

Tugas Mata Kuliah Biologi Sel

Makalah Posisi

Pembelajaran tentang Jalur Metabolisme (*Metabolic Pathway*) Secara Terintegrasi

## I. Pendahuluan

Metabolisme merupakan salah satu topik dari Biologi yang dirasa cukup sulit untuk dipahami oleh siswa maupun mahasiswa. Penyebabnya antara lain adalah karena konsep metabolisme bersifat abstrak, mengandung banyak sekali konsep yang saling terkait (kompleks), cenderung disajikan dalam bentuk pembelajaran yang mengesankan bahwa konsepnya bersifat hafalan, membutuhkan kemampuan analisis dan kesabaran untuk memahami setiap fase dalam metabolisme. Padahal topik ini merupakan topik yang cukup penting dalam pembahasan tentang bagaimana sel mendapatkan energi.

Pembelajaran tentang metabolisme biasanya disajikan dengan cara memberikan definisi tentang metabolisme diikuti dengan fungsi /peran metabolisme bagi makhluk hidup, selanjutnya disajikan jenis-jenis metabolisme serta fase-fase reaksi kimia dari metabolisme yang pada umumnya dalam bentuk diagram alur. Cara penyajian ini diterapkan bukan hanya pada siswa sekolah menengah tetapi juga pada level perguruan tinggi, baik untuk program pendidikan maupun non pendidikan. Pada kenyataannya, cara penyajian tersebut kurang membantu siswa maupun mahasiswa memahami esensi dari metabolisme.

Telah banyak peneliti yang mencoba untuk mempermudah siswa maupun mahasiswa memahami konsep metabolisme. Ada yang menyarankan sebaiknya menggunakan analogi-analogi untuk menjelaskan perubahan-perubahan molekul pada setiap fase reaksi kimia pada metabolisme, ada pula yang mengusulkan menggunakan visualisasi atau animasi reaksi, yang lain mengusulkan penggunaan program komputer interaktif yang berisi gabungan antara animasi reaksi kimia dan analisis konsep. Semua menunjukkan usaha agar siswa/ mahasiswa lebih mudah memahami konsep metabolisme. Hasil penelitian menunjukkan ada kemajuan yang cukup berarti, walaupun demikian untuk menyajikan konsep metabolisme dengan cara-cara tersebut mengandung kendala utama berupa penggunaan media yang tidak semua sekolah dapat memiliki.

Di sekolah, banyak guru yang masih merasa nyaman menggunakan metode penyajian konsep secara konvensional (ceramah) yang dianggap lebih cepat dan murah. Strategi penyajian informasi yang digunakan umumnya memanfaatkan teks dalam buku pegangan siswa atau mahasiswa, atau menggunakan media lain untuk menyajikan jalur metabolisme. Cara ini sebenarnya cukup efektif, hanya memerlukan strategi penyajian yang terorganisir, dan memerlukan kesabaran dalam membuat siswa/mahasiswa dapat mengikuti setiap fase dari jalur metabolisme. Selain itu, pada umumnya guru menyajikan konsep metabolisme dalam bentuk yang tersendiri, kurang dihubungkan dengan konsep-konsep lain yang berhubungan erat seperti konsep tentang pengelompokan bakteri, pencernaan makanan pada manusia, dan konsep lainnya. Padahal menurut prinsip konstruktivisme, tautan antara konsep yang sudah dimiliki siswa/mahasiswa dengan konsep baru akan membantu siswa/mahasiswa memaknai konsep tersebut. Hal inilah yang mendasari mengapa penyajian konsep jalur metabolisme secara terintegrasi menjadi pilihan.

## II. Jalur Metabolisme Pada Sel

Metabolisme yang terjadi dalam sel dapat dianalogikan seperti peta jalan yang rumit yang terdiri dari ribuan reaksi kimia. Reaksi kimia ini tersusun dalam jalur-jalur metabolisme bercabang dengan tujuan mengubah satu bentuk molekul ke bentuk lainnya melalui rangkaian tahapan reaksi. Enzim mengarahkan aliran materi melalui jalur-jalur metabolisme dengan cara mempercepat setiap tahapan reaksi secara selektif. Analogi yang dekat dengan keadaan tersebut adalah lampu lalu lintas yang mengatur arah aliran, mencegah kemacetan, dan menyeimbangkan antara permintaan dan penawaran, serta mengalihkan kekurangan dan kelebihan bahan kimiawi.

