

## Astrobiologi

**Rosa M. Ros, Beatriz García, Alex Costa, Florian Seitz,  
Ana Villaescusa, Madelaine Rojas**

International Astronomical Union, Technical University of Catalonia, Spanyol, IteDA dan National Technological University, Argentina, Escola Secundária de Faro, Portugal, Heidelberg Astronomy House, Jerman, Diverciencia in Algeciras, Spanyol, SENACYT, Panama

### Abstrak

Workshop ini secara esensial dibagi menjadi dua bagian. Kebutuhan elemen – elemen kimia untuk kehidupan, studi sederhana dari tabel periodik berkorespondensi pada objektif dari pekerjaan ini dan beberapa konsep dari astrobiologi diperkenalkan.

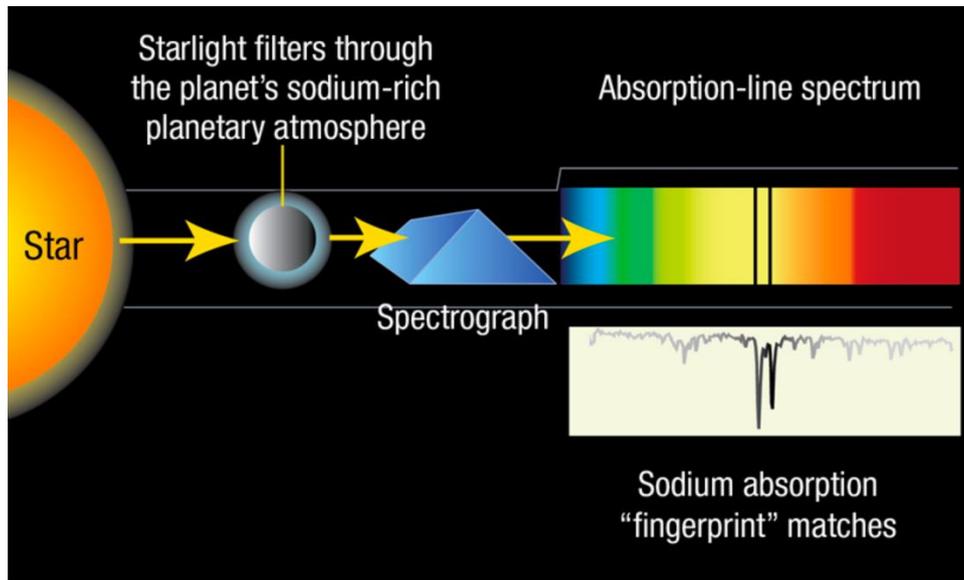
### Tujuan

- Memahami dari mana atau bagaimana elemen – elemen yang berbeda dari tabel periodik muncul.
- Memahami karakteristik utama dari sistem keplanetan di luar Tata Surya.
- Memahami kebutuhan kondisi kelayakan huni untuk perkembangan hidup.
- Mempelajari petunjuk minimum dari kehidupan di luar Bumi.

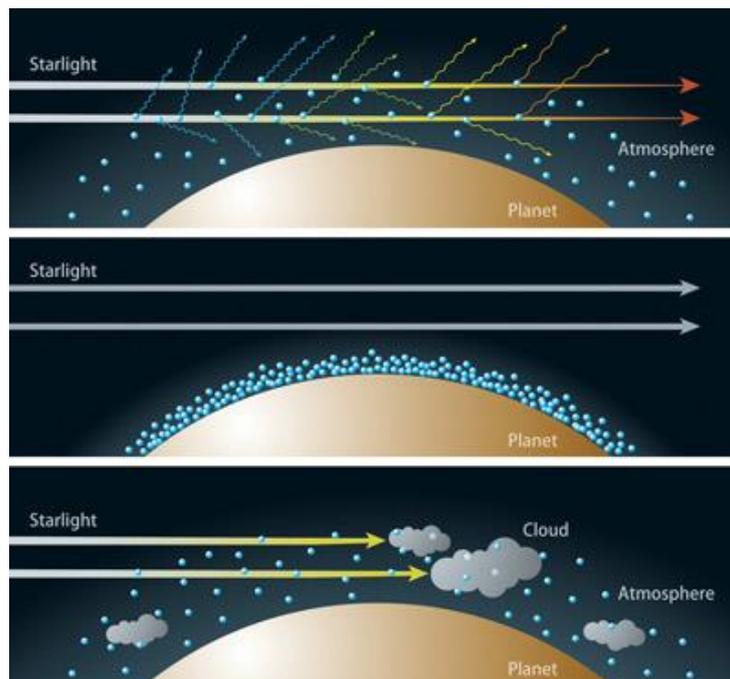
### Pembentukan Sistem Keplanetan

Ketika sebuah bintang terbentuk dari gas dan awan debu, awan sisa di sekitar Bintang membentuk planet. Dengan cara yang sama kita dapat mengetahui komposisi Bintang dengan mempelajari spektrumnya, spektroskopi digunakan untuk menentukan atmosfer dari eksoplanet.

Setiap elemen kimia dan molekul memiliki spektrum yang unik. Pada suatu sistem, sebuah planet akan melewati bagian depan dari Bintang. Cahaya Bintang akan melewati atmosfer planet dan absorpsi akan terjadi. Dengan mengobservasi spektrum cahaya Bintang dari sistem keplanetan di luar Tata Surya, komposisi kimia dari atmosfer planet dapat ditemukan (Gambar 1 dan 2).



Gambar 1. Spektroskopi diterapkan pada studi atmosfer planet HD 209458b, dengan pendeteksian sodium di atmosfernya. Sumber Wikipedia / A. Feild (STSci)



Gambar 2. Bagaimana kita mengetahui bahwa di sana ada air atau molekul – molekul organik dari suatu atmosfer planet? Setiap elemen kimia dan molekul memiliki spektrum yang spesifik dan unik. Dengan membandingkan spektrum cahaya Bintang – Bintang dari sistem eksoplanet kita dapat menemukan komposisi kimia dari atmosfer planetnya, jika akhirnya cahaya melewati atmosfer masing – masing.

Namun, mari kita lihat contoh dari pembentukan sistem keplanetan menggunakan metode keterlibatan peserta dalam model aktif.

## Aktivitas 1: Pembentukan Sistem Keplanetan dari Gas dan Debu

Tema dari aktivitas ini adalah untuk menjelaskan pembentukan Tata Surya atau sistem keplanetan lainnya berdasarkan Hipotesis Nebul Immanuel Kant (1755).

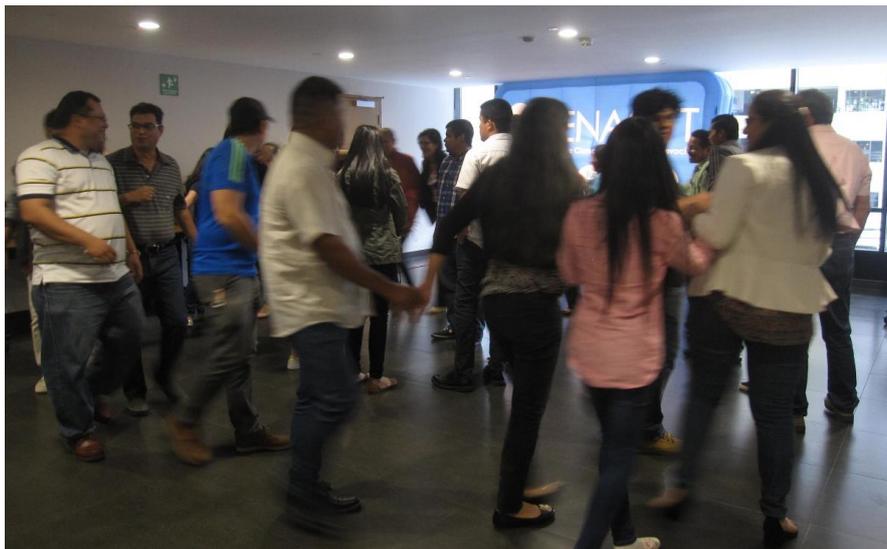
Aktivitas ini terdiri dari pembagian kelas menjadi dua grup yang mana mudah diidentifikasi langsung, contohnya: kelompok perempuan dan laki – laki. (Kriteria lain dapat digunakan, namun ini yang biasanya paling sederhana). Setiap kelompok memiliki peran, kelompok perempuan dapat merepresentasikan gas dan laki – laki merepresentasikan debu (atau sebaliknya). Jika terdapat perbedaan substansi untuk jumlah peserta dari grup yang satu dan lainnya, direkomendasikan bahwa untuk kelompok yang merepresentasikan gas menjadi kelompok dengan jumlah peserta terbanyak dikarenakan selama pembentukan sistem keplanetan, massa gas 100 kali lebih banyak dari massa debu.

