

## METABOLISME BAKTERI

NUNUK PRIANI

Jurusan Biologi  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Sumatera Utara

## METABOLISME BAKTERI

Metabolisma didefinisikan sebagai semua reaksi kimia yang terjadi dalam sel. Bagai mana halnya dengan eksoenzim?. Tetap di anggap sebagai metabolisma, sebab meskipun reaksi kimia berlangsung di luar sel tetapi enzim disekresikan dari dalam sel.

Metabolisma terdiri dari dua proses yang berlawanan yang terja secara simultan. Reaksi tersebut adalah:

1. Sintesis protoplasma dan penggunaan energi yang disebut sebagai **Anabolisma**.
2. Oksidasi subsstrat diiringi dengan terbentuknya energi disebut dengan **Katabolisma**.

### Bagaimana Bakteri Memperoleh Energi ?

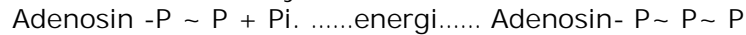
Melalui proses Oksidasi-reduksi. Oksidasi adalah proses pelepasan elektron sedang reduksi adalah proses penangkapan elektron. Karena elektron tidak dapat berada dalam bentuk bebas, maka setiap reaksi oksidasi selalu diiringi oleh reaksi reduksi. Hasil dari reaksi oksidasi dapat terbentuknya energi.

#### Fosforilasi Oksidatif

Pada umumnya reaksi oksidasi secara biologi dikatalisis oleh enzim dehidrogenase. Enzim tersebut memtransfer elektron dan proton yang dibebaskan kepada aseptor elektron intermedier seperti  $\text{NAD}^+$  dan  $\text{NADP}^+$  untuk dibentuk menjadi  $\text{NADH}$  dan  $\text{NADPH}$ . Fosforilasi oksidasi terjadi pada saat elektron yang mengandung energi tinggi tersebut ditranfer ke dalam serangkain transpor elektron sampai akhirnya di tangkap oleh oksingen atau oksidan anorganik lainnya sehingga oksigen akan tereduksi menjadi  $\text{H}_2\text{O}$ .

1. Tranfer elektron menuju oksigen melalui berbagai caier seperti flavoprotein, quinon maupun citekrom.
2. Adanya tranfer elektron ini mengakibatkan aliran proton ( $\text{H}^+$ ) dari sito plasma ke luar sel. Jadi arah aliran adalah dari dalam ke luar. Hal ini akan menimbulkan peredaan konsentrasi proton atau dikenal dengan gradien pH.
3. PH pada umunnya 7,5. Gradien pH terjadi jika pH di luar sel lebih kecil dari 7,5. Selanjutnya gradien pH bersama dengan potensial membenuk **protonmotive force**. Kekuatan (protonmotive force) inilah yang menarik proton dari luar sel kembali ke dalam sel. Bersamaan dengan masuknya kembali proton tadi terbentuk energi yang digunakan untuk berbagai aktifitas sel.
4. Para membran terdapat enzim spesifik disebut dengan ATPase. Energi yang di sebabkan pada saat masuknya kembali proton tadi akan

digunakan oleh ATPase untuk forforilasi ADP menjadi ATP. Energi ini di simpan dalam bentuk ikatan fosfat yang selanjutnya dapat di gunakan untuk aktifitas sel. Reaksinya adalah:

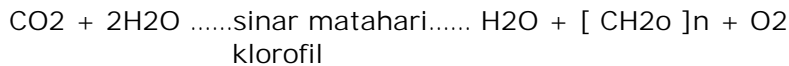


Ada dua macam energi yang digunakan oleh makhluk hidup.

