



# ARCHAEA



JURUSAN BIOLOGI UNILA



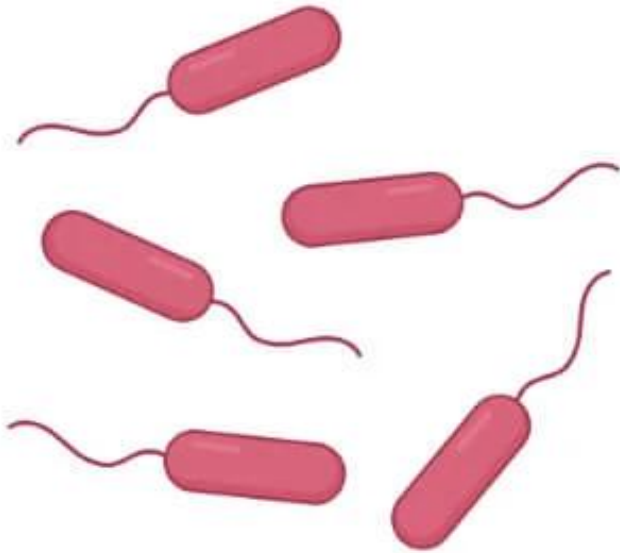
# APA ITU ARCHAEA?



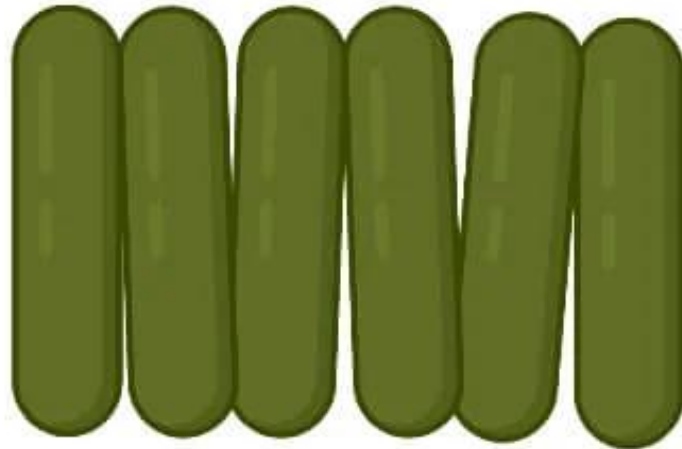
- **Archaea** adalah mikroorganisme prokariotik yang merupakan anggota cabang ketiga (atau **domain**) kehidupan.
- Archaea dikenali sebagai kelompok yang koheren dalam pohon kehidupan menggunakan perbandingan urutan RNA ribosomal kecil (rRNA) oleh CR Woese et al. pada tahun 1977.
- Sebagian besar Archaea hidup dengan baik di lingkungan ekstrem yang sangat asin, asam, basa, panas, dingin, atau anaerobik. Beberapa Archaea adalah **kemoautotrof** dan dapat tumbuh pada bahan kimia anorganik sederhana, beberapa merupakan **heterotroph** dan tumbuh pada bahan organik kompleks, dan adapula yang memiliki kemampuan **fototropik** dan dapat menggunakan energi cahaya untuk pertumbuhan.
- Meskipun Archaea bersifat prokariotik, beberapa **karakteristik molekulernya mirip** dengan sel-sel **eukariotik** yang berinti. Genom Archaea adalah lingkaran 0,5–5,75 Mbp dan mencakup gen untuk mesin transfer informasi (replikasi DNA, transkripsi, dan translasi) yang merupakan versi sederhana dari rekan-rekan eukariotiknya. Lipid membrane Archaea mengandung unit isoprenoid rantai cabang dalam rantai lemak yang dihubungkan ke gugus kepala gliserol-1-fosfat melalui hubungan eter.
- Perbandingan ribosomal RNA menunjukkan hubungan yang **lebih dekat** antara **Archaea dengan Eukarya** dibandingkan Archaea dengan Bacteria

# 3 Domains of Life

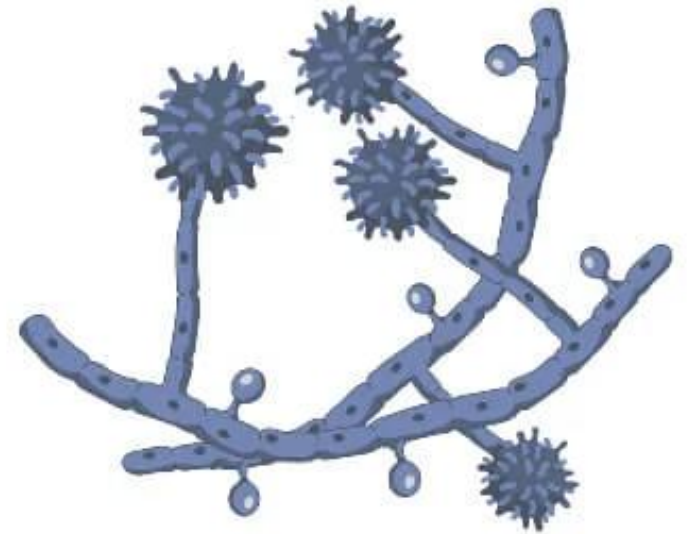
(Bacteria, Archaea, Eukarya)



Domain Bacteria



Domain Archaea



Domain Eukarya

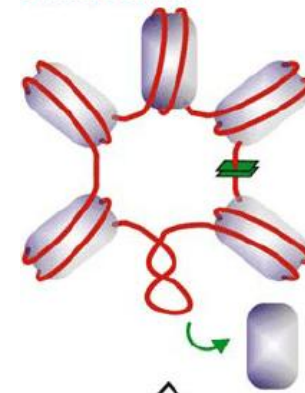
**Table 27.2 A Comparison of the Three Domains of Life**

CHARACTERISTIC	DOMAIN		
	Bacteria	Archaea	Eukarya
Nuclear envelope	Absent	Absent	Present
Membrane-enclosed organelles	Absent	Absent	Present
Peptidoglycan in cell wall	Present	Absent	Absent
Membrane lipids	Unbranched hydrocarbons	Some branched hydrocarbons	Unbranched hydrocarbons
RNA polymerase	One kind	Several kinds	Several kinds
Initiator amino acid for protein synthesis	Formyl-methionine	Methionine	Methionine
Introns in genes	Very rare	Present in some genes	Present in many genes
Response to the antibiotics streptomycin and chloramphenicol	Growth usually inhibited	Growth not inhibited	Growth not inhibited
Histones associated with DNA	Absent	Present in some species	Present
Circular chromosome	Present	Present	Absent
Growth at temperatures > 100°C	No	Some species	No

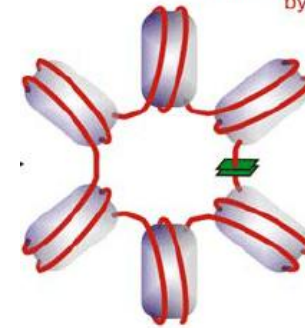
- Archaea dan Bakteria sama-sama merupakan mikroorganisme bersel tunggal. Kebanyakan memperbanyak diri dengan pembelahan biner, beberapa melakukan budding. Keduanya tidak memiliki nucleus dan organel
- Archaea dan Bakteria dapat melakukan transkripsi dan translasi secara bersamaan, hal yang tidak dilakukan pada Eukarya
- Kromosom bakteri memiliki satu origin of replication, sedangkan Archaea memiliki lebih dari satu origin of replication
- Archaea hanya memiliki satu RNA polymerase, yang mirip dengan RNA polymerase II pada Eukarya. RNA polymerase Archaeae umumnya terdiri atas 11-12 subunit, sedangkan RNA polimerase pada Eukarya tersusun atas lebih dari 12 subunit. Sementara itu, RNA polymerase pada Bacteria hanya terdiri atas 4 subunit.
- Antibiotik tertentu, misalnya rifampicin dapat menghambat polymerase RNA, tetapi tidak mampu menghambat kerja RNA polymerase pada Archaea dan Eukarya.
- Faktor translasi Archaea dan Eukarya dua kali lebih banyak dibandingkan Bakteria. Namun, faktor translasi Archaea memiliki homologi dengan yang ada pada Bakteria.

