

Anna Fitri Hindriana

BELAJAR
FUNGSI
TUMBUHAN
MELALUI MODEL PEMBELAJARAN PENKIM



**BELAJAR FUNGSI TUMBUHAN
MELALUI MODEL PEMBELAJARAN PENKIM**

Penulis : Anna Fitri Hindriana

ISBN : 978-623-495-316-9

Copyright ©Desember 2022

Ukuran: 15.5 cm x 23 cm; Hal: vi + 173

Isi merupakan tanggung jawab penulis.
Hak cipta dilindungi oleh undang-undang. Dilarang mengutip atau memperbanyak baik sebagian ataupun keseluruhan isi buku dengan cara apa pun tanpa izin tertulis dari penerbit.

Desainer sampul : An Nuha Zarkasyi

Penata isi : An Nuha Zarkasyi

Cetakan 1, Desember 2022

Diterbitkan, dicetak, dan didistribusikan oleh

CV. Literasi Nusantara Abadi

Perumahan Puncak Joyo Agung Residence Kav. B11 Merjosari

Kecamatan Lowokwaru Kota Malang

Telp : +6285887254603, +6285841411519

Email: penerbitlitnus@gmail.com

Web: www.penerbitlitnus.co.id

Anggota IKAPI No. 209/JTI/2018

PRAKATA

Rasa syukur penulis sampaikan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat-Nya buku ini dapat terselesaikan dengan baik dan tepat waktu. Keberadaan dan kehadiran buku ini diharapkan mampu menjadi referensi ataupun bahan bacaan bagi pembaca, baik mahasiswa, akademisi, maupun masyarakat umum.

Dunia pendidikan saat ini tengah membutuhkan guru-guru muda yang kompeten. Oleh karena itu, sebagai mahasiswa yang sedang dalam masa pendidikan keguruan, sebelum terjun ke lingkup sekolah, terlebih dahulu akan dibekali dengan pembelajaran yang menekankan pada penggalan ilmu, pencarian informasi, perujukan literatur, dan eksperimen. Dalam hal ini, mahasiswa pendidikan tentu akan diajarkan berbagai mata kuliah yang relevan dengan kebutuhan mengajarnya ketika telah aktif menjadi seorang guru.

Secara khusus, buku ini akan membicarakan tentang metode pembelajaran yang dapat mempermudah mahasiswa pendidikan biologi untuk mempelajari fungsi dan struktur tumbuhan yang terangkum dalam mata kuliah fisiologi tumbuhan. Hal yang melatarbelakangi pembahasan buku ini adalah karena terdeteksinya permasalahan pada mahasiswa pendidikan biologi di Universitas Kuningan yang belum mampu secara maksimal mengintegrasikan konsep struktur dan fungsi tumbuhan. Oleh karena itu para dosen berusaha menciptakan model pembelajaran yang mampu mengintegrasikan struktur dan fungsi tumbuhan.

Pengintegrasian tersebut akan memfasilitasi mahasiswa agar terbiasa berpikir dan menemukan bagaimana informasi yang telah dikumpulkan dapat berhubungan satu sama lain. Dalam hal ini, akan digunakan pengintegrasian tipe *nested* dengan kerangka pembelajaran Marzano (PeNKIM). Model pembelajaran PeNKIM tersebut

menekankan terciptanya lingkungan belajar yang kondusif, kooperatif, dan kontekstual, penggunaan *prior knowledge*, pengembangan potensi berpikir, serta pengemasan informasi bermakna. Situasi pembelajaran yang demikian membantu calon guru biologi lebih mudah mempelajari fungsi dan struktur tumbuhan.

Untuk mengetahui bagaimana pengembangan model pembelajaran PeNKIM selanjutnya akan dibahas secara detail dalam buku ini. Penulis juga akan memperlihatkan tingkat keberhasilan belajar fungsi tumbuhan melalui model pembelajaran PeNKIM. Demikian buku ini dibuat untuk memberikan referensi kepada para dosen yang tengah mengajarkan mata kuliah fisiologi tumbuhan kepada mahasiswa. Semoga buku ini dapat menjadi sumber inspirasi.

Daftar Isi

Prakata iii

Daftar Isi v

BAB 1

PENDAHULUAN 1

BAB 2

INTERGRASI KONSEPTUAL DAN BEBAN KOGNITIF 9

Beban Kognitif dalam Integrasi Konseptual 9

Integrasi Konseptual untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir 14

BAB 3

MODEL PEMBELAJARAN PENKIM 21

Model Pembelajaran PeNKIM Memfasilitasi Integrasi Konseptual 21

Strategi Pengembangan Model Pembelajaran PeNKIM 26

BAB 4

STRUKTUR DAN FUNGSI TUMBUHAN 31

Struktur Tumbuhan 31

Fungsi Tumbuhan 38

BAB 5

**PROSEDUR PENGEMBANGAN MODEL PEMBELAJARAN
PENKIM** 53

BAB 6

**PENGEMBANGAN DAN UJI COBA MODEL
PEMBELAJARAN PENKIM** 65

Pengembangan Awal 65

Uji Coba Tahap Pertama 68

Uji Coba Tahap Kedua.....	80
Uji Coba Ketiga.....	93
Implementasi PeNKIM untuk Menurunkan Beban Kognitif.....	101

BAB 7

HASIL PENGEMBANGAN MODEL PEMBELAJARAN PENKIM . 117

Pengintegrasian Struktur dan Fungsi Tumbuhan dengan Pembelajaran Model Penkim.....	117
Komponen Beban Kognitif yang Berpengaruh pada Materi Struktur dan Fungsi Tumbuhan.....	140
Pengaruh Penurunan Beban Kognitif terhadap Pemahaman Fisiologi Tumbuhan dan Penalaran Mahasiswa Pendidikan Biologi	154
Keunggulan dan Keterbatasan PeNKIM dalam Mengintegrasikan Struktur dan Fungsi Tumbuhan	159
Tanggapan Mahasiswa Pendidikan Biologi terhadap Model Pembelajaran PeNKIM.....	161

BAB 8

SIMPULAN163

DAFTAR PUSTAKA 165



BAB 1

PENDAHULUAN

Keberadaan dunia pendidikan adalah untuk mendapatkan mutu sumber daya manusia sesuai tuntutan kebutuhan pembangunan. Pendukung utama terlaksananya sasaran pendidikan adalah pelaksanaan proses pembelajaran yang bermutu di bawah bimbingan dan pembinaan tenaga kependidikan yang profesional serta implementasi seluruh komponen manajemen mutu secara terpadu. Pendidik di Lembaga Pendidikan Tenaga Kependidikan (LPTK) memainkan peran yang sangat penting, terutama dalam mempersiapkan mahasiswa calon guru agar mampu menampilkan keunggulan dirinya sebagai sosok yang tangguh, kreatif, mandiri, dan profesional pada bidangnya masing-masing. Keberhasilan mahasiswa sebagai subjek belajar berkaitan dengan proses pribadi (*individual process*) dalam menginternalisasi pengetahuan, nilai, sifat, sikap dan keterampilan yang ada di sekitarnya. Adapun keberhasilan dosen sebagai subjek mengajar selain ditentukan oleh kualitas dosen secara pribadi (*individual quality*), juga ditentukan oleh standar kompetensi yang dimiliki dosen.

NRC (1996) menyatakan bahwa perkuliahan untuk para mahasiswa calon guru sebaiknya lebih menekankan pada cara belajar yang benar, seperti menggali ilmu, mencari informasi, merujuk literatur, melakukan percobaan dengan benar, melakukan inferensi, interpretasi, dan berkomunikasi sehingga aktivitas memperoleh ilmu dianggap sebagai kebutuhan yang menyenangkan. Oleh karena itu, LPTK seharusnya menghasilkan lulusan yang memiliki kemampuan penalaran kualitatif dan kuantitatif terhadap perkembangan dan aplikasi

konsep, membangun dan menginterpretasi secara ilmiah, memecahkan masalah, dan mengantisipasi kesulitan-kesulitan konseptual yang dihadapi oleh mahasiswa. Khusus untuk mahasiswa pendidikan biologi harus memahami proses biologi dan mengembangkan penalarannya. Namun, untuk merealisasikan itu semua, diperlukan mahasiswa yang memiliki kemampuan metakognitif yang tinggi karena semakin tinggi kemampuan metakognitif mahasiswa maka semakin baik proses belajar dan prestasi yang mungkin mereka capai (Moreno & Valdez, 2006). Mahasiswa yang memiliki pemahaman yang lebih baik mengenai proses belajar dan berpikir akan lebih mungkin mengalami perubahan konseptual (Sinatra 2002 dalam Ormrod, 2008). Berkaitan dengan hal tersebut, karakteristik mahasiswa perlu dijadikan perhatian utama bagi para dosen karena pada diri mahasiswa terkandung potensi yang perlu digali dan ditumbuhkembangkan. Di samping itu, nalar para mahasiswa calon guru biologi juga perlu dikembangkan.

Salah satu masalah pokok dalam pembelajaran pada mahasiswa calon guru biologi di Universitas Kuningan adalah rendahnya integrasi konseptual terhadap materi kuliah, terutama mata kuliah fisiologi tumbuhan. Hal ini terlihat dari kemampuan mahasiswa dalam mengintegrasikan pengetahuan tentang struktur tumbuhan. Rendahnya kemampuan integrasi konseptual tersebut berkaitan dengan kemampuan mahasiswa dalam memproses informasi yang diterima saat mempelajari materi kuliah, baik ketika proses perkuliahan maupun saat mempelajari materi dari buku sumber. Konsep pada fisiologi tumbuhan yang dirasakan sulit untuk diintegrasikan dengan struktur adalah konsep yang memiliki interkoneksi tinggi. Dalam mata kuliah tersebut, salah satu konsep yang memiliki interkoneksi tinggi antara struktur dan fungsi tumbuhan adalah konsep transpirasi dan fotosintesis.

Pada dasarnya ketika pembelajaran, dosen telah berusaha menyajikan materi dengan baik. Begitupun mahasiswa yang terlihat sungguh-sungguh memahami materi struktur dan fungsi tumbuhan. Akan tetapi, dalam hal integrasi konseptual struktur pada fungsi tumbuhan belum diperoleh hasil yang memuaskan. Dosen jugatelah menayangkan gambar tentang struktur untuk mengaktifkan *prior knowledge*, tetapi mahasiswa belum mampu memaknai gambar struktur terhadap proses fisiologi. Hal ini diduga sebagai akibat adanya kendala

yang dihadapi dosen dan mahasiswa. Kendala-kendala yang terdeteksi adalah sebagai berikut.

1. Mahasiswa mengalami kesulitan untuk mengingat lebih lama materi mata kuliah fisiologi tumbuhan karena gambar yang ditayangkan hanya berfungsi mengingatkan struktur yang terkait fungsi sehingga mahasiswa sukar memaknai hubungan antara struktur dan fungsi tumbuhan.
2. Mahasiswa memiliki beban yang tinggi untuk mengintegrasikan mata kuliah anatomi tumbuhan saat mempelajari fisiologi tumbuhan sehingga tidak terbentuk skema kognitif yang baik setelah mempelajari fisiologi tumbuhan.
3. Mahasiswa belum mampu menentukan dengan tepat keterkaitan struktur tumbuhan sehingga waktu yang dibutuhkan untuk melaksanakan diskusi di dalam kelompok relatif lama. Jadi secara otomatis, mahasiswa juga tidak memiliki waktu berdiskusi dengan kelompok lain.
4. Pelaksanaan praktikum tidak melibatkan mahasiswa dalam merancang eksperimen. Dalam hal ini, mahasiswa hanya melaksanakan langkah-langkah yang diberikan dalam petunjuk praktikum sehingga mereka tidak dibiasakan untuk memilih jenis tumbuhan berdasarkan keterkaitan struktur dan fungsi.

Dengan demikian dalam kegiatan belajar, praktikum, dan memproses materi ajar mata kuliah fisiologi tumbuhan belum menunjukkan aspek yang diharapkan. Menurut Ausubel dalam Dahar (1996), ketika belajar terjadi asimilasi konsep bahwa pemahaman terhadap suatu konsep akan berkembang karena atribut-atribut konsep yang sedang dipelajari berhubungan dengan atribut-atribut konsep yang telah ada dalam struktur kognitif mereka. Dengan demikian, keadaan di Universitas Kuningan masih belum menunjukkan proses pembelajaran yang memfasilitasi mahasiswa untuk belajar berdasarkan kemampuan awal mereka.

Mahasiswa Program Studi Pendidikan Biologi di Universitas Kuningan dalam belajar cenderung lebih menginginkan ditampilkan gambar struktur tumbuhan agar pemahaman materi jauh lebih mudah. Namun meskipun hal tersebut telah dilakukan, seringkali daun tidak menjelaskan keterkaitan perubahan struktur dengan fungsi tumbuhan. Dosen hanya mengingatkan keterkaitan antara struktur dan fungsi

tumbuhan sehingga siswa dengan cepat melupakan materi tersebut. Keadaan seperti ini sesuai dengan pendapat Baddeley (1992) yang dikemukakan oleh Sweller (2005) bahwa sistem pengolahan kognitif terdiri atas *working memory* dan *long-term memory*. *Working memory* adalah tempat pengolahan informasi baru yang sedang berlangsung, membutuhkan usaha mental, sangat terbatas baik dalam kapasitas untuk memproses informasi baru dan durasi penyimpanannya. Keterbatasan tersebut mengakibatkan sulit terbentuknya skema kognitif apabila tidak difasilitasi elaborasi antara pengetahuan awal dan pengetahuan baru. Begitupun kegiatan praktikum kurang efektif karena pada pelaksanaannya tidak melibatkan mahasiswa untuk merancang eksperimen. Hal ini mengakibatkan mahasiswa tidak terbiasa menerapkan pengetahuan struktur pada fungsi tumbuhan.

Berdasarkan permasalahan di atas perlu dilaksanakan pembelajaran yang mengintegrasikan antara struktur pada fungsi tumbuhan untuk memfasilitasi integrasi konseptual mahasiswa. Pembelajaran demikian sejalan dengan pendapat Fogarty (1991) bahwa kurikulum dapat dijadikan landasan dalam pengintegrasian materi ajar. Pembelajaran yang dapat memfasilitasi mahasiswa untuk melakukan integrasi konseptual pada perkuliahan fisiologi tumbuhan adalah pembelajaran yang mengintegrasikan keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan. Pengintegrasian struktur pada fungsi tumbuhan adalah salah satu representasi yang dapat memudahkan pemelajar dalam memahami materi fisiologi tumbuhan karena ketika itu mahasiswa dapat mengetahui jaringan dan proses yang terjadi pada tumbuhan. Hal ini sesuai dengan teori beban kognitif yang dikemukakan oleh Sweller (2005) bahwa ilustrasi membantu membangun representasi mental. Format yang hanya berisi teks seringkali tidak memadai dalam meningkatkan pemahaman (Mayer, 2001). Ilustrasi bermanfaat untuk peserta didik yang memiliki sedikit pengetahuan awal, ilustrasi terpadu dapat mengurangi beban kognitif pada pemahaman teks (Mayer, 2003). Berdasarkan pendapat Sweller dan Mayer, pembelajaran yang mengintegrasikan keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan bertujuan memberikan informasi tentang pentingnya keterkaitan struktur pada fungsi secara epistemologi serta mengembangkan sikap dan persepsi positif saat mempelajari fisiologi tumbuhan untuk mengurangi beban kognitif mahasiswa.

Menurut Kalyuga (2008), pemrosesan informasi melalui elaborasi dapat memperluas dan memperhalus materi baru berdasarkan beberapa proses, seperti organisasi, restrukturisasi, interkoneksi, integrasi informasi dari elemen-elemen baru, identifikasi hubungan antara elemen-elemen tersebut, dan hubungan materi baru pada pengetahuan awal siswa. Proses elaborasi pengetahuan menghasilkan penambahan komponen-komponen pengetahuan untuk diberikan dalam pernyataan tugas atau pesan pembelajaran dengan menciptakan kaitan antara pengetahuan awal dan informasi baru. Jika merujuk pada pendapat Kalyuga, maka keadaan mahasiswa pendidikan biologi di Universitas Kuningan masih belum menunjukkan proses pembelajaran yang mengarah pada penggunaan informasi sebelumnya untuk diintegrasikan pada informasi baru. Hal ini karena pada mata kuliah fisiologi tumbuhan, mahasiswa tidak difasilitasi untuk melakukan integrasi konseptual.

Integrasi struktur pada fungsi tumbuhan dapat memfasilitasi mahasiswa dalam mempelajari fisiologi tumbuhan karena pada dasarnya fungsi dan struktur tubuh tumbuhan memiliki hubungan yang sangat erat sehingga keduanya tidak dapat dipisahkan. Oleh karena itu, untuk mempelajari fungsi jaringan atau organ tertentu, terlebih dahulu harus memahami struktur organ dan jaringan yang dimaksud. Dengan selalu mengintegrasikan struktur tumbuhan saat mempelajari fungsi tumbuhan akan memberikan pengalaman yang bermakna bagi mahasiswa dalam mempelajari fisiologi tumbuhan karena mereka akan menghubungkan struktur pada fungsi. Selain itu pengintegrasian struktur pada fungsi tumbuhan dapat mengakomodasi perkembangan tumbuhan serta memprediksi perubahan fungsi tumbuhan yang berkaitan dengan perubahan struktur tumbuhan akibat perubahan lingkungan. Pengintegrasian struktur tumbuhan pada pembahasan fungsi tumbuhan apabila tidak dikelola dengan baik tentu akan menambah beban kognitif mahasiswa.

Teori beban kognitif (CLT) memfokuskan pada keterbatasan pengolahan pada sistem kognitif mahasiswa dan sarana untuk mengelola keterbatasan dalam belajar dan pengajaran. Teori CTL mengasumsikan dua komponen fungsional utama pada skema kognitif kita. Pertama, memori jangka panjang (*long-term memory*) yang merupakan penyimpanan informasi yang telah terorganisir dan memiliki kapasitas

yang besar dan permanen. Kedua, memori kerja (*working memory*) yang merupakan mekanisme terbatas untuk langsung menerima informasi. Atribut penting dari memori kerja adalah keterbatasan dalam kapasitas dan durasi ketika mengolah informasi yang belum dikenal (Schnotz & Kürchner, 2007).

Integrasi konseptual yang harus dilakukan mahasiswa membutuhkan keterampilan berpikir yang spesifik. Dalam hal ini, mahasiswa harus mampu menggunakan sumber informasi yang diperlukan dan mengembangkan sumber informasi tersebut dalam bentuk skema kognitif. Strategi pembelajaran yang diperlukan untuk mengembangkan skema kognitif adalah strategi yang mampu memfasilitasi mahasiswa untuk menggunakan sistem kognitif dalam memproses dan menganalisis informasi. Dimensi belajar Marzano (1992) mengembangkan kerangka instruksionalnya berdasarkan empat komponen, yaitu *knowledge domain*, *cognitive system process*, *metacognition*, dan *self regulation*. Keempat komponen tersebut harus dilaksanakan selama proses pembelajaran melalui pengumpulan dan pengintegrasian pengetahuan serta pengembangan pengetahuan baru melalui kegiatan yang membantu mahasiswa memperluas dan menghaluskan pengetahuan sehingga mereka mampu menggunakan pengetahuannya secara bermakna.

Dengan demikian, untuk meningkatkan kemampuan mahasiswa dalam mengolah informasi terhadap materi fisiologi tumbuhan perlu dilaksanakan pembelajaran yang mengintegrasikan struktur pada fungsi tumbuhan. Tujuannya adalah memfasilitasi proses belajar mahasiswa sehingga mereka terbiasaberpikir dan menemukan bagaimana informasi yang telah dikumpulkannya berhubungan satu sama lain serta menganalisis informasi yang bergantung pada informasi lain. Untuk memfasilitasi mahasiswa agar terbiasa berpikir dalam proses pembelajaran digunakan pengintegrasian tipe *nested* dengan kerangka pembelajaran Marzano. Hal ini karena dalam kerangka pembelajaran Marzano ditumbuhkan sikap kebiasaan berpikir produktif untuk mengintegrasikan pengetahuan baru ke pengetahuan yang dimiliki sebelumnya, mengorganisasikan pengetahuan, menganalisis pengetahuan yang dipelajarinya. Kerangka tersebut menggunakan pengetahuan secara bermakna melalui proses berpikir yang diintegrasikan ke dalam tugas-tugas mahasiswa selama proses

pembelajaran, memecahkan masalah, menemukan/menciptakan, melakukan percobaan dan menganalisis suatu sistem.