Secara keseluruhan, metabolisme dikaitkan dengan pengaturan sumberdaya materi dan energi sel. Beberapa jalur metabolisme membebaskan energi dengan cara merombak molekul yang kompleks menjadi sederhana (katabolik). Sebaliknya jalur anabolik menggunakan energi untuk membangun molekul yang kompleks dari molekul yang lebih sederhana. Jalur-jalur metabolisme masing-masing merupakan jalan turun dan naik bukit pada peta metabolisme.

Walaupun pada semua makhluk hidup menggunakan prinsip metabolisme yang sama, tetapi pada kenyataannya makhluk hidup mempunyai strategi masing-masing untuk

mengatasi kelimpahan atau keterbatasan bahan baku atau molekul yang dibutuhkan dalam metabolisme. Bahan yang sering dibicarakan dalam metabolisme adalah sumber karbon, dan substrat yang bisa digunakan enzim sebagai penyedia elektron untuk melaksanakan proses reduksi biosintesis.

Jalur respirasi seluler dan jalur fermentasi merupakan jalur katabolik (penghasil energi). Prosesnya menggunakan glukosa atau bahan organik lainnya menjadi produk yang lebih sederhana, sehingga menghasilkan energi untuk sintesis ATP. Selanjutnya ATP akan mentransfer gugus fosfat ke berbagai substrat dan memancingnya untuk bekerja. Agar pekerjaan tetap berlanjut, maka sel harus meregenerasi ATP. Berawal dari glukosa atau bahan organik lain, menggunakan oksigen, respirasi seluler akan menghasilkan air, karbondioksida dan energi dalam bentuk ATP dan panas. Sel mengambil energi yang tersimpan dalam molekul senyawa organik melalui reaksi redoks, dimana suatu bahan, sebagian atau seluruhnya memindahkan elektron ke tempat lain. Elektron yang berasal dari molekul senyawa organik biasanya dilewatkan ke  $\text{NAD}^+$  yang akan mereduksinya menjadi NADH. Selanjutnya NADH meluwatkannya ke rantai transpor elektron, yang menghantarkannya ke  $\text{O}_2$  dalam tahap pelepasan energi. Energi yang dilepas ini akan digunakan untuk membuat ATP. Sebagian besar ATP yang dibuat pada jalur respirasi seluler dihasilkan oleh proses fosforilasi oksidatif ketika NADH dan  $\text{FADH}_2$  menyumbangkan elektron ke sederetan pembawa elektron dalam rantai transpor elektron. Pada ujung rantai ini, elektron dilewatkan ke  $\text{O}_2$ , mereduksinya menjadi  $\text{H}_2\text{O}$ . Transpor elektron dikopel ke sintesis ATP oleh kemiosmosis. Pada langkah-langkah tertentu di sepanjang rantai ini transfer elektron menyebabkan kompleks protein pembawa elektron memindahkan  $\text{H}^+$  dari matriks ke dalam ruang antarmembran pada mitokondria, yang menyimpan energi sebagai gaya gerak proton. Begitu  $\text{H}^+$  berdifusi kembali ke dalam matriks melalui ATP sintase, jalur eksergonik akan kembali menggerakkan jalur endergonik ADP. Oksidasi glukosa menjadi  $\text{CO}_2$  menghasilkan maksimum 38 ATP.

Selain metabolisme glukosa menggunakan  $\text{O}_2$ , ada jalur lain yang bisa ditempuh oleh sel untuk melakukan katabolisme, yaitu melalui jalur fermentasi. Fermentasi bersifat anaerobik terhadap nutrisi organik. Fermentasi ini menghasilkan ATP dari glikolisis. Elektron dari NADH yang dibuat dalam glikolisis dilewatkan ke piruvat, menyimpan

ulang  $\text{NAD}^+$  yang dibutuhkan untuk bisa mempertahankan glikolisis. Ragi dan bakteri tertentu menggunakan jalur metabolisme ini. Dari kedua jalur ini respirasi lebih efisien dalam menghasilkan ATP per glukosa. Glikolisis terjadi dalam hampir semua organisme.

### III. Pembelajaran tentang Jalur Metabolisme

Ada beberapa ide yang dikemukakan untuk memudahkan siswa/mahasiswa memahami jalur metabolisme. Dua ide dasar yang dikemukakan adalah diberikan secara tersendiri, terpisah dari konsep lainnya, dan ada yang mengusulkan penyajian secara terintegrasi dengan konsep lainnya.