- Pengemasan DNA dan replikasi kromosom pada Archaea mirip dengan Eukarya, meskipun kromosom Archaea mirip dengan Bakteri yakni berupa kromosom sirkular yang membawa sekitar 500 sampai beberapa ribu gen.
- Bakteri menggunakan DNA gyrase untuk menggulung DNA, sedangkan eukariotik melilitkan DNA mereka di sekitar protein yang dikenal sebagai histon. Banyak Archaea memiliki DNA gyrase dan histon. DNA archaea dipadatkan dengan pengemasan yang dimediasi oleh DNA gyrase, atau dikemas dengan cara berikatan dengan histones, atau melalui kombinasi keduanya.
- Histon Archaea lebih pendek dibandingkan Eukarya.

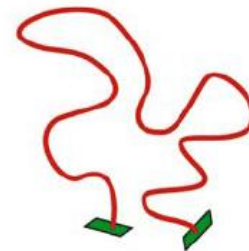
plectonemic structure upon of histone octamer



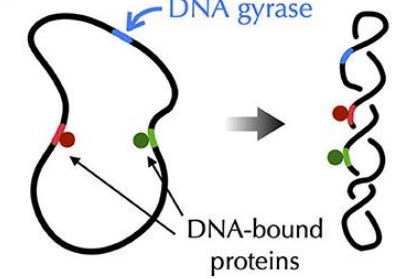
DNA wrapped on surface of histones (supercoils constrained by histones)