Manfaat keterkaitan konseptual yang dipelajari dengan sisi bidang kajian yang relevan akan membentuk skema kognitif yang memungkinkan mahasiswa memperoleh keutuhan dan kebulatan pengetahuan. Selain itu keterkaitan konseptual dapat menolong mahasiswa untuk memetakan informasi dan mengategorisasikan skema yang memungkinkannya secara efektif menggunakan pengetahuan untuk menghadapi situasi yang berbeda tanpa adanya *ekstragenousload* sehingga dengan penurunan beban kognitif *ekstragenous* dapat meningkatkan kapasitas *working memory* yang pada akhirnya mempertinggi keterampilan berpikir.



BAB 2

INTERGRASI KONSEPTUAL DAN BEBAN KOGNITIF

Beban Kognitif dalam Integrasi Konseptual

Beban kognitif didefinisikan sebagai beban melakukan tugas tertentu yang berdampak pada sistem pengolahan kognitif. Beban mental yang dikenakan oleh tugas dan usaha mental yang diperlukan untuk menghitung tugas adalah dimensi penting dari beban kognitif dan dapat digunakan untuk menilai beban kognitif (Pass & Van Merriënboer, 1993 dalam Van Gog & Pass, 2008). Beban kognitif total yang dikenakan pada memori kerja terdiri atas tiga kategori, yakni *intrinsic*, *germane*, dan *extraneous* (Sweller, 2005).

Pemahaman suatu konten materi pelajaran berkaitan erat dengan sistem pengolahan kognitif yang memuat *working memory* dan *long-term memory* (Baddeley, 1992 dalam Scharfenberg & Bogner, 2010). *Working memory* adalah tempat pengolahan informasi baru yang sedang berlangsung. Selain itu, *working memory* memiliki keterbatasan baik dalam kapasitas untuk memproses informasi baru maupun durasi penyimpanannya. Teori beban kognitif yang dikemukakan oleh Moreno (2006) didefinisikan sebagai beban yang terdapat dalam *working memory* dapat diturunkan dengan meningkatkan kapasitasnya. *Working memory* memiliki dua komponen, yaitu *visuo-spatial sketchpad* yang mengendalikan kinerja visual dan spasial serta *phonological loop* yang berisi penyimpanan fonologis dan proses artikulatoris yang memfasilitasi seseorang ketika mengingat informasi.

Apabila dalam pembelajaran komponen tersebut dipisahkan maka salah satunya akan menutupi kemampuan yang lainnya. Penyatuan kedua komponen tersebut akan meningkatkan *working memory*. Dalam keadaan tertentu *working memory* dapat kelebihan beban ketika jumlah dan kompleksitas informasi melebihi kapasitasnya. Kelebihan beban pada *working memory* akan mengakibatkan dampak negatif pada pemahaman materi.

Marcus dkk (1996) menyatakan bahwa beban kognitif yang dikenakan oleh bahan pembelajaran dipengaruhi oleh pengetahuan sebelumnya, sifat intrinsik dari materi, serta penyajian dan organisasi bahan pelajaran. Pemahaman tentang pengaruh beban kognitif terhadap pemrosesan informasi oleh mahasiswa ketika belajar adalah pemahaman yang sangat penting. Pemahaman ini bermanfaat untuk mendesain efektivitas bahan pembelajaran (Haslam dan Hamilton, 2010). Format pembelajaran yang membutuhkan mental pemelajar untuk mengintegrasikan sumber informasi sebelum terjadinya pemahaman menyebabkan beban kognitif meningkat dan memengaruhi pemahaman serta pengetahuan (Taber, 2008).

Dalam bidang sains, mahasiswa diajarkan baik sebagai sains (model, prinsip yang merupakan produk sains dan aplikasinya) maupun tentang sains (hakikat sains) (Duschl, 2000 dalam Taber, 2008). Pengajaran hakikat sains diakui sebagai tujuan utama pendidikan sains meskipun seringkali fokus pengajarannya pada proses inkuiri ilmiah. Hal ini dianggap bahwa aspek pendidikan sains perlu didukung oleh pemahaman nilai-nilai ilmiah. Aspek lain dari pengetahuan ilmiah adalah cara pengetahuan ilmiah itu terintegrasi dengan kuat. Hal ini bertujuan agar dapat diterima bahwa teori ilmiah baru tidak hanya mencerminkan data empiris, tetapi juga memperlihatkan konsistensi internal. Gagasan penjelasan yang koheren merupakan model yang sangat berguna untuk mengembangkan berpikir ilmiah. Koherensi konsep, integrasi konsep merupakan norma dalam pengetahuan sains. Namun koherensi dan integrasi konsep tidak selalu terjadi pada mahasiswa atau peserta didik ketika mereka berpikir ilmiah. Hal ini kemungkinan disebabkan terjadinya beban dalam *working memory* dalam menghubungkan suatu konsep pada konsep yang lainnya dalam struktur kognitif peserta didik. Lebih lanjut, Taber (2008) menyatakan bahwa pengetahuan dasar seseorang dapat digambarkan sebagai suatu

network sehingga representasi seperti *concept map* atau *mind map* dapat digunakan sebagai model aspek struktur kognitif seseorang.

Adodo (2013) dan Buzan (2005) menyatakan bahwa pada *mind map* topik utama ditempatkan di tengah-tengah grafik, sedangkan konsep penting dihubungkan ke topik utama menggunakan percabangan yang menyebar di sekeliling topik utama. Percabangan pada *mind map* dapat membentuk tingkat dua, tiga, dan seterusnya. Hal inilah yang menyebabkan *mind map* sesuai dengan cara otak bekerja yaitu dengan membuat asosiasi. Mengorganisasikan informasi menggunakan *mind map* memungkinkan mahasiswa membuat hubungan antara informasi yang satu dan lainnya secara bermakna. *Mind map* membuat belajar lebih bermakna dan meningkatkan pemahaman, terutama apabila dipasangkan dengan pembelajaran berbasis masalah.

Keles (2012) menyatakan bahwa *mind map* mendorong pemikiran sinergis, percabangan konsep atau frasa dari topik utama mendorong terciptanya ide-ide tambahan. Hal ini karena informasi dihubungkan secara logis atau teratur. Inilah yang menyebabkan otak berpikir secara sinergis.

Model-model konstruktivis dalam pembelajaran beranggapan bahwa pengetahuan dan pemahaman yang telah ada merupakan dasar untuk belajar bermakna. Kebermaknaan tersebut dikarenakan adanya suatu proses mengaitkan informasi baru pada konsep-konsep yang relevan yang terdapat dalam struktur kognitif seseorang. Dahar (1996) menyatakan bahwa dasar-dasar biologi dari belajar bermakna menyangkut perubahan-perubahan dalam jumlah atau ciri-ciri neuron yang berpartisipasi dalam belajar bermakna. Peristiwa psikologi tentang belajar bermakna menyangkut asimilasi informasi baru pada pengetahuan yang telah ada dalam struktur kognitif seseorang. Dengan demikian, dalam belajar bermakna informasi baru diasimilasikan pada skema kognitif yang relevan sehingga membentuk skema kognitif yang lebih kompleks.

Berdasarkan teori pengolahan memori, retensi pengetahuan yang terbentuk pada *long-term memory* dapat segera diakses. Hal ini melibatkan penguatan pengetahuan melalui integrasi pembelajaran baru dengan struktur pengetahuan yang telah mapan. Dari pandangan tersebut, pengajaran yang mendukung peserta didik dalam melihat bagaimana materi baru berhubungan dengan pembelajaran sebelumnya

harus dapat memfasilitasi pembelajaran bermakna dan memperkuat pembelajaran sebelumnya.

Penggunaan ilustrasi dalam teks memfasilitasi pemahaman dan pembelajaran dari teks. Ilustrasi membantu membangun representasi mental tentang konsep yang disajikan dalam teks sehingga dapat meningkatkan pemahaman dan mengurangi beban kognitif (Leutner, Leopold, Sumfleth, 2010). Pernyataan tersebut diperkuat oleh hasil penelitian Scharfenberg & Bogner (2010) bahwa petunjuk praktikum yang diintegrasikan dengan gambar memiliki dampak positif pada pemahaman dan pengetahuan. Hasil penelitian tersebut mendukung integrasi konseptual pada materi yang memiliki keterkaitan struktur pada fungsi. Proses integrasi konseptual akan meringankan *working memory* dalam menganalisis informasi karena informasi dikemas menjadi informasi yang bermakna dan sesuai dengan pengembangan skema kognitif.

Cara lain untuk mengurangi beban kognitif dalam mengintegrasikan pengetahuan adalah dengan membangun skema karena pengetahuan dalam memori jangka panjang yang disimpan dalam skema memungkinkan untuk diorganisasikan dan diakses pada saat diperlukan (Cook, 2006). Keterbatasan *working memory* akan hilang ketika informasi baru berhubungan dengan informasi yang telah ada pada *long-term memory*, di mana informasi tersebut diorganisasikan dalam bentuk skema kognitif (Schnotz & Kürschner, 2007). Dengan demikian skema dapat menolong untuk mengorganisasikan dan menghubungkan informasi yang relevan. Selain itu, skema dapat memudahkan seseorang dalam mengerjakan tugas-tugas yang saling berkaitan. Informasi dan tugas-tugas yang memiliki interkoneksi tinggi seringkali berkontribusi pada proses konstruksi skema yang memengaruhi *germane load*. Berdasarkan uraian di atas dapat disimpulkan bahwa desain pembelajaran yang memfasilitasi pembentukan skema akan menurunkan *extraneous load* dan berpengaruh terhadap penurunan *germane load* sehingga proses integrasi konseptual akan terlaksana dengan baik selama pembelajaran.

Integrasi konseptual sangat penting dalam menurunkan beban kognitif karena adanya optimalisasi proses dan hasil belajar bagi peserta didik. Fogarty (1991) menyatakan dengan adanya integrasi konseptual *pertama*, adanya kesatuan ide yang berkelanjutan antar kelas dan jenjang,

dimana penguasaan materi pada kelas/jenjang bawah merupakan dasar bagi kelanjutan dan penguasaan materi pada kelas/jenjang di atasnya. *Kedua*, adanya penambahan, keluasan, dan kedalaman materi (*breadth and dept within discipline*) yang berkelanjutan dari setiap mata pelajaran yang dipelajari. Penambahan penguasaan secara horizontal (dalam disiplin ilmu yang sama) ini sebagai dasar untuk mempelajari bidang yang relevan dikemudian hari. *Ketiga*, adanya keterpaduan *skill*, konsep, dan topik lintas disiplin ilmu yang memiliki kesamaan sifat.

Dengan demikian integrasi konseptual digunakan untuk meningkatkan cara belajar yang lebih holistik dengan menciptakan keterkaitan ide dari suatu konsep pada konsep lainnya. Untuk membuat integrasi yang lebih komprehensif maka integrasi mencakup dalam dan antardisiplin ilmu adalah hal yang sangat penting. Haslam & Hamilton (2010) menyatakan bahwa bahan ajar terpadu memiliki dampak positif pada pemahaman dan pengetahuan serta sangat cocok untuk mengurangi beban kognitif. Lebih lanjut, Moreno (2006) menyatakan bahwa teori pembelajaran kognitif didasarkan pada gagasan bahwa belajar terjadi ketika peserta didik secara aktif membangun sebuah representasi pengetahuan yang koheren dengan kapasitas memori kerja yang terbatas.

Integrasi konseptual pengetahuan struktur pada fungsi tumbuhan yang difasilitasi oleh adanya gambar struktur ternyata dapat memperjelas proses fisiologi pada tumbuhan. Hal ini karena pembelajaran berhubungan dengan bagaimana mahasiswa mengintegrasikan informasi verbal dan visual selama belajar. Mahasiswa dipandang sebagai konstruktor pengetahuan karena beberapa bagian informasi harus diintegrasikan. Dalam teori generatif, belajar terdiri dari membangun hubungan referensial antara representasi verbal dan bergambar. Masing-masing saluran ini memiliki kapasitas pengolahan yang terbatas pada waktu tertentu (Gyselinck dkk, 2008). Pada akhirnya, pembelajaran bermakna memerlukan pembangunan model mental dokumen berdasarkan tiga proses, yakni pemilihan elemen penting dalam materi yang disajikan, organisasi unsur-unsur dalam struktur yang koheren, dan integrasi dengan pengetahuan yang ada.

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa integrasi konseptual dapat menurunkan beban kognitif karena *working memory* yang memiliki keterbatasan kapasitas dapat dimanipulasi dengan cara

menghubungkan informasi yang terpisah menjadi informasi tunggal yang memiliki makna. Informasi tersebut disimpan dalam skema yang secara hierarki mengatur elemen-elemen domain spesifik yang saling berkaitan. Penggunaan dan pengembangan skema selama proses pengintegrasian akan mengurangi beban kognitif ketika memproses informasi baru. Berkembangnya skema memudahkan pemanggilan pengetahuan yang tersimpan pada *long-term memory*. Pengetahuan tersebut diperlukan untuk memahami informasi baru. Selain itu, pengetahuan memiliki implikasi penting terhadap proses terjadinya asimilasi konsep.

Integrasi Konseptual untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir

Berpikir tingkat tinggi dapat diartikan sebagai *higher order thinking occurs when a person takes new information and information stored in memory and interrelates and/or rearranges and extends this information to achieve a purpose or find possible answers in perplexing situations*. Jadi, kemampuan berpikir tingkat tinggi akan terjadi ketika seseorang mengaitkan informasi baru dengan informasi yang telah tersimpan dalam ingatannya kemudian ia menata ulang, menghubungkan, dan mengembangkan informasi tersebut untuk mencapai sebuah tujuan atau menyelesaikan keadaan yang sulit dipecahkan (King, Rohani & Goodson, 1997). Kemampuan berpikir tingkat tinggi (*high order thinking skill*) sangat penting dan sangat dibutuhkan oleh tiap-tiap manusia, terlebih lagi calon pendidik. Meningkatkan kemampuan berpikir tingkat tinggi dapat dilakukan melalui pemecahan masalah (*problem-solving*), penalaran (*reasoning*), dan komunikasi (*communication*).

Berpikir tingkat tinggi meliputi aspek-aspek mengorganisasi, membangun (*generating*), menginvestigasi, dan mengevaluasi. Dalam hal ini, Bloom dan Marzano memiliki pandangan yang sejalan dalam hal generalisasi dan integrasi. Menurut Marzano (1992), berpikir tingkat tinggi berarti berpikir dengan mengambil beberapa tahap yang lebih tinggi dari hierarki proses kognitif. Lebih lanjut, ia menekankan proses berpikir dengan penalaran (aktivitas/proses-proses berpikir) yang melibatkan operasi-operasi mental, seperti pembentukan konsep dan prinsip, pemahaman, pemecahan masalah, dan pengambilan keputusan. Operasi mental tersebut merupakan proses konstruksi

pengetahuan. Penalaran meliputi *basic thinking*, *critical thinking*, dan *creative thinking*.

Keterampilan berpikir dasar meliputi kemampuan pemahaman konsep misalnya melalui pengamatan fenomena, membaca, dan diskusi. Sementara berpikir kompleks merupakan keterampilan berpikir tingkat tinggi yang meliputi berpikir kritis, berpikir kreatif, pemecahan masalah, dan pengambilan keputusan. Agar mahasiswa terbiasa berpikir kompleks maka dalam proses pembelajarannya harus dibiasakan terlibat aktif dalam proses berpikir. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah mengimplementasikan dimensi belajar Marzano.

Dalam proses berpikir, Marzano menekankan pada proses mengonstruksi makna, mengorganisasi pengetahuan baru, menyimpan pengetahuan, mengemukakan kesamaan dan perbedaan, mengelompokkan sesuatu menjadi kategori, merumuskan prinsip-prinsip dari bukti yang ada, menerapkan prinsip-prinsip untuk menarik kesimpulan, mendukung suatu pernyataan, menekankan pada tema yang mendasari, menggali informasi, dan menyelesaikan masalah.

Integrasi konseptual akan memfasilitasi mahasiswa berpikir tingkat tinggi karena dalam prosesnya menekankan aspek belajar penemuan (Wei, 2009). Bruner (1966) dalam Dahar (1997) menyatakan bahwa belajar penemuan meningkatkan penalaran mahasiswa dan kemampuan untuk berpikir kreatif. Dengan demikian, belajar penemuan melatih keterampilan kognitif untuk menemukan dan memecahkan masalah.

Integrasi konseptual ini sangat penting dilakukan mahasiswa pendidikan karena dapat memfasilitasi proses asimilasi konsep sehingga pembelajaran menjadi lebih bermakna. Kebermaknaan dalam integrasi konseptual ini terjadi karena dalam prosesnya mahasiswa dapat menghubungkan pengetahuan yang sudah mereka miliki dengan pengetahuan baru.

Berdasarkan pernyataan di atas, dapat disimpulkan bahwa integrasi konseptual memungkinkan mahasiswa untuk memiliki kemampuan menginvestigasi, menjelaskan, membandingkan, menyintesis, dan menganalisis fenomena menggunakan pengetahuan ilmiah. Kemampuan tersebut dapat digunakan untuk memecahkan masalah dalam kehidupan sehari-hari.

Menurut Gardner (1999) dalam Lazear (2004), tingkatan berpikir meliputi: 1) mengumpulkan dan memahami pengetahuan dasar; 2) pemrosesan dan asimilasi informasi; serta 3) penalaran dan berpikir tingkat tinggi. Berikut penjabarannya.

1. Mengumpulkan dan memahami pengetahuan dasar.

Pada tingkatan ini difokuskan untuk memperhatikan pembelajaran dan pemahaman fakta dasar, lambang, definisi, komponen, membedakan informasi, dan konsep yang berhubungan terhadap topik spesifik. Tingkatan ini merupakan tahap awal seseorang belajar, tetapi dalam pendidikan formal tahap ini terkadang juga menjadi akhir pembelajaran.

Terdapat kekeliruan asumsi bahwa seseorang yang mengingat fakta dasar, lambang, simbol, definisi, komponen, perbedaan informasi, dan konsep, serta dapat mereproduksinya dalam bentuk yang dibutuhkan menunjukkan bahwa orang tersebut telah memahami pelajaran secara bermakna. Asumsi ini merupakan pernyataan yang agak berlebihan karena ketika bobot tes uji kemampuan mengingat pengetahuan yang telah dikumpulkan dipertimbangkan, asumsi tersebut bukan merupakan pernyataan yang berlebihan.

Pengumpulan dan memahami pengetahuan secara umum terlibat ketika:

- a. menuntaskan istilah dan konsep inti dari konten pada unit tertentu;
 - b. mengingat fakta kunci, simbol, data, dan lain-lain yang akan digunakan selama pembelajaran;
 - c. belajar bagaimana menunjukkan proses tertentu atau operasi pada intisari konten;
 - d. memahami klasifikasi tertentu atau pengelompokan informasi; dan
 - e. merangkum atau menjelaskan konsep terhadap orang lain.
2. Pemrosesan dan analisis informasi.

Setelah memiliki informasi dasar yang disyaratkan tentang suatu topik, seseorang dapat menghimpun data. Ini merupakan tingkatan pemikiran di mana mahasiswa diminta untuk berpikir dan menemukan bagaimana informasi yang berbeda dan yang telah dikumpulkan berhubungan satu sama lain. Mahasiswa

tersebut akan belajar tentang hakikat dinamika informasi. Mereka menganalisis bagian mana yang bergantung pada bagian lain dan bagian mana yang bebas.

Pada tahap ini, mereka belajar bagaimana menghubungkan pembelajaran baru ke pengetahuan sebelumnya dan mempelajari yang mungkin akan terjadi dalam konten area yang sangat berbeda. Para pemelajar memulai proses pencarian kapan dan bagaimana informasi baru akan berguna.

Pemrosesan dan analisis informasi secara umum terlibat dalam segala sesuatu yang terkait dengan:

- a. bertanya tentang pengumpulan informasi, seperti dari mana ini berasal? atau bagaimana hal itu ditemukan?;
 - b. memisahkan informasi kedalam bagian-bagian dan belajar bagaimana setiap bagian berkontribusi terhadap keseluruhan;
 - c. belajar bagaimana dan mengapa proses tertentu, operasi, konsep, dan sebagainya sangat penting dalam konten area yang sedang dipelajari;
 - d. membandingkan dan mengontraskan perbedaan informasi;
 - e. meneliti bagaimana orang lain menggunakan informasi di luar lingkungan pendidikan formal; dan
 - f. mengeksplorasi hubungan antara informasi ini dengan bidang lain dalam kurikulum sekolah.
3. Penalaran dan berpikir tingkat tinggi.