Ketika peserta mendengarkan cerita, mereka bereaksi secara dinamis pada apa yang mereka dengar, contohnya:

Tabel 1. Cerita untuk menjelaskan pembentukan dari suatu sistem keplanetan.

<b>Teks Cerita:</b>	<b>Penampilan Peserta:</b>
Dahulu, terdapat awan dengan banyak gas dan sedikit debu.	Semua peserta bergabung dalam suatu awan. Peserta yang merepresentasikan gas lebih banyak. Di dalam awan, semua peserta berpegangan tangan secara acak, membentuk suatu jaringan.
Kemudian, gas mulai berkumpul di pusat awan dan di sekitarnya adalah debu.	Mereka mulai terpisah. Peserta yang merepresentasikan gas berkumpul di pusat dan yang merepresentasikan debu berpegangan tangan di cincin di luar pusat.
Dahulu terdapat banyak pergerakan, partikel gas menarik gas dan partikel debu menarik debu.	Mereka mulai berotasi, berpindah, bertabrakan, bergetar, melompat. Beberapa terlempat ke luar sebagai hasil dari banyaknya pergerakan dan yang lainnya “menyelamatkan” saling tangkap, berpelukan dengan partikel tersebut dengan cara mengidentifikasi (gas dengan gas dan debu dengan debu)
Di pusat telah terbentuk inti yang rapat dan buram, dikelilingi oleh piringan debu dan gas.	Yang berada di pusat (gas) berakumulasi dan di sekitar mereka peserta yang merepresentasikan debu membentuk seperti lingkaran saling berpegangan tangan. Klarifikasi: Tidak semua gas berada di pusat, terdapat gas jarak jauh di luar lingkaran.
Inti ini adalah bagian yang pada akhirnya akan memunculkan Matahari atau Bintang induk dari sistem ekstrasurya.	Matahari atau Bintang induk mulai bersinar sehingga sinarnya harus ditembakkan ke segala arah. Klarifikasi: Ketika Matahari atau Bintang induk mulai bersinar, gas “yang terlepas” mulai menjauh.
Beberapa planet kecil terbentuk dari penyatuan butiran debu yang semakin besar, lalu bebatuan, dan seterusnya.	Peserta yang merepresentasikan debu yang membentuk planet – planet terestrial mulai bersama – sama berkelompok. Klarifikasi: Tidak semua debu tinggal di planet – planet terestrial, melainkan harus terdapat beberapa debu di daerah yang paling jauh.

<p>Planet – planet raksasa terbentuk dari panas Matahari atau Bintang induk tempat awan gas dapat berkumpul tanpa halangan.</p>	<p>Peserta yang tersisa mulai berkumpul bersama membentuk planet – planet raksasa: Terdapat banyak gas dan beberapa debu.  Klarifikasi: Menurunnya temperatur karena semakin besarnya jarak pada Matahari atau Bintang induk adalah sebab dari perbedaan utama antara planet dengan inti batuan dan planet raksasa dengan gas eksternal.</p>
---	--



Gambar 3. Semua peserta bergabung dalam suatu awan. Peserta yang merepresentasikan gas lebih banyak. Di dalam awan, semua peserta berpegangan tangan secara acak, membentuk suatu jaringan.



Gambar 4. Mereka mulai terpisah. Peserta yang merepresentasikan gas berkumpul di pusat dan yang merepresentasikan debu berpegangan tangan di cincin di luar pusat.



Gambar 5. Peserta yang merepresentasikan debu yang membentuk planet terestrial mulai berkelompok.



Gambar 6. Peserta yang tersisi muali berkumpul dan membentuk planet – planet raksasa: Terdapat banyak gas dan beberapa debu.

## Aspek Kimia dari Evolusi Bintang

Tabel periodik ini memungkinkan kita untuk menyadari bahwa elemen – elemen yang membentuk kita telah tercipta dalam evolusi Bintang.

Elements which were produced in the first minutes after the Big Bang  
 Elements which were forged in the interior of stars  
 Elements appearing in supernova explosions  
 Man-made elements in the laboratory

1																	2
H																	He
3	4											5	6	7	8	9	10
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
11	12											13	14	15	16	17	18
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Cb	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
55	56		72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
Cs	Ba		Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
87	88		104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118
Fr	Ra		Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fi	Mc	Lv	Ts	Og
57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71			
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu			
89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103			
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr			

Gambar 7. Tabel periodik dari sudut pandang evolusi Bintang

Pada tabel periodik (Gambar 7) elemen – elemen yang berbeda diklasifikasikan sebagai berikut:

- 1) Elemen – elemen terbentuk pada menit – menit pertama setelah Big Bang. Awalnya, alam semesta pada dasarnya berkomposisi atom paling sederhana: Atom Hidrogen. Beberapa waktu kemudian, hal ini memunculkan elemen yang sedikit lebih terelaborasi seperti Helium, Lithium, dan Berilium.
- 2) Elemen – elemen yang terbentuk di pusat Bintang oleh nukleosintesis merupakan elemen yang lebih berat, seperti Boron, Karbon, Nitrogen, Oksigen, Fluor, Neon, Natrium, Magnesium, Aluminium, Silikon, Fosfor, Belerang, Klorin, Argon, Kalium, Kalsium, Skandium, Titanium, Vanadium, Kromium, Mangan, dan Besi.
- 3) Elemen – elemen terberat terbentuk di dalam ledakan supernova besar yang menyusun sisa tabelnya. Beberapa di antaranya tidak stabil namun dapat dibentuk di laboratorium.
- 4) Elemen – elemen sintetik diproduksi oleh manusia di laboratorium dan tidak ditemukan di alam.

## Aktivitas 2: Klasifikasi Element – Elemen pada Tabel Periodik

Di bawah ini adalah daftar objek – objek yang harus diklasifikasikan berdasarkan tiga tingkatan dalam tiga keranjang:

1. Elemen – elemen yang dihasilkan pada menit – menit pertama setelah Big Bang (Keranjang biru)
2. Elemen – elemen yang dihasilkan di dalam Bintang (Keranjang kuning)
3. Elemen – elemen yang muncul di dalam ledakan supernova (Keranjang merah)

Perlu untuk meletakkan di dalam salah satu dari tiga keranjang (biru, kuning, dan merah) setiap objek dari daftar berikut, berdasarkan konstitusinya:

Tabel 2 Objek – objek untuk diklasifikasikan.