1. Sinar matahari. Organismanya disebut dengan organisma **fotosintesis** atau di kenal juga dengan organisma **fototrofik**.
2. Oksidasi senyawa kimia. Organismanya disebut dengan organisma **kemosintesis kemotrofik** atau **autotrofik**

Fotosintesis ada 2 macam

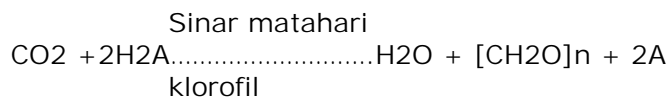
1. Fotosintesis tipe Cynobacteria. Fotosintesis tipe ini sama dengan fotosintesis yang terjadi pada tanaman tingkat tinggi dengan keseluruhan reaksi adalah.



dimana pada sistem fotosintesis ini terdapat 2 fotosistem yaitu fotosistem (PS) I dan II. Aliran elektron dari PS II ke PS I selanjutnya mengubah NADP+ menjadi NADPH. Aliran eletktron yang demikian dikatakan **noncyelic phosphorilation**.

2. Fotosintesis tipe Noncyanobacteria.

Kelompok bakteri ini tidak memiliki fotosistim II untuk menfotolisis H<sub>2</sub>O. Dengan demi kian bakteri ini tidak pernah menggunakan air sebagai reduktan sehingga oksigen tidak pernah di hasilkan dari fotosintesis. Fotosintesis yang demikian berlangsung dalam keadaan anaerob, sehingga dikenal dengan fotosintesis anaerob. Jadi organisma ini memerlukan suplai senyawa organik sebagai donor hidrogennya Persamaan reaksi secara umum adalah:



Berdasarkan tipe pada reduktan dan pigmen fotosintesisnya kelompok bakteri ini dapat di bagi menjadi 3 family yaitu Chlorobiceae, Ceomaticae, dan rhodospirillaceae.

1. **Chlorobiceae.**

Disebut juga dengan **green-sulfur bacteria**. Bacteri ini juga di gunakan hidrogen dan beberapa senyawa mengandung sulfat sebagai reduktanya.

- $$\text{Sinar matahari}$$
- a.  $\text{CO}_2 + 2\text{H}_2 \text{.....} \text{CH}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$
  - b.  $\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{S} \text{ .....} \text{CH}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} + 2 \text{S}$
  - c.  $3\text{CO}_2 + 2\text{S} + 5\text{H}_2\text{O} \text{ .....} 3 \text{CH}_2\text{O} + 2\text{H}_2\text{SO}_2$
  - d.  $2\text{CO}_2 + \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O} \text{ .....} 2\text{CH}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{SO}_4$

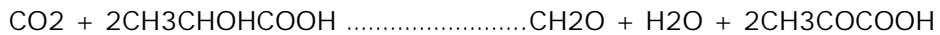
2. **Chromaticeae.**

Pada prinsipnya sama dengan Chromaticeae tetapi pigmen yang dimilikinya tidak hijau melainkan merah- jingga disebut dengan **purple- sulfur- bacteria.**

3. **Rhodospirillaceae.**

Bakteri ini menggunakan hidrogen dan berbagai senyawa organik sebagai reduktan . contoh: Rhodospirillum, Rhodopseudomonas.

Sinar matahari



Yang perlu diperhatikan bahwa fotosintesis ini hanya dapat berlangsung dalam keadaan anoerob. Akan tetapi ada beberapa anggota Rhodospirillaceae mampu melakukan pertumbuhan nonfotosintetik dengan adanya oksigen apabila media mengandung cukup nutrisi untuk tumbuh.

**Chemotrofik atau Autotrofik Organisme**

Seperti halnya organisme fotosintetik, kelompok bakteri ini menggunakan CO2 sebagai sumber karbon. Akan tetapi untuk mengubah CO2 menjadi material sel diperlukan energi dan NADPH. Pada bakteri fotosintetik energi dan NADPH ini diperoleh dari sinar matahari, akan tetapi pada organisme kemototrofik diperoleh dari oksidasi senyawa kimia. Jadi proses pengangkapan energi sama dengan yang terjadi pada fosforilasi oksidatif dimana elektron yang dihasilkan dari oksidasi sulfat, amino dan lain-lain di transfer melalui serangkaian transpor elektron yang menyebabkan keluarnya proton dari sel. Potensial pH yang terjadi dikonservasi didalam ikatan fosfat yang mengandung energi yang tinggi pada saat proton tersebut masuk kembali kembali kedalam sel melalui channel proton.

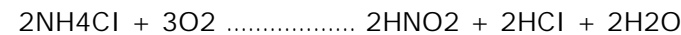
Setelah ATP terbentuk, pola biosintesis dalam sel analog dengan organisme fotosintesis.