Berpikir tingkat tinggi merupakan asesmen utama dari apa yang terjadi pada pembelajaran dalam suatu unit pelajaran. Apakah mahasiswa mengetahui apa yang harus dilakukan terhadap informasi di luar situasi akademik formal. Dapatkah mereka mengaplikasikannya? Apakah mereka melihat hubungan antara apa yang seharusnya diajar dan pengetahuan sebelumnya? Apakah mereka mampu menginvestasikan pengetahuan yang diperlukannya dengan makna personal sehingga keterampilan berpikir tingkat tinggi menjadi bagian dari hidupnya. Dapatkah mereka menggunakan pengetahuan atau informasi yang telah dimiliki untuk menghasilkan pengetahuan dan informasi yang lebih komprehensif? Tingkatan berpikir tingkat tinggi merupakan tahap di mana kita memberdayakan mahasiswa untuk memberikan kontribusi efektif dan produktif terhadap masyarakat.

Kemampuan mahasiswa dalam berpikir tingkat tinggi merupakan proses memperoleh nilai dan belajar bertanggung jawab untuk menciptakan masa depannya.

Menyintesis dan mengevaluasi (inti urutan berpikir lebih tinggi) meliputi:

- a. mengeksplorasi personal implikasi dari informasi (hasil belajar) dan bagaimana informasi ini akan membuat hidup saya berbeda?;
- b. mengartikulasikan perbedaan dalam perspektif: bagaimana informasi ini telah mengubah pemahaman diri dan dunia saya?;
- c. membuat penilaian personal tentang kepentingan informasi relatif terhadap diri seseorang;
- d. membuat rencana bagaimana menggunakan informasi dalam kehidupan sehari-hari; dan
- e. mengintegrasikan informasi dengan pengetahuan atau informasi lain.

Berdasarkan tingkatan berpikir Gardner, proses integrasi konseptual dapat melatih mahasiswa untuk mampu berpikir tingkat tinggi melalui tahapan-tahapan tersebut. Integrasi konseptual menuntut mahasiswa untuk mengumpulkan dan memahami pengetahuan dasar bahwa mahasiswa dalam melakukan integrasi konseptual harus mampu menentukan konsep kunci, mengidentifikasi informasi yang saling berhubungan, dan mengelompokkan informasi menjadi elemen tunggal yang saling berhubungan serta mengandung makna.

Pemrosesan dan analisis informasi diperlukan dalam integrasi konseptual karena informasi dapat mengembangkan skema kognitif yang kompleks dan bermakna. Berkembangnya skema kognitif dapat memperluas pemahaman mahasiswa karena informasi yang telah ada dalam struktur kognitifnya diperkaya oleh informasi baru. Dalam melakukan pemrosesan informasi, mahasiswa dituntut untuk memasukkan informasi ke dalam sistem ingatannya, kemudian informasi itu dipilih dan diorganisasikan dalam *working memory* untuk selanjutnya disimpan dalam bentuk skema kognitif *long-term memory*.

Analisis informasi adalah proses memecahkan informasi menjadi beberapa bagian yang kemudian akan dirangkai menjadi suatu pesan yang bermakna dan fungsional. Kemampuan menganalisis informasi menurut Bloom merupakan salah satu kemampuan kognitif tingkat tinggi (Lazear, 2004). Alasannya, dalam melakukan integrasi konseptual, mahasiswa dituntut untuk menganalisis hubungan dengan cara melihat secara komprehensif interrelasi antarkonsep dan mengenal hubungan sebab akibat serta konsep-konsep yang penting dan yang tidak penting dalam mengembangkan skema kognitif.

Berdasarkan pernyataan di atas, dapat disimpulkan bahwa integrasi konseptual selain meningkatkan berpikir tingkat tinggi juga dapat meningkatkan penalaran. Hal ini karena penalaran merupakan berpikir selektif dalam menganalisis fakta serta prinsip berdasarkan pengamatan yang dikombinasikan dan diuji untuk mengambil kesimpulan dan selanjutnya ditarik menjadi suatu generalisasi (Kuswana, 2011).

BAB 3

MODEL PEMBELAJARAN PENKIM

Model Pembelajaran PeNKIM Memfasilitasi Integrasi Konseptual

Tujuan pembelajaran PeNKIM adalah mengintegrasikan pengetahuan tentang struktur pada fungsi tumbuhan. Jadi, model pembelajaran ini diharapkan dapat memfasilitasi mahasiswa dalam melakukan integrasi konseptual. Pembelajaran ini akan menggabungkan pembelajaran terintegrasi tipe *nested* dan dimensi belajar Marzano. Adapun prinsip PeNKIM yang perlu diketahui adalah sebagai berikut.

1. Menciptakan lingkungan belajar yang kondusif.
2. Memberikan masalah dan solusi terhadap persoalan yang dihadapi mahasiswa.
3. Memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk menyelesaikan tugas-tugasnya secara kolaborasi.
4. Membuat petunjuk *performance objective* yang berisi kata kerja operasional untuk mengarahkan kinerja mahasiswa dalam mengintegrasikan struktur terhadap fungsi tumbuhan sehingga memudahkan pemrosesan informasi pada *working memory*.
5. Menggunakan *prior knowledge* pada *long-term memory* untuk merekonstruksi konsep struktur tumbuhan yang berhubungan dengan konsep yang akan diajarkan sehingga terjadi asimilasi pengetahuan.

Lebih lanjut, di bawah ini dipaparkan dasar prinsip pembelajaran model PeNKIM.

1. Dimensi belajar Marzano

Dimensi belajar yang amat penting tetapi belum tersentuh dalam proses pembelajaran di sekolah atau perguruan tinggi adalah kecakapan berpikir. Sebagian besar, pendidik belum menyusun secara serius pembelajaran yang didasarkan pada premis proses belajar. Dengan kata lain, pendidik belum banyak membangun sistem pembelajaran yang mendukung proses belajar mahasiswa. Dalam hal ini, Marzano (1992) memberikan kiat-kiat mengembangkan pembelajaran.

a. Mengembangkan sikap dan persepsi positif.

Mudah untuk dipahami bahwa sikap dan persepsi pemelajar sangat memengaruhi proses belajar. Sikap dapat memengaruhi belajar secara positif sehingga belajar menjadi mudah. Akan tetapi, sikap terkadang juga membuat proses belajar menjadi sulit. Terdapat dua kategori sikap dan persepsi yang memengaruhi belajar, yaitu sikap dan persepsi tentang iklim (suasana) belajar dan sikap serta persepsi terhadap tugas-tugas kelas.

Pengajar yang efektif akan memberikan penguatan terhadap kedua kategori tersebut dengan teknik yang jelas dan sesuai. Pengajar seharusnya membantu menumbuhkan sikap dan persepsi mahasiswa yang positif terhadap iklim belajar dengan menekankan aspek-aspek internal (suasana mental yang kondusif) daripada eksternal siswa. Pengajar hendaknya dapat membantu menumbuhkan sikap dan persepsi yang positif terhadap tugas-tugas kelas dengan cara memberikan pemahaman akan nilai tugas, kejelasan tugas, dan kejelasan sumber.

b. Belajar untuk pemerolehan dan pengintegrasian.

Ahli psikologi kognitif memandang belajar sebagai proses interaksi yang tinggi dalam membangun makna secara personal dari informasi yang diperoleh dengan pengetahuan yang sudah ada menjadi pengetahuan baru. Menerima pengetahuan melibatkan proses interaksi antara apa yang sudah diketahui dengan apa yang ingin dipelajari dan

kemudian mengintegrasikan informasi tersebut menjadi langkah-langkah sederhana yang mudah digunakan. Menurut Gagne (1985), pengetahuan dapat dikategorikan menjadi dua, yakni pengetahuan deklaratif dan pengetahuan prosedural. Sebagian banyak ahli menyakini bahwa pemerolehan tipe pengetahuan yang berbeda memerlukan proses yang berbeda pula.

- c. Perluasan dan penghalusan pengetahuan.
Pada dimensi ini aspek-aspek belajar melibatkan pengujian terhadap apa yang diketahui agar mencapai tingkat yang lebih dalam dan analitis. Kegiatan memperluas dan memperhalus pengetahuan dilakukan dengan cara-cara berikut.
 - 1) *Comparing* (identifikasi dan artikulasi hal-hal atau benda-benda yang mirip dan berbeda).
 - 2) *Classifying* (pengelompokan jenis-jenis benda ke dalam kategori berdasarkan atribut dasarnya).
 - 3) *Inducing* (pendugaan prinsip-prinsip atau generalisasi yang belum diketahui dari observasi atau analisis).
 - 4) *Deducing* (pendugaan kondisi yang belum dinyatakan dari prinsip-prinsip atau generalisasi tertentu).
 - 5) *Analyzing error* (identifikasi dan artikulasi kesalahan di dalam pikiran sendiri maupun orang lain).
 - 6) *Constructing support* (pengonstruksian sistem dukungan kebenaran atau bukti untuk suatu pernyataan yang tegas).
 - 7) *Abstracting* (identifikasi dan artikulasi tema penting atau pola umum suatu informasi).
 - 8) *Analyzing perspective* (identifikasi dan artikulasi perspektif personal tentang berbagai macam isu).
- d. Belajar menggunakan pengetahuan secara bermakna.
Pada umumnya seseorang belajar dengan baik jika pengetahuan yang dipelajari diperlukan untuk mencapai tujuan yang diinginkan. Keberadaan tujuan umum akan dicapai dengan cara-cara umum di mana pengetahuan digunakan secara bermakna. Dalam hal ini, dosen dapat membantu mahasiswa agar dapat menggunakan pengetahuan secara bermakna dengan cara-cara berikut.

- 1) *Decision making* ialah proses menjawab pertanyaan yang bersifat alternatif.
- 2) *Investigation*
 Terdapat tiga tipe dasar investigasi, yakni *definitional investigation* ialah proses menjawab pertanyaan yang bersifat mengidentifikasi, *historical investigation* adalah proses menjawab pertanyaan yang bersifat meminta penjelasan tentang kejadian masa lalu, dan *projective investigation* merupakan proses menjawab pertanyaan yang bersifat identifikasi/hipotesis.
- 3) *Experimental inquiry* ialah proses menjawab pertanyaan yang terkait penelitian.
- 4) *Problem solving* adalah proses menjawab pertanyaan pemecahan masalah.
- 5) *Invention* ialah proses penciptaan sesuatu untuk memenuhi kebutuhan.

e. Kebiasaan berpikir

Dimensi ini menumbuhkan kebiasaan mental untuk dapat berpikir yang ditandai dengan hal-hal berikut.

- 1) *Self-regulated thinking and learning* yakni kebiasaan menyadari apa yang sedang dipikirkan, tindakan yang terencana, menyadari sumber-sumber yang penting, sensitif terhadap umpan balik, dan mengevaluasi terhadap keefektifan tindakan.
- 2) *Critical thinking and learning* dicirikan oleh tindakan yang cermat, jelas, terbuka, dapat mengendalikan diri, sensitif terhadap tingkat pengetahuan dan perasaan orang lain, serta mengambil posisi ketika situasi tidak mendukung.
- 3) *Creative thinking and learning* ditandai oleh semangat tinggi, berusaha sebatas kemampuan, percaya diri, teguh, dan menciptakan hal-hal atau cara-cara baru.

Adapun cara membantu mahasiswa mengembangkan dan memelihara kebiasaan berpikir adalah dilakukan dengan menumbuhkan sikap kebiasaan berpikir melalui pengintegrasian ke dalam tugas-tugas di kelas.

2. Pengorganisasian kurikulum.

Pengorganisasian kurikulum merupakan perpaduan antara materi, konsep, atau keterampilan sehingga menjadi satu kesatuan yang utuh sehingga pembelajaran menjadi lebih bermakna karena senantiasa mengaitkan dengan kegiatan praktis sehari-hari sehingga tujuan pembelajaran dapat tercapai. Pengintegrasian bahan ajar memiliki beberapa kelebihan, di antaranya (a) menunjukkan adanya integrasi pengetahuan karena dalam mempelajari suatu materi akan dikaji dari berbagai bidang dan disiplin ilmu; (b) meningkatkan minat pelajar terhadap adanya hubungan antara berbagai bidang ilmu; (c) pengetahuan dan pemahaman pelajar akan lebih mendalam dengan penguraian dan penjelasan dari berbagai bidang ilmu; (d) adanya kemungkinan penggunaan ilmu pengetahuan lebih fungsional; (e) lebih mengutamakan pemahaman prinsip-prinsip daripada pengetahuan (*knowledge*) dan penguasaan fakta-fakta.

Kriteria memilih konten bahan ajar sains menurut NSES (NRC, 1996) adalah sebagai berikut.

- a. Sesuai dengan tujuan yang hendak dicapai. Tujuan ini harus mengakomodasi kebutuhan pelajar.
- b. Mengembangkan konten bahan ajar sesuai dengan perkembangan dan kemampuan pelajar.
- c. Berguna bagi kehidupan pelajar.

Pola pengintegrasian materi atau tema dapat dikelompokkan menjadi tiga.

- a. Pengintegrasian di dalam satu disiplin ilmu.
Model pembelajaran terpadu yang mengintegrasikan dua atau lebih bidang ilmu yang serumpun. Sifat perpaduan dalam model ini hanya dalam satu rumpun bidang ilmu. Umumnya, tidak mengintegrasikan materi dalam satu kajian tersendiri, tetapi mengutamakan keterhubungan antara konsep-konsep atau prinsip-prinsip yang koheren atau pengintegrasian konsep atau prinsip melalui keterampilan berpikir yang memfasilitasi pelajar untuk mengintegrasikan konsep atau prinsip yang telah dipelajari secara mandiri melalui proses elaborasi.
- b. Pengintegrasian beberapa disiplin ilmu yakni mengintegrasikan disiplin ilmu yang berbeda-beda. Sifat perpaduan ini dapat dikaji dari dua sisi yang berbeda.
- c. Pengintegrasian di dalam satu dan beberapa disiplin ilmu.

Tipe pengintegrasian ini adalah yang paling kompleks sebab mengintegrasikan antardisiplin ilmu yang serumpun sekaligus bidang ilmu yang berbeda. Sifat perpaduan tipe ini adalah suatu tema dapat dikaji dari dua sisi, yaitu dalam satu bidang ilmu yang serumpun maupun dari bidang ilmu yang berbeda sehingga semakin jelas kebermaknaan pembelajaran karena pada dasarnya tidak satu pun permasalahan (konsep) yang dapat ditinjau hanya dari satu sisi.

Berdasarkan pola pengintegrasian dalam satu disiplin ilmu, Fogarty (1991) mengemukakan tiga model pembelajaran terpadu, yaitu (1) *the fragmented model*, (2) *the connected model*, dan (3) *the nested model*. Model *fragmented* adalah model pembelajaran tradisional yang memisahkan disiplin ilmu atas beberapa mata kuliah, seperti genetika, biologi perkembangan, dan fisiologi tumbuhan. Model ini membuat disiplin-disiplin ilmu tersebut diajarkan secara terpisah dan tanpa ada upaya menghubungkan atau mengintegrasikannya. Model ini mengutamakan kemurnian disiplin ilmu tertentu.

Tipe *nested* merupakan model pengintegrasian yang memadukan berbagai bentuk keterampilan, yaitu keterampilan sosial (*social skill*), keterampilan berpikir (*thinking skill*), dan keterampilan isi (*content-specific skill*) ketika membahas suatu topik. Contohnya ketika mahasiswa mempelajari proses fotosintesis, targetnya adalah memahami konsep “proses”. Akan tetapi dosen juga mengembangkan keterampilan berpikir siswa dengan cara mengeksplorasi mahasiswa mengenai faktor-faktor yang menyebabkan dan berpengaruh terhadap proses fotosintesis. Keterampilan sosial juga dikembangkan melalui belajar kelompok. Dengan demikian, ketiga keterampilan tersebut bersama-sama berperan dalam membentuk pengalaman belajar mahasiswa.

Strategi Pengembangan Model Pembelajaran PenKIM

1. Strategi memecahkan masalah secara kontekstual.
Pengembangan kemampuan berpikir yang sesuai dengan struktur kognitif mahasiswa adalah pemecahan masalah (Schmith, 2007; Silver, 2007). Lebih lanjut, ia menyatakan bahwa penggunaan strategi pemecahan masalah memungkinkan pemelajar untuk mengeksplorasi suatu fenomena alam dengan bimbingan minimal. Dengan demikian, pemelajar dapat mempelajari materi ajar,

membuat strategi dalam memecahkan masalah, dan meningkatkan *self-directed learning* secara kolaboratif, melakukan refleksi terhadap pengalaman, dan terlibat dalam *self-directed inquiry*. Masalah yang dikembangkan dalam strategi pemecahan masalah secara kontekstual adalah memberikan masalah nyata dalam kehidupan sehari-hari (*authentic problems*). Kuhn dkk (2000) menyatakan bahwa masalah hendaknya dikembangkan berdasarkan hasil penelitian dan menekankan pada proses penalaran *hypothetical deductive*. Pembelajaran berbasis masalah akan menekankan pengajuan pertanyaan, pengumpulan dan penganalisisan data, serta mengonstruksi bukti berdasarkan argumen.

Dengan demikian, pembelajaran berbasis masalah memberikan kesempatan kepada pemelajar untuk melaksanakan inkuiri ilmiah. Pembelajaran ini dilakukan dengan memberikan *scientific problem* serta melakukan penelitian yang memungkinkan pemelajar untuk menguji hipotesis dan mendapatkan suatu kesimpulan dari masalah tersebut. Hal tersebut tentunya akan memberikan kesempatan kepada pemelajar untuk mencari berbagai sumber dan data serta mengeksplorasi pengetahuan yang telah dimiliki.

Silver (2007) menyatakan bahwa pembelajaran berbasis masalah yang menekankan pada *scaffolding* dan masalah berbasis lingkungan memberikan kesempatan kepada pemelajar untuk terlibat dalam tugas-tugas yang kompleks. Hal ini dapat meningkatkan keterampilan berinkuiri. *Scaffolding* akan membuat pembelajaran lebih mudah dipahami dengan mengubah tugas-tugas yang kompleks dan sulit menjadi lebih mudah. Selanjutnya Quintana dkk (2004) dalam Scmith (2007) menyatakan bahwa *scaffolding* merupakan elemen kunci keterampilan kognitif yang memungkinkan pemelajar untuk meningkatkan keterampilan memecahkan masalah di bawah bimbingan mentor melalui pembinaan, penataan tugas, dan petunjuk tanpa memberikan jawaban. *Scaffolding* selain dapat membantu pemelajar menjadi seorang *problem solver* juga dapat menurunkan beban kognitif dengan cara penataan tugas sehingga pemelajar fokus pada aspek-aspek yang harus dikerjakan sesuai dengan tujuan pembelajaran.

Urena dkk (2011) menjelaskan bahwa pembelajaran berbasis masalah dapat meningkatkan kemampuan meta kognitif pelajar karena ia akan melakukan perencanaan, monitoring, dan evaluasi. Selain itu, pelajar dimungkinkan untuk menjelaskan dan mempertahankan pemikiran, pendapat, serta keputusan yang telah diambil ketika memecahkan masalah. Dengan demikian melalui pembelajaran berbasis masalah, pelajar diberi kesempatan untuk menyelesaikan masalah secara kooperatif. Dalam pembelajaran berkelompok mereka akan melakukan *scaffolding* sehingga dapat saling mendukung proses pengerjaan tugas yang baik melalui pengumpulan data yang representatif untuk memecahkan masalah dan merencanakan serta mengevaluasi bagaimana tugas tersebut harus dikerjakan. Hal inilah yang mendukung bahwa strategi pemecahan masalah dapat menurunkan beban kognitif mahasiswa dalam menerima informasi dan meningkatkan kemampuan meta kognisi.

