

## SISTEMATIKA DOMAIN ARCHAEA

### Domain Archaea

Beberapa gambaran umum dari Archaea bisa Anda pelajari pada uraian berikut ini. Membran sel Archaea disusun oleh lipid gliserol berbasis isoprenoid. Tidak memiliki murein di dalam dinding selnya dan posisinya diganti oleh suatu protein tertentu. Enzim polimerase DNA yang mengkopi DNA untuk membentuk RNA berbeda dari bakteri. Protein dalam replikasi DNA lebih menyerupai eukariota dari pada dengan bakteri yang homolog. Sifat lainnya yang khas adalah bahwa Archaea tidak sensitif terhadap kebanyakan antibiotik yang potensial menghambat bakteri atau eukariota.

Seperti lipid membran bakteri, lipid pada Archaea disusun oleh rantai hidrofob yang berikatan dengan gliserol. Walaupun demikian, secara detail ternyata berbeda. Pengganti asam lemak berikatan dengan suatu ester gliserol dan kebanyakan lipid Archaea disusun oleh isoprenoid yang bergabung dengan ether gliserol. Isoprenoid adalah polimer alkyl dengan rantai cabang berbasis suatu unit dengan 5-karbon yang disintesis dari mevalonat. Dalam bakteri dan eukariot, isoprenoid ditemukan pada sisi rantai quinon dan klorofil, hasil antara dalam biosintesis dari sterol seperti kolesterol dan dalam karet. Isoprenoidnya tidak pernah menjadi komponen utama lipid gliserol. Walaupun demikian, asam lemak dengan rantai yang bercabang kadang-kadang ditemukan pada lemak bakteri, tetapi tidak disintesis dari mevalonat tetapi disintesis dari asam amino rantai bercabang dan asam lemak volatil.

Dinding sel Archaea berbeda dengan Gram positif dan Gram negatif yang merupakan tipe umum dinding sel dari bakteri. Dinding sel yang disusun murein tidak pernah ditemukan pada Archaea. Penggantinya, dinding sel selalu disusun oleh lapisan S yang merupakan sub unit protein yang disusun secara teratur pada permukaan sel. Polisakarida juga sering ditemukan berasosiasi dengan pembungkus, walaupun dalam banyak kasus strukturnya tidak dikenal. Lapisan S Archaea sangat sensitif terhadap detergen seperti SDS (sodium diodecyl sulfat) yang dapat melarutkan protein. Sel Archaea juga cepat terurai dalam larutan yang berisi konsentrasi rendah detergen. Meskipun lapisan S umum dalam bakteri, lapisan S biasanya hanya salah satu komponen dari kompleks pembungkus dan ditemukan di luar lapisan murein, kecuali pada Genus *Planctomyces*, *Pasteuria*, dan *Thermomicrobium roseum*, pada bakteri ini, lapisan S merupakan komponen terbesar dari dinding sel.

Pembungkus sel dari beberapa Archaea juga sama dengan pembungkus sel bakteri. *Thermoplasma* adalah Archaea seperti halnya *Mycoplasma* pada bakteri merupakan dua prokariot yang tidak memiliki dinding sel. Beberapa Metanogen, seperti *Methanobacterium*,

memiliki suatu dinding sel dari polimer yang disebut pseudomurein yang mirip sekali dengan murein (peptidoglikan dalam bakteri). Pseudomurein disusun oleh polisakarida yang berhubungan secara menyilang dengan asam amino, mirip sekali dengan murein. Sedangkan, polisakarida disusun oleh N asetilglukosamin dan asam N asetiltalosaminuronat. Asam muramat komponen sakarida umum dari murein, tidak ditemukan. Juga asam D. amino yang umum dalam peptidoglikan bakteri. Dalam hal yang lain, secara kimia dan fisika dari pseudomurein dan murein adalah serupa. Keduanya tahan terhadap protease atau enzim-enzim yang menghidrolisis ikatan peptida.

Karena biokimia Archaea sangat berbeda dengan organisme yang lain, hal tersebut memungkinkan bahwa sensitivitas terhadap antibiotik juga akan berbeda, hal ini benar adanya. Sebagai contoh, karena Archaea tidak memiliki murein, mereka tidak sensitif terhadap kebanyakan antibiotik yang menghambat sintesis dinding bakteri. Jadi, kebanyakan Archaea tidak dipengaruhi oleh konsentrasi yang sangat tinggi dari penisilin, sikloserin, vancomisin, dan cephalosporin yang semuanya itu menghambat sintesis murein. Karena selektivitas ini, antibiotik tersebut juga digunakan sebagai tambahan untuk pengayaan kultur Archaea, karena antibiotik tersebut dapat menghambat pertumbuhan bakteri pesaingnya. Demikian pula DNA polimerase dari Archaea tidak dihambat oleh rifamisin, sementara itu jenis antibiotik ini menghambat enzim-enzim bakteri pada konsentrasi rendah. Sintesis protein pada Archaea juga tidak dipengaruhi oleh antibiotik yang sudah dikenal seperti kloramfenikol, sikloheksimid, dan streptomisin, walaupun demikian neromisin dapat menghambat pada konsentrasi tinggi. Tetrasiklin juga sangat jelek penghambatannya, sekalipun tetrasiklin dapat menghambat sintesis protein bakteri dan eukariot. Hasil-hasil tersebut memberi kesan bahwa struktur ribosom Archaea sangat berbeda dari ribosom bakteri dan eukariot.