Cincin: Emas Au	Mata bor yang dilapisi dengan: Titanium Ti	Gas di dalam balon anak – anak: Helium He	Penghapus pulpen: Nikel Ni
Baterai ponsel / tombol: Litium Li	Busi mobil: Platinum Pt	Kawat tembaga listrik: Tembaga Cu	Larutan Iodium: Iodium I
Botol air H <sub>2</sub> O: Hidrogen H	Panci masak usang: Aluminium Al	Ujung pensil hitam: Grafit C	Sulfur pada agrikultur: Sulfur S
Kaleng minuman bersoda: Aluminium Al	Jam tangan: Titanium Ti	Medali: Silver Ag	Pipa air tua: Timbal Pb
Rautan pensil: Seng Zn	Paku tua yang berkarat: Besi Fe	Termometer: Gallium Ga	Kotak korek api: Fosfor P



Gambar 8. Klasifikasi benar. Pada daerah biru: baterai ponsel atau tombol: Litium, Botol air H<sub>2</sub>O: Hidrogen, Gas di dalam balon anak – anak: Helium. Pada daerah kuning: Kaleng minuman bersoda: Aluminium Al, Botol air H<sub>2</sub>O: Oksigen O. Mata bor yang dilapisi dengan: Titanium Ti, panci masak usang: Aluminium Al, Jam tangan Titanium Ti, paku tua berkarat: Besi Fe, Ujung pensil hitam: Grafit C, Sulfur dalam agrikultur: Sulfur S, Kotak korek api: Fosfor P. Pada daerah merah: Kawat tembaga elektrik: Tembaga Cu, Busi: Platinum Pt, Cincin: Emas Au, Medali: Silver Ag, Termometer: Gallium Ga, Rautan pensil: Seng Zn, Penghapus pulpen: Nikel Ni, Larutan Iodium: Iodium I, Pipa air tua: Timbal Pb.

### Aktivitas 3: Anak – anak para Bintang

Elemen – elemen kimia yang dianggap esensial untuk kehidupan memiliki karakteristik – karakteristik berikut:

- Ketidak-cukupan elemen menyebabkan defisiensi fungsional (bersifat *reversible* atau dapat dibalik ketika kembali dalam konsentrasi yang sesuai).
- Ketika organisme kekurangan elemen ini, ia tidak tumbuh atau menyelesaikan siklus hidupnya.
- Elemen tersebut secara langsung mempengaruhi organisme dan terlibat dalam proses metabolismenya.
- Efek dari elemen ini tidak dapat digantikan oleh elemen lainnya.

Di bawah ini merupakan daftar unsur – unsur hayati yang ada pada manusia yang disusun berdasarkan kelimpahannya.

- Elemen – elemen yang melimpah: Oksigen, Karbon, Hidrogen, Nitrogen, Kalsium, Fosfor, Potasium, Sulfur, Sodium, Klorin, Besi, dan Magnesium.
- Elemen – elemen jejak: Flour, Seng, Tembaga, Silikon, Vanadium, Mangan, Iodium, Nikel, Milibdenum, Kromium, dan Kobalt.

Element – Elemen yang Melimpah			Element – Elemen Jejak										Element – Elemen yang Esensial				
H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac															

Gambar 9. Tabel periodik dari element – elemen esensial untuk kehidupan

Tidak semua makhluk hidup memiliki proporsi yang sama dari elemen – elemen yang esensial. Gambar 9 menyoroti elemen – elemen esensial serta beberapa yang dapat dikenali seperti: Litium, Kadmium, Arsen, dan Timah.

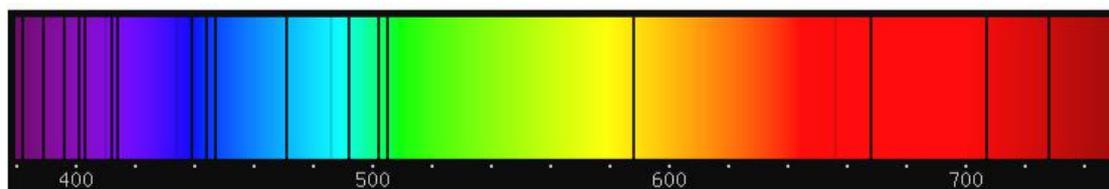
Membandingkan tabel periodik dari Gambar 7 dan 9, kamu dapat melihat semua elemen – elemen utama (kecuali Hidrogen) telah diproduksi di dalam Bintang. Tanpa elemen – elemen yang lebih berat yang diciptakan oleh evolusi Bintang, kita tidak bisa ada. Mengenai unsur – unsur yang muncul hanya sebagai jejak, terdapat beberapa yang telah terbentuk di dalam Bintang dan yang lainnya dalam ledakan supernova. Namun, sebagian besar muncul dari reaksi sintesis inti pada pusat Bintang: Kita adalah anak dari Bintang – Bintang! Kita terbuat dari debu Bintang!!

Meskipun hal ini bukan merupakan tujuan utama dalam lokakarya ini, ia akan menjadi latihan yang baik untuk membuat tabel periodik yang menetapkan objek sehari – hari untuk setiap elemen dan/atau percobaan yang melibatkan elemen tersebut. Hal ini akan mengarahkan kepada pemahaman yang lebih baik dari tabel periodik oleh para siswa.

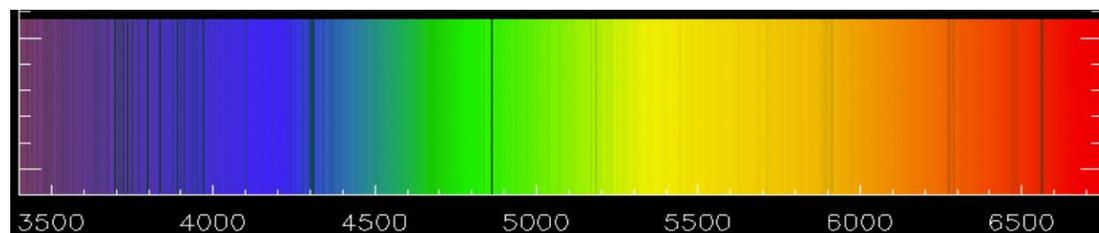
## Matahari bukan Bintang generasi pertama

Bintang generasi pertama secara esensial merupakan hidrogen dan helium dari Big Bang (dan beberapa helium yang telah dihasilkan sendiri). Bintang yang meliputi elemen – elemen yang lebih berat terbentuk dari awan awal yang berisi sisa ledakan supernova. Ledakan supernova menciptakan elemen – elemen yang lebih berat oleh reaksi fusi. Contohnya, spektrum Matahari yang memiliki sekumpulan garis natrium yang berbeda yang menunjukkan bahwa karena massa dan keadaan evolusinya yang kecil, ia tidak dapat menjadi Bintang generasi pertama. Natrium tidak dapat dibangkitkan oleh Matahari. Sebagai tambahan, pada planet – planet di Tata Surya, banyak elemen yang muncul setelah ledakan supernova terdeteksi. Hal itu merupakan teori yang masuk akal di mana Matahari terbentuk dari awan awal yang merupakan sisa dari setidaknya dua ledakan supernova. Oleh karena itu, Matahari dapat dianggap sebagai Bintang generasi ketiga.

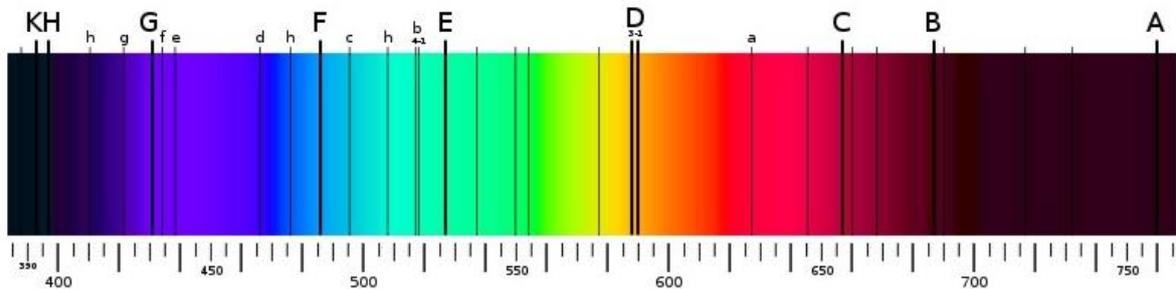
Mari kita lihat beberapa contoh spektrum yang ditunjukkan di bawah ini: Spektrum dari Bintang generasi pertama di mana hanya garis – garis dari elemen – elemen primitif yang dapat terlihat (Gambar 10). Spektrum Matahari dengan garis natrium yang telah disebutkan terlihat jelas (Gambar 12).