2. Strategi penggunaan multirepresentasi

Dalam mempelajari sains seringkali mahasiswa dihadapkan pada konsep-konsep abstrak dengan kompleksitas yang tinggi. Karakteristik konsep-konsep dalam mempelajarinya membutuhkan visualisasi. Selain itu diperlukan rancangan desain pembelajaran yang memperhitungkan persyaratan pengolahan kognitif dan mengurangi setiap beban kognitif yang tidak perlu. Lee dkk (2006) menyatakan bahwa materi pelajaran yang dipresentasikan secara terpadu antara informasi verbal dan visual lebih efektif dibandingkan yang dipresentasikan secara terpisah. Selain itu, dari hasil penelitian Moreno & Valdez (2006) dapat diketahui bahwa multimedia memiliki potensi mempromosikan pembelajaran bermakna dengan memvariasikan jumlah representasi yang diberikan kepada mahasiswa dan tingkat interaktivitas mahasiswa.

Mahasiswa yang menggunakan model pembelajaran multirepresentasi memiliki rata-rata skor retensi, tes transfer, dan tes memecahkan masalah serta efisiensi pembelajaran lebih tinggi dibandingkan mahasiswa yang hanya menggunakan satu representasi. Pembelajaran menggunakan multirepresentasi sesuai untuk menciptakan lingkungan belajar yang memungkinkan

mahasiswa membangun model mental mereka sendiri dengan mengalami dan mengoordinasikan berbagai representasi pengetahuan (Moreno, 2006). Lebih lanjut, penggunaan multirepresentasi merupakan proses kognitif yang memungkinkan untuk belajar bermakna termasuk memilih informasi yang relevan, mengorganisasi informasi menjadi representasi yang koheren, dan mengintegrasikan representasi tersebut dengan pengetahuan yang telah dimiliki. Selain itu, metode pemecahan masalah menggunakan multimedia dapat memfasilitasi belajar aktif melalui pengalaman pemecahan masalah kreatif menggunakan lingkungan multimedia berbasis penemuan (Mihalca dkk, 2010).

Dengan demikian, model pembelajaran multirepresentasi dapat membantu mahasiswa membangun pemahaman yang lebih baik terhadap suatu konsep. Pembelajaran multirepresentasi menyebabkan mahasiswa lebih efektif ketika mengolah informasi dengan berbagai macam cara sehingga mudah memahami informasi. *Self-regulated learning* mereka pun akan berkembang dengan menggunakan strategi kognitif dan metakognitif yang dapat membantu dalam belajar, misalnya dengan menggunakan grafik, data, gambar, dan animasi. Selain itu, pembelajaran multirepresentasi dapat menurunkan beban kognitif dalam memproses informasi terutama mereduksi *extraneous load*.



BAB 4

STRUKTUR DAN FUNGSI TUMBUHAN

Struktur Tumbuhan

Struktur tumbuhan mengkaji struktur dan perkembangan: 1) sel dan organelnya; 2) jaringan meristem; 3) jaringan dasar; 4) jaringan pengangkut organ batang dikotil dan monokotil; 5) pembentukan percabangan akar monokotil, dikotil dan pembentukan percabangannya; 6) daun monokotil dan dikotil; 7) beberapa bentuk anomali dari batang, akar, dan daun; serta 8) beberapa bentuk respons terhadap lingkungan dari batang, akar, dan daun.

Dalam mempelajari struktur tumbuhan, terlebih dahulu perlu dikaji jaringan-jaringan yang ada dalam organ tumbuhan. Kajian tersebut berfungsi untuk mengetahui peranan setiap jaringan pada proses fisiologi. Menurut Estiti (1995), jaringan pada organ yang sudah dewasa dapat dikelompokkan menjadi tiga jaringan utama, yaitu jaringan dermis, jaringan dasar, dan jaringan pembuluh. Ketiga jaringan tersebut akan dijelaskan mendetail sebagaimana di bawah ini.

1. Jaringan dermis

Jaringan dermis adalah lapisan sel yang berada paling luar. Letaknya pada permukaan organ-organ tumbuhan primer, seperti akar, batang, daun, bunga, buah, dan biji. Jaringan dermis terdiri atas epidermis, stoma, trikoma, sel kipas, dan epidermis ganda.

a. Epidermis

Epidermis terdiri dari satu lapisan sel yang tersusun rapat tanpa ruang antarsel. Pada beberapa jenis tumbuhan, epidermis

bahkan terdiri atas beberapa lapis sel. Hal ini karena sel-sel protoderm membelah berkali-kali secara periklinal (sejajar permukaan) sehingga terjadi epidermis berlapis banyak. Contohnya sel epidermis velamen pada akar anggrek. Sel-sel epidermis memiliki protoplas hidup dan dapat menyimpan berbagai hasil metabolisme. Sel-sel inisial epidermis sebagian dapat berkembang menjadi alat-alat tambahan lain yang sering disebut derivat epidermis, seperti stoma, trikoma, sel kipas, sel sistolit, sel silika, dan sel gabus.

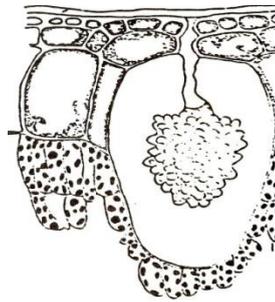
b. Stoma

Stoma (bentuk jamaknya stomata) adalah lubang atau celah pada epidermis. Stoma dibatasi sel khusus yang disebut sel penutup. Sel tersebut dikelilingi oleh sel-sel yang bentuknya sama atau berbebeda dengan sel-sel epidermis lainnya yang disebut sel-sel tetangga. Fungsi sel tetangga dalam perubahan osmotik menyebabkan sel penutup mengatur buka-tutupnya stoma. Sel penutup terletak sama tinggi dengan permukaan epidermis (panerofor) atau lebih rendah dari epidermis (kriptofor). Pada tumbuhan dikotil, sel penutup biasanya berbentuk ginjal bila dilihat dari atas. Sementara pada tumbuhan suku rumput-rumputan memiliki struktur khusus dan seragam dengan sel penutup seperti halter. Dua sel tetangga ada pada sebuah sel penuh.

Pada tumbuhan dikotil dengan pertulangan daun tersusun seperti jala, stomata tersebar tidak beraturan. Namun pada tumbuhan monokotil dengan pertulangan daun tersusun paralel, stomata tersusun sejajar dengan pertulangan daun. Perbedaan susunan stomata antara tumbuhan monokotil dan dikotil dapat dilihat pada gambar berikut.

e. Epidermis ganda

Pada tumbuhan anggota suku *Moraceae* (*Ficus* sp), *Piperaceae*, *Begoniaceae*, dan *Malvaceae* dijumpai lebih dari satu lapis sel di bawah epidermis. Epidermis ganda pada anggrek disebut velamen. Pada epidermis daun beringin (*Ficus* sp) selain ada epidermis ganda juga terdapat penebalan ke arah sentripetal yang tersusun atas tangkai selulosa dengan deposisi Ca-carbonat yang membentuk bangunan seperti sarang lebah. Ini disebut *sistolit*. Sementara sel yang mengandungnya disebut *litokis*.



Sumber: Estiti, 1995

Gambar 3 Epidermis ganda dengan sistolit

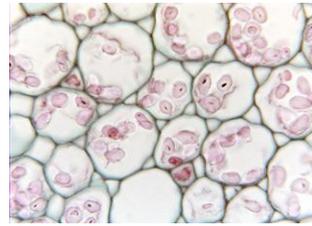
1. Jaringan dasar

Jaringan parenkim merupakan suatu jaringan yang terbentuk dari sel-sel hidup, dengan struktur morfologi serta fisiologi yang bervariasi, dan masih melakukan segala kegiatan proses fisiologi. Jaringan parenkim juga disebut jaringan dasar karena dijumpai di setiap bagian tumbuhan. Jaringan dasar dapat ditemui di:

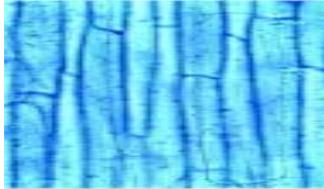
- a. batang dan akar parenkim, letaknya berada di antara epidermis dan pembuluh angkut sebagai korteks;
- b. empulur batang;
- c. daun, parenkim merupakan mesofil daun yang berdiferensiasi menjadi jaringan tiang dan jaringan bunga karang; serta
- d. penyimpan cadangan makanan pada buah dan biji.



(a) Parenkim pada Biji



(b) Parenkim pada Daun



(c) Parenkim Pengangkut Batang



(d) Parenkim asimilasi pada Daun

Sumber : Solomon, Berg, Martin, Villee, (1993)

Gambar 4 Contoh Macam-Macam Parenkim

Berdasarkan fungsinya, parenkim dibedakan menjadi beberapa macam.

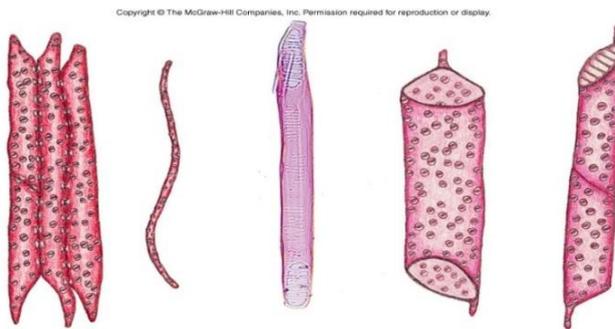
- a. Parenkim asimilasi terletak di bagian tumbuhan yang berwarna hijau. Tugasnya adalah memproses zat-zat makanan.
- b. Parenkim penimbun berfungsi sebagai penyimpan cadangan makanan berupa gula, tepung, lemak, atau protein di dalam organ tumbuhan, seperti di empelur batang, akar, umbi, atau akar rimpang.
- c. Parenkim air ada pada tumbuhan xerofit atau epifit sebagai penimbun air untuk menghadapi masa kering.
- d. Parenkim udara dijumpai pada alat pengapung tumbuhan.
- e. Parenkim angkut terletak di jaringan pengangkut yang sel-selnya berbentuk memanjang menurut arah pengangkutannya.

Sementara berdasarkan bentuknya, parenkim diklasifikasikan menjadi empat.

- a. Parenkim palisade merupakan parenkim penyusun mesofil. Parenkim terdapat pada biji yang berbentuk sel panjang, tegak, dan mengandung banyak kloroplas.

- b. Parenkim bunga karang juga merupakan parenkim penyusun mesofil, bentuk dan ukurannya tidak teratur dengan ruang antarsel yang lebih besar.
 - c. Parenkim bintang berbentuk seperti bintang yang ujungnya menyambung. Parenkim jenis ini terlihat pada tangkai daun *Canna* sp.
 - d. Parenkim lipatan yang dinding selnya mengandung lipatan ke arah dalam serta banyak mengandung kloroplas. Parenkim lipatan dijumpai pada mesofil daun pinus dan padi.
2. Jaringan pengangkut

Jaringan pengangkut pada tumbuhan tingkat tinggi terdiri atas xilem dan floem. Xilem meliputi trakea, trakeid, dan unsur-unsur lain seperti serabut dan parenkim xilem. Xilem khususnya trakea dan trakeid berfungsi mengangkut mineral dan air dari akar sampai ke daun. Xilem merupakan jaringan pengangkut yang kompleks dan terdiri atas berbagai macam bentuk sel. Pada umumnya, sel penyusun xilem telah mati dengan dinding yang sangat tebal tersusun dari zat lignin sehingga xilem berfungsi sebagai jaringan penguat. Unsur-unsur xilem terdiri atas unsur trakeal, serat xilem dan parenkim xilem.



Sumber : Taiz, L. & Zeiger, E. (2002)

Gambar 5 Macam-Macam Unsur Xilem

- a. Unsur trakeal
Unsur trakeal bertugas mengangkut air beserta zat yang larut di dalamnya. Sel-selnya memanjang, tidak mengandung protoplas, dinding sel berlignin, dan memiliki macam-macam noktah. Trakeal terdiri atas trakea dan trakeid

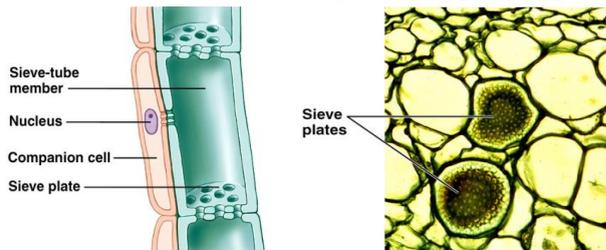
b. Serat xilem

Serat xilem berbentuk sel panjang dengan dinding sekunder yang berlignin. Di dalam serat xilem terdapat dua macam serat, yakni serat trakeid dan serat libriform. Serta libriform berukuran panjang dan dinding selnya lebih tebal dibanding serta trakeid. Pada serat libriform terdapat noktah sederhana, sedangkan serat trakeid memiliki noktah terlindung.

c. Parenkim xilem

Biasanya parenkim xilem tersusun atas sel-sel yang masih hidup. Parenkim xilem ditemui pada xilem primer maupun xilem sekunder. Pada xilem sekunder terdapat dua macam parenkim, yaitu parenkim kayu dan parenkim jari-jari empelur.

Floem merupakan jaringan pengangkut yang berfungsi mengangkut dan mendistribusikan zat-zat makanan hasil fotosintesis dari daun ke bagian tumbuhan yang lain. Floem tersusun dari berbagai bentuk sel yang hidup dan mati. Unsur-unsur floem meliputi unsur tapis, sel pengiring, sel albumin (pada gymnospermae), serat-serat floem, dan parenkim floem.



Sumber : Taiz, L. & Zeiger, E. (2002)

Gambar 6 Unsur-Unsur Floem (kiri) dan (b) Unsur Tapis (kanan)

a. Unsur tapis

Ciri khas pada daerah tapis adalah adanya daerah tapis di dindingnya dan inti hilang dari protoplas. Daerah tapis diartikan sebagai daerah noktah yang termodifikasi dan tampak sebagai daerah cekung di dinding yang berpori-pori. Pori-pori tersebut dilalui oleh plasmodesmata yang menghubungkan dua unsur tapis yang berdampingan.

Sel tapis merupakan sel yang ujungnya meruncing di bagian tangensial dan membulat di bagian radial, dinding lateral banyak mengandung daerah tapis yang berpori. Pada komponen buluh tapis, dinding ujungnya saling berlekatan dengan dinding ujung sel di bawah atau di atasnya sehingga membentuk deretan sel-sel memanjang yang disebut pembuluh tapis.

b. Sel pengiring

Sel pengiring berhubungan erat dengan pembuluh tapis, menyerupai deretan atau untaian yang mirip sel parenkim dengan sel-sel yang bersifat hidup. Sel pengiring berperan sebagai tempat keluar masuknya zat-zat makanan melalui pembuluh tapis.

c. Sel albumin

Sel albumin merupakan sel-sel jari-jari empulur dan sel-sel parenkim buluh tapis yang mengandung banyak zat putih telur (albumin). Sel albumin terletak di dekat sel-sel tapis pada tumbuhan Gymnospermae yang diduga berfungsi serupa dengan sel-sel pengiring.

d. Serat-serat floem

Pada floem primer serat floem ada di bagian jaringan luar yang awalnya berkelompok membentuk massa yang kemudian dalam perkembangannya menjadi homogen. Sementara pada floem sekunder letak serat mengikuti berbagai pola. Serat dewasa dapat bersifat hidup maupun mati. Serat hidup berfungsi sebagai tempat penyimpanan cadangan makanan.

e. Parenkim floem

Parenkim floem merupakan jaringan yang terletak di bagian buluh tapis dan merupakan sel hidup yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan zat tepung, lemak, dan zat-zat organik lainnya.

Fungsi Tumbuhan

Fungsi mempelajari tumbuhan adalah mengkaji berbagai proses yang terjadi pada tumbuhan, yang menyangkut prinsip-prinsip kimia dan fisika sebagai dasar terjadinya kehidupan tumbuhan, seperti proses penyerapan, transportasi, translokasi, metabolisme, pertumbuhan

dan perkembangan, reproduksi, dan pengeluaran zat. Proses tersebut merupakan respons fisiologis terhadap perubahan kondisi lingkungan di sekitar. Adapun proses-proses yang dimaksud adalah sebagai berikut.

1. Transpirasi

Transpirasi merupakan peristiwa hilangnya air dalam bentuk uap dari tumbuhan yang masih hidup (Weier dkk, 1982). Peristiwa tersebut biasanya berhubungan dengan kehilangan air melalui stomata, kutikula, atau lentisel. Sebanyak 80% air yang ditranspirasikan akan berjalan melewati stomata. Dengan demikian, stomata memiliki peranan paling besar dalam transpirasi.

Stomata akan membuka saat matahari terbit dan menutup saat hari mulai gelap. Terbukanya stomata pada siang hari memungkinkan masuknya CO_2 yang diperlukan untuk fotosintesis, kecuali pada tumbuhan sukelen tertentu yang terbiasa pada kondisi panas dan kering berlaku sebaliknya. Pada sebagian besar tumbuhan, konsentrasi CO_2 yang rendah di mesofil daun juga menyebabkan stomata terbuka. Jika udara bebas yang mengandung CO_2 dihembuskan melalui daun, sekalipun pada malam hari maka stomata yang terbuka sedikit akan membuka lebih lebar. Sebaliknya konsentrasi CO_2 yang tinggi di mesofil daun menyebabkan stomata tertutup.

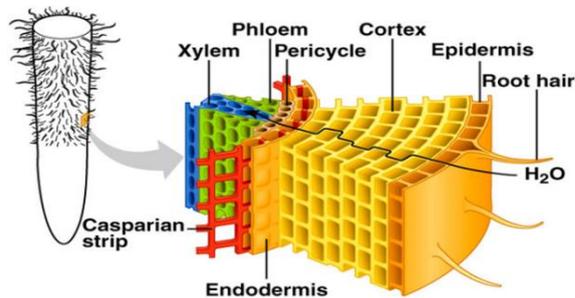
Organ-organ tumbuhan yang berperan dalam proses transportasi air mulai dari tanah menuju atmosfer adalah sebagai berikut.

a. Absorpsi air oleh akar

Pertama-tama, air masuk akar melalui ujung akar yang ada di rambut akar epidermisnya permeabel terhadap air. Akar yang sudah dewasa seringkali memiliki lapisan luar sebagai jaringan pelindung yang disebut eksodermis atau hipodermis. Dinding sel pada jaringan tersebut terdiri dari material yang bersifat hidrofob dan relatif bersifat impermeabel terhadap air.

Pergerakan air pada akar dapat melalui jaringan epidermis, korteks, dan xilem. Ketiga cara pergerakan air melalui jaringan tersebut dilalui secara apoplas yakni air bergerak melalui dinding sel tanpa melalui membran sel. Kemudian, dapat pula secara transmembran yakni air bergerak antarsel melalui membran plasma. Cara lainnya

adalah secara simplas yakni air bergerak antarsel melalui plasmodesmata. Pada endodermis, air yang bergerak secara apoplas dihambat oleh pita kasparian yang memiliki substansi bersifat hidrofob yang terdiri dari suberin. Pita kasparian mencegah keberlangsungan pergerakan air secara apoplas dan mendorong air serta zat terlarut melewati endodermis melalui membran plasma. Dengan demikian, pergerakan air melewati endodermis terjadi secara simplas yakni air dan zat terlarut bergerak melalui membran plasma yang bersifat selektif permeabel. Struktur dan letak endodermis pada akar mendukung fungsinya untuk menyeleksi secara selektif mineral-mineral dari tanah yang masuk ke xilem. Pada gambar di bawah ini diperlihatkan jaringan pada akar yang dilewati oleh air dari tanah menuju batang.



Sumber: Solomon dkk, 1993

Gambar 7 Jaringan pada akan yang terlibat proses transpirasi

Tumbuhan seringkali memperlihatkan suatu fenomena yang disebut sebagai “tekanan akar”. Peristiwa ini terjadi karena adanya akumulasi zat terlarut dalam xilem yang menyebabkan potensial osmotik (ψ_s) dan potensial air (ψ_w) mengalami penurunan. Rendahnya ψ_w pada xilem menyebabkan terjadinya absorpsi air sehingga menimbulkan tekanan hidrostatis positif pada xilem. Tekanan akar terjadi saat potensial air di tanah tinggi, sedangkan laju transpirasi rendah. Tekanan akar pada tumbuhan menyebabkan terjadinya gutasi yakni dihasilkan titik-titik air pada pinggiran daun. Tekanan xilem meneteskan cairan xilem melalui hidatoda (pori-pori yang terspesialisasi) yang merupakan kumpulan

vena yang letaknya ada di ujung sisi daun. Pada sebagian besar tumbuhan, tekanan akar bukanlah mekanisme utama yang mendorong naiknya cairan xilem karena tekanan akar hanya mampu menaikkan cairan xilem hingga beberapa meter dari permukaan tanah.