Para ahli biologi yang mempelajari kehidupan prokariota telah mengidentifikasi tiga kelompok utama Archaea: metanogen, halofil ekstrim, dan termofil ekstrim. Metanogen dinamai sesuai dengan metabolisme energinya yang khas, dimana  $H_2$  digunakan untuk mereduksi  $CO_2$  menjadi metana ( $CH_4$ ). Metanogen, yang tergolong anaerob obligat (tidak dapat mentolerir keberadaan oksigen), akan teracuni oleh adanya oksigen. Mereka hidup di lumpur dan rawa tempat mikroba lain telah menghabiskan semua oksigen. Metana yang keluar sebagai gelembung dari tempat tersebut dikenal sebagai gas rawa. Metanogen juga merupakan pengurai penting yang digunakan dalam pengolahan kotoran. Beberapa petani telah mencoba menggunakan mikroba ini untuk mengubah sampah dan kotoran hewan menjadi metana, yang merupakan bahan bakar yang berharga. Spesies metanogen lain

menempati lingkungan anaerobik di dalam perut hewan dan berperan penting dalam proses nutrisi sapi, rayap, dan herbivora lain yang terutama mengandalkan makanan berselulosa.

Halofil ekstrim (Bahasa Yunani halo. “garam”, dan philos, “pencinta”) hidup di tempat yang asin seperti Great Salt Lake dan Laut Mati. Beberapa spesies sekedar memiliki toleransi terhadap salinitas, sementara yang lainnya memerlukan suatu lingkungan yang sepuluh kali lebih asin dari air laut untuk dapat tumbuh. Koloni halofil membentuk suatu buih berwarna merah ungu, yang dihasilkan oleh bakteriohodopsin.

Seperti yang ditunjukkan oleh namanya, termofil ekstrim dapat bertahan hidup dalam lingkungan panas. Kondisi optimum untuk Archaea ini adalah suhu 60°C sampai 80°C. *Sulfolobus* menempati mata air panas sulfur di Yellowstone National Park, dan mendapatkan energinya dengan cara mengoksidasikan sulfur. Termofil yang memetabolisme sulfur lainnya hidup pada air bersuhu 105°C dekat dengan lubang hidrotermal di laut dalam. Perbandingan protein-protein pokok telah meyakinkan James Lake dari University of California, Los Angeles, bahwa termofil ekstrim adalah prokariota yang paling dekat hubungan kekerabatannya dengan eukariota. Ia menyoroti makna evolusioner ini dengan menyebut termofil ekstrim ini sebagai eosit (eocyte), yang berarti “sel-sel permulaan”.

Tabel 6.2.1 Perbandingan karakteristik antara Tiga Domain Kehidupan

Karakteristik	DOMAIN		
	Bakteria	Archaea	Eukarya
Selubung nukleus	Tidak ada	<b>Tidak ada</b>	Ada
Organel yang terbungkus membran	Tidak ada	<b>Tidak ada</b>	Ada
Dinding sel	Murein dan LPS serta protein	<b>Protein, glikoprotein, pseudomurein</b>	Sangat bervariasi tapi tidak memiliki peptidoglikan
Ukuran	1-4 $\mu\text{m}$	<b>1-4 <math>\mu\text{m}</math></b>	>5 $\mu\text{m}$
Lipid membran	Hidrokarbon tak bercabang	<b>Beberapa hidrokarbon bercabang</b>	Hidrokarbon tak bercabang
RNA polimerase	Satu jenis	<b>Beberapa jenis</b>	Beberapa jenis
Asam amino inisiator untuk permulaan sintesis protein	Formil-metionin	<b>Metionin</b>	Metionin
Intron (bagian gen yang bukan untuk pengkodean)	Tidak ada	<b>Ada pada beberapa gen</b>	Ada
Respons terhadap antibiotik streptomisin dan kloramfenikol	Pertumbuhan terhambat	<b>Pertumbuhan tidak terhambat</b>	Pertumbuhan tidak terhambat

### Sistematika Domain Archaea

Berdasarkan karakteristik yang ditemukan Archaea terbagi ke dalam tiga group filogenetik atau filum yaitu Crenarchaeota, Euryarcheota, dan Korarcheota.

### Filum Crenarchaeota

Filum ini terdiri dari kebanyakan organisme yang dikenal sebagai organisme termofilik. Beberapa organisme dari filum ini tumbuh pada temperatur di atas titik didih air. Kebanyakan organisme ini mengandalkan metabolisme sulfur sebagai sumber energi atau akseptor elektron. Sebagai contoh, beberapa oksidasi reduksi senyawa sulfur secara aerobik untuk menghasilkan asam sulfat. Yang lainnya mereduksi elemen sulfur dan menggunakannya sebagai akseptor elektron untuk membentuk hidrogen sulfida. Beberapa

organisme mereduksi besi dan mangan. Tidak semua Crenarchaeota bersifat termofilik. Crenarchaeota juga ditemukan di lingkungan dasar lautan seperti dilaut kutub.