Gambar 10. Spektrum Bintang generasi pertama (kesan artis). Bintang – Bintang ini sebagian besar memiliki bersifat puluhan atau ratusan kali lebih masif dibandingkan dengan Matahari. Mereka hidup cepat, mati muda, dan tidak bertahan sampai hari ini. Hanya akan ada garis spektrum Hidrogen, Helium, dan sedikit Litium.



Gambar 11. Spektrum dari SMSS J031300.36-670839.3, Bintang generasi kedua yang hanya menunjukkan garis – garis Hidrogen dan Karbon.

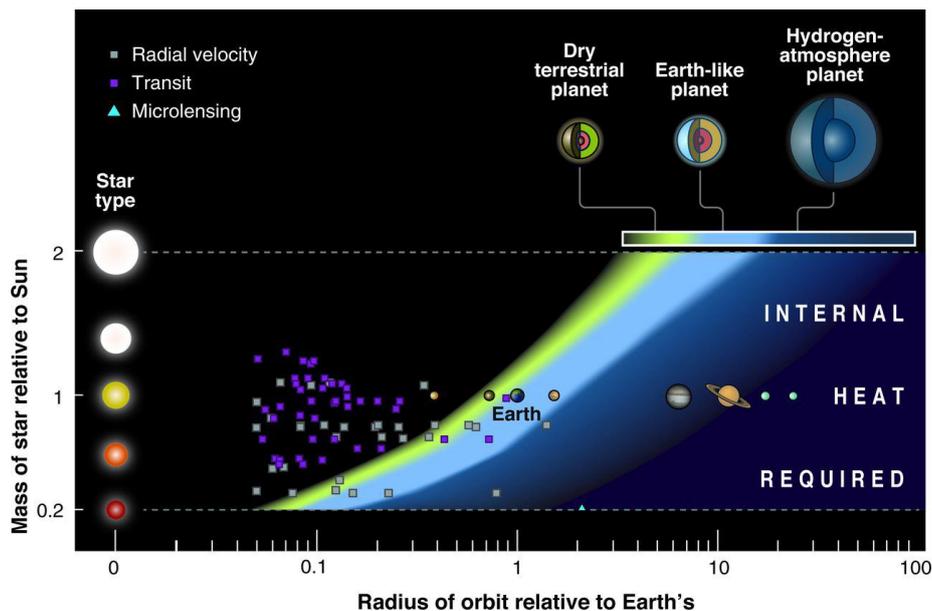


Gambar 12. Spektrum Matahari. Dengan banyak garis spektrum dari berbagai elemen dan di antaranya Natrium (ditandai dengan huruf tebal).

## Zona kelayak-hunian

Ketika kita berbicara tentang kehidupan, biasanya diasumsikan bahwa ini merupakan bentuk kehidupan berbasis karbon dan karenanya kriteria utama untuk hunian didefinisikan, yang mana merupakan adanya air dalam bentuk liquid. Daerah di sekitar Bintang di mana aliran dari radiasi pada permukaan planet batuan (atau satelit) akan memungkinkan adanya air dalam bentuk liquid disebut zona kelayak-hunian Bintang. Hal itu biasanya terjadi pada objek (atau pada permukaan objek dengan massa) antara 0,5 – 10  $M_t$  dan dengan temperatur atmosfer lebih besar dari 6,1 mbar, sesuai dengan titik tripel air pada temperatur 273,16 K (ketika air berdamangan dalam bentuk es, liquid, dan gas).

Zona kelayak-hunian bergantung pada massa Bintang. Jika massa Bintang meningkat, temperatur dan kecerlangannya pun akan meningkat, oleh karena itu zona kelayak-hunian semakin menjauh.



Gambar 13. Zona kelayak-hunian ditentukan dari Bintang induknya.

Sebuah planet yang berada di zona layak huni tidak berarti di sana pasti ada kehidupan. Contohnya, di Tata Surya kita, zona layak huni mencakup Bumi dan Mars, namun dari keduanya hanya Bumi yang diketahui memiliki kehidupan. Zona layak huni untuk Tata Surya adalah antara 0,84 AU dan 1,67 AU. Venus berada pada jarak 0,7 AU dengan efek rumah kaca yang tak terkendali dan juga Mars berada pada jarak 1,5 AU tanpa adanya air permukaan, namun di sana kemungkinan bisa terdapat air yang membeku di bawah tanah.

Selain keberadaan air permukaan cair terdapat pula kondisi – kondisi lain untuk planet layak huni. Mari kita lihat secara lebih detilnya yang paling penting:

**Jarak orbital** dari planet yang menempatkannya di zona layak huni adalah kondisi yang diperlukan namun tidak cukup bagi sebuah planet untuk dapat menerima kehidupan. Contoh: Venus dan Mars.

Satu faktor yang secara meyakinkan mempengaruhi kelayak-hunian adalah **massa planet**. **Hal ini harus cukup besar** sehingga gravitasinya memungkinkan untuk menahan atmosfer. Itu merupakan alasan utama mengapa Mars tidak layak huni saat ini, ia kehilangan sebagian besar dari atmosfernya dan semua air permukaan cair yang dimilikinya dalam miliar tahun pertama.

Dalam beberapa kasus, hal itu mungkin terjadi meskipun planet – planet tidak berada di zona layak huni, faktor – faktor yang diperlukan untuk keberadaan suatu jenis kehidupan mungkin ada, baik pada planet itu sendiri atau beberapa dari Bulannya. Ini bisa menjadi kasus untuk beberapa Bulan Saturnus atau Jupiter.

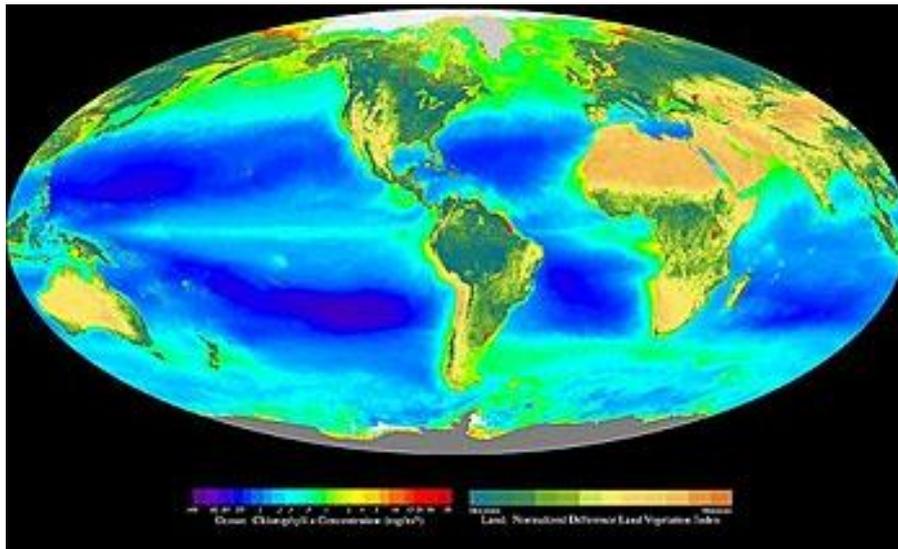
## Astrobiologi Pendahuluan: Proses Pembentukan Atmosfer Bumi

Pengetahuan tentang fotosintesis penting untuk memahami hubungan dari makhluk hidup dan atmosfer, serta untuk memahami keseimbangan kehidupan di Bumi, memberikan dampak besar yang ditimbulkannya pada atmosfer dan iklim Bumi.