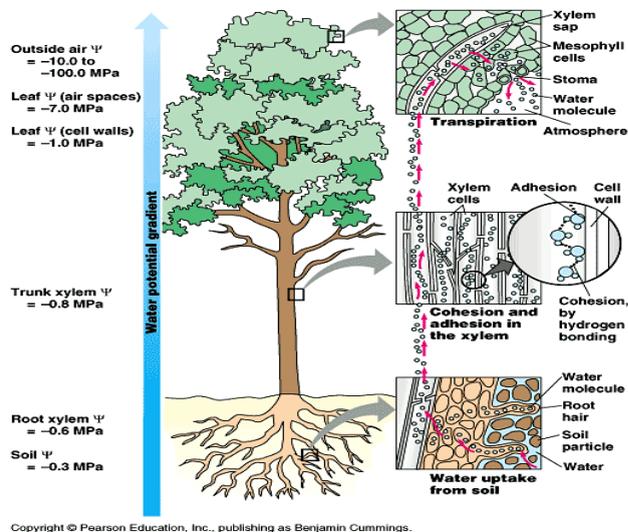
b. Pergerakan air melalui xilem

Air xilem merupakan komponen pada jaringan pembuluh, sel-sel xilem berbentuk memanjang dan merupakan bagian yang paling besar pada batang tumbuhan. Taiz dan Zeiger (2002) menyatakan bahwa pada tumbuhan yang memiliki tinggi di atas 1 m, sebanyak 99,5% air, dan zat terlarut bergerak pada pembuluh xilem melalui aliran masal (*bulk flow*) yaitu pergerakan cairan oleh tekanan. Peristiwa ini terjadi karena xilem memungkinkan air untuk bergerak dengan hambatan yang rendah yakni dengan cara mengurangi perbedaan tekanan untuk mengalirkan air dari tanah menuju daun.

Air dapat mengalir melalui xilem karena pada dasar tumbuhan memiliki tekanan yang lebih tinggi (tekanan positif) dibandingkan di ujung atas tumbuhan (tekanan negatif). Dengan demikian, air di puncak pohon menghasilkan tegangan air yang lebih besar (tekanan negatif). Mekanisme tersebut disebut sebagai tegangan kohesi-transpirasi. Adanya pengikatan hidrogen di sepanjang saluran xilem dan transpirasi menyebabkan cairan xilem tertarik ke atas.

Kohesi air terjadi dengan adanya ikatan hidrogen yang memungkinkan cairan xilem naik tanpa memisahkan air. Molekul air yang keluar dari xilem pada daun akan menarik molekul air di sebelahnya dan tarikan molekul tersebut akan diteruskan molekul demi molekul pada keseluruhan kolom air pada xilem. Adesi molekul air yang kuat ke dinding hidrofilik sel-sel xilem membantu melawan gaya gravitasi. Demikian pula diameter yang sangat kecil dari trakeid dan unsur pembuluh memberikan kontribusi dalam mengatasi gaya tarik ke bawah akibat gravitasi. Transpirasi mengakibatkan sepanjang saluran xilem dari akar sampai ujung batang berada di bawah tegangan. Kemudian, tegangan tersebut akan menurunkan potensial air pada xilem akar sehingga air dapat mengalir secara pasif dari

tanah melalui korteks akar dan masuk ke dalam stele. Selain itu air dapat melawan gravitasi bumi karena adanya perbedaan potensial air. Potensial air di dalam xilem akar lebih tinggi dibandingkan di xilem batang. Demikian pula potensial air di xilem daun lebih rendah daripada potensial air di xilem batang. Hal inilah yang menyebabkan adanya daya hisap daun sehingga pergerakan air melawan gravitasi bumi berlangsung secara pasif karena air bergerak dari potensial tinggi menuju potensial yang lebih rendah. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

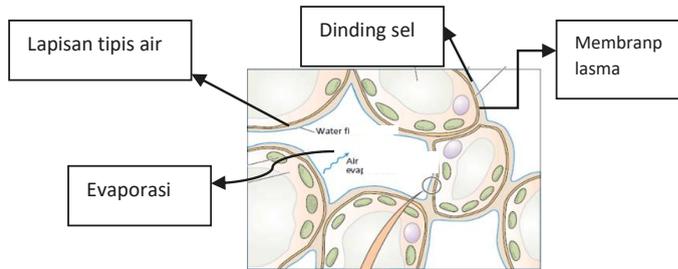


Sumber: Campbell dkk, 2011

Gambar 8 Proses transpirasi pada tumbuhan

- c. Evaporasi daun menghasilkan tekanan negatif pada xilem. Air bergerak ke daun melalui xilem pada seludang pembuluh daun yang membentuk percabangan tulang daun minor. Tekanan negatif menyebabkan air bergerak melalui xilem menuju sel-sel daun. Kehilangan air melalui penguapan menyebabkan lapisan tipis air yang melapisi sel-sel mesofil membentuk meniscus yang semakin lama semakin cekung sehingga tegangan tipis air tersebut akan meningkat. Tekanan negatif air yang melapisi ruang udara daun adalah dasar fisik

daya tarik transpirasional yang menarik air dari xilem melalui jaringan mesofil menuju permukaan dekat stomata.



Sumber: Taiz dan Zeiger, 2002

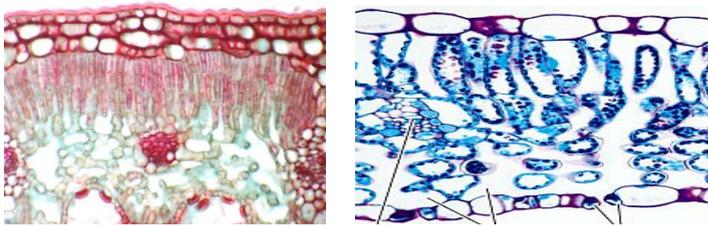
Gambar 9 Tekanan negatif pada mesofil daun

- d. Air bergerak dari daun menuju atmosfer
 Air ditarik dari xilem menuju dinding sel mesofil untuk selanjutnya dievaporasikan ke dalam ruang udara. Uap air kemudian keluar dari daun melalui stomata. Pergerakan uap air tersebut terjadi secara difusi. Dengan demikian, pergerakan air dikendalikan oleh perbedaan konsentrasi uap air. Transpirasi menguapkan air dari dinding sel mesofil yang lembab dengan mempertahankan kelembaban udara yang tinggi di dalam ruang udara daun. Jadi, uap air akan berdifusi menuju atmosfer yang memiliki kelembaban udara lebih rendah.

Faktor penting lainnya yang mengatur hilangnya air ke udara adalah bentuk, letak, dan jumlah stomata. Stomata berbentuk ginjal akan memiliki laju transpirasi lebih tinggi dibandingkan stomata berbentuk halter. Demikian pula banyaknya stomata akan memengaruhi laju transpirasi. Letak stomata pada daun di daerah yang memiliki intensitas cahaya tinggi umumnya akan tersembunyi di bawah epidermis. Dengan demikian, letak stomata tersebut dapat mengurangi laju transpirasi.

- e. Strategi adaptasi
 Tumbuhan yang hidup di daerah iklim kering disebut xerofit. Ciri khas tumbuhan xerofit adaah memiliki berbagai modifikasi daun untuk mengurangi laju transpirasi. Tumbuhan xerofit banyak yang memiliki daun berukuran kecil dan tebal

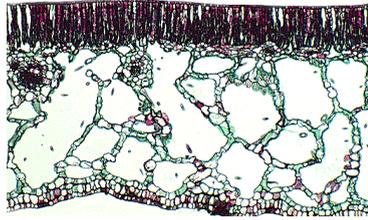
sebagai adaptasi untuk membatasi kehilangan air dengan cara mengurangi ratio luas permukaan terhadap volume daun. Daun tersebut memiliki kutikula yang tebal, stomata terkonsentrasi pada permukaan daun bagian bawah, dan sering ditemukan stomata yang letaknya berada lebih rendah dari epidermis atau pada lekukan yang melindungi stomata dari angin kering. Lain halnya dengan tumbuhan kaktus yang memodifikasi daunnya menjadi bentuk duri, sedangkan batangnya memipih dan berisi air serta berfungsi sebagai organ fotosintetik. Selain itu modifikasi daun pada tumbuhan di daerah xerofit dapat dilakukan dengan cara memperbanyak lapisan epidermis dan meningkatkan jumlah lignin pada xilem daun sehingga adesi antara air antara dinding xilem menjadi lebih kuat. Contoh struktur daun pada tumbuhan xerofit dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Sumber : Taiz, L. & Zeiger, E. (2002)

Gambar 10 Contoh struktur daun tumbuhan xerofit

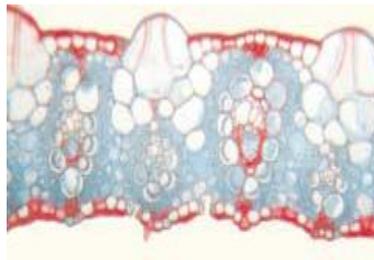
Tumbuhan hidrofit memiliki daun yang tipis dan lebar untuk meningkatkan ratio luas permukaan terhadap volume daun. Stomata terletak pada permukaan daun bagian atas atau pada kedua permukaan daun. Pada umumnya, stomata berbentuk ginjal dengan bukaan lebih lebar dan mesofil memiliki ruang udara yang luas. Adaptasi pada hidrofit bertujuan meningkatkan laju transpirasi. Berikut contoh struktur daun tumbuhan hidrofit.



Sumber : Weier.T.E., Barbour.M.G., Stocking.C.R., Rost. T., (1982)

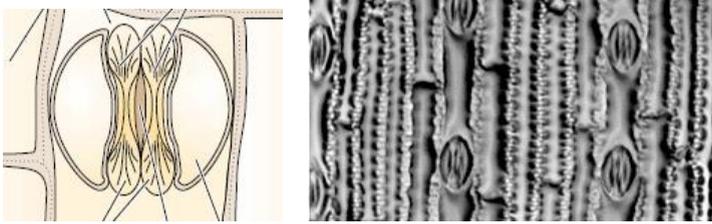
Gambar 11 Contoh struktur dan tumbuhan hidorfit

Pada tumbuhan kelompok gramineae untuk mengurangi laju transpirasi dilakukan dengan cara menggulungkan daunnya pada siang hari. Hal ini disebabkan pada tumbuhan tersebut memiliki epidermis yang termodifikasi menjadi sel kipas. Selain memiliki sel kipas, tumbuhan tersebut memiliki stomata berbentuk halter dengan bukaan stomata yang lebih kecil daripada stomata berbentuk ginjal. Susunan stomata pada daun gramineae tersusun searah pertulangan daun sehingga efektif untuk mengurangi laju transpirasi. Contoh struktur daun gramineae beserta bentuk dan susunan stomatanya sebagaimana ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Sumber: Solomon, 1993

Gambar 12 Struktur daun gramineae



Sumber: Taiz dan Zeiger, 2002

Gambar 13 Stomata berbentuk halte dan susunan stomata

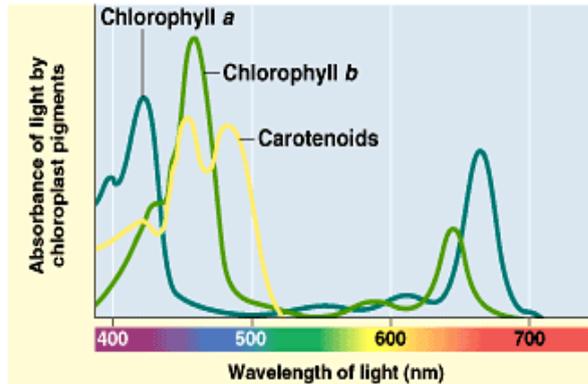
2. Fotosintesis

Mesofil daun pada tumbuhan tinggi merupakan jaringan yang berperan aktif pada proses fotosintesis. Sel-sel mesofil mengandung kloroplas yang berisis klorofil untuk mengabsorpsi cahaya. Dalam proses fotosintesis, tumbuhan menggunakan energi matahari untuk mengoksidasi air dengan melepaskan oksigen dan mereduksi karbon dioksida untuk membentuk gula. Reaksi yang memerlukan cahaya terjadi di dalam membran tilakoid kemudian menghasilkan energi berupa ATP dan NADPH. Energi tersebut digunakan untuk menyintesis gula dalam reaksi fiksasi karbon yang terjadi di dalam stroma.

Di dalam kloroplas, energi cahaya diubah menjadi energi kimia oleh dua jenis fotosistem, yaitu fotosistem I (P 700) dan fotosistem II (P 680). Energi cahaya yang diabsorpsi oleh kedua fotosistem tersebut digunakan untuk mentransfer elektron melalui suatu rangkaian reaksi yang melibatkan sejumlah protein yang bertindak sebagai donor elektron dan penerima elektron. Sebagian besar elektron digunakan untuk mereduksi NADP^+ menjadi NADPH dan mengoksidasi H_2O menjadi O_2 . Energi cahaya digunakan pula untuk menggerakkan proton melintasi membran tilakoid yang berfungsi menyintesis ATP.

a. Reaksi yang memerlukan cahaya

Cahaya yang digunakan dalam proses fotosintesis merupakan energi elektromagnet yakni sinar yang memiliki panjang gelombang antara 380 nm sampai 750 nm. Radiasi pada panjang gelombang tersebut dikenal sebagai cahaya tampak.



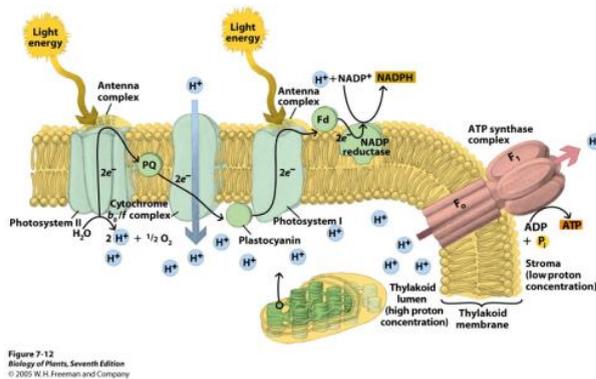
Sumber : Taiz, L. & Zeiger, E. (2002)

Gambar 14 Spektra absorpsi oleh pigmen fotosintetik

Pada gambar di atas, warna biru dan merah merupakan dua panjang gelombang yang paling efektif diserap oleh klorofil, sedangkan warna hijau adalah yang paling kurang efektif. Pigmen fotosintetik terdiri atas klorofil a, klorofil b, dan karotenoid. Ketiga jenis pigmen tersebut terdapat di dalam kloroplas. Klorofil a merupakan pigmen yang paling berperan dalam reaksi terang yang mengubah energi matahari menjadi energi kimia. Sementara klorofil b dan karotenoid berperan sebagai pigmen aksesoris. Klorofil b menyerap energi matahari yang disalurkan ke klorofil a. Adapun karotenoid lebih banyak berperan sebagai fotoproteksi dengan cara menyerap dan melepaskan energi cahaya yang berlebihan untuk melindungi klorofil. Oleh karena itu, banyak tumbuhan yang memiliki daun muda (pucuk) berwarna merah.

Energi matahari berupa foto diserap oleh klorofil dan menyebabkan elektron yang terdapat pada klorofil tereksitasi. Setiap elektron yang mengalami fotoeksitasi berpindah dari akseptor elektron primer fotosistem II ke fotosistem I melalui rantai transpor elektron. Rantai transpor elektron yang terdapat pada membran tilakoid terdiri dari satu pembawa elektron yang disebut plastokinon (Pq), suatu kompleks yang terdiri atas dua sitokrom dan protein mengandung

tembaga yang disebut plastosianin (Pc). Aliran elektron dari fotosistem II ke fotosistem I menghasilkan ATP. Akseptor primer fotosistem I mengalirkan elektron terfotoeksitasi ke rantai transpor elektron kedua yaitu ferredoksin (Fd) untuk menyalurkan elektron ke enzim NADP⁺ reduktase untuk merubah NADP⁺ menjadi NADPH. ATP dan NADPH yang dihasilkan dari reaksi yang membutuhkan cahaya digunakan untuk mereduksi CO₂.



Sumber :Taiz, L. & Zeiger, E. (2002)

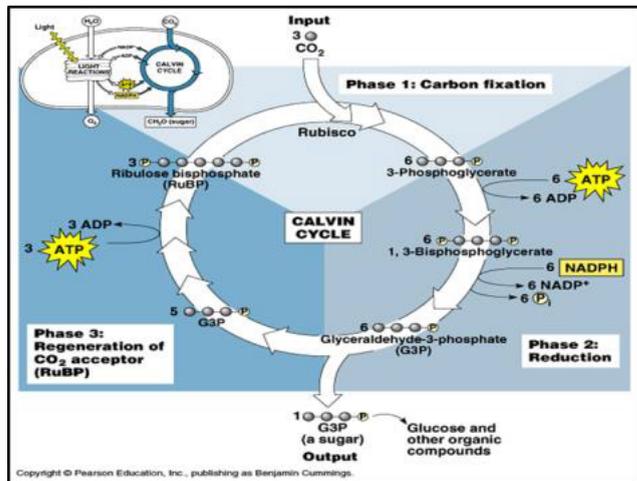
Gambar 15 Transfer elektron yang terjadi pada membran tilakoid

a. Reaksi karbon

Reaksi yang mengkatalisis reduksi CO₂ menjadi karbohidrat terjadi di dalam stroma. Reaksi tersebut tidak membutuhkan cahaya dan seringkali disebut sebagai reaksi gelap. Meskipun demikian, karena reaksi yang terjadi di dalam stroma tergantung hasil dari proses fotokimia yang terjadi pada reaksi yang membutuhkan cahaya dan juga diatur secara langsung oleh cahaya maka reaksi tersebut lebih tepat disebut sebagai reaksi karbon.

Karbon memasuki siklus Calvin dalam bentuk CO₂ dan keluar dalam bentuk gula. Siklus tersebut menggunakan ATP sebagai sumber energi dan mengonsumsi NADPH sebagai energi pereduksi untuk penambahan elektron berenergi tinggi untuk membuat gula. Proses pada siklus Calvin terdiri dari tiga fase berikut.

- 1) Karboksilasi
 CO_2 ditambat oleh Ribulosa 1,5 bifosfat (RuBP) dengan bantuan enzim rubisco membentuk dua molekul 3-fosfogliserat.
- 2) Reduksi
 Setiap molekul 3-fosfogliserat menerima gugus fosfat yang ditransfer dari ATP membentuk 1,3 fosfogliserat. Selanjutnya sepasang elektron yang disumbangkan dari NADPH mereduksi 1,3-bifosfogliserat menjadi gliseraldehid 3-fosfat (G3P). Untuk setiap tiga molekul CO_2 yang ditambat, terbentuk enam molekul G3P. Satu molekul G3P keluar siklus untuk membentuk gula, sedangkan lima molekul lainnya didaur ulang untuk meregenerasi RuBP.
- 3) Regenerasi
 Akseptor CO_2 (RuBP) diregenerasi dari lima molekul G3P. Proses regenerasi membutuhkan tiga molekul ATP.



Sumber : Campbell dkk, 2011

Gambar 16 Reaksi kimia yang terjadi pada siklus Calvin di dalam stroma

Pada sebagian besar tumbuhan, fiksasi karbon diawali dengan mengkatalisis CO_2 oleh enzim rubisco yang terjadi pada siklus Calvin. Tumbuhan demikian disebut tumbuhan

C3 karena produk fiksasi karbon organik pertama ialah senyawa berkarbon tiga (3-fosfoglisarat). Hasil fotosintesis pada tumbuhan C3 akan berkurang pada cuaca yang panas dan kering karena stomatanya akan tertutup untuk menahan laju transpirasi. Berkurangnya kadar CO_2 pada daun akan mengurangi jumlah karbon yang masuk pada siklus Calvin. Hal inilah yang menyebabkan berkurangnya produktivitas tumbuhan. Tumbuhan C3 seringkali mengalami fotorespirasi apabila konsentrasi O_2 melebihi konsentrasi CO_2 di udara. Fotorespirasi terjadi apabila rubisco menerima O_2 sebagai pengganti CO_2 , sehingga O_2 masuk ke dalam siklus Calvin. Fotorespirasi tidak seperti respirasi seluler karena tidak menghasilkan ATP dan tidak seperti fotosintesis karena tidak menghasilkan gula.