Banyak Archaea memiliki temperatur optimal lebih dari 80°C, dan *Picrolobus*, merupakan ekstrim termofil yang berhasil diisolasi, memiliki temperatur optimal 106°C. Archaea seperti *Picrolobus* yang dapat tumbuh pada 90°C atau di atasnya juga disebut hipertermofi. Yang menarik, Archaea ekstrim termofil jumlahnya menjadi melimpah hanya di atas temperatur dimana bakteri termofilik menjadi sedikit jumlahnya. Archaea tersebut memiliki temperatur optimal di bawah 80°C baik itu yang metanogenik, ekstrim halofil, atau termofilik moderat, dan asidofilik. Jadi, Archaea memiliki relung (niche) dimana bakteri tidak ada atau jarang. Penjelasan yang memungkinkan untuk penyebaran ini adalah bahwa Archaea hanya berlimpah pada habitat di mana bakteri tidak mampu tumbuh seperti pada temperatur tinggi atau kadar garam tinggi atau jika mereka tidak memperoleh energi yang dibutuhkan seperti pada metanogenesis.

Lebih lanjut, Archaea ekstrim termofil terbagi menjadi aerob obligat dan fakultatif dan anaerob obligat. Aerob biasanya bersifat asidofil dan memiliki pH optimum sampai 2,0. Obligat anaerob kebanyakan neutrofilik dan memiliki pH optimum lebih dari 5,0. Kendatipun kondisi ekstrim dimana organisme ini selalu ditemukan, adaptasi terhadap lingkungannya adalah sama kompleksnya dengan seperti ditemukan pada kondisi mesofil. Sebagai contoh, hipertermofil *Pyrodictium abyssi* membentuk suatu bola putih tipis dalam air kaldu panas pada temperatur 97°C yang disusun dari kompleks jaringan tubul tiga dimensi. Meskipun alasan secara fisiologi untuk struktur ini tidak diketahui, sel dengan jelas menyediakan diri dengan proporsi yang besar dari sumber dayanya untuk membuatnya. Beberapa contoh dari Crenarchaeota dapat Anda telaah pada Tabel 6.2.2.

Tabel 6.2.2. Beberapa genus dari filum Crenarchaeota dengan beberapa karakteristiknya.

Genus	Morfologi	Donor elektron	Penerima elektron	Temperatur Optimum (oC)	PH Optimum
<i>Pyrococcus</i>	kokus tidak beraturan	organik, S <sup>0</sup> , H <sub>2</sub> S, Fe <sup>2+</sup> , H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	65 - 85	2,4 - 4,5
<i>Aciadianus</i>	kokus tidak beraturan	H <sub>2</sub> , S <sup>0</sup> , organik	S <sup>0</sup> , O <sub>2</sub>	70 - 90	1,5 – 2,5
<i>Metallosphaera</i>	kokus	S <sup>0</sup> , FeS <sub>2</sub> , organik	O <sub>2</sub>	75	1,0 - 4,5
<i>Sulfurisphaera</i>	kokus tidak beraturan	pepton	S <sup>0</sup>	84	2,0
<i>Stygiolobus</i>	kokus tidak beraturan	H <sub>2</sub>	S <sup>0</sup>	80	1,0 – 5,5
<i>Sulfurococcus</i>	kokus	S <sup>0</sup> , FeS <sub>2</sub> , organik	O <sub>2</sub>	60 - 75	2,0.- 2,6
<i>Thermoproteus</i>	batang tipis	organik, H <sub>2</sub>	S <sup>0</sup>	85 - 88	5,0 – 6,8
<i>Caldivirga</i>	batang tipis	organik	S <sup>0</sup>	85	3,7 – 4,2
<i>Pyrobaculum</i>	batang tipis	H <sub>2</sub>	S <sup>0</sup>	100	6,0
<i>Thermocladium</i>	batang tipis	organik	S <sup>0</sup>	75	4,2
<i>Thermofilum</i>	batang tipis	organik	S <sup>0</sup>	85- 90	5,0 – 6,0
<i>Desulfurococcus</i>	kokus	organik	S <sup>0</sup>	85 - 92	6,0
<i>Aeropyrum</i>	kokus	organik	S <sup>0</sup>	90 - 95	7
<i>Ignicoccus</i>	kokus	H <sub>2</sub>	S <sup>0</sup>	90	6
<i>Staphylothermus</i>	kokus	organik	S <sup>0</sup>	92	tidak terdeterminasi
<i>Stetteria</i>	keping	organik	S <sup>0</sup>	95	6
<i>Sulfophobococcus</i>	kokus	organik	-	87	7,5
<i>Thermodiscus</i>	keping	organik	S <sup>0</sup>	90	5,5
<i>Thermosphaera</i>	Keping, mengelompok	organik	-	85	6,5 – 7,2
<i>Pyrodictium</i>	keping	H <sub>2</sub> , organik	S <sup>0</sup>	97 - 105	5,5
<i>Hyperthermus</i>	kokus tidak beraturan	Peptida, H <sub>2</sub>	S <sup>0</sup>	95 - 106	7,0

### Filum Euryarcheota

Filum ini dikenal sebagai kelompok metanogen (penghasil metan). Euryarcheota memiliki kemampuan untuk menghasilkan gas metan dari sumber senyawa karbon sederhana.