Fotosintesis merupakan suatu proses fisikokimia di mana tumbuhan, alga, dan bakteri fotosintetik tertentu menggunakan energi sinar Matahari untuk menyintesis senyawa organik. Hal ini merupakan proses dasar untuk kehidupan di Bumi dan memiliki dampak yang besar pada atmosfer dan iklim Bumi: Setiap tahun organisme dengan kapasitas fotosintesis mengonversi lebih dari 10% CO<sub>2</sub> atmosfer menjadi karbohidrat. Hal ini berarti bahwa meningkatnya konsentrasi CO<sub>2</sub> atmosfer yang dibangkitkan oleh aktivitas manusia memiliki dampak besar pada fotosintesis. Dari sudut pandang evolusi, kemunculan fotosintesis oksigenik (yang menghasilkan oksigen) adalah revolusi nyata bagi kehidupan di Bumi: Ia mengubah atmosfer Bumi dengan memperkayanya, sebuah fakta yang memungkinkan munculnya organisme yang menggunakan oksigen untuk hidup.

Fotosintesis Oksigenik	Fotosintesis Anoksigenik
$H_2O \rightarrow 2 H^+ + 2 e^- + 1/2 O_2$	$H_2S \rightarrow 2 H^+ + 2 e^- + S$

Gambar 14. Fotosintesis oksigenik dan anoksigenik.



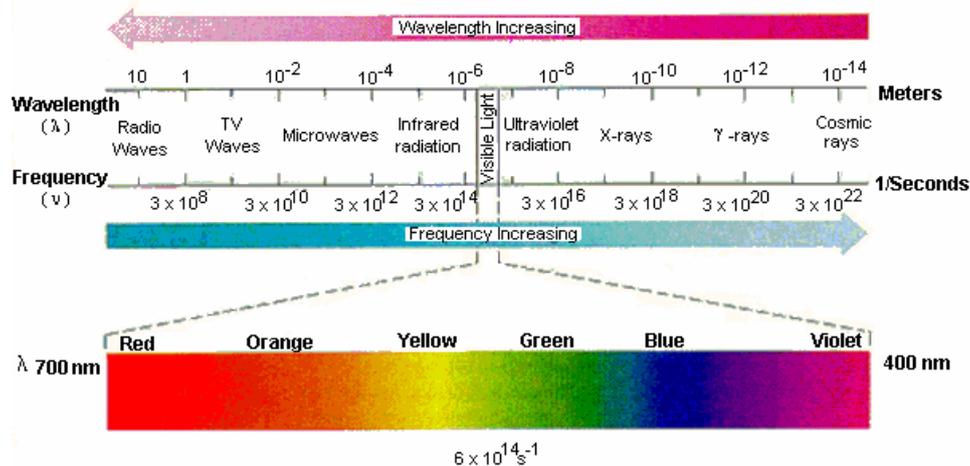
Gambar. 15: Gambar menunjukkan distribusi fotosintesis pada Bola Bumi yang dibawa oleh fitoplankton lautan dan vegetasi darat.

Berbagai hal seperti yang tidak kita ketahui sekarang; evolusi Bumi, evolusi atmosfer purba, evolusi metabolisme purba, rangkaian kejadian pada bakteri fototropik yang menggunakan cahaya sebagai sumber energi namun menghasilkan sulfur (disebut sebagai fotosintesis anoksigenik, yaitu fotosintesis yang tidak menghasilkan oksigen). Selanjutnya, fotosintesis oksigenik muncul di Bumi. Fotosintesis ini melepaskan oksigen ke atmosfer, meningkatkan konsentrasinya dan memungkinkan sebuah kejadian besar seperti yang kita ketahui saat ini. Dapat dikatakan bahwa atmosfer primitif planet kita hampir tidak mengandung jejak oksigen. Tetapi kehidupan tetap ada. Pada udara yang kita hirup sekarang, dengan 21% oksigen, adalah produk aktivitas biologi Bumi dan sangat berbeda dari atmosfer primitif Bumi.

## Proses pembentukan bahan organik. Mengapa tumbuhan berwarna hijau?

Kehidupan di planet kita dipertahankan oleh proses fotosintesis ganggang dan beberapa bakteri yang terjadi di lingkungan akuatik dan tumbuhan yang terjadi di lingkungan kering (pada permukaan Bumi). Semuanya mempunyai kapasitas untuk menyintesis bahan organik (penting untuk penyusun makhluk hidup) yang dimulai dari cahaya dan bahan anorganik. Faktanya, setiap tahun fotosintesis makhluk hidup mengikat sekitar 100 miliar ton karbon dalam bentuk bahan organik.

Langkah pertama untuk mengkonversi energi cahaya menjadi bahan kimia bergantung pada molekul yang disebut pigmen fotosintesis. Kata ‘pigmen’ digunakan untuk mendeskripsikan molekul yang mempunyai kemampuan untuk menangkap energi dari foton (eksitasi elektron dari tingkat energi dalam atom; sebuah molekul yang “tereksitasi oleh cahaya”). Semua pigmen biologi secara selektif menyerap panjang gelombang cahaya tertentu sambil memantulkan panjang gelombang yang lain.



Gambar. 16: Spektrum cahaya tampak

Cahaya Matahari tersusun dari warna-warna yang berbeda; masing-masing mempunyai panjang gelombang berbeda dengan rentang antara 400 sampai 700 nm. Klorofil menyerap energi cahaya merah dan biru tapi tidak menyerap energi cahaya hijau. Warna hijau dipantulkan oleh daun dan mata kita melihatnya sebagai warna hijau.

## Aktivitas 4: Produksi oksigen dari $\text{CO}_2$ menggunakan fotosintesis atau fungsi klorofil

Pada proposal percobaan ini, kita menggunakan daun tumbuhan untuk menghasilkan oksigen dari sodium bikarbobat, karbon dan cahaya lampu. Kita akan menggunakan dua gelas transparan yang di dalamnya diletakkan filter biru dan merah.

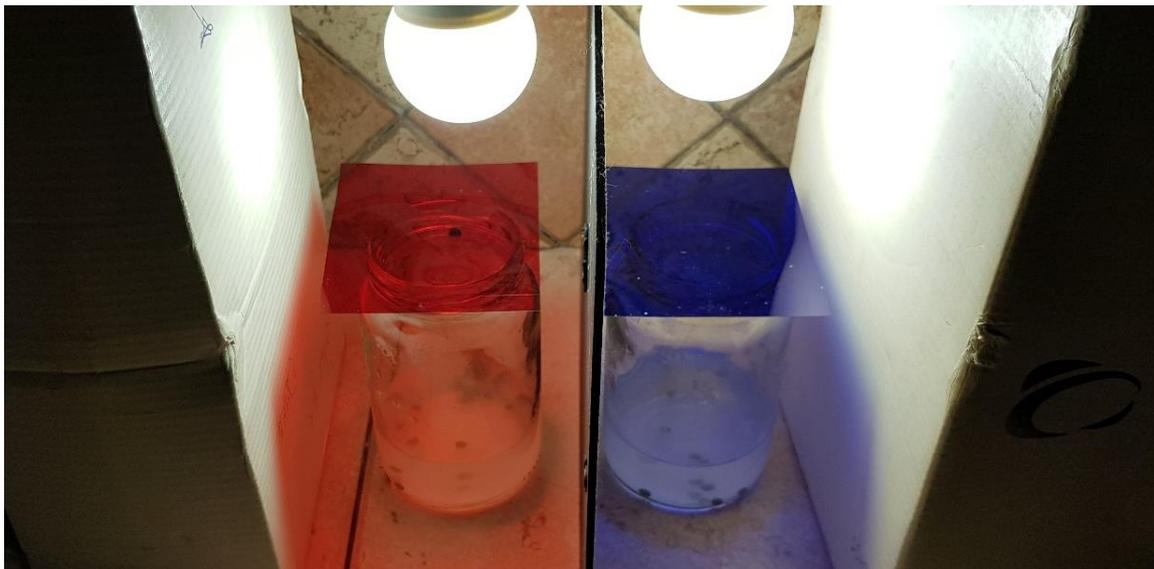
Daun sayuran hijau harus segar, konsisten dan hijau sepenuhnya, jadi disarankan untuk menggunakan bayam atau daun bit. Dengan bantuan pelubang kertas, kita akan memotong piringan lembaran yang seragam (hitung untuk mendapatkan 10 piringan per botol, hindari area pada tulang rusuk tengah).