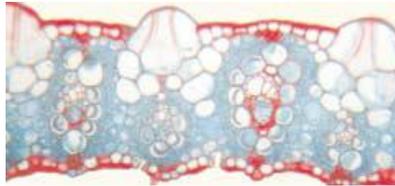
Dalam spesies tertentu, untuk meminimalkan fotorespirasi pada kondisi yang panas dan kering digunakan cara lain untuk melakukan fiksasi karbon. Perubahan proses fisiologi pada spesies tersebut diikuti oleh perubahan struktur pada jaringan dasar dari daun (mesofil). Dua adaptasi fotosintetik yang penting adalah fotosintesis C4 dan CAM.

Struktur daun tumbuhan C4 memiliki dua jenis sel fotosintetik yang berbeda, yaitu sel seludang berkas pembuluh dan sel mesofil. Penambatan CO_2 oleh fosfoenolpiruvat (PEP) yang dikatalis oleh enzim PEP karboksilase terjadi di mesofil untuk selanjutnya dibentuk senyawa berkarbon empat (asam malat/asam aspartat). PEP karboksilase memiliki afinitas yang jauh lebih tinggi terhadap CO_2 dibandingkan dengan rubisco sehingga pada kondisi panas dan kering serta stomata yang tertutup sebagian tetap dapat menambat CO_2 . Siklus C4 dalam menambat CO_2 terdiri dari empat tahap berikut.

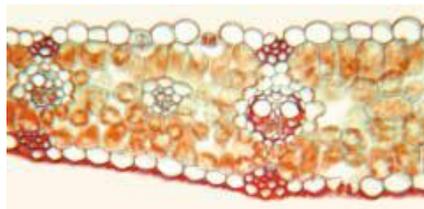
- 1) Fiksasi CO_2 oleh PEP karboksilase dalam sel-sel mesofil membentuk asam C4 (malat/aspartat).
- 2) Perpindahan asam C4 ke dalam sel-sel seludang pembuluh.
- 3) Dekarboksilasi asam C4 dalam sel seludang pembuluh dan pelepasan CO_2 yang kemudian direduksi menjadi gula melalui siklus Calvin.

- 4) Perpindahan asam C₃ (piruvat/alanin) yang dihasilkan dari proses dekarboksilasi kembali ke sel-sel mesofil dan regenerasi PEP sebagai aseptor CO₂.

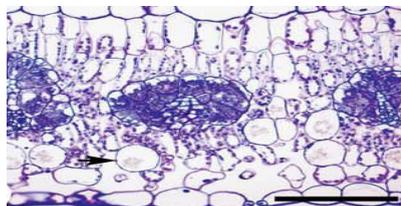
Perpindahan metabolit antara sel-sel mesofil dan sel-sel seludang pembuluh melalui plasmodesmata secara difusi. Siklus C₄ efektif untuk menambat CO₂ dari atmosfer ke dalam sel-sel seludang pembuluh, CO₂ di dalam sel-sel seludang pembuluh memiliki konsentrasi cukup tinggi sehingga seimbang dengan CO₂ di atmosfer. Tingginya konsentrasi CO₂ pada sel-sel seludang pembuluh menghambat terjadinya oksigenase RuBP pada tahap karboksilasi sehingga mencegah terjadinya fotorespirasi. Perbedaan struktur daun tumbuhan C₃ dan C₄ dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



(a) Struktur daun C₄ pada tumbuhan monokotil



(b) Struktur daun C₃ pada tumbuhan monokotil



(c) Struktur daun C₄ pada tumbuhan monokotil

Sumber: Taiz dan Zeiger, 2002 dan Muhaidatdkk, 007

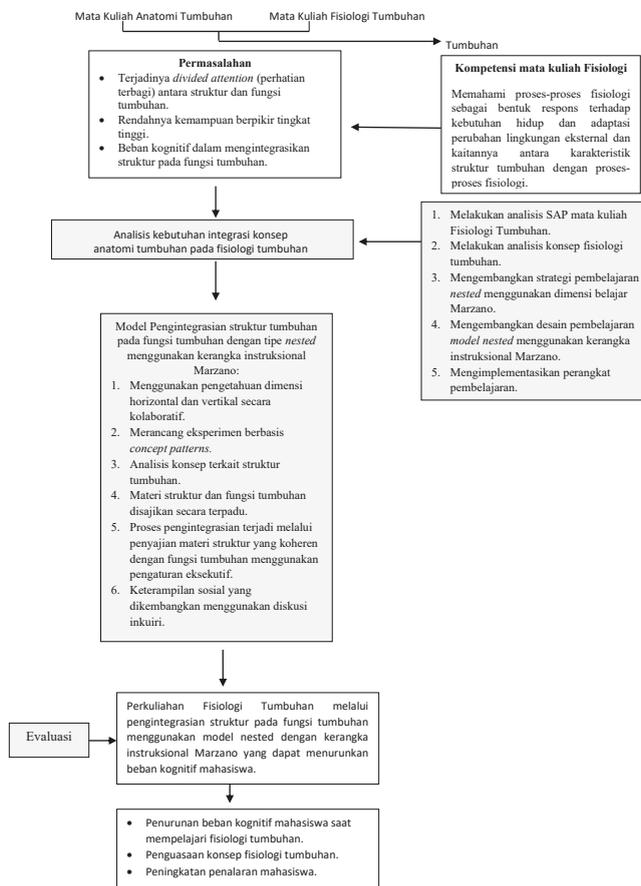
Gambar 17 Perbedaan struktur daun pada tumbuhan C₃ dan C₄

Pada gambar di atas, tampak bahwa tumbuhan C4 memiliki sel-sel seludang pembuluh yang ukurannya lebih besar dan juga terdapat sel-sel mesofil yang mengelilingi seludang pembuluh. Keduanya tidak tampak pada tumbuhan C3.

Adaptasi fotosintetik yang dilakukan oleh tumbuhan yang hidup di daerah gersang adalah menutup stomata pada siang hari untuk membantu menghemat air, tetapi penutupan stomata tersebut mencegah CO_2 memasuki daun. CO_2 ditambat di sel-sel mesofil pada malam hari ketika stomata terbuka. Penambatan CO_2 dilakukan oleh PEP dan dikatalis oleh PEP karboksilase menjadi asam organik (asam C4). Cara fiksasi karbon seperti ini disebut metabolisme asam krasulase (CAM). Sel mesofil tumbuhan CAM menyimpan asam organik di dalam vakuola. Pada siang hari ketika reaksi yang membutuhkan cahaya dapat memasok ATP dan NADPH, CO_2 dilepas ke sel-sel mesofil untuk selanjutnya masuk ke dalam siklus Calvin. Umumnya pada tumbuhan CAM memiliki sel-sel mesofil yang tebal, memiliki kutikula tebal, dan mengandung parenkim air. Struktur tersebut berfungsi untuk mencegah laju transpirasi yang tinggi, dan menyediakan air untuk proses fotosintesis karena rendahnya laju transpirasi pada siang hari menyebabkan rendahnya tekanan negatif pada xilem sehingga tidak cukup energi untuk menaikkan cairan xilem menuju daun.

BAB 5

PROSEDUR PENGEMBANGAN MODEL PEMBELAJARAN PENKIM



Dari bagan di atas, dapat diketahui pola pikir yang menjadi gagasan pengembangan model pembelajaran PeNKIM adalah sebagai berikut.

1. Mata kuliah fisiologi tumbuhan yang sulit dimengerti mahasiswa karena membutuhkan keterampilan berpikir kritis, kreatif, dan komprehensif.
2. Mata kuliah anatomi tumbuhan yang merupakan mata kuliah prasyarat untuk memahami konsep-konsep dalam mata kuliah fisiologi tumbuhan. Hal ini karena perkembangan struktur organ tumbuhan dan kondisi lingkungan tempat tumbuh tidak akan terlepas dari proses fisiologi.
3. Silabus mata kuliah fisiologi tumbuhan dikhususkan untuk mengetahui konsep-konsep yang memiliki interkoneksi tinggi antara struktur dan fungsi tumbuhan. Dengan demikian, dapat ditentukan derajat integrasi struktur pada fungsi tumbuhan pada setiap konsep.
4. Model pengintegrasian tipe *nested* dengan kerangka instruksional Marzano. Model tersebut dikembangkan untuk memfasilitasi mahasiswa mengintegrasikan pengetahuan struktur pada fungsi tumbuhan.
5. Penurunan beban kognitif mahasiswa dalam mempelajari fisiologi tumbuhan. Penurunan beban kognitif ini berperan penting dalam memfasilitasi mahasiswa untuk menganalisis informasi keterkaitan struktur pada fungsi dan memberikan persepsi yang positif terhadap proses pembelajaran sehingga memudahkan *working memory* untuk memproses dan menganalisis informasi.

Model pembelajaran PeNKIM diharapkan mampu membantu mahasiswa untuk mengintegrasikan struktur pada fungsi tumbuhan. Selain itu, model pembelajaran tersebut juga diharapkan mampu menurunkan beban kognitif mahasiswa calon guru biologi. Adapun tahapan yang akan dilakukan mengadopsi desain penelitian dan pengembangan pendidikan Borg & Gall (2003). Tahapan-tahapan yang dimaksud terangkum dalam tabel di bawah ini.

Tabel 1 Tahap-Tahap Desain Pengembangan

Tahap 1 Studi Pendahuluan	Tahap 2 Perencanaan	Tahap 3 Pengembangan	Tahap 4 Implementasi
<ol style="list-style-type: none"> 1. Studi kepustakaan <ol style="list-style-type: none"> a. Kajian pustaka dan hasil penelitian penurunan beban kognitif. b. Kajian pustaka pengintegrasian dalam satu disiplin ilmu. 2. Studi lapangan <ol style="list-style-type: none"> a. Kesulitan mahasiswa dalam mengelola informasi. b. Observasi perkuliahan anatomi tumbuhan dan fisiologi tumbuhan. c. Kesulitan mahasiswa dalam mengintegrasikan struktur tumbuhan pada fungsi tumbuhan. d. Kemampuan berpikir tingkat tinggi. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Merancang pembelajaran yang mengintegrasikan struktur pada fungsi tumbuhan. 2. Penyusunan instrumen penelitian <ol style="list-style-type: none"> a. Angket untuk mengetahui <i>Extraneous Load</i>. b. Rubrik untuk mengetahui <i>Intrinsic load</i> c. Soal untuk mengetahui <i>Germane Loa</i> 3. Validasi teoretis model konseptual (desain pembelajaran) oleh pakar 4. Revisi desain pembelajaran sesuai saran pakar. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Uji coba terhadap model mengintegrasikan struktur pada fungsi tumbuhan dengan tipe <i>nested</i> menggunakan kerangka instruksional Marzano. 2. Analisis deskriptif terhadap model yang dikembangkan secara kualitatif. 3. Analisis validitas dan reliabilitas instrumen penelitian secara kuantitatif. 4. Menentukan daya pembeda dan tingkat kesukaran soal tes secara kuantitatif. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Implementasi program pembelajaran secara eksperimen menggunakan desain <i>Quasi-eksperiment</i>. 2. Analisis data hasil eksperimen terhadap beban kognitif yang meliputi pengukuran <i>extraneous load, intrinsic load, dan germane load</i>. 3. Intepretasi data kualitatif dan kuantitatif untuk mengetahui pengaruh model yang dikembangkan terhadap penurunan beban kognitif calon guru biologi. 4. Revisi program pembelajaran.
<p>Hasil: profil program pembelajaran.</p>	<p>Hasil : draf desain konseptual.</p>	<p>Hasil : desain program konseptual yang siap untuk diujicobakan.</p>	<p>Hasil : desain final program pembelajaran model PenKIM.</p>

1. Studi pendahuluan

Analisis kebutuhan merupakan kegiatan awal yang terdiri atas studi kepustakaan dan studi lapangan. Aspek yang dipelajari dari studi kepustakaan meliputi kajian penelitian yang relevan mengenai penurunan beban kognitif, terutama yang disebabkan oleh proses pembelajaran dan pemanfaatan media pembelajaran. Pada dasarnya, proses pengintegrasian struktur pada fungsi tumbuhan memerlukan strategi pembelajaran yang dapat mengembangkan struktur kognitif mahasiswa. Selain itu, penggunaan media pembelajaran sangat diperlukan karena dalam mempelajari

keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan tidak akan terlepas dari pemanfaatan media untuk menjadikan proses fisiologi yang bersifat abstrak menjadi konkret.

Mempelajari pola pengintegrasian di dalam satu disiplin ilmu sangatlah penting karena dalam mengintegrasikan struktur pada fungsi tumbuhan diperlukan suatu pemikiran yang bersifat komprehensif. Dengan demikian, pemilihan pola pengintegrasian harus sesuai dengan tuntutan tersebut yaitu menekankan keterampilan dalam mengembangkan skema kognitif. Studi lapangan merupakan kegiatan penelitian yang bersifat deskriptif yang dimaksudkan untuk mengumpulkan data mengenai kesulitan mahasiswa dalam memproses informasi serta mengumpulkan data mengenai proses pembelajaran dalam mata kuliah anatomi tumbuhan dan fisiologi tumbuhan, terutama kemampuan analisis, kemampuan memecahkan masalah, dan kemampuan berpikir sebab akibat.

Studi literatur menunjukkan bahwa konsep-konsep yang memiliki hubungan bermakna akan lebih mudah dipahami oleh mahasiswa dan dapat memfasilitasi mahasiswa untuk berpikir lebih kompleks. Kemampuan berpikir tersebut dipengaruhi oleh berkembangnya skema kognitif akibat dari informasi yang terorganisasi. Dengan demikian, pembelajaran terintegrasi dapat menambah kekuatan untuk menerima, menyimpan, dan menerapkan konsep yang telah dipelajarinya. Hal itu menyebabkan mahasiswa terlatih untuk menemukan sendiri berbagai konsep yang dipelajarinya secara menyeluruh (holistik), bermakna, dan autentik.

Analisis data hasil studi lapangan bertujuan untuk mengetahui kesulitan pengintegrasian konsep anatomi tumbuhan yang telah dipelajari pada materi fisiologi tumbuhan dan menganalisis konsep anatomi tumbuhan yang berkaitan dengan proses fisiologi. Hal ini dilakukan untuk memilih konsep-konsep penting yang memiliki koherensi dan yang dapat diintegrasikan pada materi fisiologi tumbuhan. Adapun hasil pengamatan pada mata kuliah fisiologi tumbuhan adalah pelaksanaan perkuliahan berbentuk ceramah, diskusi kelompok, tanya jawab, penugasan, dan praktikum. Perkuliahan dengan metode ceramah disampaikan oleh dosen yang

memanfaatkan *LCD projector*. Dalam hal ini, dosen menampilkan gambar dan tayangan animasi yang memperlihatkan proses kehidupan tumbuhan. Upaya tersebut dilakukan semata-mata untuk mempermudah mahasiswa memahami proses-proses yang terjadi pada tumbuhan.

Kemudian dari hasil angket tentang pemahaman mahasiswa terhadap materi yang dijelaskan oleh dosen, sebagian besar menyatakan paham. Hal ini kemungkinan pada saat memberikan informasi dosen menggunakan gambar-gambar yang menunjang pemahaman siswa terutama gambar yang mengingatkan kembali pada materi anatomi tumbuhan. Namun secara mental saat itu mahasiswa belum mampu mengaitkan antara struktur dan fungsi tumbuhan dengan indikasi mahasiswa merasa kesulitan mengidentifikasi jaringan yang berperan dalam proses fisiologi.

Perkuliahan dengan diskusi kelompok biasanya dilaksanakan pada materi yang memuat adaptasi fisiologi tumbuhan pada kondisi eksternal. Misalnya mendiskusikan perbedaan fiksasi CO_2 pada tumbuhan yang tergolong C3 dan C4. Para mahasiswa melakukan diskusi, di mana satu kelompok tampil dan mahasiswa lainnya menanggapi. Dalam pembelajaran model demikian, dosen berperan sebagai fasilitator.

Metode penugasan diberikan kepada mahasiswa berupa tugas perorangan. Biasanya mahasiswa diberi suatu permasalahan yang seringkali terjadi dalam kehidupan sehari-hari, tentunya yang berkaitan dengan proses fisiologi tumbuhan. Praktikum dilaksanakan pada hari yang sama setelah mahasiswa memperoleh teorinya. Pada pelaksanaan praktikum mahasiswa mengamati proses-proses fisiologi yang terjadi pada tumbuhan. Setelah itu, mahasiswa menjawab pertanyaan yang diberikan pada lembar LKM. Hasil praktikum hanya dibahas setiap kelompok ketika menjawab pertanyaan, tetapi tidak didiskusikan di kelas.

Berdasarkan hasil analisis data, ditemukan bahwa kegiatan belajar dan praktikum pada mata kuliah fisiologi tumbuhan belum menunjukkan aspek yang diharapkan. Menurut Taber (2008), integrasi konseptual merupakan fokus yang penting dalam pembelajaran sains karena terkait dengan bagaimana mahasiswa berpikir dalam sains. Pendekatan untuk merencanakan

pembelajaran direkomendasikan berdasarkan pengembangan ide-ide kunci pada suatu tema. Hal tersebut merupakan cara yang bermanfaat untuk membantu mahasiswa belajar menghubungkan sains yang telah mereka pelajari. Mengintegrasikan keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan adalah salah satu representasi yang dapat memudahkan pemelajar dalam memahami materi fisiologi tumbuhan. Hal ini sesuai dengan teori beban kognitif yang dikemukakan oleh Sweller (2005).

2. Perencanaan

- a. Merancang pembelajaran terintegrasi tipe *nested* dengan kerangka instruksional Marzano.

Rancangan pembelajaran merujuk pada dimensi belajar Marzano (1992) yang terdiri atas lima tahapan, yakni mengembangkan sikap dan persepsi positif, belajar untuk pemerolehan dan pengintegrasian, perluasan dan penghalusan pengetahuan, belajar menggunakan pengetahuan secara bermakna, serta kebiasaan berpikir. Rancangan pembelajaran juga harus memenuhi ketentuan pengintegrasian tipe *nested* yaitu pengintegrasian yang memadukan berbagai bentuk keterampilan, seperti keterampilan sosial (*social skill*), keterampilan berpikir (*thinking skill*), dan keterampilan isi (*content-specific skill*) (Fogarty, 1991).

Pada tahap penyusunan rancangan pembelajaran terlebih dahulu ditentukan rumusan tujuan, komponen-komponen, dan sasaran yang diperlukan. Komponen-komponen tersebut meliputi: (1) membuat kerangka desain pembelajaran PenKIM untuk menentukan bagaimana pembelajaran terintegrasi tipe *nested* dapat dilaksanakan menggunakan kerangka instruksional Marzano; (2) menentukan konsep yang memiliki interkoneksi tinggi antara struktur dan fungsi tumbuhan; (3) membuat SAP mata kuliah fisiologi tumbuhan untuk menentukan bagaimana proses pengintegrasian struktur pada fungsi tumbuhan dapat dilaksanakan; (4) menentukan strategi pembelajaran untuk memadukan pembelajaran terintegrasi tipe *nested* dengan dimensi belajar menggunakan kerangka instruksional dari Marzano.

Adapun validasi rancangan pembelajaran dilakukan oleh pakar (pembimbing dan praktisi). Validasi tersebut mengkaji kesesuaian konsep yang diintegrasikan, penyajian urutan materi, alokasi yang dibutuhkan untuk menyampaikan konsep, strategi pembelajaran yang digunakan, kesesuaian tahapan pembelajaran yang diterapkan pada rancangan pembelajaran, dan kesesuaian rancangan pembelajaran terintegrasi tipe *nested* kerangka instruksional Marzano.

b. Menyusun instrumen penelitian.

Instrumen penelitian disusun untuk mengevaluasi kegiatan proses pembelajaran. Instrumen tersebut meliputi angket skala sikap untuk mengetahui penurunan *extraneous load*, soal kemampuan menganalisis informasi, *task* dan *rubric* kemampuan menganalisis informasi untuk mengetahui penurunan *intrinsic load*, soal penalaran untuk mengetahui penurunan *germane load*, lembar observasi untuk mengetahui keterlaksanaan model yang dikembangkan, dan angket respons mahasiswa untuk mengetahui tanggapan mahasiswa terhadap model pembelajaran yang dikembangkan.

Sebelum dipergunakan, instrumen terlebih dahulu divalidasi berdasarkan pandangan ahli. Adapun instrumen yang divalidasi meliputi soal kemampuan menganalisis informasi dan soal penalaran, lembar observasi, angket skala sikap untuk mengetahui penurunan *extraneous load*, angket respons mahasiswa, serta *task* dan *rubric* kemampuan menganalisis informasi.