Penyajian konsep metabolisme secara tersendiri dilakukan dengan alasan bahwa konsep yang tercakup dalam metabolisme cukup banyak, melibatkan konsep reaksi kimia yang beragam, mencakup prinsip-prinsip tertentu yang harus dipahami dulu dengan baik, dan dianggap sebagai pengetahuan dasar yang harus dipahami sebelum melangkah ke konsep yang lebih lanjut. Sebab jalur metabolisme ini berlaku pada semua sel yang terdapat pada makhluk hidup sehingga jalur ini harus dipahami dulu. Penyajian konsep jalur metabolisme secara tersendiri biasanya diberikan setelah siswa/mahasiswa memahami karakteristik senyawa organik dan anorganik yang terlibat dalam proses metabolisme, serta hukum serta prinsip yang terjadi pada reaksi-reaksi kimia di setiap fase metabolisme (seperti reaksi redoks, hukum termodinamika). Jika tahap itu dilalui, barulah kepada siswa/mahasiswa diperlihatkan diagram dari proses metabolisme. Biasanya yang harus dilakukan oleh siswa/mahasiswa adalah melihat reaksi untuk mengidentifikasi apa bahan bakunya dan apa produknya. Setelah itu, dilanjutkan dengan penghitungan jumlah ATP yang dihasilkan dan berapa energi yang digunakan dan dikeluarkan selama proses. Seringkali siswa/mahasiswa lupa untuk diberitahukan tempat terjadinya metabolisme, sebab metabolisme tidak hanya terjadi di satu lokasi dalam sel tetapi bergerak sesuai dengan bagian mana yang menangkap bahan baku dan mengeluarkan produk.

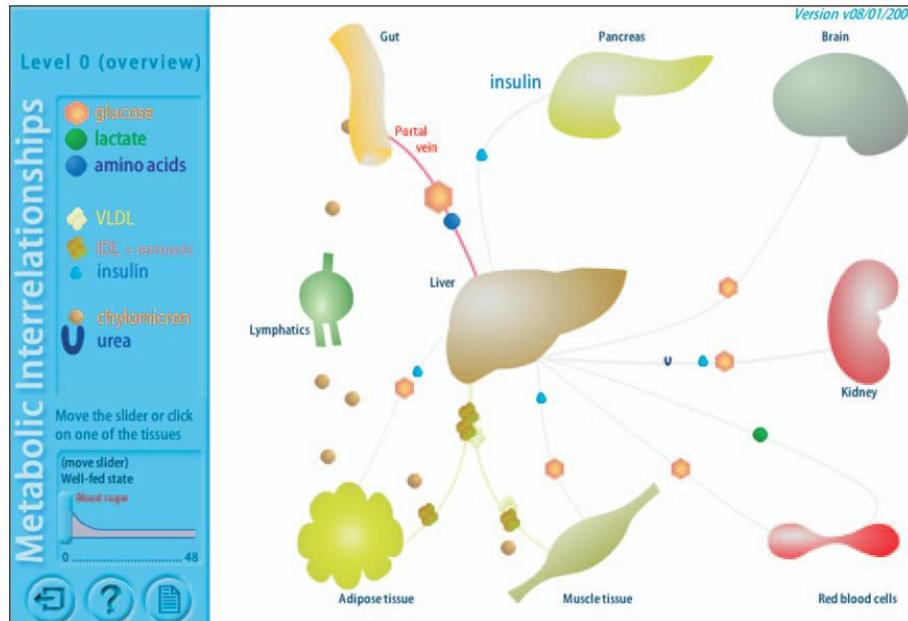
Sedangkan penyajian secara terintegrasi melibatkan hubungan metabolisme dengan konsep lain seperti keragaman makhluk hidup (bakteri, jamur, ganggang) dan konsep sistem pengolahan makanan dalam tubuh makhluk hidup, serta proses kimiawi

gerakan otot. Pembelajaran seperti ini menuntut penguasaan konsep prasyarat berupa karakteristik senyawa organik dan organik yang terlibat dalam proses metabolisme, serta hukum serta prinsip yang terjadi pada reaksi-reaksi kimia di setiap fase metabolisme (seperti reaksi redoks, hukum termodinamika).