Bakteri kemototrofik ini dikelompokkan menjadi beberapa generasi berdasarkan pada macam senyawa organik yang dioksidasi sebagai sumber energi.

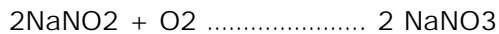
- Oksidasi sulfur, Thiobacillus



- Oksidasi amonia, Nitrosomonas



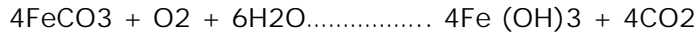
- Oksidasi nitrit, Nitrobacter



- Oksidasi Hidrogen



- Oksidasi senyawa mengandung Fe, Siderocapsa



**METABOLISMA HETEROTROF**

Sebagian besar bakteri kehilangan kemampuan untuk mensintesis protoplasma dari senyawa-senyawa anorganik sehingga bergantung sepenuhnya pada senyawa organik sehingga sebagai makanannya. Organisme yang demikian disebut dengan **heterotrof** yang artinya ' nourish by other, atau makanan disediakan oleh organisme lain, dan tipe nutrisinya di sebut **heterotrofik**. Akan tetapi perlu diingat bahwa batasan ini sebenarnya tidak begitu tegas. Dan adabeberapa mikroorganisma heterotrof membutuhkan senyawa organik lebih banyak di bandingkan dengan organisme lain.

Berdasarkan sumber korban dan energinya, mikroorganisme dikelompokkan sebagai berikut

Kelompok	Sumber Energi	Sumber C
Chemoheterotrof	Oksidasi senyawa organik+	Senyawa organik
Chemoautotrof	Oksidasi senyawa anorganik	CO <sub>2</sub>
Fotoheterotrof	Sinar matahari	Senyawa organik
Fotoautotrof	Sinar matahari	CO <sub>2</sub>

Pola metabolisme

Seperti yang telah didiskusikan bahwa keperluan energi untuk proses biosintesis dipenuhi dari reaksi oksidasi. Oleh karena elektron tidak dapat berada dalam bentuk bebas maka setiap reaksi reduksi Bakteri Heterotrof secara garsi besarnya dapat dikeleompokkan berdasarkan "end product" atau hasil akhir dari metabolisme. Pada dasarnya end product ini menunjukkan atau berperan sebagai aseptor elektron terakhir dalam jalur metabolisme.

Apa saja yang dapat berperan sebagai aseptor elektron terakhir ? jawabnya adalah bervariasi tergantung pada enzim dari organisma tersesbut. Dalam hal ini bisa oksigen bebas, atau berbagai senyawa organik maupun an organik. Bakteri yang **Harus** menggunakan oksigen sebagian reseptor terakhir disebut sebagai **obligat aerob**. Bakteri yang hanya hidup dalam kondisi bebas udara (oksigen) disebut **Obligat anaerob**. Sedangkan bakteri yang dapat hidup dengan atau tanpa oksigen dalam arti dapat menggunakan oksigen atau senyawa anorganik senagai aseptor elektromn terakhir disebut dengan **fakultatif**. Dan mikroorganisma yang tumbuh dengan baik pada akondisi kandungan oksigen sedikit disebut **mikroaetrifilik**.

Kita dapat jga mengelompokkan jalur metabolisme sebagai perrementatif atau respirasi. Meskipun kedua kelompok tersebut hanya berbeda dalam hal reseptor elektron terakhir yang digunakan, adalah penting untuk dapat dibedakan keduanya. Respirasi terjadi pada saat elektron yang dibebaskan akan rekasi oksidasi distransfer melalui serangkaian transfor elektron yang menyebabkan keluarnya proton melalui membran sel dan energi dihadirkan memalui fosforilasi oksidatif.

Fermentasi adalah proses yang berlangsung dalam keadaan anaerob, dimana dalam proses ini tidak melibatkan serangkaian transfer elektron yang

dikatalisis oleh enzim yang terdapat dalam membran sel. Dalam hal ini elektron dan proton ditransfer langsung dari senyawa yang oksidasi menuju senyawa organik intermediet yang lain yang akhirnya membentuk produk fermentasi yang stabil. Oleh karena itu pada proses fermentasi terjadi akumulasi produk yang organisme tidak mampu mengoksidasi oleh lanjut.