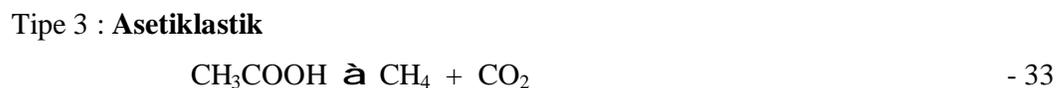
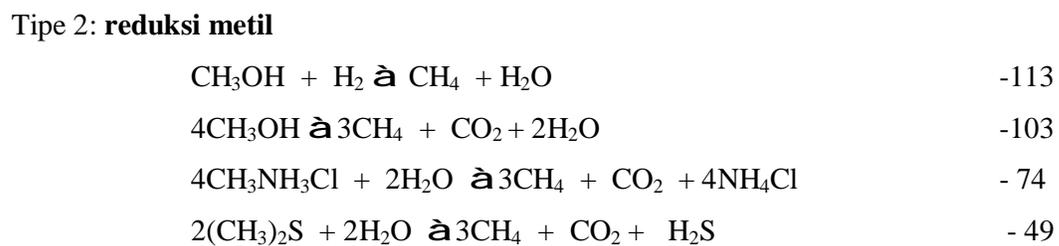
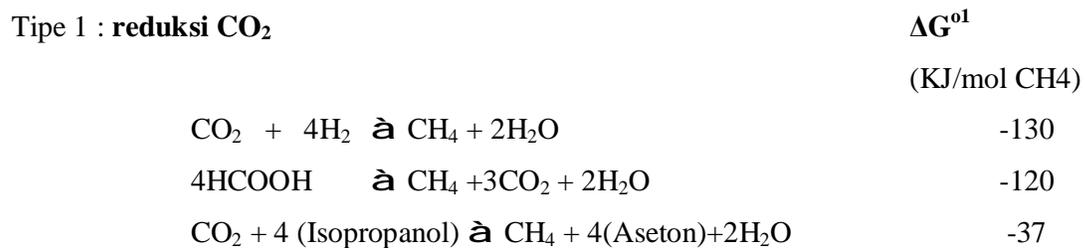
Beberapa organisme menggunakan karbon dioksida dan gas hidrogen, sedangkan yang lainnya menggunakan metanol atau asam asetat. Kelompok ini bersifat anaerob, beberapa diantaranya tumbuh pada potensial redoks terendah dari seluruh prokariotik. Beberapa dari organisme ini memfiksasi karbon dioksida, tetapi tidak menggunakan baik siklus Calvin-Benson maupun siklus reduksi TCA. Beberapa dari Euryarcheota bersifat hypertermofilik. Halofil ekstrem merupakan subgroup fenotik lainnya. Organisme yang termasuk halofil ekstrim ini tumbuh hanya pada larutan garam yang jenuh. Mereka akan mengalami lisis bila ditempatkan pada air murni.

Menjadi catatan bahwa disini terjadi tumpang tindih antara halofil ekstrim dan methanogen. Jadi, beberapa spesies dari methanogen tumbuh di dalam lingkungan dengan kandungan garam yang tinggi. Beberapa contoh dari genus anggota Euryarcheota dapat Anda telaah pada Tabel 6.2.3. dan 6.2.4

Metanogenesis adalah suatu komponen penting dari siklus karbon di bumi. Sekitar setengah dari produksi metan oleh Archaea kelompok ini di dioksidasi sebelum gas metan ini mencapai atmosfer dan produksi total secara biologi di bumi di perkirakan sekitar  $0,78 \times 10^{15}$  g metan-karbon pertahun. Hal ini menggambarkan bahwa produksi metan secara mikrobiologi juga menghasilkan produksi  $\text{CO}_2$  dalam jumlah yang sama. Proses metanogenesis menghasilkan mineralisasi sekitar  $1,6 \times 10^{15}$  g dari  $100 \times 10^{15}$  g karbon tetap setiap tahun, atau sekitar 1,6% dari produktivitas primer bersih. Sejumlah besar metan juga dilepaskan pada atmosfer bumi setiap tahun. Karena metan adalah gas rumah kaca, memberikan kontribusi terhadap pemanasan bumi. Kandungan metan di atmosfer sekitar 1,7 ppm. Sementara itu, kandungan metan lebih dari dua kali lipat ditemukan di udara dingin di kutub sebelum revolusi industri. Sekarang ini, konsentrasi metan atmosfer meningkat dengan laju sekitar 1% pertahun dan kontribusi metan terhadap pemanasan rumah kaca diperkirakan menjadi meningkat.

Substrat untuk sintesis metan dibatasi menjadi beberapa tipe senyawa. Tipe pertama digunakan oleh metanogen yang mereduksi  $\text{CO}_2$  menjadi metan. Donor elektron utama untuk reduksi ini adalah  $\text{H}_2$  dan format. Yang lainnya, beberapa metanogen menggunakan alkohol seperti 2-propanol, 2-butanol, C-pentanol, ethanol sebagai elektron donor. Dalam oksidasi 2 propanol dihasilkan aseton. Karena delapan elektron dibutuhkan untuk mereduksi  $\text{CO}_2$  menjadi metan maka dibutuhkan 4 molekul  $\text{H}_2$ , format, dan 2 propanol. Sekalipun, format adalah senyawa reduksi C1, format dioksidasi menjadi  $\text{CO}_2$  sebelum  $\text{CO}_2$  direduksi menjadi metan. Tipe substrat kedua untuk metanogenesis adalah senyawa C-1 terdiri dari karbon metil yang berikatan dengan O,N, atau S. Tipe senyawa ini mencakup metanol,