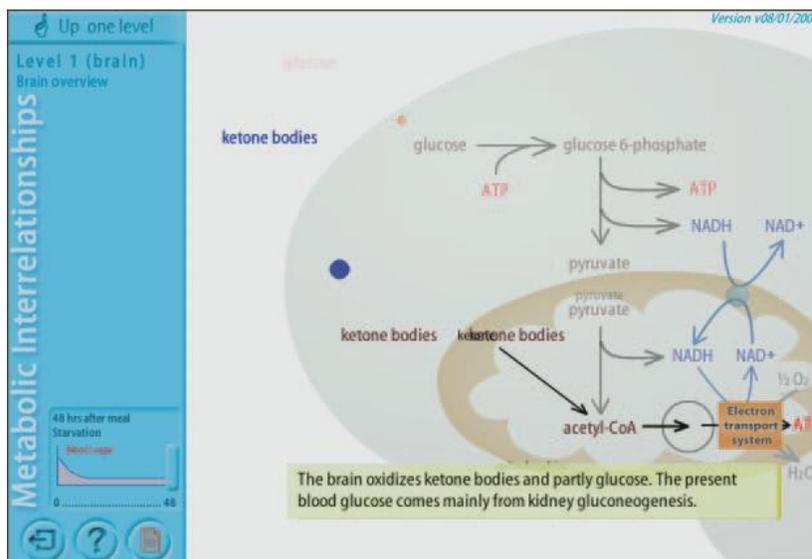
Pembelajaran jalur metabolisme secara terintegrasi bisa menggunakan beberapa strategi. Ada yang mengandalkan media berupa program komputer interaktif, ada yang menggunakan cara menelaah kasus, dan ada pula yang menggunakan diagram untuk diinterpretasikan dan dianalisis.

Penyajian dengan menggunakan *software* komputer (*teacher assisted computer practical*) diajukan oleh Verhoeven *et al.* (2005). Di Belanda sejak tahun 2001 penyajian konsep metabolisme secara terpisah telah ditinggalkan. Alasan yang diajukan adalah karena penyajian secara terpisah menyebabkan siswa/mahasiswa sulit memahami konsep metabolisme karena sangat abstrak. Untuk bisa mengurangi sifat abstrak dari konsep tersebut dilakukan cara mencari contoh fenomena yang konkrit dalam kehidupan sebenarnya (kontekstual). Ternyata cara ini oleh siswa/mahasiswa dirasakan sebagai cara yang lebih memudahkan untuk memahami konsep metabolisme. Penyajian konsep dimulai dengan memperlihatkan sejumlah organ tubuh manusia tempat dimana terjadi metabolisme. Dari gambar organ tubuh tertentu orientasinya, dengan cara *zoom*, diubah dari tingkat organ menjadi jaringan, jaringan ke tingkat sel, kemudian organel sel dimana terjadi metabolisme seluler. Mahasiswa diberi waktu selama 3 minggu untuk mengeksplorasi konsep metabolisme menggunakan *software* tersebut. Pada saat melakukan eksplorasi konsep, siswa/mahasiswa akan berinteraksi dengan gambar, grafik, bagan dan tabel untuk dianalisis. Hal ini diperlukan untuk melatih kemampuan siswa dalam menganalisis dan memaknai konsep. Selama 3 minggu tersebut, siswa/mahasiswa dapat berkonsultasi, berdiskusi, serta mengerjakan soal yang diberikan baik melalui *software* maupun secara langsung dari guru. Setelah 3 minggu diberikan tes yang mencakup 56 pertanyaan baik yang berkaitan dengan konsep metabolisme maupun konsep yang relevan. Kelebihan penyajian dengan menggunakan *software* komputer interaktif adalah visualisasinya memudahkan siswa/mahasiswa membuat tautan konsep dalam pikirannya sehingga siswa merasa lebih mudah memahami konsep

metabolisme. Kekurangannya terletak pada terlalu banyak gambar pada satu screen menyebabkan penggunanya bingung (lihat gambar berikut)