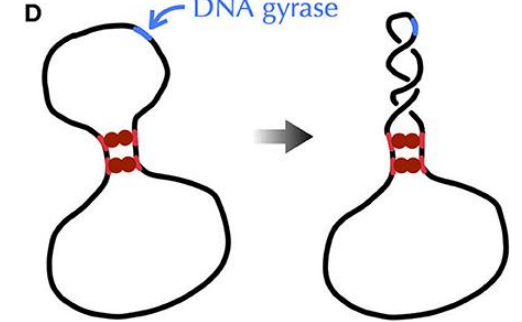
nucleosome assembly



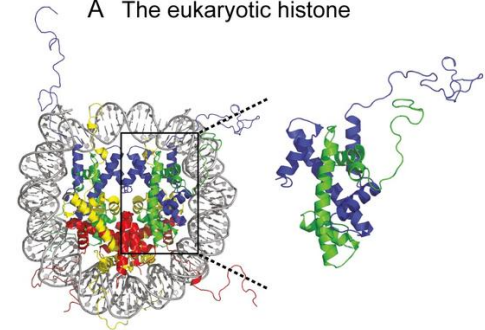
DNA gyrase



DNA gyrase

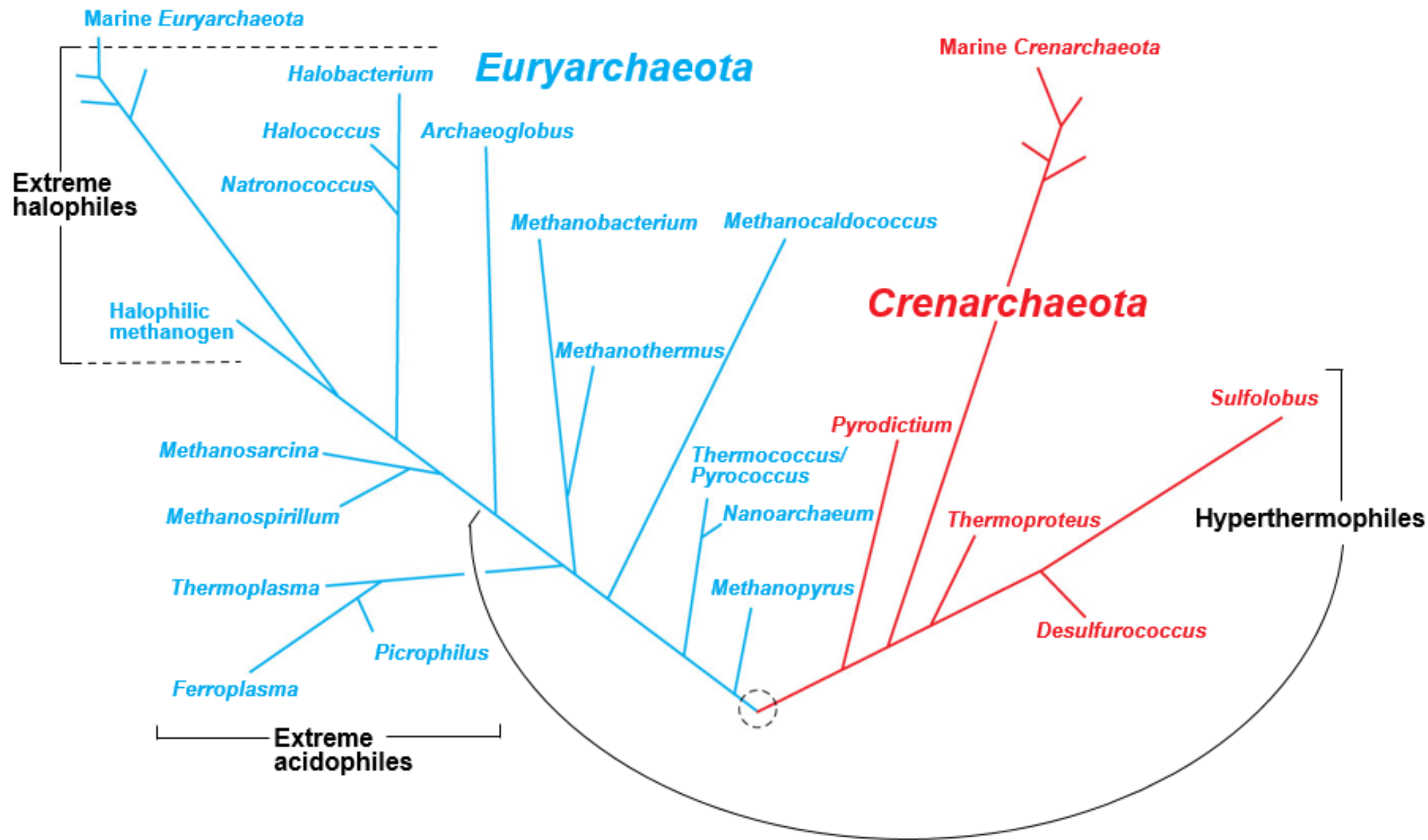


A The eukaryotic histone



B The archaeal histone





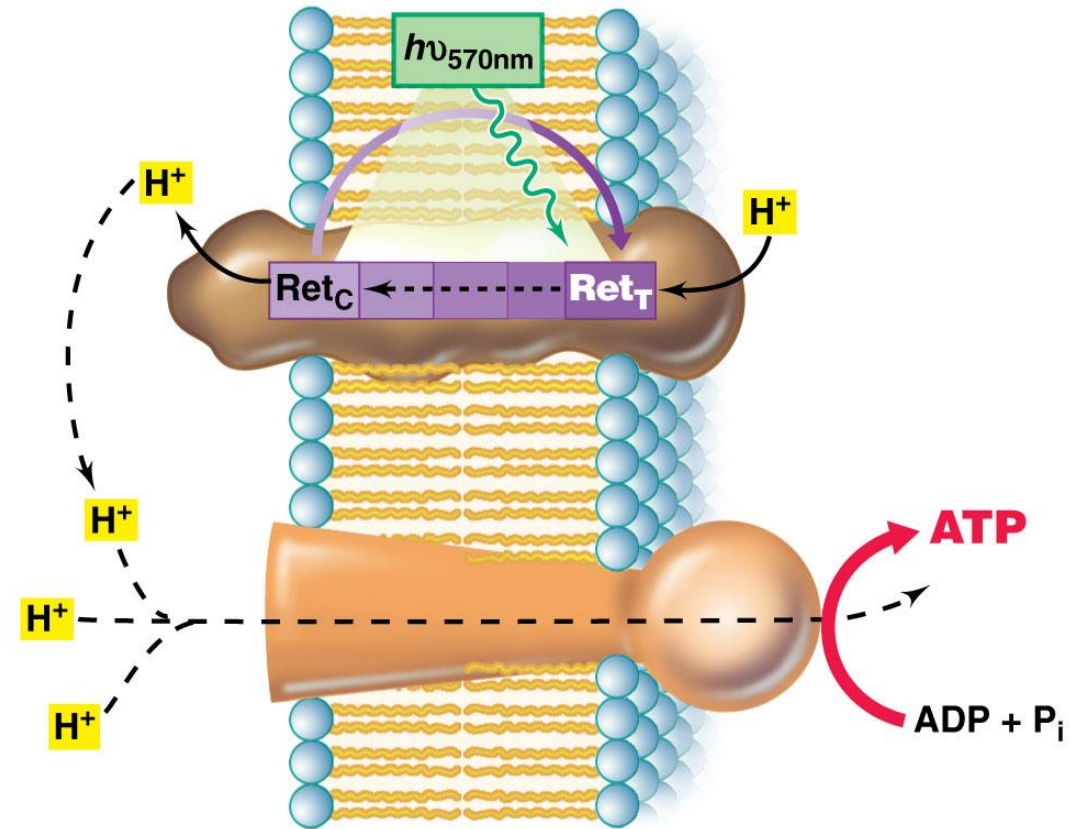
# EURYACHAEOTA

---

- Kebanyakan hidup pada habitat yang ekstrem
- Filum ini mencakup methanogen yang memproduksi metana, dan beberapa merupakan halobacteria (Archaea yang hidup pada habitat yang sangat salin)
- Beberapa euryarchaeota juga hidup di lautan, perairan tawar, dan terrestrial.

# Euryarchaeota pada Habitat Halofilik Ekstrem

- Halofil perlu menjaga keseimbangan osmotik. Hal ini biasanya dicapai dengan akumulasi atau sintesis zat terlarut yang kompatibel.
- Spesies Halobacterium memompa sejumlah besar  $K^+$  ke dalam sel dari lingkungan. Konsentrasi  $K^+$  intraseluler melebihi konsentrasi  $Na^+$  ekstraseluler dan keseimbangan air positif dipertahankan.
- Protein halofil sangat asam dan mengandung lebih sedikit asam amino hidrofobik dan residu lisin
- Beberapa haloarchaea mampu melakukan sintesis ATP yang digerakkan oleh cahaya karena memiliki bakteriorhodopsin (protein membran sitoplasma yang dapat menyerap energi cahaya dan memompa proton melintasi membrane)



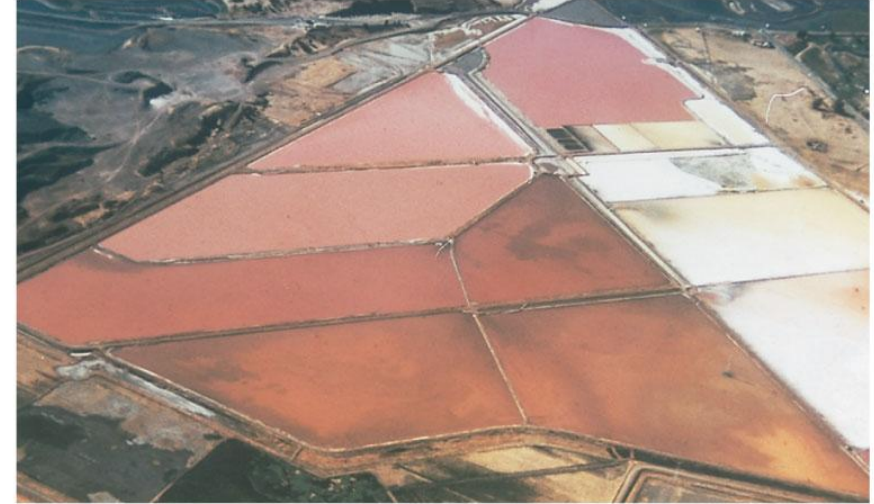
# Euryarchaeota pada Habitat Halofilik Ekstrem

- Memiliki persyaratan untuk konsentrasi garam yang tinggi
- Ditemukan di habitat garam buatan (misalnya, makanan asin), kolam penguapan garam surya, dan danau garam.
- Paling banyak ditemukan di daerah panas dan kering di dunia
- Danau garam dapat bervariasi dalam komposisi ionik, menyebabkan keragaman mikroba yang ada



T. D. Brock

(a)



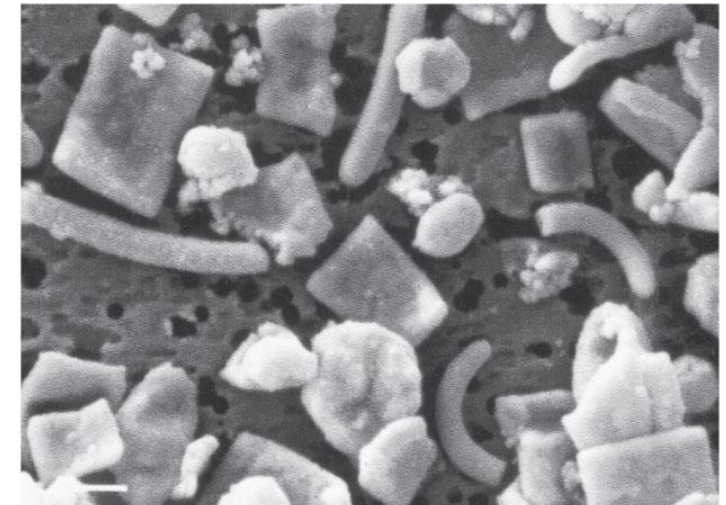
NASA

(b)



Michael T. Madigan

(c)

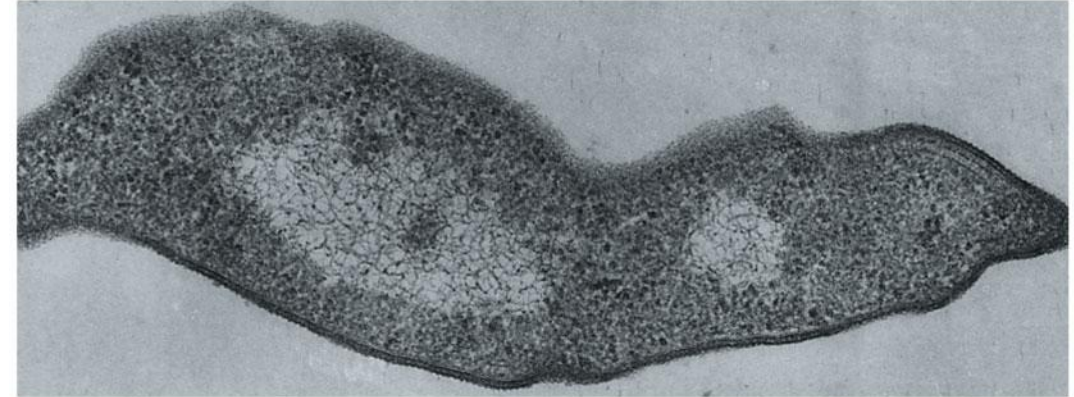


Francisco Rodriguez-Valera

(d)

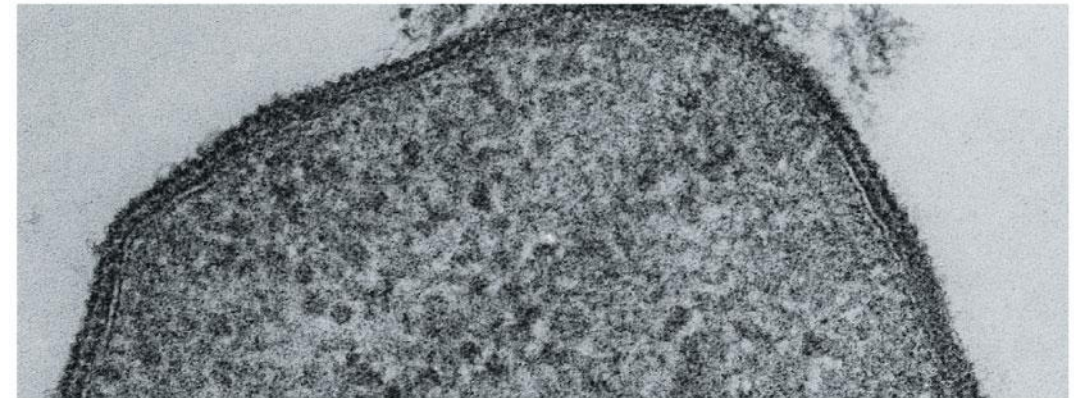
# Euryarchaeota pada Habitat Halofilik Ekstrem