3. Pengembangan

Tahap pengembangan merupakan tahap validasi lapangan terhadap pembelajaran model PeNKIM dan instrumen penelitian. Validasi pembelajaran model PeNKIM dilaksanakan sebanyak tiga kali. Pada uji coba pertama, validasi dilakukan untuk menguji keterlaksanaan strategi perkuliahan dan urutan materi. Strategi perkuliahan yang diuji coba terdiri dari empat tahap. *Tahap pertama* ialah mengembangkan sikap dan persepsi positif. Tujuannya, agar mahasiswa tanggap terhadap keterkaitan antara struktur dengan fungsi tumbuhan yang dipengaruhi lingkungan. *Tahap kedua* ialah belajar untuk pemerolehan dan pengintegrasian yang

tujuannya agar penggunaan *prior knowledge* tentang struktur yang sudah dimiliki mahasiswa dapat memfasilitasi pengintegrasian struktur pada fungsi tumbuhan. *Tahap ketiga* adalah perluasan dan penghalusan. Tujuannya tak lain untuk merumuskan prinsip-prinsip proses fisiologi berdasarkan perbedaan struktur organ dan mengembangkan skema kognitif dengan menggunakan grafik yang dilengkapi data. *Tahap keempat* merupakan belajar menggunakan pengetahuan secara bermakna. Tujuannya ialah menerapkan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi dalam merancang eksperimen.

Urutan materi yang diujicobakan adalah materi struktur tumbuhan yang terintegrasi pada fungsi tumbuhan dengan penyajian materi dari yang sederhana menuju materi yang kompleks. Urutan materi yang diberikan terdiri dari adalah:

- a. keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan yang memberikan gambaran bahwa adanya perbedaan struktur pada organ yang sama akan selalu berkaitan dengan proses fisiologi pada kondisi lingkungan tertentu;
- b. perbedaan struktur organ tumbuhan terhadap proses fisiologi yang memberikan gambaran tentang karakteristik struktur dari organ tumbuhan yang berperan dalam proses fisiologi dan prinsip-prinsip proses fisiologi berdasarkan perbedaan struktur organ;
- c. strategi adaptasi yakni menjelaskan bagaimana suatu organ pada tumbuhan akan memodifikasi struktur dan proses fisiologinya untuk dapat bertahan hidup sesuai dengan kondisi lingkungannya.

Selanjutnya pada uji coba kedua, validasi dilakukan untuk melihat keberfungsian strategi pembelajaran model PeNKIM dalam melatih kemampuan menganalisis informasi. Analisis keberfungsian strategi pembelajaran tersebut dalam melatih kemampuan menganalisis informasi dapat memfasilitasi mahasiswa dalam hal:

- a. memilih informasi yang relevan;
- b. mengorganisasi materi menjadi representasi yang logis;
- c. mengintegrasikan materi yang sedang dipelajari dengan pengetahuan yang telah ada;

- d. mengidentifikasi jaringan pada organ tumbuhan;
- e. merumuskan prinsip-prinsip proses fisiologi berdasarkan struktur organ yang berbeda; dan
- f. merancang eksperimen berdasarkan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan sesuai dengan kondisi lingkungan.

Kemudian pada uji coba ketiga adalah validasi keberfungsian model PeNKIM dalam mengembangkan skema kognitif. Analisis keberfungsian tersebut dilihat dari ketepatan penggunaan strategi pembelajaran dan urutan materi dalam memfasilitasi mahasiswa menganalisis informasi dan melakukan penalaran induktif dan deduktif. Kemampuan menganalisis informasi dan kemampuan penalaran diukur menggunakan instrumen berupa soal yang telah divalidasi oleh para pakar.

Analisis terhadap program pembelajaran model PeNKIM untuk mengintegrasikan struktur pada fungsi tumbuhan dilakukan secara kualitatif dan menggunakan analisis deskriptif. Analisis terhadap instrumen penurunan *intrinsic load* (kemampuan menganalisis informasi) dan *germane load* (kemampuan penalaran) dilakukan secara kualitatif menggunakan analisis deskriptif. Analisis validitas dan reliabilitas serta daya pembeda dan tingkat kesukaran soal tes sebagai instrumen kemampuan penalaran (penurunan *germane load*) dilakukan secara kuantitatif menggunakan Anates. Analisis validitas dan reliabilitas kemampuan menganalisis informasi (penurunan *intrinsic load*) angket untuk melihat kemudahan mahasiswa dalam menganalisis informasi yang diakibatkan oleh model pembelajaran yang diterapkan (penurunan *extraneous load*), dan angket respons mahasiswa terhadap model PeNKIM dianalisis secara kualitatif menggunakan uji *Cronbach s alpha*.

Sampel untuk uji instrumen yang digunakan adalah mahasiswa yang sudah mempelajari anatomi tumbuhan yaitu mahasiswa yang berasal dari kelas yang tidak termasuk kelas eksperimen maupun kelas kontrol. Hasil pada tahap ini adalah desain pembelajaran model “pengintegrasian struktur tumbuhan pada fungsi tumbuhan dengan tipe *nested* menggunakan kerangka instruksional Marzano” dan instrumen penelitian yang siap untuk diimplementasikan.

4. Implementasi

Implementasi program dilakukan melalui *Quasi-eksperimen* dengan menggunakan kelas eksperimen dan kelas kontrol. Implementasi ini diawali dengan *pre-test* dan *post-test*. Kemudian pada kelompok kontrol diterapkan pembelajaran terintegrasi model pengintegrasian tipe *nested* secara konvensional, sedangkan pada kelompok eksperimen diterapkan model pembelajaran terintegrasi tipe *nested* dengan kerangka instruksional Marzano (PeNKIM). Tujuan penggunaan desain ini adalah menguji keefektifan program dan validasi program konseptual yang telah dihasilkan secara empirik.

Implementasi pembelajaran pada kelompok eksperimen juga menerapkan pembelajaran model PeNKIM untuk mengintegrasikan struktur pada fungsi tumbuhan. Pembelajaran tipe *nested* secara konvensional yang diterapkan pada kelompok kontrol merupakan pembelajaran yang memadukan beberapa keterampilan untuk ketercapaian materi pelajaran. Keterampilan yang dipadukan adalah keterampilan sosial, berpikir, dan isi.

Adapun prinsip pembelajaran tipe *nested* secara konvensional adalah sebagai berikut.

- a. Memberikan masalah keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan untuk memfasilitasi keterampilan berpikir (*thinking skill*). Masalah yang diberikan selalu dikaitkan dengan fenomena alam sehingga merangsang mahasiswa untuk berpikir spekulatif dan mengenali pola hubungan antara struktur, fungsi, dan lingkungan tempat tumbuhan itu tumbuh.
- b. Memberikan materi dengan tema yang bermakna untuk memfasilitasi keterampilan isi (*content-specific skill*). Kebermaknaan yang dimaksud adalah bagaimana mahasiswa mengonstruksi pengetahuan tentang fisiologi tumbuhan dengan cara mengintegrasikannya dengan pengetahuan anatomi tumbuhan yang sudah ada dalam skema kognitif mahasiswa.
- c. Memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk menyelesaikan tugas-tugasnya secara kolaborasi. Ini adalah upaya memfasilitasi keterampilan sosial. Pembelajaran model PeNKIM yang diterapkan pada kelompok eksperimen

merupakan pembelajaran berdasarkan bagaimana otak bekerja selama menerima informasi untuk ketercapaian materi pelajaran dengan memadukan keterampilan sosial yang menekankan interaksi dengan pengajar dan mahasiswa ketika berdiskusi. Dengan menggunakan kerangka instruksional Marzano model PeNKIM diharapkan dapat memfasilitasi bagaimana mahasiswa belajar dan berpikir.

Sementara prinsip pembelajaran model PeNKIM diuraikan sebagaimana berikut.

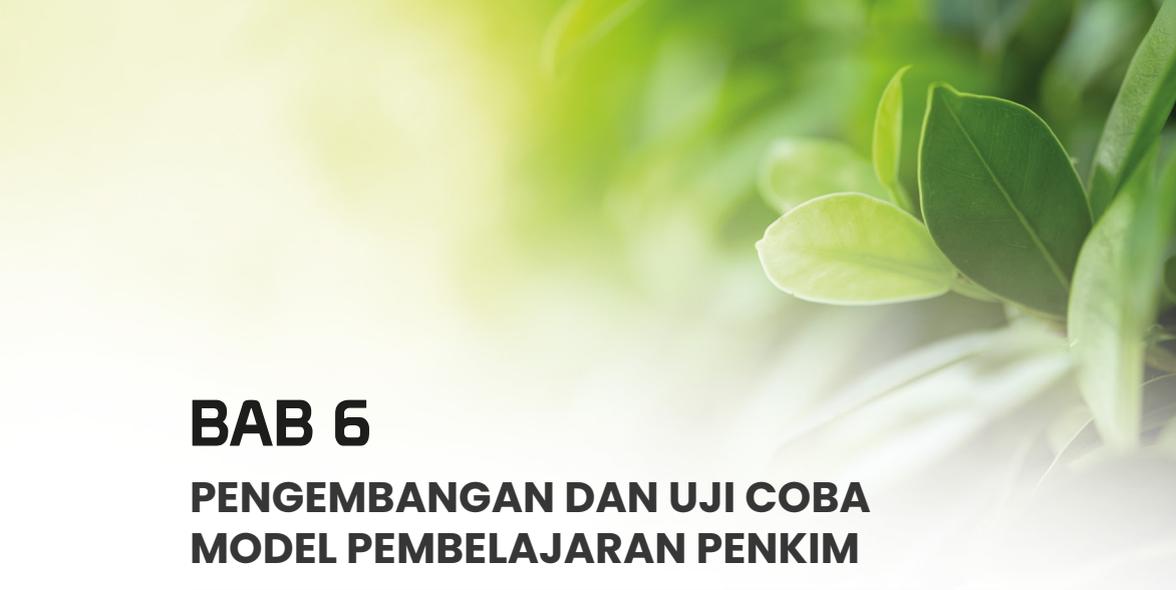
- a. Menciptakan lingkungan belajar yang kondusif dengan cara menjaga interaksi dosen dengan mahasiswa dan antarmahasiswa.
- b. Memberikan masalah dan solusi yang bertujuan memfasilitasi mahasiswa dalam mengembangkan proses berpikir.
- c. Memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk menyelesaikan tugas-tugasnya secara kolaborasi sehingga mahasiswa memiliki optimisme terhadap keberhasilan dalam belajar dengan mendorong tercapainya *zona of proximal development* (ZPD).
- d. Membuat petunjuk *performance objektif* yang berisi kata kerja operasional untuk mengarahkan kinerja mahasiswa dalam mengintegrasikan struktur pada fungsi tumbuhan sehingga memudahkan pemrosesan informasi pada *working memory*
- e. Menggunakan *prior knowledge* pada *long-term memory* untuk merekonstruksi konsep struktur tumbuhan yang berhubungan dengan konsep yang akan diajarkan sehingga terjadi asimilasi pengetahuan.

Berdasarkan perbedaan kedua prinsip pembelajaran tersebut terlihat bahwa pada kelas kontrol pengintegrasian struktur fungsi tumbuhan diberikan dalam bentuk yang sudah jadi. Sementara pada kelas eksperimen pengintegrasian struktur pada fungsi dilakukan dengan cara mengasimilasi informasi pada pengetahuan yang telah ada pada struktur kognitif mahasiswa sehingga akan terbentuk skema kognitif dengan hubungan antarkonsep yang bermakna.

Berdasarkan kedua prinsip pembelajaran di atas, perbedaan tahapan pembelajaran pada kelas kontrol dan kelas eksperimen dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2 Perbandingan Pembelajaran Model PeNKIM dan Pembelajaran Tipe *Nested* secara Konvensional

Pembelajaran Model PeNKIM	Pembelajaran Tipe <i>Nested</i> Konvensional
Memberikan gambaran umum tentang keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan untuk membekali mahasiswa mengintegrasikan materi struktur pada fungsi tumbuhan.	Mempresentasikan keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan.
Menggunakan <i>prior knowledge</i> untuk merekonstruksi konsep keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan dibantu media animasi tentang struktur yang berperan dalam proses fisiologi.	Memberikan gambaran umum dibantu media animasi tentang struktur yang berperan dalam proses fisiologi.
Memecahkan masalah keterkaitan antara struktur pada fungsi tumbuhan untuk merumuskan prinsip-prinsip proses fisiologi berdasarkan perbedaan struktur organ tumbuhan dan mengorganisasikan materi dengan cara membuat peta konsep.	Merumuskan prinsip-prinsip proses fisiologi berdasarkan perbedaan struktur organ tumbuhan dan mengorganisasikan materi dengan cara membuat peta konsep
Menerapkan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan untuk merancang eksperimen yang dibatasi oleh waktu dan jenis tumbuhan yang dapat digunakan.	Merancang eksperimen yang dibatasi oleh waktu dan jenis tumbuhan yang dapat digunakan.
Dikembangkan berpikir kritis dan kreatif untuk memecahkan permasalahan keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan yang berkaitan dengan strategi adaptasi yang dilakukan tumbuhan.	Diberikan permasalahan keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan untuk menerapkan prinsip strategi adaptasi yang dilakukan tumbuhan



BAB 6

PENGEMBANGAN DAN UJI COBA MODEL PEMBELAJARAN PENKIM

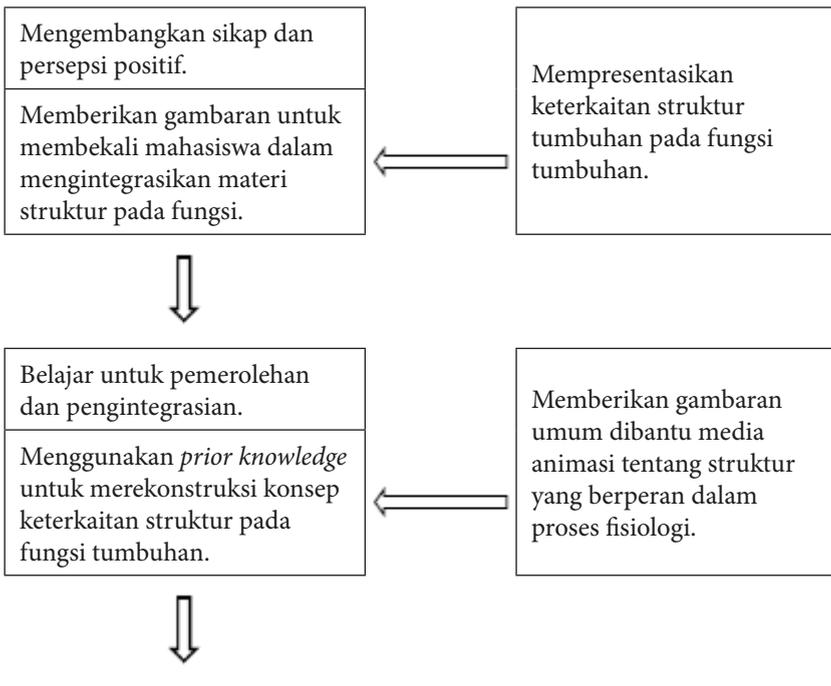
Pengembangan Awal

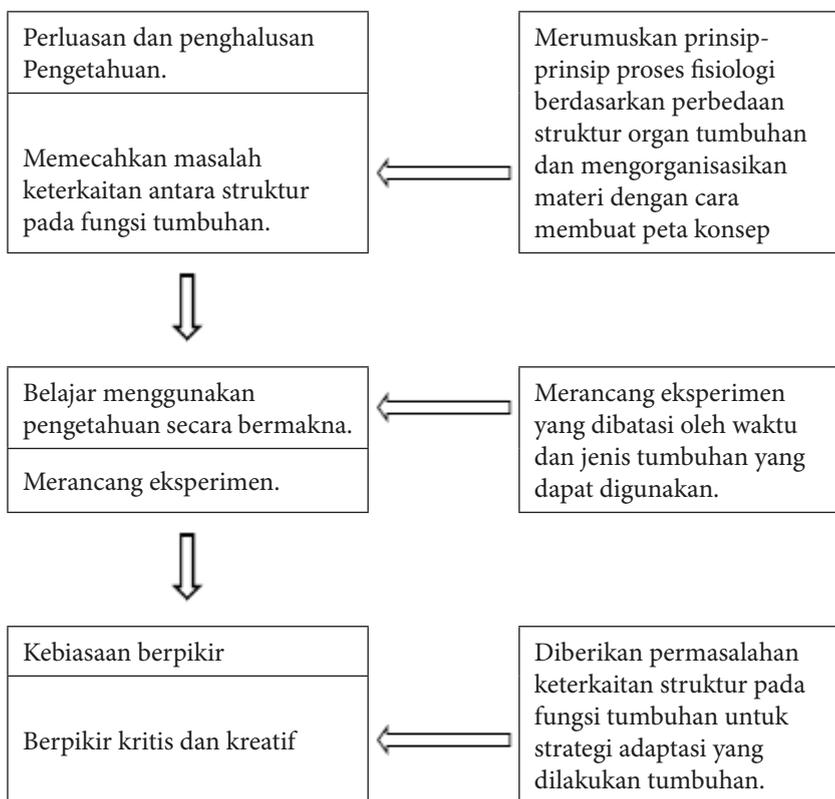
Berdasarkan tahapan awal yakni studi pendahuluan maka diperoleh informasi berikut.

1. Mahasiswa mengalami kesulitan untuk mengingat lebih lama materi fisiologi tumbuhan. Hal ini karena gambar yang ditayangkan hanya berfungsi mengingatkan struktur yang terkait fungsi, tetapi belum dapat membantu mahasiswa untuk menghubungkan struktur tersebut dengan fungsinya sehingga mereka kesulitan memperoleh makna dari keterkaitan struktur dengan fungsi.
2. Mahasiswa memiliki beban yang tinggi untuk mengintegrasikan materi mata kuliah anatomi tumbuhan pada saat mempelajari fisiologi tumbuhan sehingga tidak terbentuk skema kognitif yang baik setelah mempelajari fisiologi tumbuhan.
3. Mahasiswa telah dibimbing dengan baik oleh dosen maupun asisten saat pelaksanaan pembelajaran pada mata kuliah fisiologi tumbuhan, tetapi ketika diberikan tugas tidak ada kesempatan untuk memperoleh umpan balik. Dari hasil angket, diketahui mahasiswa ternyata menghendaki adanya diskusi terfokus dalam kelompok yang dilanjutkan dengan presentasi setiap kelompok untuk menyamakan persepsi melalui diskusi kelas apabila terjadi hasil pemahaman yang berbeda.

4. Pelaksanaan praktikum hanya dipandu LKS berbentuk resep sehingga mahasiswa tidak diberi kesempatan untuk mengembangkan kreativitasnya dalam menentukan jenis tumbuhan yang digunakan.

Berdasarkan informasi tersebut, kemudian penulis berusaha merancang model pembelajaran yang dapat memfasilitasi mahasiswa mengintegrasikan struktur pada fungsi tumbuhan. Model pembelajaran tersebut bertujuan mengakses retensi pengetahuan anatomi tumbuhan yang ada pada memori *long-term memory* mahasiswa melalui pengintegrasian pengetahuan struktur pada fungsi tumbuhan. Model pembelajaran yang dirancang tersebut diharapkan dapat memfasilitasi mahasiswa untuk tanggap terhadap pentingnya keterkaitan struktur pada fungsi secara epistemologi dengan mengembangkan sikap dan persepsi positif ketika mempelajari fisiologi tumbuhan. Dengan demikian, model pembelajaran dapat mengurangi beban kognitif mahasiswa. Rancangan awal model pembelajaran PeNKIM untuk mengintegrasikan stuktur pada fungsi tumbuhan dapat dilihat pada skema berikut.





Tabel 3 Struktur Pembelajaran Model Pengintegrasian Tipe *Nested* dengan Kerangka Instruksional Marzano (PeNKIM) Hasil *Judgement*

Tahap	Kegiatan yang Dilakukan Dosen	Kegiatan yang Dilakukan Mahasiswa	Keterangan
Mengembangkan sikap dan persepsi positif.	Merepresentasikan keterkaitan struktur tumbuhan pada fungsi tumbuhan dengan menekankan penerapan konsep keterkaitan struktur pada fungsi terhadap permasalahan di lingkungan untuk memberikan gambaran dalam mengintegrasikan pengetahuan struktur pada fungsi.	Menjawab pertanyaan secara individual tentang contoh perbedaan struktur yang berkaitan dengan fungsi pada lingkungan tertentu.	Mahasiswa tanggap terhadap keterkaitan struktur pada fungsi yang dipengaruhi lingkungan.