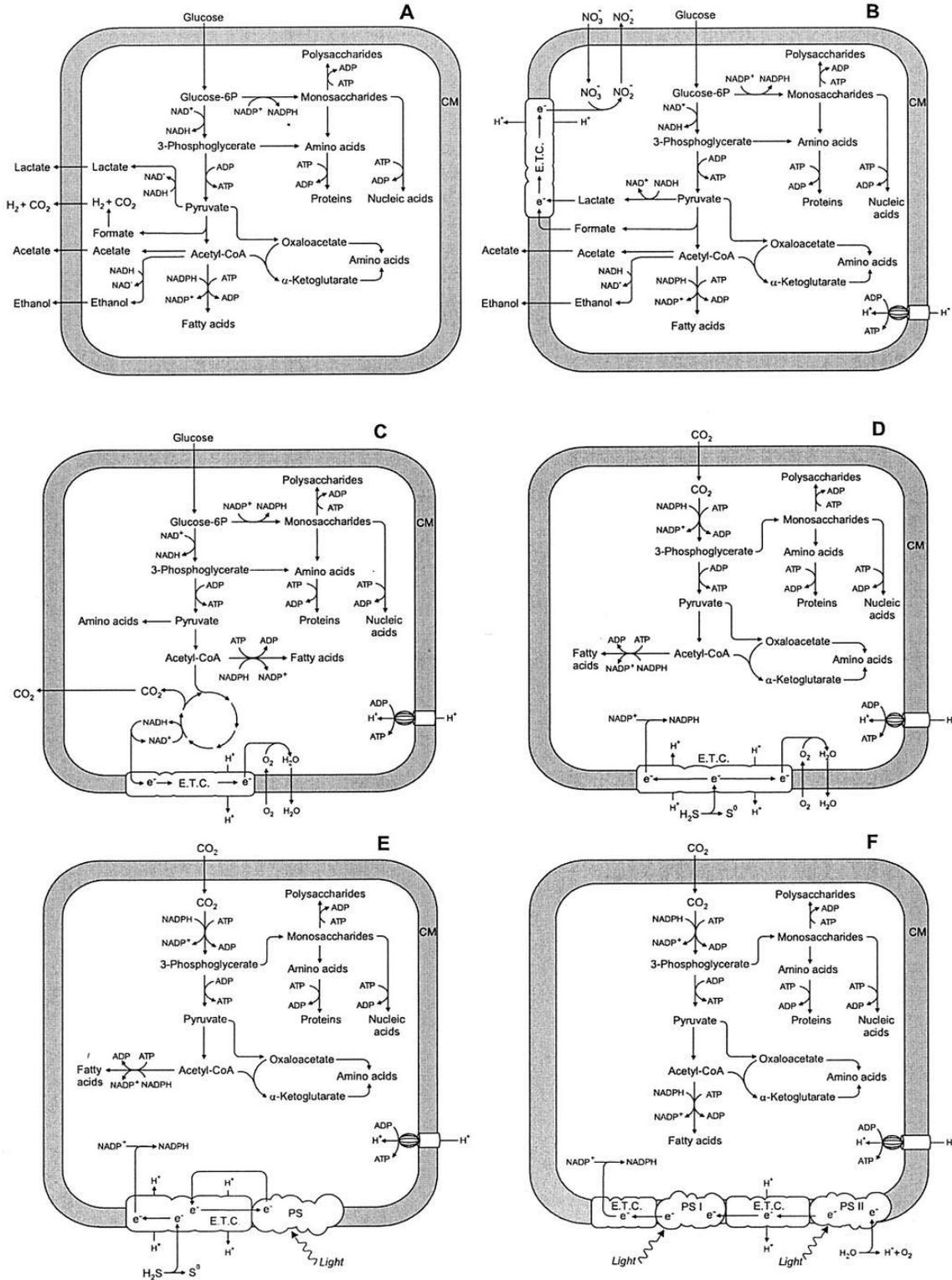


Semula, pembuat program menganggap banyak gambar yang disajikan dalam satu screen akan memudahkan mendapatkan informasi awal yang lengkap. Tetapi ternyata banyak gambar malah membingungkan. Hal lain yang dikeluhkan adalah sedikit informasi yang disajikan mengenai enzim yang terlibat dalam jalur metabolisme. Informasi yang disajikan sebagian besar berkisar pada bahan baku, produk, dan pergerakan selama metabolisme (lihat gambar berikut)