## FERMENTASI

Selama fermentasi produk intermediet yang terbentuk dari katabolisme senyawa organik seperti glukosa berperan sebagai asektor elektron terakhir menyebabkan terbentuknya senyawa produk akhir fermentasi yang stabil. Sebagai contoh, pada umumnya mikroorganisme mengubah gula menjadi asam piruvat. Dalam hal ini juga membentuk NHDA dan harus melepaskan elektronnya kepada asektor jika organisme melakukan metabolisme lebih lanjut. Hal ini dipenuhi dengan cara menggunakan asam piruvat atau beberapa produk dari asam piruvat sebagai asektor elektron terakhir. Hal lain yang perlu diperhatikan adalah : dengan tidak adanya transfer elektron selama fermentasi ikatan fosfat berenergi tinggi tidak terbentuk melalui fosforilasi oksidatif melainkan proses yang disebut dengan fosforilasi substrat. Dalam hal ini senyawa intermediate dioksidasi, energi yang dilepaskan dikonversi langsung kedalam ikatan yang mengandung energi tinggi. Senyawa yang mengandung senyawa tinggi tersebut selanjutnya dapat ditransfer ke ADP untuk dibentuk menjadi ATP sebagai manan ditunjukkan dalam skema berikut.

Glukosa

Glukosa 6P

Fruktosa 6P

Fruktosa 1,6 biP

Dihidroksi aseton P.....Gliseraldehid 3P (2)  
 1,3 bifosfo gliserat (2)  
 3P gliserat (2)  
 PEP (2)  
 H<sub>2</sub>O  
 Piruvat (2)  
 End produ

Keterangan:

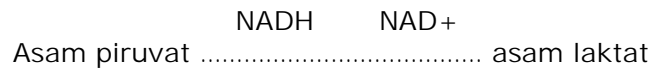
Jalur Embden- Meyerhof untuk disimilasi glukosa. Perhatikan bahwa setiap molekul fruktosa 1,6 biP dipecah menjadi senyawa 3C yang seimbang satu sama lain. Senyawa gliseraldehid 3P dioksidasi, maka senyawa dihidroksi aseton P dikonversi menjadi gliseraldehid 3P. Dari skema tersebut juga dapat diketahui bahwa molekul ATP dibutuhkan untuk mengawali reaksi, akan tetapi 4 molekul ATP terbentuk selama disimilasi 1 molekul glukosa menjadi 2 molekul piruvat. Di samping itu juga terbentuk 2 molekul NADH yang harus dioksidasi dengan melepaskan elektron dan protonnya pada asektor elektron terakhir.

## Jalur-Jalur Fermentasi

Sebagai mana ditunjukkan dalam skema di atas, selain menghasilkan asam piruvat sebagai end produk juga dihasilkan 2 mekul NHDH yang harus dioksidasi. Tergantung pada tipe mikroorganismenya asam piruvat (CH<sub>3</sub>COCOOH) dimetabolisme lebih lanjut untuk menghasilkan produk akhir fermentasi sebagai mana ditunjukkan dalam skema berikut:

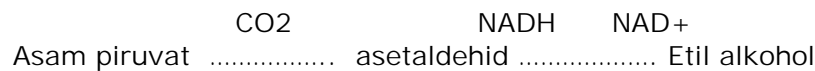
### 1. Fermentasi Asam homolaktat

Dilakukan oleh beberapa bakteri Streptococcus dan laktobacillus



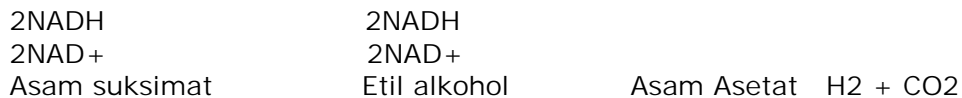
### 2. Fermentasi Alkohol

Dilakukan oleh Yeast



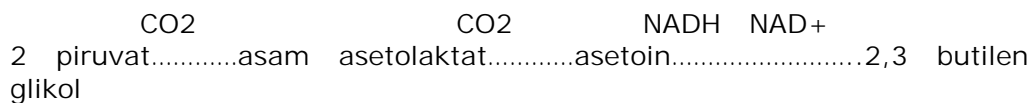
### 3. Fermentasi Asam Campuran

*Escherichia coli* dan beberapa bakteri anterik lainnya



### 4. Fermentasi butylen-glikol

Enterobacter, Pseudomonas, dan Bacillus



### 5. Fermentasi Asam propionat

Dilakukan oleh Propioniacterium dan Veillonela



2 oksalo asetat

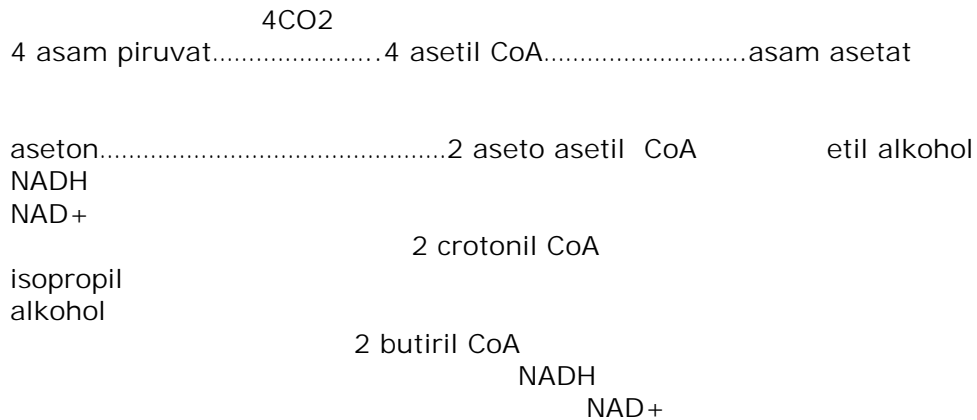
2CO<sub>2</sub>  
 enzyme bond  
 2 asam suksinat

propionil Co A  
     asam propionat  
                     suksinil Co A  
 2 methyl malonil Co A

Energi yang bergabung dalam ikatan propionil Co A disimpan oleh reaksi propionil Co A dengan asam suksinat membentuk suksinil CoA dan asam propionat bebas. Selanjutnya CO<sub>2</sub> yang dibebaskan dari decarboksilasi metil malonil CoA tetap berikatan dengan enzim yang mengandung biotin yang akan mentransfer CO<sub>2</sub> kepada asam piruvat membentuk asam oksaloasetat. Organisma ini juga dapat membentuk oksaloasetat dari reaksi PRP (Phosphoenol piruvat) dengan CO<sub>2</sub> bebas

**6. Fermentasi Asam Butirat, butanol, dan aseton**

Bakteri yang melakukan fermentasi tersebut adalah Clostridium



Dari skema tersebut dapat diketahui bahwa berbagai macam senyawa yang dapat berperan sebagai aseptor elektron terakhir. Jadi produk akhir dari fermentasi juga bervariasi. Dalam hal fermentasi asam laktat atau alkohol, hanya satu macam. Pada fermentasi lain seperti campuran asam atau asam butirat menggunakan bermacam aseptor elektron dan produk fermentasi juga bervariasi. Tidak semua bakteri melakukan metabolisme gula melalui jalur embden-meyerhof, tetapi ada beberapa alternatif penguraian glukosa menghasilkan tipe fermentasi seperti yang telah didiskusikan.

Tabel berikut merupakan kesimpulan tipe-tipe fermentasi yang penting pada mikroba.