monometilamin, dimetilamin, trimetilamin, dan dimetil sulfida. Group metil direduksi menjadi metan. Elektron untuk reduksi ini dihasilkan dari oksidasi penambahan group metil pada CO<sub>2</sub>. Karena 6 elektron yang dapat dihasilkan dari oksidasi ini dan hanya dua yang dibutuhkan untuk mereduksi group metil menjadi metan, stoichiometri dari reaksi ini adalah 3 molekul metan dibentuk dari setiap pembetukan CO<sub>2</sub>. Suatu kekecualian untuk aturan ini ditemukan pada *Methanosphaera stadtmaniae* yang dapat menggunakan H<sub>2</sub> hanya untuk mereduksi metanol menjadi metan. Rupanya, archaea ini tidak memiliki kemampuan untuk mengoksidasi metanol. Tipe substrat yang ketiga adalah asetat. Dalam reaksi ini, metil (C-2) karbon dari asetat direduksi menjadi metan menggunakan elektron yang berasal dari oksidasi karbon karboksil (C-1) dan asetat. Reaksi ini disebut reaksi asetiklastik karena di sini dihasilkan metan dan CO<sub>2</sub> dengan cara pemecahan asetat.

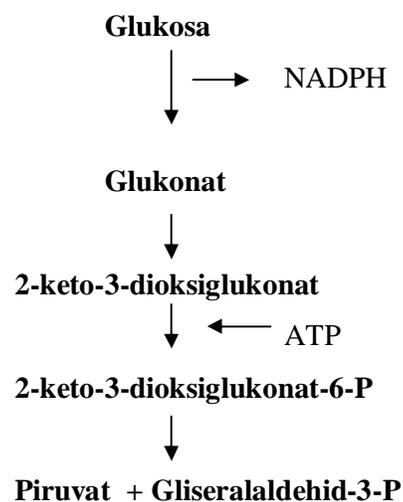


#### Habitat metanogen

Spesies metanogen banyak terdapat di habitat anaerobik yang banyak mengandung materi organik yang mudah terdegradasi. Sedimen perairan tawar seperti kolam, danau, rawa, dan sawah merupakan habitat penting untuk metanogen. Dalam lingkungan ini jumlah CO<sub>2</sub> relatif tinggi karena CO<sub>2</sub> merupakan produk fermentasi utama. *Methanobrevibacter smithii*, merupakan kokobasilus yang menggunakan H<sub>2</sub> atau format untuk mereduksi CO<sub>2</sub> menjadi metan, archaea ini ditemukan pada usus besar manusia. Selain itu juga ditemukan pada

ruminansia jenis *M. ruminantium*. Beberapa hidup bersimbiosis dengan beberapa protozoa anaerobik di lumpur rawa dan air tawar serta sedimen dasar laut.

Haloarchaea merupakan kelompok lain dari filum Euryarcheota. Kelompok ini ada yang bersifat aerob obligat dan fakultatif. Kebanyakan menggunakan asam amino, karbohidrat, dan asam organik sebagai sumber energi. *Halobacterium* mengoksidasi glukosa melalui modifikasi jalur **Entnerdoudorof**. (Gambar 6.2.1) Dalam keadaan kekurangan bahkan tidak ada oksigen *Haloferax denitrificans* juga mampu untuk tumbuh melalui respirasi anaerobik nitrat. *Halobacterium salinarium* dapat memfermentasi arginin dalam kondisi ketiadaan oksigen atau nitrat.



Gambar 6.2.1 Bagan jalur oksidasi glukosa melalui modifikasi jalur **Entnerdoudorof**. Rantai tranpor elektron sangat serupa dengan yang dotemukan pada bakteri yang mengoksidasi NADH yang berasal dari siklus TCA

Tabel 6.2.3. Beberapa contoh genus anggota penghasil metan dari filum Euryarcheota dan karakteristiknya

**Ge Mo Su Te Di  
nu rfo bst mp ndi**

**s log rat era ng  
i uta tur Sel  
ma opt  
ene im  
rgi um  
(°C  
)**

*Me bat H<sub>2</sub>, 37- Pse  
tha ang (for 45 udo  
nob mat mu  
act ) rei  
eri n  
um*

*Me bat H<sub>2</sub>, 55- Pse  
tha ang (for 65 udo  
not mat mu  
her ) rei  
mo n  
bac  
ter*

*Me bat H<sub>2</sub>, 37- Pse  
tha ang for 40 udo  
nobpenmat mu  
rev dek rei  
iba n  
cte  
r*

*Me kokH<sub>2</sub> 37 Pse  
tha us + udo  
nos met mu  
pha ano rei  
era l n*

*Me bat H<sub>2</sub> 80- Pse  
tha ang 88 udo  
not mu  
her rei  
mu n +  
s pro  
tein*

*Me kokH<sub>2</sub>, 35- Pro  
tha us for 40 tein  
noc mat  
occ*

*us*

*Me* kokH<sub>2</sub>, 60- Pro  
*tha* us for 65 tein  
*not* mat  
*her*  
*mo*  
*coc*  
*cus*

*Me* kokH<sub>2</sub> 80- Pro  
*tha* us 85 tein  
*noc*  
*ald*  
*oco*  
*ccu*  
*s*

*Me* kokH<sub>2</sub> 88 Pro  
*tha* us tein  
*nto*  
*rris*

*Me* bat H<sub>2</sub>, 40 Pro  
*tha* angfor tein  
*no* mat  
*mic*  
*rob*  
*ium*

*Me* kokH<sub>2</sub>, 15- Pro  
*tha* us for 57 tein  
*no*stida mat  
*eni* k  
*um* ber  
atu  
ran

*Me* kepH<sub>2</sub>, 32- Gli  
*tha* ing for 40 kop  
*no*pata mat rot  
*lan* u ein  
*us* plat