Cara lain yang lebih low-tech adalah menggunakan advance organizer. Alat pengajaran (teaching tool) ini dikemukakan pertama kali oleh David Ausubel (1960). Advance organizer bisa diartikan sebagai suatu alur instruksional yang disajikan kepada siswa/mahasiswa dengan tujuan agar siswa dapat mempelajari materi pelajaran dengan baik. Advance organizer merupakan strategi kognitif yang menyediakan jembatan antara konsep yang telah diketahui dengan konsep yang sedang dipelajari. Harapannya konsep yang dipelajari menjadi lebih bermakna karena diberikan secara sistematis. Beberapa cara penyajian seperti grafik, diagram, peta konsep, dan presentasi oral bisa digunakan dalam advance organizer secara simultan. Yang paling penting adalah konsep yang lebih umum akan disajikan lebih dulu dan konsep yang bersifat detil dan spesifik disajikan kemudian (Barbosa *et al.*,2005)

Pengembangan advance organizer dimulai dari penentuan konsep yang akan disajikan. Selanjutnya perlu dilakukan identifikasi konsep relevan yang bersifat lebih umum dan sudah dikenal, dari konsep yang akan disajikan. Kemudian dirancang cara penyajiannya. Kombinasi cara penyajian menjadi salah satu penentu keberhasilan advance organizer. Advance organizer yang dikembangkan oleh Barbarosa, Marques & Torres (2005) meliputi penyajian 6 diagram metabolisme, table karakteristik lingkungan tempat hidup bakteri dan uji kecocokan antara tempat hidup dengan salah satu dari 6 jalur metabolisme. Diagram dan table dapat dilihat berikut ini :



I  
 IV  
 V Deep lake  
 VI Deep soil  
 Environment Characteristics Metabolic types<sub>a</sub>

	Environment	Characteristics	Metabolic types
I	Human intestine	Absence of light, anaerobic, high concentration of organic matter	
II	Human skin	Aerobic, high concentration of organic matter	
III	Sulfur mine	Absence of light, aerobic, high concentration of sulfur (SO and H <sub>2</sub> S), low concentration of organic matter	
IV	Shallow lake water	presence of light, aerobic, high concentration of inorganic matter, low concentration of organic matter	
V	Deep lake water	Presence of light, anaerobic, high concentration of inorganic matter, low concentration of organic matter	
VI	Deep soil	Absence of light, anaerobic, organic and inorganic matter available	

**Problem**—Because of their great versatility, bacteria may obtain compounds essential to their survival and reproduction (ATP, NADPH, and a carbon source) in many different ways. Thus, they are able to live in a variety of different environments. Indicate what types of metabolism (A, B, C, D, E, and/or F) may be presented by bacteria living in environments I, II, III, IV, V, and VI as described in Table I by writing the corresponding letter(s) in the last column of the table.

For that purpose, analyze metabolic patterns found in bacteria (A–F) and answer questions 1–4 for each of those patterns.

1. For synthesizing ATP from ADP + P<sub>i</sub>,
  - a. Which of the compounds present in the environment are utilized?
  - b. What end products are released into the environment?
  - c. Is there use of an electron transport chain?
  - d. In instances where an electron transport chain is used, which compounds may be electron donors and which are final acceptors of electrons?
2. For obtaining NADPH,
  - a. What is the source of electrons?
  - b. Is there use of a proton gradient?
3. What is the primary carbon source for the biosynthesis of proteins, lipids, polysaccharides, and nucleic acids?
4. For which processes are ATP and NADPH used?

Kelebihan cara ini adalah walaupun tidak memerlukan media pembelajaran yang high tech, tetapi bias membantu memudahkan memahami konsep karena siswa/mahasiswa dipandu untuk menemukan sendiri konsepnya melalui sejumlah instruksi. Selain itu, kemampuan interpretasi gambar, table serta kemampuan menganalisis dilatihkan melalui cara ini. Kelebihan lain adalah media ini tidak memakan biaya besar. Sedangkan kekurangannya adalah untuk mengembangkan advance organizer diperlukan wawasan dan keilmuan yang tinggi agar advance organizer yang

dihasilkan benar-benar memandu siswa/mahasiswa memahami suatu konsep dengan benar, serta kreativitas dalam mengombinasikan cara penyajian.