Tipe Fementasi	Oranisma	End Products
Alkoholik	Sacharomyces	Ethanol, CO <sub>2</sub>
Laktat	Streptococcus Lactobacillus, Bacillus	Asam laktat
Campuran asam	E. coli, dan bakteri enterik lain	Asam laktat, asetat, suksinat, ehanol, CO <sub>2</sub> dan H <sub>2</sub>
Butilen glikol	Enterobakter, klebsiella	Butilen glikol, dan campuran asam dalam jumlah sedikit
Asam propionat	Propionibacterium, Veillonela	Asam propionat, asam asetat dan co <sub>2</sub>
Asam butirat, butanol	Clostridium	Butanol, etanol, dan asam asetat

### Respirasi Mikroba

Respirasi didefinisikan sebagai penggunaan serangkaian transpor elektron untuk mentransfer elektron menuju aseptor elektron terakhir. Energi diperoleh melalui fosforilasi oksidatif tetapi dalam prosesnya bisa menggunakan oksigen sebagai aseptor elektron terakhir (respirasi aerob) atau senyawa anorganik lain (respirasi anaerob).

### Respirasi Aerob

Banyak organisme yang mampu menggunakan oksigen sebagai aseptor elektron terakhir. Dalam hal ini tidak diperlukan reduksi senyawa intermediet sebagaimana dalam fermentasi. Hasilnya senyawa-senyawa intermediet tersebut dapat dioksidasi sempurna menjadi karbon dioksida dan air. Ini merupakan keuntungan yang sangat besar bagi organisme karena jumlah energi yang dihasilkan dari oksidasi sempurna satu molekul glukosa jauh lebih besar bila dibandingkan melalui fermentasi.

Hal ini disebabkan rangka aliran elektron dari NADH ke O<sub>2</sub> melalui serangkaian karir Cytochrom menghasilkan 3 ATP. Energi tersebut, bersama dengan energi yang diperoleh dari oksidasi Piruvat menjadi asetil COA menghasilkan 36 ATP yang dihasilkan dari metabolisme glukosa menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O. Jika kita bandingkan dengan dua ATP yang dibentuk dari satu molekul glukosa melalui fermentasi alkohol atau asam laktat, maka metabolisme aerob jauh lebih efisien dibanding dengan fermentasi.

Bagaimana Piruvat diubah menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O dan bagaimana proses tersebut menghasilkan sejumlah besar energi untuk sel ?. Hal ini dipenuhi melalui proses degradasi disebut tricarboxylic Acid Cycle (TCA Cycle) atau dikenal dengan siklus asam sitrat maupun siklus Krebs. Setiap kali oksaloasetat bergabung dengan asetil COA yang berasal dari Piruvat masuk kedalam siklus akan membentuk senyawa 6 karbon yang dikenal dengan asam sitrat sehingga dinamakan siklus asam sitrat. Dalam setiap putaran menghasilkan serangkaian oksidasi menyebabkan terjadinya reduksi NAD atau FAD dan membebaskan 2 molekul CO<sub>2</sub>. Jadi senyawa 6 karbon asam sitrat kembali ke bentuk semula yaitu senyawa 4 karbon oksaloasetat yang siap bergabung kembali dengan asetat / asetil COA.

Akhirnya semua senyawa NADH dan FADH mengalami fosforilasi oksidatif dengan melepaskan elektron melalui serangkaian cytochrom ke oksigen menghasilkan air dan 3 molekul ATP untuk setiap pasang elektron dari NADH. Jumlah energi yang diperoleh dari fermentasi dan respirasi dari satu molekul glukosa adalah sebagai berikut :

Glikolisis Anaerob / Fosforilasi sub srat	2 ATP
Metabolisme Aerob / Fosforilasi oksidatif :	
Dari glikosis	6 ATP
Metabolisma asartil COA (2NADH)	6 ATP
TCA cycle;	
Metabolisma suksinil COA	2 ATP
Oksidasi 6 NADH	18 ATP
Oksidasi 2 FADH	4 ATP
<b>Total Energi</b>	<b>38 ATP</b>

### Reaksi Anaplerotik

Senyawa intermediate dalam TCA digunakan juga untuk Bio Sintesis Asam Amino, asam nukleat dan komponen penting lainnya dalam sel. Pengambilan senyawa intermedier tersebut dari dalam siklus untuk tujuan biosintesis menyebabkan ketidak seimbangan senyawa 4 karbon yang digunakan untuk kelangsungan siklus. Jadi harus ada mekanisma yang dapat menyediakan kembali senyawa yang dipakai tersebut. Mekanisma yang demikian disebut dengan **anaplerotik**. Contoh : banyak bakteri yang menggunakan enzim PEP carbocsilase untuk membnetuk senyawa 4 C oksaloasetat dari priosa pospat dalam jalur Rmbden /Meyerhoff. Tanpa adanya mekanisma yang demikian, sel yang hanya menggunakan gula sebagai sumber karbon tidak mungkin dapat tumbuh.