Kita akan menyiapkan 25% larutan sodium bikarbonat, yaitu 25 g bikarbonat per 1 liter air, dengan tujuan untuk meresapi piringan dari daun. Kita berharap untuk meningkatkan jumlah karbon yang tersedia dalam bentuk sodium bikarbonat yang membuat fenomena yang kita amati lebih terlihat dan lebih cepat. Kita letakkan 20 ml larutan sodium bikarbonat dalam setiap botol gelas.

Kita lepas *plunger* dari jarum suntik sekali pakai ukuran 10 ml dan letakkan piringan tadi, kemudian tempatkan *plunger* dan isap 10 ml larutan bikarbonat hingga piringan tersuspensi di dalam larutan.

Kita harus mengganti udara dalam piringan dengan larutan bikarbonat. Untuk mencapai ini, tutup ujung jarum suntik dengan jari dan hisap dengan kuat, coba untuk membuat keadaan vakum kemudian lepaskan. Di ruang internal jaringan tumbuhan, udara akan digantikan oleh larutan bikarbonat: dengan cara ini, piringan tidak akan mengapung dalam larutan bikarbonat, dan larutan akan menjadi sumber karbon dan dekat dengan struktur fotosintesis daun.

Kita letakkan piringan daun pada setiap botol kaca (yang mengandung 25% larutan bikarbonat). Tutup salah satu botol dengan kertas aluminium dan tutup botol yang satunya lagi dengan kertas plastik berwarna. Pasang lampu di atas setiap botol (dengan kertas yang melapisinya), jadi berkas cahaya mempengaruhi sampel yang akan dipelajari: kedua lampu terletak pada jarak yang sama (dibutuhkan satu lampu pada masing-masing botol) dengan daya yang sama, tidak kurang dari 70 W: lampu tersebut dapat berupa sumber yang berpendar, penggunaan LED lebih disarankan; hindari lampu pijar, seperti lampu halogen, karena lampu halogen melepaskan energi dalam bentuk panas).



Gambar. 17 and 18: Larutan dan lampu dengan filer merah dan biru.

Ketika lampu kita hidupkan, mulailah untuk mengukur waktu menggunakan stopwatch. Rekam waktu yang dibutuhkan untuk piringan mulai naik dalam larutan.

Prosesnya terjadi secara langsung, butuh waktu sekitar 5 menit untuk piringan mulai naik (bergantung pada intensitas cahaya dan jarak lampu). Piringan mulai naik saat mereka melepaskan oksigen dalam bentuk gelembung, yang membantu piringan untuk naik. Pergerakan piringan pada setiap botol terjadi dalam waktu yang berbeda, bergantung pada warna cahaya: lebih cepat untuk cahaya biru. Dengan cara ini, kami mendemonstrasikan bahwa komponen energi yang lebih tinggi pada radiasi gelombang elektromagnetik adalah yang paling efisien. Laju fotosintesis secara langsung berkaitan dengan waktu yang dibutuhkan untuk

terangkatnya piringan, sebuah kejadian yang berkaitan dengan produksi oksigen. Laju fotosintesis lebih tinggi untuk cahaya biru daripada cahaya merah. Oleh karena itu, dengan eksperimen ini kita mendemonstrasikan bahwa tumbuhan dan organisme fotosintesis lainnya bertanggungjawab untuk keberadaan oksigen di atmosfer. Pertukaran udara dengan larutan bikarbonat mempercepat proses dan memungkinkan untuk memvisualisasikannya dalam waktu yang lebih singkat.



Gambar. 19 dan 20: Larutan dengan lampu berbeda warna menunjukkan piringan terangkat secara berbeda dalam setiap kasus.

Selain itu, seiring bertambahnya waktu, interaksi radiasi UV Matahari dengan molekul oksigen menghasilkan ozon ( $O_3$ ). Proses ini melindungi kita dari radiasi UV yang paling energetik, namun UVA dan UVB tetap lewat, yang membentuk vitamin D pada kulit manusia.

Variabel alternatif untuk dieksplorasi: konsentrasi bikarbonat pada larutan yang digunakan, temperatur, sumber cahaya dengan warna dan intensitas yang berbeda (menjaga kondisi lainnya tetap konstan dan mengendalikan kegelapan dalam semua kasus), daun pra-terpapar cahaya atau gelap, dan lainnya.

## Aktivitas 5: Memeriksa kemungkinan kehidupan pada kondisi ekstrim

Fermentasi untuk menghasilkan alkohol merupakan proses anaerobik yang dilakukan oleh ragi (jamur). Bersama dengan bakteri, proses fermentasi merupakan dasar untuk mendapatkan energi pada mikro organisme. Ragi mengubah gula (glukosa) menjadi etil alkohol atau etanol atau karbon dioksida. Fermentasi merupakan proses dengan efisiensi energi rendah, sedangkan bernafas lebih menguntungkan dan lebih baru dari sudut pandang evolusi.

Jadi, karena gula diubah menjadi etil alkohol dan karbon dioksida, kita akan mendasari eksperimen pada keberadaan gas ini. Jika kita mengamati keberadaannya, kita akan tahu bahwa telah terjadi fermentasi dan kemungkinan keberadaan kehidupan telah diuji.

Percobaan mikro biologi membutuhkan waktu untuk mendapatkan kesimpulan yang dapat dipercaya, pada kasus ini, keberadaan atau ketidakterdapatnya karbon dioksida akan membuat kita mengetahui bahwa jika diberikan perubahan pada kondisi lingkungan, kita dapat

menyimpulkan bahwa kehidupan itu mungkin adanya. Untuk mempunyai waktu yang cukup dalam mengamati perkembangan eksperimen, akan disiapkan pada awal lokakarya dan situasi dari 7 prosedur berbeda yang dapat diamati setelah satu jam.

Untuk percobaan ini, kita akan menggunakan 1 sdm ragi (gunakan ragi untuk membuat kue yang dapat dibeli di supermarket), ragi merupakan mikro organisme yang mudah didapatkan, 1 gelas air hangat (lebih dari setengah gelas dengan suhu antara 22° dan 27° C) dan 1 sdm gula yang dapat dikonsumsi mikro organisme.

Kita akan menggunakan prosedur yang sama untuk mengontrol percobaan dan pengembangan percobaan lainnya pada kondisi ekstrim.

### Prosedur Untuk Percobaan Kontrol

Larutkan gula dalam gelas dengan air panas. Kemudian, tambahkan ragi dan aduk dengan bantuan sendok. Lalu, campuran yang diperoleh ditempatkan dalam kantong plastik yang mempunyai segel (tidak memungkinkan untuk udara masuk ke dalam). Semua udara diekstrak dari dalam (sebarakan pada meja dan tekan dengan tangan) sebelum disegel. Penting untuk tidak meninggalkan udara di dalam kantong. Setelah 5 menit, kita amati keadaan karbon dioksida yang mulai terakumulasi di dalam kantong. Setelah 20 menit, muncul gelembung di dalam kantong karena pelepasan gas ini, salah satu hasil produk dari fermentasi yang terjadi di dalam kantong. Keberadaan gas ini menunjukkan bahwa mikro organisme itu hidup.



Gambar. 21: Kontrol percobaan dengan gelembung karbon dioksida yang menunjukkan keberadaan kehidupan

**Prosedur pada “planet basa” (misalnya NEPTUNUS atau Titan yang mempunyai keberadaan amonia):** Ulangi percobaan menggunakan material “basa” yang lain (sodium bikarbonat, amonia ...) dalam air dan tunggu hingga muncul gelembung, yang berarti mikro organisme dapat hidup atau tidak. Skala Ph basa: Sodium bikarbonat: Ph 8,4 dan Amonia rumah tangga: Ph 11.

**Prosedur dalam “planet garam” (misalnya MARS atau Ganymede yang dipercaya mengandung air dengan kadar garam tinggi).** Ulangi percobaan dengan melarutkan jumlah sodium klorida yang berbeda (garam biasa) pada air keran.