- Haloarchaea
- Bereproduksi dengan pembelahan biner
- Tidak membentuk tahap istirahat atau spora; Sebagian besar tidak bergerak; Sebagian besar aerob obligat; Memiliki adaptasi terhadap kehidupan di lingkungan yang sangat ionic; Dinding sel tersusun dari glikoprotein dan distabilkan oleh  $\text{Na}^+$
- A) dan b) Electron micrograph Halobacterium salinarum



Mary Reedy

(a)

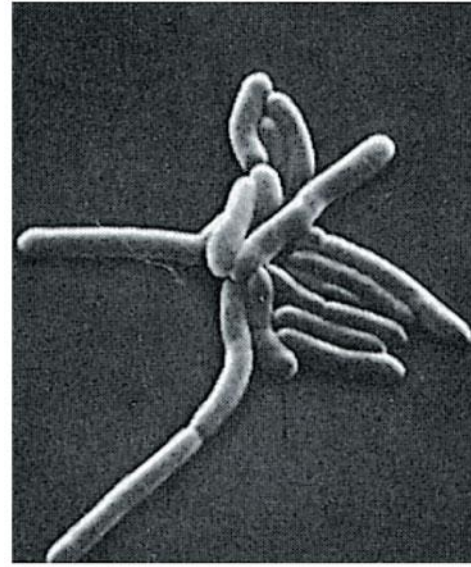


Mary Reedy

(b)

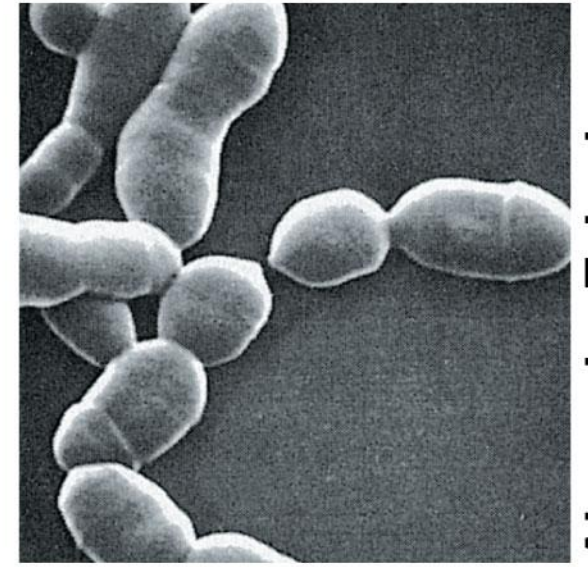
# Archaea Methanogenik

- Genus utama:  
Methanobacterium,  
Methanocaldococcus,  
Methanosarcina
- Mikroba yang menghasilkan CH<sub>4</sub> (metana) Ditemukan di banyak lingkungan yang beragam
- A) Methanobrevibacter ruminatum; b) M. arboriphilus; c) Methanospirillum hungatei; d) Methanosarcina barkeri



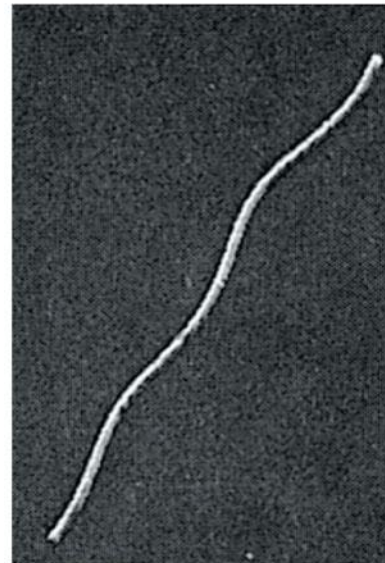
Alexander Zehnder

(a)



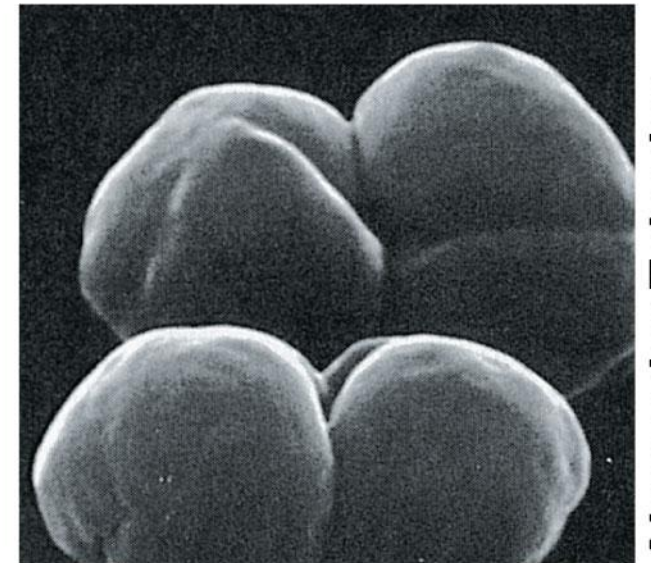
Alexander Zehnder

(b)



Alexander Zehnder

(c)



Alexander Zehnder

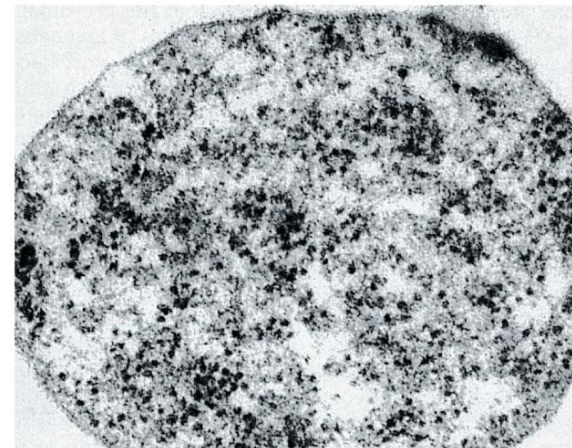
(d)

# Thermoplasmatales

- Genus utama: Thermoplasma, Ferroplasma, Picrophilus
- Termofilik dan/atau sangat asidofilik
- Thermoplasma dan Ferroplasma tidak memiliki dinding sel
- Thermoplasma merupakan kemoorganotrof, aerob fakultatif melalui respirasi sulfur, termofilik/ Asidofilik, dan ditemukan di self-heating coal refuse pile (tumpukan limbah batubara yang dapat mengalami pemanasan sendiri secara spontan)
- A) Thermoplasma acidophilum; b) T. volcanium



T. D. Brock



T. D. Brock



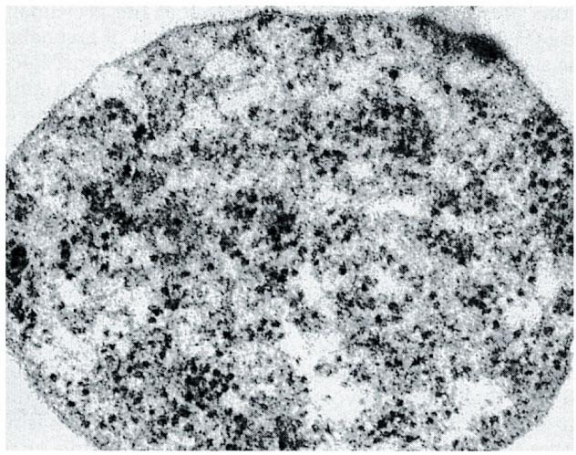
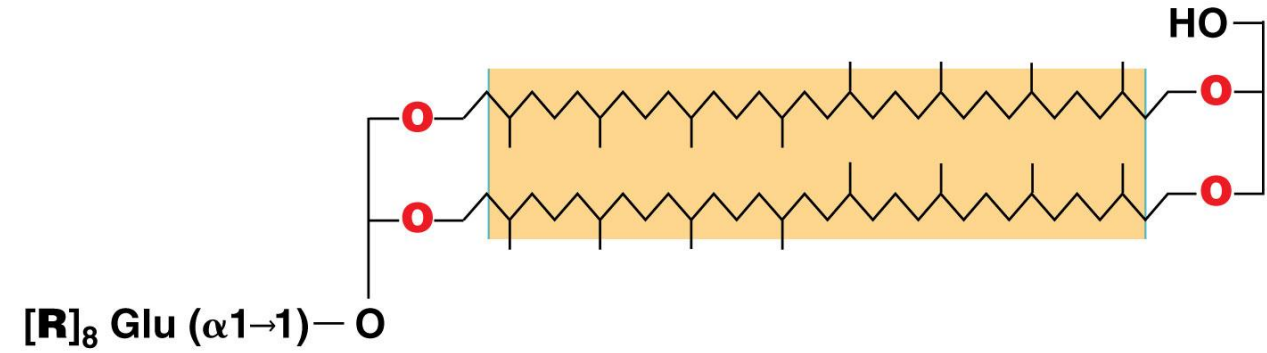
A. Segerer and K. O. Stetter