#### IV. Pembelajaran tentang Jalur Metabolisme Menggunakan Advance Organizer

Di Indonesia, sebagian besar guru sangat menyukai metode ceramah karena metode ini dianggap paling murah, tidak membutuhkan media yang rumit, persiapannya mudah, bisa digunakan pada kelas dengan siswa dalam jumlah banyak. Tetapi disisi lain, metode ini sering diujat sebagai metode yang kurang cocok untuk pembelajaran biologi karena mengesankan bahwa biologi adalah verbalisme dan hanya berorientasi konten. Selain itu, metode ini lebih bersifat *teacher centered* karena gurulah yang dominan dan cenderung kurang memperhatikan apakah siswa telah sampai pada pemahaman yang benar tentang suatu konsep atau belum.

Sebenarnya metode ini masih dapat digunakan untuk menyajikan konsep-konsep yang bersifat abstrak. Untuk meningkatkan kebermaknaan informasi yang diceramahkan, biasanya digunakan media pembelajaran yang bisa membantu memberikan gambaran tentang bagaimana kejadiannya, di mana terjadinya, dan lain sebagainya. Media pembelajaran bisa digunakan juga untuk mengurangi pecahnya konsentrasi siswa/mahasiswa, sebab kemampuan maksimal menjaga konsentrasi mendengarkan ceramah hanya 20-30 saja. Variasi media pembelajaran dapat membantu mengurangi rasa jenuh dalam mendengarkan ceramah.

Di banyak negara, metode ceramah masih cukup populer untuk dipilih oleh sejumlah pengajar. Akan tetapi mereka memikirkan dan mengimplementasikan banyak ide yang bertujuan untuk mengurangi dampak negatif dari metode ini. Antara lain dengan mengawinkan ceramah dengan advance organizer untuk meningkatkan kebermaknaan konsep yang disajikan. Selain itu juga bisa juga dikombinasikan dengan penggunaan media pembelajaran yang berisi film strip atau foto-foto. Kombinasi metode ceramah berbasis advance organizer juga dapat digunakan bersama-sama dengan metode diskusi kelompok (*Barbarosa et al.2005*).

Konsep metabolisme merupakan salah satu konsep yang kurang disukai oleh siswa/mahasiswa karena karakter konsepnya yang kompleks, abstrak tetapi penting karena menjadi dasar dari pembahasan tentang makhluk hidup. Jalur metabolisme dapat disajikan secara terintegrasi dengan konsep lain seperti gerak otot, kerja otak

dan lain-lain. Semuanya dapat digabungkan menjadi satu paket pembelajaran yang mengandung advance organizer, metode ceramah dan diskusi, serta penggunaan media gambar dan tabel. Berikut contoh implementasinya :

No.	Fase Kegiatan Pembelajaran	Rincian kegiatan
1.	Awal	Guru memperlihatkan foto mikrograf sejumlah bakteri, kemudian memberitahukan bahwa bakteri merupakan makhluk hidup yang memerlukan energi . Siswa diberi pertanyaan tentang bagaimana cara makhluk hidup mendapatkan energi.
2.	Inti	Guru memberikan penjelasan tentang fase-fase metabolisme serta peranannya dalam mendapatkan energi. Siswa diminta berkelompok (sekelompok 4 orang), kemudian diberikan gambar diagram 6 jenis jalur metabolisme dan satu tabel tentang karakteristik lingkungan tempat tinggal bakteri. Dari gambar dan tabel tersebut, siswa diminta menjawab sejumlah pertanyaan yang berkisar tentang bahan baku, proses dan produk dari setiap jalur metabolisme. Selanjutnya siswa diminta mencocokkan antara jalur metabolisme pada diagram dengan lingkungan tempat hidup dari tabel.
3.	Akhir	Siswa bersama guru menyimpulkan bahwa ada perbedaan dan persamaan antara semua jalur metabolisme yang ada pada diagram. Siswa diminta mengidentifikasi pola dasar jalur metabolisme yang dipastikan terjadi di semua jalur metabolisme. Kemudian siswa diberi tugas untuk mengidentifikasi jalur metabolisme mana yang terjadi di otak, jantung, dan usus besar.

## V. Kesimpulan

Jalur metabolisme merupakan konsep yang kompleks, abstrak tetapi penting karena menjadi dasar dari pembahasan tentang makhluk hidup. Karena konsep ini sulit untuk dilihat fenomenanya secara nyata, maka konsep ini dapat disajikan dengan cara menunjukkan gambar, bagan, grafik. Penyajian konsepnya bisa dengan advance organizer yang dioperasionalisasikan dengan metode ceramah dan diskusi.