### Siklus Glioksilat

Rangkaian rekasi anaplerotik lainnya terutama penting bagi sel yang menggunakan asam asetat atau asma lemak sebagai sumber karbon adalah siklus gleoksilat. Siklus ini terdiri dari dua reaksi yaitu :

1. pemecahan gleoksilat dari asam isositrat
2. penambahan senyawa 2 karbon asam gleoksilat pada asetil COA membentuk asam malat (senyawa empat karbon)

Dengan demikian siklus gleoksilat meniadakan dua tahapan dekarboksilasi sseperti halnya pada SAS. Reaksi ini tidak dilakukan untuk menghasilkan energi melainkan dibutuhkan untuk menjaga kelangsungan SAS pada senyawa intermedier empat karbon yaitu Oksalo asetat diambil dari siklus untuk keperluan biosinetsis.

### Resfirasi Anaerob

Disamping metabolisma aerob, dan permentasi terdapat metabolisma lain yang pada umumnya bersifat anarob. Akan tetapi mikro organisma tersebut tidak melakukan permentasi. Bakteri tersebut menggunakan senyawa anorganik sebagai aseptor elektron terakhirnya. Organisma tersebut dapat dibagi dalam 3 kelompok yaitu : reduser sulfat, reduser nitrat dan bakteri metan. Yang perlu diingat bahwa, meskipun tipr metabolismenya adalah anaerob, elektron yang dibebaskan melalui reaksi oksidasi ditrasnsfer melalui serangkaian ternasfer elektron dan energi dihasilkan melalui fosforilasi oksidatif. Letak perbedaan antara resfirasi aerob dan anerob adalah bahwa pada respiriasi anaerob yang berperan sebagai aseptor elektron terkahir adalah senyawa anorganik, bukan oksigen.

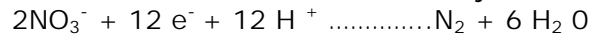
### Sulfat Reducer

Kelompok bakteri yang mereduksi sulfat adalah desulfobibrio dan desulfphoto maculum yang merupakan bakteri pembentiuk spora. Kedua bakteri tersebut merupakan organisma anaerob obligat diamana yang berperan sebagai aseptor elektron terkahir adalah sulfat yang mereduksi menjadi sulfit. Reaksnya adalah :  $SO_4^{2-} + 8 e^- + 8 H^+ \dots\dots\dots S^{2-} + H_2O$

Organisma ini membutuhkan senyawa organik sebagai sumber karbon. Oleh karena itu disebut dengan organisma heterotrob.

### **Nitrat Reduser**

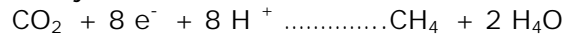
Kebanyakan mikroorganisma yang dapat menggunakan nitrat sebagai aseptor elektron terakhir adapat dikatakan sebagai fakultatif. Jadi dalam keadaan anaerob dapat menggunakan nitrat jika tersedia. Jika tidak, mikroorganisma akan melakukan metabolisme aerob ataupun permetasi. Kelompok bakteri ini antara lain; Escherichia, Enterobakter, Bacillus, Pseudomonas, Mikrocoocus dan Rhizobium.. mikroorganism tersebut nmereduksi nikrat menjadi nitrogen bebas.



Proses in disebut dengan Denitrifikasi yang merupakan masalah serius bagi pertanian karena menyebabkan hilangnya nitrat dari tanah. Akan tetapi proses tersebut sanyat bermanfaat untuk mengambil nitrogen dari limbah tinja atau limbah yang lain.

### **Bakteri Metan**

Kelompok bakteri ini dapat menggunakan CO<sub>2</sub> sebagai aseptor elektron dan mereduksinya manjadi metan.



Organisma ini terdapat dalam usus binatang ruminamsia. Bakteri ini dapat menghasilakn gas metan sebanyak 60 L setiap hari.