(a)

(b)

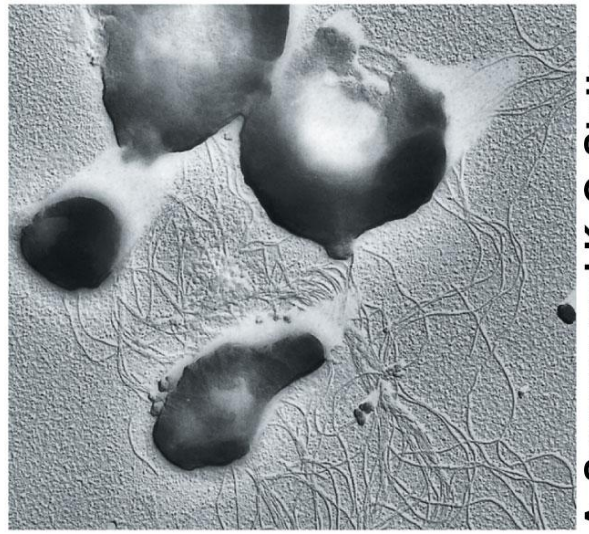
# Thermoplasmatales

- Thermoplasma memiliki struktur membran sitoplasma yang unik berevolusi untuk mempertahankan tekanan osmotik positif dan mentoleransi suhu tinggi serta tingkat pH rendah
- Membran mengandung bahan seperti lipopolisakarida (lipoglikan) yang terdiri dari membran monolapis lipid tetraeter dengan mannosa dan glukosa
- Membran mengandung glikoprotein tetapi tidak mengandung sterol



T. D. Brock

(a)



A. Segerer and K. O. Stetter

(b)

# Thermoplasmatales

---

## Ferroplasma

- Kemolitotrofik
- Asiofilik
- Mengoksidasi  $\text{Fe}^{2+}$  menjadi  $\text{Fe}^{3+}$ , menghasilkan asam
- Tumbuh di sisa-sisa tambang yang mengandung pyrite ( $\text{FeS}_2$ )

## Picrophilus

- Asidofil ekstrem
- Tumbuh optimal pada pH 0,7, dapat hidup pada pH di bawah 0
- Mikroba model untuk toleransi asam ekstrem

# Thermococcales dan Methanopyrus

- Tiga genera Euryarchaeota hipertermofilik yang berkerabat secara filogenetik: Thermococcus, Pyrococcus, Methanopyrus

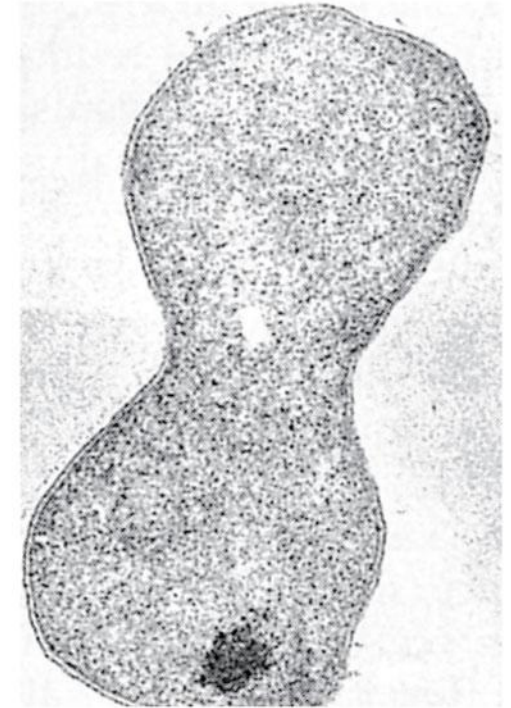
## Thermococcales

- Ordo berbeda yang terdiri atas Thermococcus dan Pyrococcus
- Hidup di perairan termal anoksik
- Sangat motil
- A) Thermococcus celer; b) Pyrococcus furiosus



(a)

H. König and K. O. Stetter



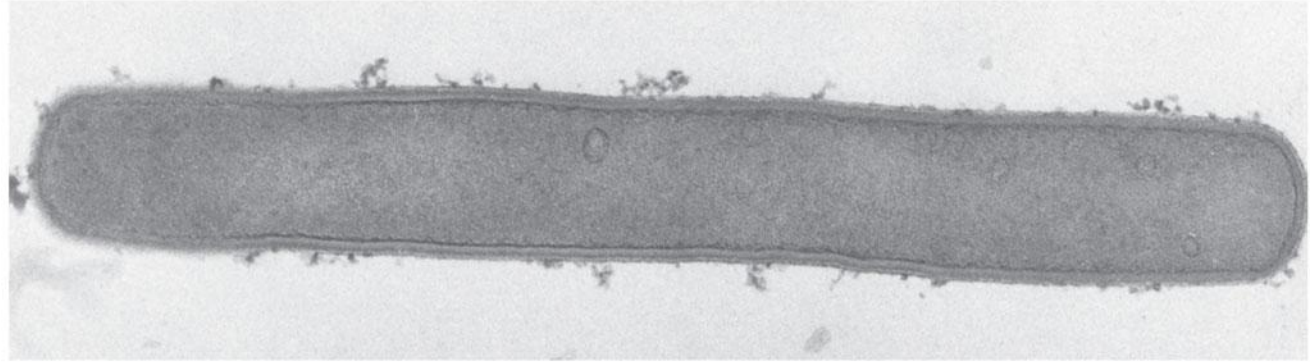
(b)

G. Fiala and K. O. Stetter

# Thermococcales dan Methanopyrus

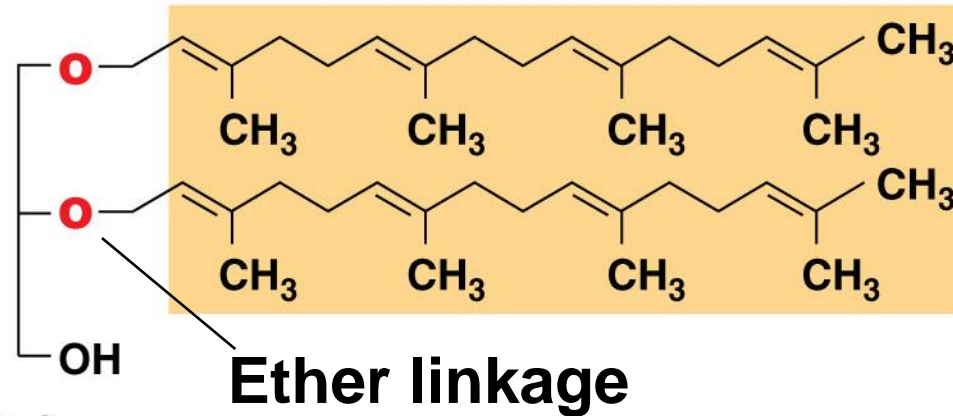
## Methanopyrus

- Metanogenik
- Mengandung lipid membran yang unik
- A) M. kandleri; b) Struktur lipid membrane M. kandleri. Membrannya terdiri atas lipid terikat eter dari Archaea, namun rantai sampingnya adalah asam phytanyl tak jenuh yang disebut geranylgeraniol