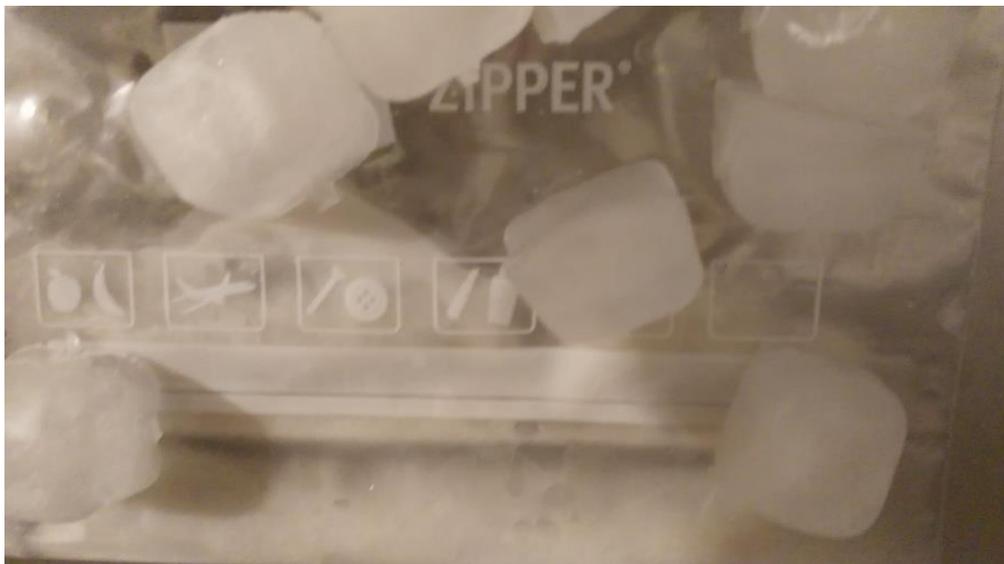


Gambar. 22 dan 23: Larutan basa dan larutan garam dengan gelembung

**Prosedur pada “planet asam” (misalnya VENUS yang mempunyai hujan asam sulfur):** Ulangi percobaan dengan melarutkan cuka, lemon... atau asam lainnya yang tersedia dalam bentuk air. Skala Ph asam: Cuka: Ph 2,9 dan Lemon: Ph 2,3.

**Prosedur dalam “planet es” (misalnya Europa atau Trappist-1 h)**

Tempatkan kantong dalam wadah yang penuh dengan es dan amati jika terdapat aktivitas berupa pembengkakan kantong. Kulkas atau *freezer* juga dapat digunakan. Jika gelembung tidak muncul, artinya tidak ada kehidupan.



Gambar. 24: Larutan beku tanpa gelembung

**Prosedur pada “planet dengan UV” (misal MARS):** Lakukan percobaan yang sama namun jaga agar kantong tetap rapat dengan ragi dan gula di bawah paparan sinar UV yang dihasilkan oleh lampu khusus. Jika lampu UV yang digunakan berenergi tinggi (UV-C) atau (UV-B), tidak muncul gelembung, berarti tidak ada kemungkinan kehidupan. Tapi, lampu komersial yang

disebut dengan “cahaya hitam”, mempunyai energi ultra violet lebih rendah (UV-A), yang berarti tidak berbahaya bagi kehidupan dan sering digunakan dalam berkebun untuk memfasilitasi pertumbuhan tanaman sehingga menghasilkan tanaman yang bagus. Dengan menggunakan lampu jenis ini, diamati lebih banyak gelembung yang terbentuk. Jika muncul gelembung maka terdapat kehidupan.

#### **Prosedur pada “planet hangat” (misalnya VENUS karena efek rumah kaca)**

Lakukan percobaan yang sama dengan air panas. Pada kasus Venus, kita harus menggunakan air mendidih. (Jika tersedia termometer, dapat diulangi pada temperatur yang berbeda dan aktivitas meja dapat diperoleh pada temperatur ini.) Jika muncul gelembung maka terdapat kehidupan.

## Planet dan eksoplanet dengan kondisi ekstrim dan mirip dengan yang digunakan dalam aktivitas ini

**VENUS.** Venus mempunyai atmosfer padat, sebagian besar terdiri dari karbon dioksida dan sejumlah kecil nitrogen. Tekanan permukaannya adalah 90 kali lebih tinggi daripada tekanan atmosfer pada permukaan Bumi. Sejumlah besar karbon dioksida di atmosfer disebabkan oleh efek rumah kaca kuat yang **meningkatkan temperatur permukaan planet mencapai sekitar 464 °C pada daerah yang lebih rendah di dekat ekuator.** Hal ini membuat Venus lebih panas dibandingkan Merkurius, walaupun jaraknya dua kali lebih jauh dari Matahari, dan hanya menerima 25% radiasi Matahari. Awannya sebagian besar terdiri dari butiran sulfur dioksida dan asam sulfur serta menutupi planet secara keseluruhan, menyembunyikan rincian permukaan dari pengamatan visual.

**MARS.** Di bawah permukaan es kemungkinan terdapat **air asin. Air tersebut dapat menjadi rumah bagi makhluk hidup yang mampu bertahan dalam kondisi ekstrim ini.** Di masa lalu, Mars merupakan tempat yang berbeda. Kita tahu Mars mungkin terlihat sangat mirip dengan Bumi, mempunyai lautan, gunung api, dan atmosfer yang padat seperti Bumi, kaya akan karbon dioksida, tapi tidak akan menjadi penghalang bagi kehidupan mikroba. **Satu-satunya yang hilang dari planet merah dan menyebabkan ia berakhir dengan sangat berbeda dengan planet kita adalah medan magnet.** Gravitasi yang lebih rendah dan kurangnya medan magnet menyebabkan angin Matahari dapat menghilangkan atmosfer Mars secara perlahan. Selain itu, Mars adalah planet yang menerima radiasi ultraviolet matahari (UV) di permukaannya dengan komponen yang sangat berbahaya secara biologis (UV-C dan UV-B), yang mempengaruhi kerusakan permukaan untuk menemukan beberapa tanda kehidupan.

**NEPTUNUS.** Struktur internal Neptunus mirip dengan Uranus: inti batuan yang dilingkupi oleh lapisan es, tersembunyi di bawah atmosfer yang tebal. Dua per tiga bagian dalam Neptunus terdiri dari campuran lelehan batuan, air, amonia cair dan metana. Bagian paling luar merupakan campuran gas panas yang terdiri dari hidrogen, helium, air dan metana. Atmosfernya terdiri dari 7% dari keseluruhan massa. Pada keadaan yang sangat dalam, tekanan atmosfer mencapai 100.000 kali lebih besar dari atmosfer Bumi. **Konsentrasi metana, amonia, dan air meningkat dari bagian luar menuju bagian dalam atmosfer.**

**Ganymede**, satelit Jupiter, terdiri dari silikat dan es, dengan kerak es yang mengapung di atas mantel berlumpur yang kemungkinan mengandung **lapisan air cair dengan konsentrasi garam tinggi**. Penerbangan pertama ke Ganymede oleh wahana antariksa Galileo mengungkap bahwa satelit tersebut mempunyai magnetosfer sendiri. Magnetosfer tersebut kemungkinan dihasilkan dengan cara yang mirip seperti magnetosfer Bumi: yaitu pergerakan dari material konduktif di dalam Bumi.

**Titan**, satelit Saturnus. **Titan dipercaya memiliki lautan air bawah tanah dengan amonia terlarut di dalamnya** pada kedalaman 100 km di bawah permukaan, dan mungkin juga terdapat hidrokarbon lainnya. Atmosfernya terdiri dari 94% nitrogen dan merupakan satu-satunya atmosfer kaya nitrogen yang ada di tata surya selain planet kita. Jejak signifikan dari beberapa hidrokarbon membentuk sisanya. Esnya sangat mirip dengan yang ada pada kutub Bumi, *drifting* es.