*Me* bat H<sub>2</sub> 40 Gli  
*tha* ang kop  
*nol* rot  
*aci* ein  
*nia*

*Me* kok<sup>H<sub>2</sub></sup>, 20- Gli  
*tha* us for 55 kop  
*noc*tida<sup>mat</sup> rot  
*ulle*<sub>k</sub> ein  
*us* ber  
atu  
ran

*Me* kok<sup>H<sub>2</sub></sup>, 37- Gli  
*tha* us for 40 kop  
*nof*tida<sup>mat</sup> rot  
*olli*<sub>k</sub> ein  
*s* ber  
atu  
ran

*Me* spir<sup>H<sub>2</sub></sup>, 30- Pro  
*tha* al for 37 tein  
*nos* mat +  
*piri* sel  
*llu* uda  
*m* ng

*Me* kok<sup>H<sub>2</sub></sup>, 30- Gli  
*tha* us for 40 kop  
*nco*kec<sup>mat</sup> rot  
*rpu*il ein  
*scu*  
*lum*  
*o*

*Me* kok<sup>H<sub>2</sub></sup>, 30- Tid  
*tha* us for 40 ak  
*noc*tida<sup>mat</sup> teri  
*alc* k den  
*ulu* ber ti-  
*s* atu fik  
ran asi

*Me* kok<sup>(H<sub>2</sub></sup> 35- Pro  
*tha* us, ) 60 tein  
*nos* pak<sup>met</sup> +  
*arc* et il- het  
*ina* ami ero  
n, pol  
ase isa  
tat kar  
ida

*Me* kokmet23- Pro  
*tha* us ila 35 tein  
*noc* mi  
*occ* n  
*oid*  
*es*

*Me* kokmet37 Gli  
*tha* us ila kop  
*nol* tida mi rot  
*obu* k n ein  
*s* ber  
atu  
ran

*Me* kokmet35- Pro  
*tha* us ila 40 tein  
*noh* tida mi  
*alo* k n  
*phi* ber  
*lus* atu  
ran

*Me* Polmet40- Tid  
*tha* igo ila 55 ak  
*noh* n mi teri  
*alo* plat n den  
*biu* ti-  
*m* fik  
asi

Tabel 6.2.4. Beberapa contoh genus anggota halofil ekstrim dari filum Euryarcheota dan karakteristiknya

**Ge Mo Su pH Na**  
**nu rfo bst opt Cl**  
**s log rat im opt**  
**i um im**  
**al**  
**(M**  
**)**

*Halbat As 5-8 3,5*  
*obaangam -*  
*cte panami 4,5*  
*riu jan no*  
*m g*

*Halbat As 7,0 2,5*  
*ora angam - -*  
*rcu penami 7,5 3,0*  
*la dekno,*  
*ple CH*  
*om <sub>2</sub>O*  
*orfi*  
*k*

*Halbat org 6-7 1-*  
*obaangani 2,5*  
*cul k*  
*um*

*Halple As 7 2,5*  
*ofe om am*  
*rax orfi ami*  
*k no,*  
*CH*  
*<sub>2</sub>O*

*HalkokAs 6,8 3,5*  
*ocous am - -*  
*ccu ami 9,5 4,5*  
*s no,*  
*CH*  
*<sub>2</sub>O*

*Natbat org 9,5 3,5*  
*rialang ani*  
*ba k,*  
*CH*  
*<sub>2</sub>O*

Tabel 6.2.5. Beberapa contoh genus anggota termofil ekstrim dari filum Euryarcheota dan karakteristiknya

**Ge Mo Do Pe Te pH**  
**nu rfo norner mp opt**

s log ele im era im  
 i ktr a tur um  
 on ele Op  
 ktr tim  
 on um  
 (o  
 C)

Arc kok H<sub>2</sub>, SO 80- 6,0  
 hae us org 4<sup>-2</sup> 85 -  
 ogl ani 7,0  
 obu k  
 s

Fer kok Fe<sup>+</sup> NO 85 7,0  
 rog us <sup>2</sup>, <sup>3</sup><sup>-</sup>  
 lob tida H<sub>2</sub>, S<sub>2</sub>  
 us k S, O<sub>3</sub><sup>-</sup>  
 ber H<sup>2</sup> <sup>2</sup>  
 atu  
 ran

The ple org O<sub>2</sub>, 55- 1,0  
 rm om ani S<sup>o</sup> 59 -  
 opl orfik 2,0  
 as k  
 ma

Pic kok org O<sub>2</sub> 60 0,7  
 rop us ani  
 hil tidak  
 us k  
 ber  
 atu  
 ran

The kok org S<sup>o</sup> 75- 6,0  
 rm us ani 88 -  
 oco k 8,0  
 ccu  
 s

<i>Pyrococcus</i>	kokus	organik	S <sup>o</sup>	100	7,0
-------------------	-------	---------	----------------	-----	-----

## **Filum Korarchaea**

Anggota dari kelompok ini ditemukan di lingkungan mata air panas, tetapi belum ada strain yang hingga saat ini dapat diisolasi dalam kultur murni, jadi sedikit yang diketahui dari sifat-sifat fenotiknya. Filum ini merupakan filum relatif baru.

## **Latihan**

Untuk memperdalam pemahaman Anda mengenai sistematika Domain Bacteria, silakan Anda kerjakan latihan berikut ini.