R. Rachel and  
K. O. Stetter

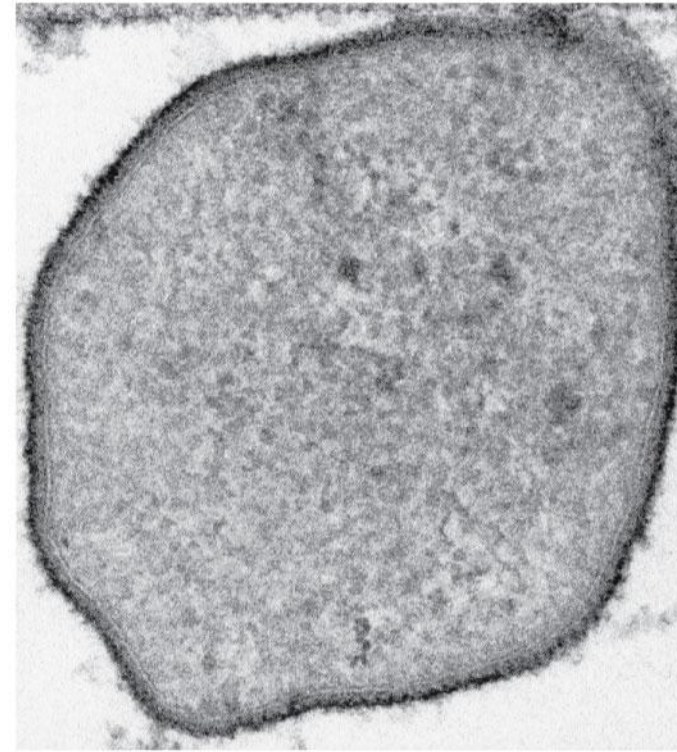
(a)



(b)

# Archaeoglobales

- Genus utama: Archaeoglobus, Ferroglobus
- Hyperthermophilic
- Oksidasi pasangan H<sub>2</sub>, laktat, piruvat, glukosa, atau senyawa organik kompleks untuk mereduksi SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> menjadi H<sub>2</sub>S
- A) Archaeoglobus fulgidus; b) Ferroglobus placidus



R. Rachel and K. O. Stetter

(a)

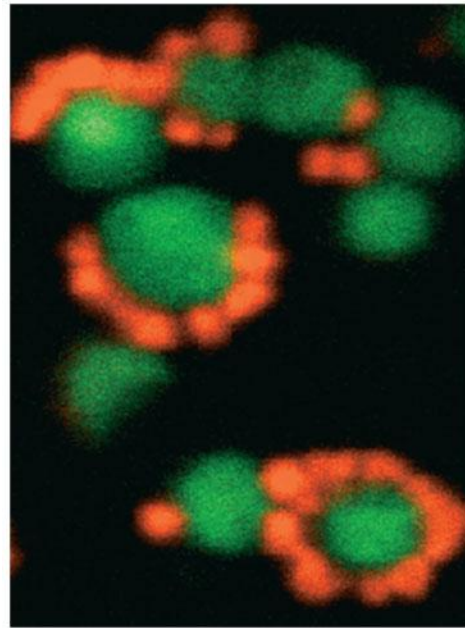


R. Rachel and  
K. O. Stetter

(b)

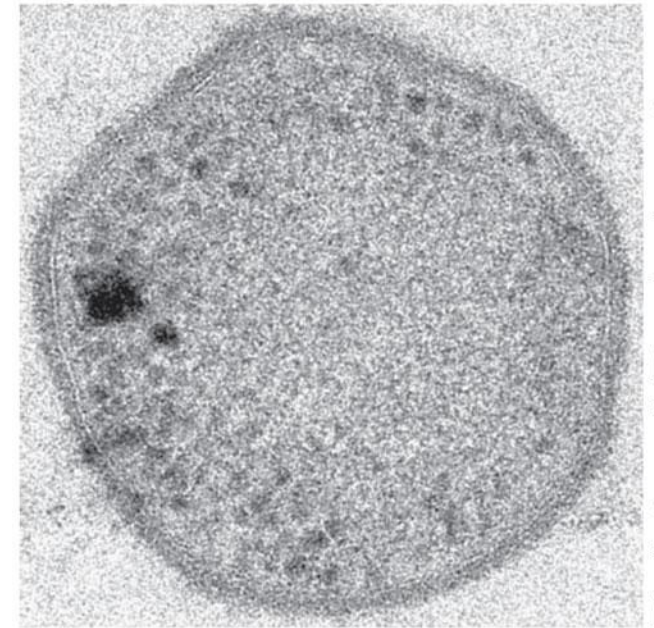
# Nanoarchaeum dan Aciduliprofundum

- Nanoarchaeum equitans (a dan b)
- Salah satu organisme seluler terkecil ( $\sim 0,4 \mu\text{m}$ )
- Simbion obligat dari crenarchaeote Ignicoccus
- Mengandung salah satu genom terkecil yang diketahui
- Tidak memiliki gen untuk semua kecuali proses molekuler inti
- Tergantung pada inangnya untuk sebagian besar kebutuhan selulernya



(a)

Reinhard Rachel and  
Harald Huber



(b)

Reinhard Rachel and  
Harald Huber

# CRENARCHAEOTA

---

- Hidup pada suhu yang ekstrem
- Kebanyakan organisme Crenarchaeota merupakan hyperthermophiles (dapat hidup pada suhu optimum lebih dari 80°C). Beberapa ditemukan hidup di tempat yang sangat dingin
- Kebanyakan hyperthermophiles merupakan chemolithotrophic autotrophs
- Organisme nonthermophilic dari kelompok ini hidup di habitat akuatik dan terrestrial
- Kebanyakan spesies Crenarchaeota hidup di perairan atau tanah yang mengandung  $S^0$  dan  $H_2S$ . Oksidasi  $H_2S$  dan  $S^0$  akan menghasilkan  $H_2SO_4$
- Crenarchaeota adalah organisme anaerobic obligat. Metabolisme pemanenan-energi berupa chemoorganotrophic atau chemolithotrophic dan bergantung pada donor dan akseptor elektronnya
- Konservasi energi dilakukan selama proses respirasi, transfer electron melewati membrane sitoplasma akan menciptakan gaya Gerak proton Dimana ATP terbentuk melalui ATPase proton-translokasi



Solfatara = lubang atau celah di permukaan bumi yang mengeluarkan gas vulkanik yang kaya akan sulfur (belerang)

"Sulfur rich hot spring" atau mata air panas kaya belerang = mata air panas yang mengandung konsentrasi belerang (sulfur) yang tinggi.