**Europa** satelit Jupiter. Europa mempunyai **permukaan es dan subpermukaan berupa lautan air cair**. Atmosfernya tipis dengan densitas rendah, tapi tersusun dari oksigen. Esnya sangat mirip dengan yang ada pada kutub Bumi, *drifting* es. Europa memiliki inti nikel-besi yang dikelilingi oleh mantel batuan panas, di atasnya terdapat lautan air cair yang dalam, menurut geologis, kedalamannya sekitar 100 km dan dengan permukaan es setebal 10 km.

## Aktivitas 6: Menemukan Bumi kedua

Bumi merupakan satu-satunya planet yang dapat menyokong kehidupan. Jadi, jika kita mencari planet dengan kehidupan ekstra-terrestrial, lihatlah planet yang memiliki kondisi yang mirip dengan Bumi. Tapi, parameter manakah yang penting?

Tabel di bawah ini terdiri beberapa eksoplanet dengan propertinya. Kesempingan eksoplanet yang tidak sesuai untuk kehidupann dan kemungkinan akan menemukan planet kedua. Kamu dapat menemukan beberapa kriteria setelah tabel.

Tabel 3: Kandidat untuk Bumi kedua

<b>Nama Eskoplanet</b>	<b>Massa dalam massa Bumi</b>	<b>Radius dalam radius Bumi</b>	<b>Jarak ke bintang dalam AU</b>	<b>Massa bintang dalam massa Matahari</b>	<b>Tipe spektrum bintang/temperatur permukaan</b>
Beta Pic b	4100	18,5	11,8	1,73	A6V
HD 209458 b	219,00	15,10	0,05	1,10	G0V
HR8799 b	2226	14,20	68,0	1,56	A5V
<b>Kepler-452 b</b>	<b>unknown</b>	<b>1,59</b>	<b>1,05</b>	<b>1,04</b>	<b>G2V</b>
Kepler-78 b	1,69	1,20	0,01	0,81	G
<b>Luyten b</b>	<b>2,19</b>	<b>unknown</b>	<b>0,09</b>	<b>0,29</b>	<b>M3.5V</b>
Tau Cet c	3,11	unknown	0,20	0,78	G8.5V
TOI 163 b	387	16,34	0,06	1,43	F

Trappist-1 b	0,86	1,09	0,01	0,08	M8
TW Hya d (yet unconfirmed)	4	unknown	24	0,7	K8V
HD 10613 b	12,60	2,39	0,09	1,07	F5V
<b>Kepler-138c</b>	<b>1,97</b>	<b>1,20</b>	<b>0,09</b>	<b>0,57</b>	<b>M1V</b>
Kepler-62f	2,80	1,41	0,72	0,69	K2V
Proxima Centauri b	1,30	1,10	0,05	0,12	M5V
HD 10613 b	12,60	2,39	0,09	1,07	F5V
KIC 5522786 b	unknown	1,21	1,98	1,79	A

### Radius dan massa

Dalam tata surya kita terdapat planet kebumihan (Merkurius, Venus, Bumi, Mars) dan planet raksasa (Jupiter, Saturnus, Uranus, Neptunus). Planet kebumihan seperti-Bumi terdiri dari batuan silikat dan metal serta mempunyai densitas yang lebih besar dibandingkan planet raksasa. Indikator yang baik untuk mencocokkan densitas merupakan radius dan massa planet.

Kita menggunakan definisi dari tim Misi Kepler: Planet ukuran-Bumi dan super-ukuran-Bumi mempunyai radius lebih kecil dari 2 radius Bumi. 10 radius Bumi dipertimbangkan sebagai batas atas dari planet super-ukuran-Bumi.

### Zona Habitable (Layak Huni)

Zona habitable adalah jarak orbit di sekitar bintang saat permukaan planet memadai untuk air berada dalam keadaan cair.

Bintang deret utama yang kita fokuskan mempunyai korelasi orbit antara kecerlangan dan temperatur permukaan bintang. Semakin panas temperatur permukaan, semakin terang dan jauh letak zona habitable. Tipe spektrum menandakan temperatur permukaan (lihat tabel di bawah ini).

Tabel 4: Zona habitable bergantung pada tipe spektrum

Tipe Spektrum	Temperatur K	Zona Habitable AU
O6V	41 000	450-900
B5V	15 400	20-40
A5V	8 200	2,6-5,2
F5V	6 400	1,3-2,5
G5V	5 800	0,7-1,4
K5V	4 400	0,3-0,5
M5V	3 200	0,07-0,15

Tipe spektrum bintang diklasifikasikan dengan huruf (O, B, A, F, G, K, M) dan dibagi lagi ke dalam angka dari 0 sampai 9 (0 merupakan yang paling panas dalam tipe spektrum tertentu). V menandakan bintang deret utama.

Hint: Jika spektrum bintang sedikit berbeda atau subtipenya tidak diketahui, gunakan nilai yang diketahui untuk zona habitable sebagai aproksimasi.

### Massa Bintang Induk

Untuk mempelajari zona layak huni dalam sistem keplanetan disekitar bintang deret utama, kita harus mempertimbangkan evolusi bintang induk.

Sekitar 1 milyar setelah pembentukan Bumi, terbentuklah kehidupan pertama. Kemungkinan terdapat kehidupan sebelumnya, tapi masih tidak pasti. Jadi, bintang induk harus stabil paling tidak sekitar  $\sim 10^9$  tahun agar kehidupan dapat berkembang.

Energi yang dihasilkan bintang dari fusi hidrogen sebanding dengan massanya. Waktu deret utama didapat dari pembagian energi dengan luminositas bintang. Jika kamu menggunakan perbandingan dan menggunakan bintang sebagai acuan, kamu akan mendapatkan rumus bagian pertama, dari pertimbangan ini, kita dapat mengestimasi umur sebuah bintang:

$$t^*/t_s = (M^*/M_s)/(L^*/L_s)$$

Untuk bintang kerdil normal atau deret utama pada diagram H-R, luminositas diaproksimasi sebanding dengan massa yang dipangkatkan sekitar 3,5.  $L \propto M^{3.5}$

$$t^*/t_s = (M^*/M_s)/(M^{3.5}/M_s^{3.5}) = (M^*/M_s)^{-2.5}$$

$$t^*/t_s = (M_s/M^*)^{2.5}$$

yang memberikan umur bintang sebagai fraksi dari umur Matahari yang diharapkan ( $10^{10}$  yr). Penyederhanaan rumus ini adalah

$$t^* \sim 10^{10} \times (M_s/M)^{2.5} \text{ years}$$

Hitung batas atas untuk massa bintang jika jangka waktu bintang deret utama setidaknya adalah 3 milyar tahun

$$M^* = (10^{-10} \times t)^{-0.4} M_s$$

$$M^* = (10^{-10} \times 3\,000\,000\,000)^{-0.4} M_s$$

$$M^* = 1,6 M_s$$

Dapat dilihat bahwa bintang dengan massa  $> 2M_s$ , umur bintang deret utama turun di bawah 1 tahun Galaksi (waktu untuk mengelilingi pusat galaksi 250 juta tahun), oleh karena itu, walaupun planet layak huni ada di sekitar mereka, kehidupan tidak punya cukup waktu untuk berkembang.

## Referensi

- Álvarez, C., y otros, *Guia Libreciencia Taller Abril*, Argentina 2018,  
Anderson, M., *Habitable Exoplanets: Red Dwarf Systems Like TRAPPIST-1*, 2018  
Goldsmith, D., *Exoplanets: Hidden Worlds and the Quest for Extraterrestrial Life*, Harvard University Press, 2018  
Prieto, J., Orozco, P., *Estudios de Astrobiología*, Actas Ciencia en Acción , Viladecans, 2018  
Summers M, Trefil,J., *Exoplanets: Diamond Worlds, Super Earths, Pulsar Planets, and the New Search for Life beyond Our Solar System* , Smithsonian Books; 2018  
Tasker, E. *The Planet Factory: Exoplanets and the Search for a Second Earth*, Bloomsbury Sigma, 2017