1. Walaupun sama-sama prokariota ternyata Archaea berbeda dengan Bacteria. Coba Anda jelaskan perbedaan Archaea dari Bacteria!
2. Jelaskan dengan singkat tentang Archaea yang bersifat metanogen! Dan berikan contohnya.
3. Jelaskan apa yang dimaksud dengan Archaea ekstrim halofil! Dan berikan contohnya.
4. *Sulfolobus* merupakan contoh Archaea yang termasuk termofil ekstrim, jelaskan !
5. Pada kelompok metanogenesis dikenal ada 3 substrat untuk sintesis metan. Coba Anda jelaskan !

## **Petunjuk Jawaban Latihan**

Jika Anda menemui kesulitan dalam menjawab soal latihan tersebut di atas, gunakanlah petunjuk berikut ini. Untuk lengkapnya silakan Anda telaah lagi bagian yang dipertanyakan pada uraian dan contoh dalam modul ini.

1. Bila Anda lupa, perhatikan uraian tentang membran sel, struktur dinding sel. Dan enzim polimerase DNA, serta sensitivitas terhadap antibiotik dari Archaea dan bakteri.
2. Archaea metanogen, dikatakan seperti itu karena cara memperoleh energinya yang khas, menggunakan H<sub>2</sub> untuk mereduksi CO<sub>2</sub> menjadi metan. Contohnya *Methanospaera stadtmaniae*.
3. Archaea ekstrim halofil merupakan kelompok Archaea yang hidup di tempat-tempat yang sangat asin. Contohnya: *Halobacterium salinarium*

4. *Sulfolobus* merupakan Archaea ekstrim termofil hal ini disebabkan *Sulfolobus* hidup di tempat yang panas. *Sulfolobus* ditemukan pada mata air panas sulfur di Yellowstone National Park.
5. Pada metanogenesis, tergantung dari jenis Archaeanya terdapat tiga tipe substrat yang digunakan sebagai sumber penghasil energi yaitu CO<sub>2</sub>, Metil, dan asetat.

### **Rangkuman**

Membran sel Archaea disusun oleh lipid gliserol berbasis isoprenoid. Tidak memiliki murein di dalam dinding selnya dan posisinya diganti oleh suatu protein tertentu. Enzim polimerase DNA yang mengkopi DNA untuk membentuk RNA berbeda dari bakteri. Protein dalam replikasi DNA lebih menyerupai eukariota dari pada dengan bakteri yang homolog. Sifat lainnya yang khas adalah bahwa Archaea tidak sensitif terhadap kebanyakan antibiotik yang potensial menghambat bakteri atau eukariota.

Para ahli biologi yang mempelajari kehidupan prokariota telah mengidentifikasi tiga kelompok utama Archaea: metanogen, halofil ekstrim, dan termofil ekstrim. Metanogen dinamai sesuai dengan metabolisme energinya yang khas, dimana H<sub>2</sub> digunakan untuk mereduksi CO<sub>2</sub> menjadi metana (CH<sub>4</sub>). Sedangkan halofil ekstrim (Bahasa Yunani halo. “garam”, dan philos, “pencinta”) hidup di tempat yang asin seperti Great Salt Lake dan Laut Mati. Beberapa spesies sekedar memiliki toleransi terhadap salinitas, sementara yang lainnya memerlukan suatu lingkungan yang sepuluh kali lebih asin dari air laut untuk dapat tumbuh. Koloni halofil membentuk suatu buih berwarna merah ungu, yang dihasilkan oleh bakteriorhodopsin. Sementara itu, termofil ekstrim dapat bertahan hidup dalam lingkungan panas. Kondisi optimum untuk Archaea ini adalah suhu 60°C sampai 80°C. *Sulfolobus* menempati mata air panas sulfur di Yellowstone National Park, dan mendapatkan energinya dengan cara mengoksidasi sulfur. Termofil yang memetabolisme sulfur lainnya hidup pada air bersuhu 105°C dekat dengan lubang hidrotermal di laut dalam.

Berdasarkan karakteristik yang ditemukan, Archaea terbagi ke dalam tiga group filogenetik atau filum yaitu Crenarchaeota, Euryarcheota, dan Korarcheota.

### **Tes Formatif**

Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah dengan cara memilih satu jawaban yang paling tepat.

1. Pada Archaea dan Bacteria di dalam membran plasmanya ditemukan adanya isoprenoid. Isoprenoid pada Archaea selain sebagai komponen utama lipid membran juga dihasilkan dari ...
  - a. sterol
  - b. kolesterol
  - c. mevalonat
  - d. gliserol
  
2. Bila pada bakteri dikenal pada dinding selnya di susun oleh murein atau lebih dikenal lagi sebagai peptidoglikan, maka pada Archaea ditemukan adanya struktur mirip murein yaitu ...
  - a. N asetilglukosamin
  - b. Pseudomurein
  - c. Asam muramat
  - d. Metionin
  
3. Antibiotik yang memberikan efek penghambatan pada Archaea adalah ...
  - a. neuromisin
  - b. rifamisin
  - c. streptomisin
  - d. tetrasiklin
  
4. Organisme yang tergolong pada Archaea dan dapat ditemukan pada hewan ruminansia umumnya termasuk ke dalam kelompok ...
  - a. metanogen
  - b. ekstrim halofil
  - c. ekstrim termofil
  - d. hipertermofil