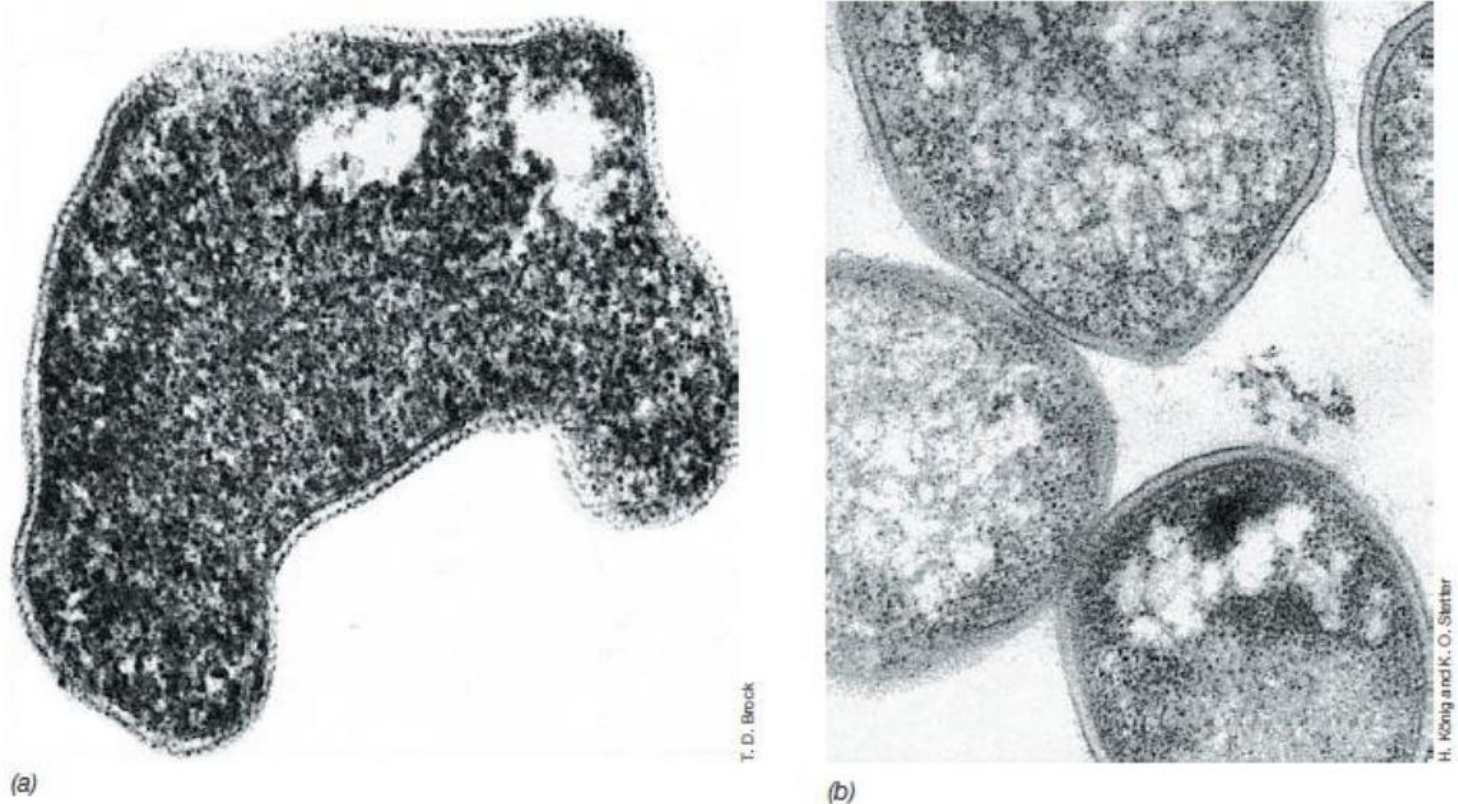
Imperial geyser= salah satu geyser yang terletak di Taman Nasional Yellowstone, Amerika Serikat

Mata air panas berasam kaya zat besi (acidic iron-rich geothermal spring) adalah mata air panas yang memiliki karakteristik asam, mengandung kadar zat besi yang tinggi, dan berasal dari aktivitas panas bumi.



# Crenarchaeota pada Habitat Vulkanik

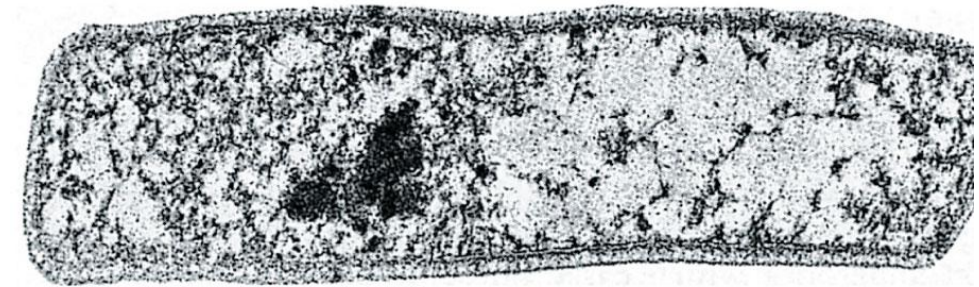
- Sulfolobales
- Sulfolobus hidup di mata air panas kaya belerang, merupakan organisme chemolitotrophs aerobic yang mengoksidasi sulfur atau besi tereduksi
- Acidianus hidup pada habitat yang sama dengan Sulfolobus, menggunakan Sulfur secara aerobic maupun anaerobik



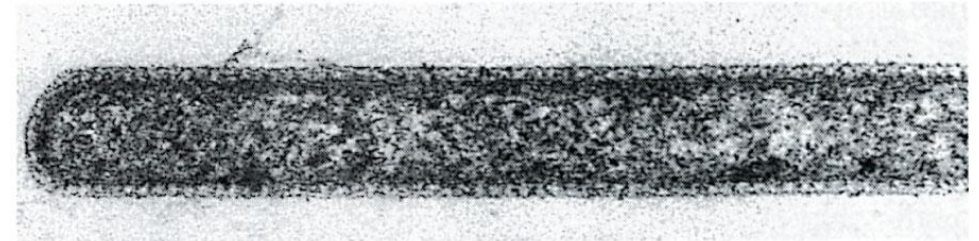
Acidophilic hyperthermophilic Archaea, the Sulfolobales. (a) *Sulfolobus acidocaldarius*. Electron micrograph of a thin section. (b) *Acidianus infernus*. Electron micrograph of a thin section. Cells of both organisms vary from 0.8 to 2  $\mu\text{m}$  in diameter. Sulfolobales typically show temperature optima below 90°.

# Crenarchaeota pada Habitat Vulkanik

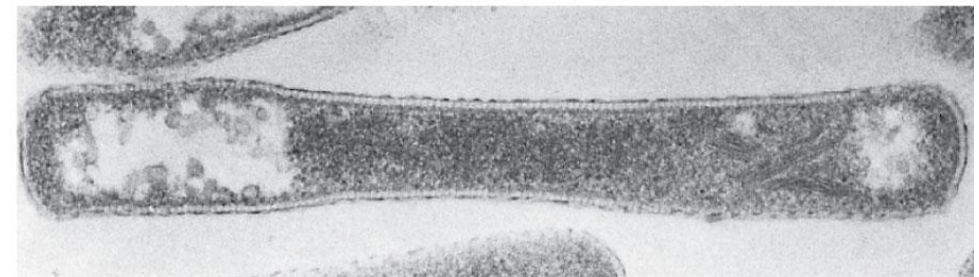
- Thermoproteales
- Hidup pada mata air panas yang sedikit asam atau pada hydrothermal vents
- Contoh organisme: a) *Thermoproteus neutrophilus*; b) *Thermofilum librum*; c) *Pyrobaculum aerophilum*



**(a)**



**(b)**



**(c)**

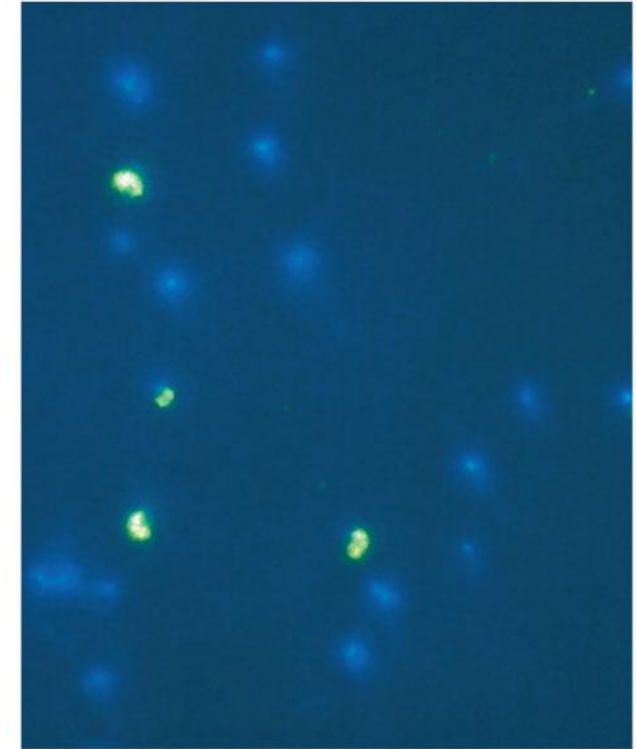
# Crenarchaeota pada Habitat Nonthermal

- Crenarchaeota nontermofilik telah diidentifikasi di perairan laut dingin dan lingkungan darat
- Berlimpah di perairan laut dalam
- Dapat melakukan nitrifikasi
- A) Antartic Peninsula; b) Crenarchaeota (pendaran berwarna hijau) pada laut dalam



