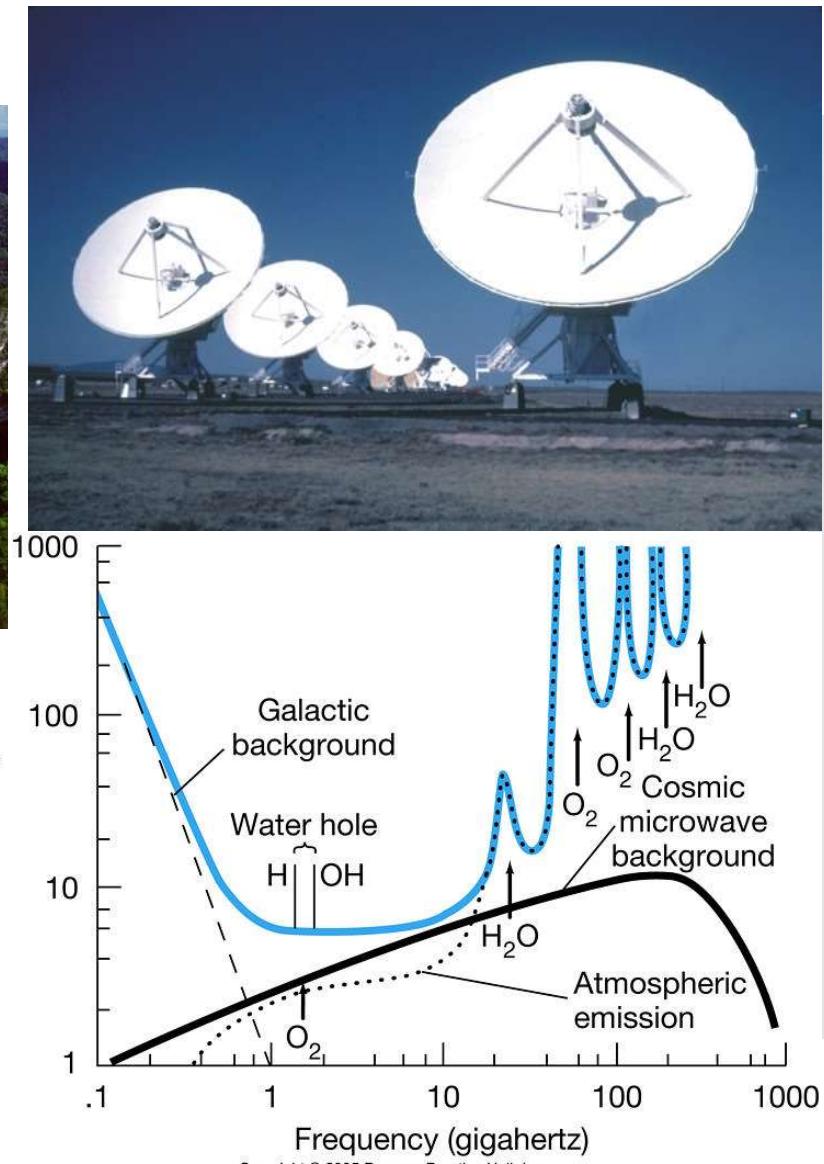
Professor Frank Drake, UCSC (retired)

# SETI (Mencari Kehidupan Cerdas)

## Mencari sinyal radio



Rentang frekuensi radio 1420 MHz (hydrogen) dan pita OH – Mereka yang tertarik mempelajari alam semesta akan mengetahui hal ini





Terima Kasih