5. Kelompok ini merupakan Archaea termofilik. Sebagian besar mengandalkan metabolisme sulfur sebagai sumber energi. Organisme ini termasuk pada filum ...
- Crenarcheota
  - Euryarcheota
  - Haloarchaea
  - Korarchaea
6. Archaea yang sangat berperan dalam siklus karbon di bumi termasuk pada kelompok ...
- Methanoarchaea
  - Haloarchaea
  - Korarchaea
  - Euryarcheota
7. Pada Archaea yang termasuk metanogen, apapun substrat yang akan dijadikan sumber energi, maka yang selalu dihasilkan adalah ...
- CO<sub>2</sub>
  - H<sub>2</sub>S
  - CH<sub>4</sub>
  - H<sub>2</sub>O
8. Pada peristiwa asetilklastik, merupakan salah satu reaksi kimia pada salah satu kelompok Archaea metanogen untuk memperoleh energi, dihasilkan komponen ...
- metan dan air
  - metan dan karbondioksida
  - metan dan asam sulfida
  - metan dan metan
9. Archaea ini bersifat termofilik aerob. Hidup pada pH sampai 2,0. Archaea ini dikelompokkan pada filum ...
- Hipertermofil
  - Acidofil
  - Crenarheota
  - Korarcheota

10. Relung Archaea dan Bacteria berlainan, jarang sekali ditemukan bakteri hidup bersama-sama dengan Archaea. Hal ini disebabkan oleh ...
- kondisi lingkungan bakteri serupa dengan Archaea
  - Archaea kalah bersaing dengan bakteri
  - sumber energi bakteri berbeda dengan Archaea
  - sumber makanan Archaea serupa dengan bakteri

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban Tes Formatif 2 yang terdapat di bagian akhir Modul ini. Hitunglah jawaban Anda yang benar, kemudian gunakan rumus di bawah ini untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 2.

**Rumus :**

$$\text{Tingkat penguasaan} = \frac{\text{jumlah jawaban Anda yang benar}}{10} \times 100\%$$

Arti singkat penguasaan yang Anda capai :

- 90 – 100 % = baik sekali
- 80 – 89 % = baik
- 70 – 79 % = cukup
- < 70 % = kurang

Bila Anda mencapai tingkat penguasaan 80 % atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan kegiatan belajar selanjutnya. **Bagus !** Akan tetapi apabila tingkat penguasaan Anda masih di bawah 80 %. Anda harus mengulangi kegiatan Belajar 2, terutama bagian yang belum Anda kuasai.

*Kunci Jawaban*

**Tes formatif 1:**

1. a
2. d
3. a
4. c
5. a
6. a
7. c
8. a
9. d
10. c

**Tes formatif 2:**

1. c
2. b
3. a
4. a
5. a
6. a
7. c
8. b
9. c
10. b

## Daftar Pustaka

Perry, J.J., Staley, J.T, and Lory, S., 2002, *Microbial Life*, Sinauer Ass. Publ.,Sunderland.

Campbell, N.A., Reece, J.B., and Mitchell L.G., 2003, *Biologi* (terjemahan), Erlangga, Jakarta.

## Glosarium

- Akseptor elektron: komponen yang menerima elektron selama reaksi oksidasi-reduksi.
- Antibiotik : suatu produk metabolit oleh mikroorganisme yang dapat menghambat atau menghancurkan mikroorganisme yang lain.
- Asidofil : suatu organisme yang kisaran pertumbuhannya ada pada pH di bawah 5,4.
- Donor elektron : kemampuan memberi elektron selama reaksi
- Endospora : sel dorman yang tahan terhadap panas yang dibentuk di dalam sel dari bakteri tertentu.
- Entner-Doudorof : suatu jalur non glikolisis dari katabolisme glukosa yang menghasilkan piruvat dan gliseradehid-3-PO<sub>4</sub>.
- Fotosintesis anoksigenik: tipe fotosintesis, dimana O<sub>2</sub> tidak diproduksi, elektron donor bukan H<sub>2</sub>O
- Fotosintesis oksigenik: tipe organisme fotosintesis dimana air berperan sebagai donor elektron menghasilkan oksigen.
- G +C : berarti G (guanin) dan C (sitosin), G+C menggambarkan persentase dari total DNA yang menunjukkan pasangan guanin dan sitosin
- Halofil : suatu organisme yang membutuhkan kandungan garam yang tinggi untuk pertumbuhannya.
- Hidrofil : kemampuan berikatan dengan air dan larut dalam air.
- Hidrofob : kehilangan daya ikat terhadap air, kebanyakan tidak larut dalam air.
- Lapisan S : struktur lapisan yang disusun oleh protein atau glikoprotein yang menutup permukaan dari spesies bakteri tertentu
- Mikorrisa : asosiasi antara jamur dengan tumbuhan.
- Monotrich : suatu bakteri dengan satu flagel.
- Niche (relung) : suatu habitat dengan seluruh faktor penting untuk pertumbuhan dari suatu spesies
- Nutrien : substansi tertentu yang diasimilasi oleh mikroorganisme selama pertumbuhannya.
- Obligat : istilah yang digunakan ahli mikrobiologi untuk menunjukkan kebutuhan absolut; aerob obligat, autotrof obligat.
- Oksidasi : pemberian elektron.

Ruang periplasmik: suatu ruang antara membran sitoplasma dan lapisan peptidoglikan (pada Gram positif) dan pembungkus luar (Gram negatif).

Simbiosis : hidup bersama atau interaksi dari organisme yang berbeda