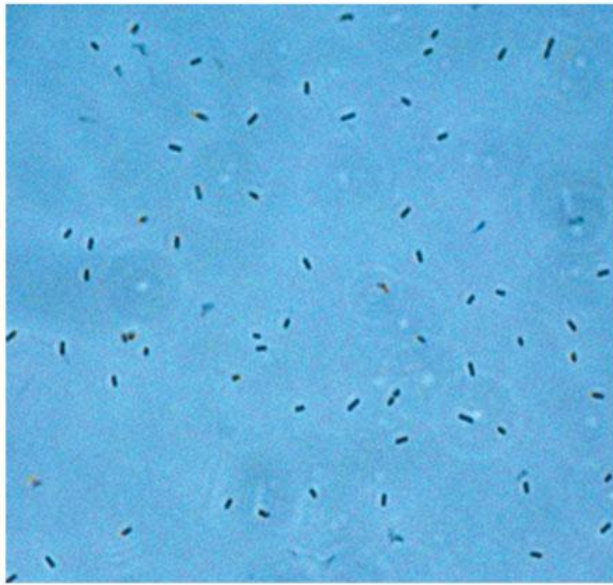
**(a)**

Ed DeLong



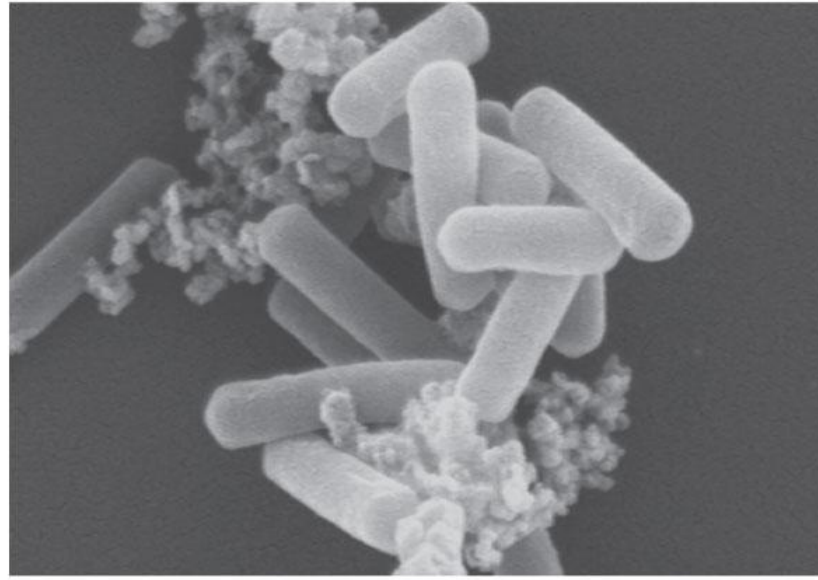
**(b)**

Ed DeLong



Martin Könneke

(a)



Martin Könneke

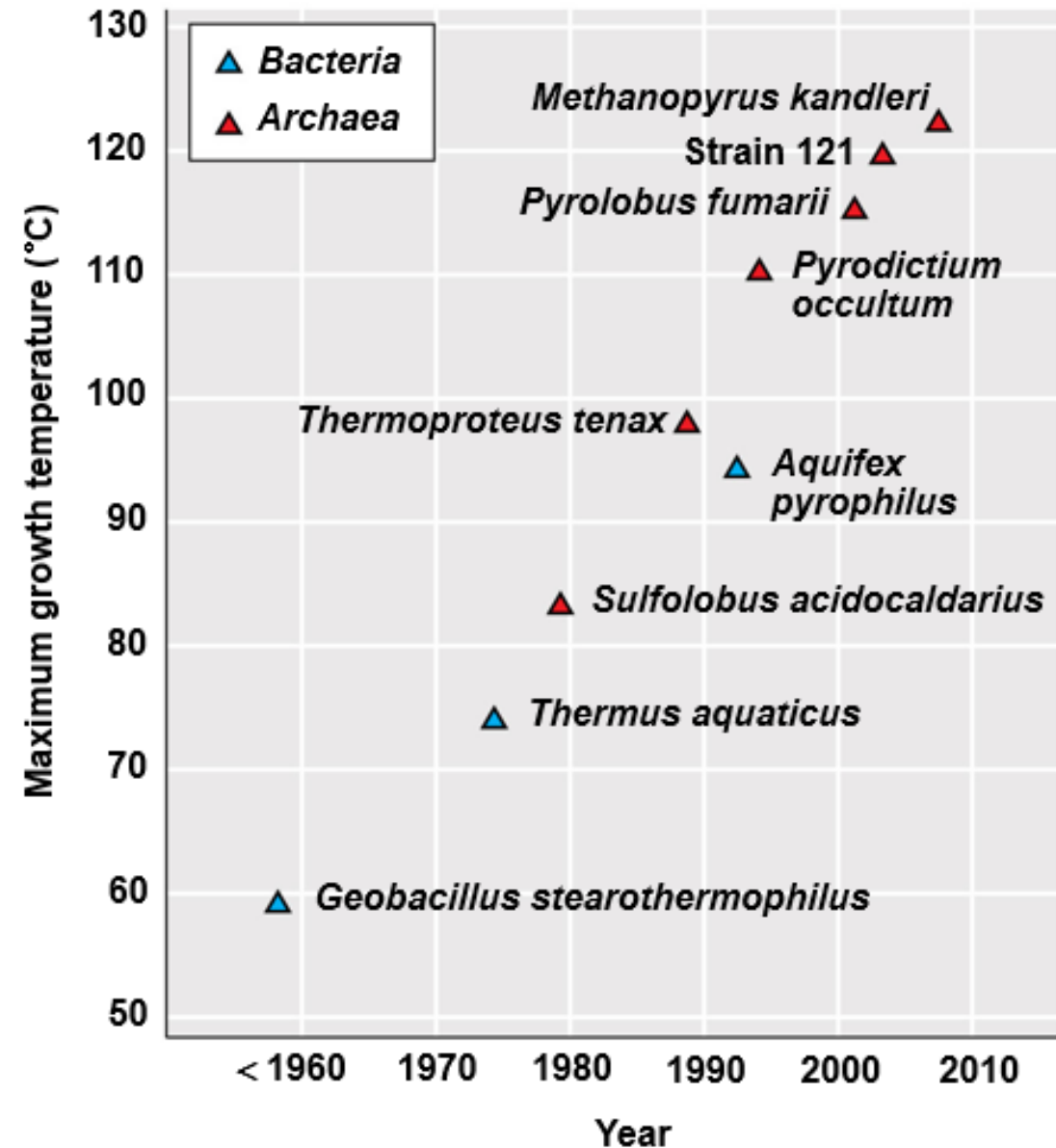
(b)

a) Photomicrograph *Nitrosopumilus maritimus*, spesies nitrifikasi Archaea; b) SEM *N.maritimus*

Organisme ini dapat mengoksidasi  $\text{NH}_3$  dalam jumlah yang sangat kecil di lingkungan perairan laut

# Berapa Batas Suhu untuk Kehidupan Mikroba?

- Percobaan laboratorium dengan biomolekul menunjukkan suhu 140–150°C



# Adaptasi Molekuler Archaea terhadap Suhu Tinggi

---

## Stabilitas Monomer

- Efek perlindungan dari konsentrasi tinggi zat terlarut sitoplasma
- Pemanfaatan molekul yang lebih stabil terhadap panas. Misalnya, penggunaan protein zat besi nonheme sebagai pengganti protein yang menggunakan NAD dan NADH

## Pelipatan Protein dan Termostabilitas

- Komposisi asam amino mirip dengan protein nontermostable
- Fitur struktural meningkatkan termostabilitas. Inti yang sangat hidrofobik. Peningkatan interaksi ionik pada permukaan protein

## Chaperonin

- Kelas protein yang melipat ulang protein yang terdenaturasi Sebagian
- Thermosom: Kompleks protein chaperonin utama dalam *Pyrodictium*

# Adaptasi Molekuler Archaea terhadap Suhu Tinggi

---

## Stabilitas DNA

- Kadar zat terlarut intraseluler yang tinggi menstabilkan DNA
- Reverse DNA Gyrase dapat mengemas DNA dan menstabilkan DNA, hanya ditemukan pada hipertermofilik
- kadar poliamina intraseluler yang tinggi (misalnya, putresin, spermidin) menstabilkan DNA dan RNA
- Protein pengikat DNA (histon) memadatkan DNA menjadi struktur seperti nukleosom

## Stabilitas Lipid

- Memiliki lipid jenis dibiphytanyl tetraether; membentuk struktur membran lipid monolapis
- Stabilitas rRNA= Konten GC lebih tinggi