Belajar untuk pemerolehan dan pengintegrasian.	Penjelasan materi dibantu media animasi tentang karakteristik struktur akar, batang, dan daun yang berperan pada proses fisiologi.	Mendiskusikan karakteristik struktur akar, batang, dan daun yang berperan pada proses fisiologi menggunakan <i>prior knowledge</i> untuk mengajukan hipotesis dan alasan pengajuan hipotesis.	Selama pembelajaran menekankan pada pengintegrasian konsep yang koheren.
Perluasan dan penghalusan pengetahuan	Memberikan gambar organ-organ tumbuhan dengan struktur yang berbeda serta data proses fisiologi yang dipengaruhi oleh lingkungan.	<ul style="list-style-type: none"> a. Merumuskan prinsip-prinsip proses fisiologi berdasarkan perbedaan struktur organ dan setiap kelompok mengemukakan hasil perumusannya beserta alasannya. b. Membuat skema kognitif integrasi struktur pada fungsi berupa peta konsep. 	Hasil perumusan serta alasan yang dikemukakan harus berdasarkan hasil interpretasi gambar dan data.
Belajar menggunakan pengetahuan secara bermakna.	Memberikan tugas merancang eksperimen yang dapat dilaksanakan dalam waktu satu jam.	Merancang eksperimen dengan menerapkan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan.	Hasil rancangan eksperimen harus menjelaskan alasan pemilihan jenis tumbuhan berdasarkan struktur organ serta kondisi lingkungan.

Uji Coba Tahap Pertama

Pada tahap ini, model pembelajaran PeNKIM diujicobakan terhadap 20 mahasiswa semester VIII tahun ajaran 2007/2008. Para mahasiswa ini telah lulus mata kuliah anatomi tumbuhan dan fisiologi tumbuhan. Tujuan uji coba ini adalah untuk menganalisis keterlaksanaan strategi perkuliahan dan urutan materi.

1. Keterlaksanaan strategi perkuliahan

Secara umum, strategi perkuliahan model PeNKIM yang digunakan untuk mengurangi beban kognitif mahasiswa terdiri atas empat tahap sebagaimana berikut.

- a. Mengembangkan sikap dan persepsi positif (20 menit)
Tahap ini bertujuan agar mahasiswa tanggap terhadap keterkaitan antara struktur dengan fungsi yang dipengaruhi oleh lingkungan.
- b. Belajar untuk pemerolehan dan pengintegrasian (20 menit).
Tujuannya agar penggunaan *prior knowledge* tentang struktur yang sudah dimiliki mahasiswa dapat memfasilitasi pengintegrasikan struktur pada fungsi tumbuhan.
- c. Perluasan dan penghalusan (30 menit) guna merumuskan prinsip-prinsip proses fisiologi berdasarkan perbedaan struktur organ dan mengembangkan skema kognitif dengan menggunakan grafik yang dilengkapi data.
- d. Belajar menggunakan pengetahuan secara bermakna (30 menit) dalam rangka menerapkan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi dalam merancang eksperimen.

Dengan demikian, seluruh tahapan pada pembelajaran model PeNKIM dilaksanakan dalam waktu 100 menit. Uji coba model PeNKIM dilaksanakan pada perkuliahan fisiologi tumbuhan dengan mengintegrasikan materi anatomi tumbuhan. Hasil yang didapatkan pada tiap-tiap tahapan diuraikan secara mendetail pada uraian di bawah ini.

Pertama, tahap mengembangkan sikap dan persepsi positif. Tahapan ini diawali dengan mempresentasikan keterkaitan struktur pada fungsi yang dilakukan oleh dosen. Dalam hal ini, dosen menekankan keterkaitan struktur pada fungsi dengan cara memberikan permasalahan di lingkungan tempat tinggal mahasiswa. Hal ini dilakukan karena Kabupaten Kuningan merupakan hamparan yang terdiri atas dataran tinggi dan dataran rendah sehingga memiliki banyak variasi tumbuhan. Pada tahap tersebut mahasiswa diharapkan tanggap terhadap keterkaitan antara struktur dengan fungsi dan tertarik untuk mengamati keterkaitan tersebut di lingkungannya. Ketertarikan mahasiswa terhadap adanya keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan menunjukkan adanya sikap dan persepsi positif pada saat mempelajari fisiologi tumbuhan.

Terbukti berdasarkan hasil pengamatan, mahasiswa menjadi lebih tanggap terhadap perubahan yang terjadi pada struktur

tumbuhan yang berkaitan dengan proses fisiologi, terutama yang berkaitan dengan lingkungan tertentu. Contohnya pada saat mahasiswa membahas perbedaan tinggi tumbuhan antara tumbuhan monokotil dan tumbuhan dikotil, mereka menjadi tertarik karena menyadari bahwa perbedaan tersebut berhubungan dengan komposisi dinding sel pada xilem dan proses transpirasi pada tumbuhan.

Strategi memecahkan masalah digunakan untuk menyelesaikan permasalahan keterkaitan struktur pada fungsi di lingkungan yang berbeda. Saat diberikan permasalahan, mahasiswa mampu mengidentifikasinya dengan cara mengemukakan terlebih dahulu kondisi lingkungan dan mengaitkannya dengan struktur tumbuhan. Setelah mahasiswa mengemukakan karakteristik struktur tumbuhan, mereka mengaitkannya dengan fungsi tumbuhan dan menarik kesimpulan berdasarkan bukti keterkaitan struktur pada fungsi. Kedua strategi yang digunakan pada tahap ini dapat terlaksana dengan baik. Demikian pula waktu yang disediakan selama 20 menit cukup untuk melaksanakan tahapan di atas.

Kedua, tahap belajar untuk pemerolehan dan pengintegrasian. Tahap ini diawali dengan strategi untuk membantu mahasiswa melakukan interaksi bermakna dengan bahan ajar menggunakan media animasi. Selanjutnya digunakan strategi penggunaan *prior knowledge* tentang struktur tumbuhan dalam mendiskusikan variasi struktur dari suatu organ tumbuhan yang dikaitkan dengan fungsi fisiologis tertentu. Dalam melaksanakan diskusi mahasiswa dibagi menjadi lima kelompok, setiap kelompok beranggotakan empat orang yang memiliki kemampuan heterogen. Strategi penggunaan *prior knowledge* tersebut digunakan untuk memfasilitasi mahasiswa dalam mengajukan hipotesis dan alasan pengajuan hipotesis.

Kriteria keterlaksanaan strategi pada tahap ini adalah mahasiswa mampu menghubungkan pengetahuan awal tentang struktur dengan pengetahuan fungsi tumbuhan yang akan mereka pelajari. Selain itu, mereka juga mampu memilih konsep yang koheren terhadap permasalahan keterkaitan struktur pada fungsi. Untuk melihat apakah mahasiswa sudah mampu mengintegrasikan konsep yang koheren, mereka diminta untuk mengajukan hipotesis

dan alasan pengajuan hipotesis terhadap permasalahan keterkaitan struktur pada fungsi.

Hasil uji coba memberikan informasi bahwa presentasi menggunakan media animasi memudahkan mahasiswa untuk diajak terlibat dalam pembelajaran. Mereka lebih mudah memahami konsep yang bersifat abstrak. Selain itu, media animasi membantu mahasiswa untuk mengamati dan mengidentifikasi struktur dari organ yang terlibat pada proses fisiologi. Dengan demikian, pemberian penjelasan yang koheren melalui animasi membantu pengetahuan baru berinteraksi dengan pengetahuan yang telah dimiliki mahasiswa.

Adapun penggunaan *prior knowledge* juga sangat membantu proses pengintegrasian struktur pada fungsi, terutama pengetahuan tentang variasi struktur dari suatu organ yang dikaitkan dengan fungsi fisiologis tertentu. Mahasiswa mampu menjelaskan karakteristik struktur organ yang dikaitkan dengan fungsi pada lingkungan tertentu. Contohnya dalam menjelaskan bentuk stomata yang dikaitkan dengan proses transpirasi dan fotosintesis pada kondisi lingkungan yang berbeda.

Strategi mengemukakan masalah melalui diskusi berjalan dengan baik. Mahasiswa menjadi lebih aktif berpikir dan berusaha untuk mengidentifikasi masalah dengan cara mengaitkan karakteristik jaringan suatu organ tumbuhan dengan fungsi organ tersebut. Akan tetapi mahasiswa masih memiliki kemampuan terbatas dalam mengintegrasikan konsep yang koheren. Hal ini dapat dilihat pada saat mahasiswa mengemukakan karakteristik struktur organ yang dikaitkan pada fungsinya. Sebagai contoh, dalam mengemukakan proses transpirasi, mahasiswa hanya mengungkapkan struktur epidermis, sedangkan struktur daun yang lainnya tidak mereka ungkapkan. Hal yang sama dikemukakan ketika membahas struktur akar dan batang. Pelaksanaan diskusi memerlukan waktu yang lama sehingga waktu yang disediakan selama 20 menit ternyata tidak mencukupi. Selain itu, beberapa mahasiswa yang berkemampuan rendah terlihat pasif ketika mengikuti pembelajaran.

Pada tahap ini diperlukan perbaikan terutama untuk mendukung keterlaksanaan strategi mengemukakan masalah.

Agar pelaksanaan strategi mengemukakan masalah dapat terlaksana dengan baik, mahasiswa harus mampu terlebih dahulu mengidentifikasi struktur jaringan organ tumbuhan yang berperan dalam proses fisiologi. Waktu yang dialokasikan pada tahap ini harus ditambah.

Ketiga, tahap perluasan dan penghalusan pengetahuan. Tahap ini diawali dengan strategi pemrosesan data dengan cara memberikan gambar organ-organ dengan struktur yang berbeda serta data proses fisiologi yang dipengaruhi oleh lingkungan selanjutnya gambar beserta data diinterpretasikan oleh mahasiswa untuk menjelaskan bagaimana struktur tumbuhan yang berbeda memengaruhi proses fisiologi. Strategi berikutnya mahasiswa merumuskan prinsip-prinsip proses fisiologi berdasarkan perbedaan struktur organ tumbuhan dan mahasiswa mempresentasikan hasil perumusan beserta alasannya.

Kriteria keterlaksanaan strategi pada tahap perluasan dan penghalusan pengetahuan adalah mahasiswa dapat merumuskan prinsip-prinsip keterkaitan struktur pada fungsi. Untuk lebih meyakinkan bahwa mahasiswa mampu menerapkan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi, mahasiswa diminta untuk membuat skema kognitif menggunakan peta konsep.

Hasil uji coba pada tahap perluasan dan penghalusan pengetahuan menunjukkan bahwa data laju transpirasi dan fotosintesis yang disertai gambar organ tumbuhan dengan struktur yang berbeda membantu mahasiswa untuk merumuskan prinsip keterkaitan pada fungsi walaupun masih sederhana. Mahasiswa belum secara komprehensif melihat keseluruhan jaringan pada suatu organ dalam merumuskan prinsip keterkaitan pada fungsi. Demikian pula pada saat presentasi, mahasiswa masih terlihat mengalami kesulitan dalam memberikan alasan yang lebih komprehensif. Mahasiswa tidak memiliki kesempatan untuk melaksanakan strategi membuat skema kognitif dalam bentuk peta konsep karena waktu yang disediakan tersita untuk melaksanakan diskusi merumuskan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi dan pelaksanaan presentasi.

Strategi yang digunakan pada tahap perluasan dan penghalusan pengetahuan belum dapat dilaksanakan secara sempurna karena

mahasiswa masih memiliki kendala dalam melakukan identifikasi perbedaan jaringan pada organ tumbuhan. Untuk menghilangkan kendala tersebut diperlukan strategi lain agar mahasiswa memiliki kemampuan mengidentifikasi perbedaan jaringan pada organ tumbuhan.

Keempat, tahap belajar menggunakan pengetahuan secara bermakna. Pada tahap ini, kemudian digunakan strategi merancang eksperimen yakni mahasiswa diharuskan dapat merancang eksperimen yang dapat dilaksanakan dalam waktu satu jam. Hasil rancangan eksperimen harus disertai penjelasan mengenai alasan pemilihan jenis tumbuhan berdasarkan struktur organnya serta kondisi lingkungan. Tahapan ini dapat dikatakan berhasil apabila mahasiswa merancang eksperimen dengan menerapkan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan.

Hasil uji coba pada tahap ini menunjukkan bahwa strategi eksperimen belum terlaksana dengan sempurna karena masih ada beberapa kekurangan. Mahasiswa sudah memahami bagaimana cara merancang eksperimen, tetapi masih mengalami kesulitan untuk menerapkan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi dari tumbuhan yang dipilihnya. Ketika mempresentasikan rancangan eksperimen secara berkelompok, mahasiswa dari kelompok lain kurang memberikan argumentasinya. Hal ini disebabkan kebanyakan mahasiswa belum mampu menerapkan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan.

Dari hasil analisis terhadap keterlaksanaan strategi yang diterapkan pada model PeNKIM yang diujicobakan, ditemukan beberapa hal yang perlu diperbaiki. *Pertama*, strategi mengemukakan masalah (*problem statement*) melalui diskusi memerlukan waktu yang lama karena mahasiswa masih mengalami kesulitan mengintegrasikan pengetahuan struktur pada fungsi. Hal ini menunjukkan bahwa strategi mengemukakan masalah melalui diskusi belum secara efektif mendukung mahasiswa dalam melihat bagaimana materi fisiologi tumbuhan berhubungan dengan materi anatomi tumbuhan. Untuk itu diperlukan strategi lain yang dapat mendukung kemampuan mahasiswa untuk mengemukakan masalah.

Kedua, strategi merumuskan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi belum terlaksana dengan baik. Untuk meningkatkan keterlaksanaan strategi tersebut perlu dikembangkan kemampuan mengidentifikasi struktur tumbuhan untuk menginterpretasi bukti keterkaitan struktur pada fungsi serta menyimpulkannya sesuai dengan bukti yang ada.

Ketiga, strategi merancang eksperimen belum dapat dilaksanakan dengan baik terutama pada saat mengemukakan hasil rancangan eksperimennya. Mahasiswa mengalami kesulitan merumuskan hipotesis tentang keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan sebagai akibat keterbatasan mahasiswa dalam mengintegrasikan konsep yang koheren. Argumentasi pada saat diskusi sangatlah kurang karena mahasiswa memang telah mengajukan argumen terhadap rumusan hipotesis, tetapi tidak berdasarkan fakta atau data keterkaitan struktur pada fungsi.

Berikut upaya yang dilakukan untuk memperbaiki strategi pembelajaran pada model PeNKIM.

- a. Pengembangan kemampuan mengidentifikasi struktur jaringan pada organ tumbuhan.
- b. Pemberian contoh *graphic organizer* yang menggambarkan keterkaitan struktur pada fungsi untuk menjelaskan kepada mahasiswa bahwa adanya perbedaan struktur pada organ tertentu akan memengaruhi proses fisiologi yang terjadi pada organ tersebut.
- c. Pemberian contoh gambar keterkaitan struktur pada fungsi lebih bervariasi dan diberikan pula ketika menjelaskan karakteristik struktur organ yang berperan pada proses fisiologi.
- d. Melakukan pengukuran *intrinsic load* untuk mengetahui kemampuan mahasiswa dalam memproses dan menganalisis informasi serta kesulitan mahasiswa dalam mengintegrasikan struktur pada fungsi.
- e. Penambahan alokasi waktu untuk memberikan kesempatan kepada mahasiswa dalam melaksanakan diskusi dan mempresentasikan hasil diskusi.

2. Urutan materi

Integrasi struktur pada fungsi tumbuhan bertujuan untuk memfasilitasi mahasiswa dalam menghubungkan pengetahuan struktur ketika mempelajari fisiologi tumbuhan. Pada dasarnya, fungsi dan struktur tubuh tumbuhan memiliki hubungan yang sangat erat. Oleh karena itu, untuk mempelajari fungsi jaringan atau organ tertentu, terlebih dahulu harus memahami struktur organ dan jaringan yang dimaksud.

Konsep yang dipilih untuk diajarkan pada implementasi model pembelajaran PeNKIM adalah transpirasi dan fotosintesis karena untuk memahaminya sangat diperlukan interkoneksi antara struktur pada fungsi. Materi stuktur pada fungsi harus terintegrasi sehingga keduanya merupakan satu kesatuan yang saling berhubungan. Berikut gambaran strategi penyampaian materi struktur dan fungsi tumbuhan yang terintegrasi.

a. Transpirasi

- 1) Menjelaskan struktur tumbuhan yang berperan dalam proses transpirasi.
- 2) Menjelaskan proses-proses fisika yang berkaitan dengan struktur akar, batang, dan daun saat transpirasi.
- 3) Membandingkan kecepatan transpirasi berdasarkan perbedaan struktur akar, batang, dan daun pada beberapa spesies.
- 4) Menganalisis perbedaan struktur akar, batang, dan daun terhadap proses transpirasi.
- 5) Menjelaskan faktor-faktor yang memengaruhi transpirasi dan kaitannya dengan struktur tumbuhan.
- 6) Mengevaluasi perbedaan struktur tumbuhan terkait strategi adaptasi tumbuhan pada lingkungan tempat hidupnya.

b. Fotosintesis

- 1) Menjelaskan struktur tumbuhan yang berperan dalam proses fotosintesis.
- 2) Menjelaskan reaksi fiksasi CO_2 yang terjadi pada tumbuhan C3, C4, dan CAM berkaitan dengan perbedaan struktur daun pada saat fotosintesis.

- 3) Membandingkan tempat reaksi yang membutuhkan cahaya dan reaksi yang tidak membutuhkan cahaya pada proses fotosintesis berdasarkan perbedaan struktur daun pada beberapa spesies.
- 4) Menganalisis perbedaan struktur daun terhadap proses fotosintesis.
- 5) Menjelaskan faktor-faktor yang memengaruhi fotosintesis dan kaitannya dengan struktur daun.
- 6) Mengevaluasi perbedaan struktur daun terhadap strategi adaptasi tumbuhan pada lingkungan tempat hidupnya.

Berdasarkan strategi penyampaian materi struktur dan fungsi tumbuhan yang terintegrasi maka struktur dan urutan materi untuk memfasilitasi pengintegrasian struktur pada fungsi tumbuhan menggunakan model PeNKIM dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4 Struktur dan Urutan Materi yang Diterapkan pada Model PeNKIM

Tahap	Urutan Materi	Strategi yang Digunakan
Mengembangkan sikap dan persepsi positif (20 menit).	Keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan.	<ul style="list-style-type: none"> • Presentasi keterkaitan struktur pada fungsi. • Memberikan permasalahan tentang keterkaitan struktur pada fungsi dalam kondisi lingkungan yang berbeda.

Belajar untuk pemerolehan dan pengintegrasian (20 menit).	Keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan.	<ul style="list-style-type: none"> • Presentasi menggunakan media animasi. • Penggunaan <i>prior knowledge</i> tentang struktur tumbuhan. • Pembentukan kelompok kecil dalam melaksanakan diskusi. • Mengemukakan masalah (<i>problem statement</i>) keterkaitan struktur pada fungsi.
Perluasan, penghalusan, dan pengetahuan (30 menit).	Perbedaan struktur organ tumbuhan dikaitkan dengan proses fisiologi.	<ul style="list-style-type: none"> • Pemrosesan data dengan cara memberikan gambar organ-organ dengan struktur yang berbeda serta data proses fisiologi yang dipengaruhi lingkungan. • Perumusan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi. • Mempresentasikan hasil perumusan beserta alasannya. • Membuat skema kognitif berupa peta konsep.
Belajar menggunakan pengetahuan secara bermakna (30 menit).	Strategi adaptasi	<ul style="list-style-type: none"> • Merancang eksperimen

Materi yang diberikan kepada mahasiswa pada uji coba pertama ini adalah sebagai berikut.

1. Keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan memberikan gambaran adanya perbedaan struktur pada organ yang sama akan selalu berkaitan dengan proses fisiologi pada kondisi lingkungan tertentu.

2. Perbedaan struktur organ tumbuhan dikaitkan dengan proses fisiologi yakni memberikan gambaran tentang karakteristik struktur dari organ tumbuhan yang berperan dalam proses fisiologi dan prinsip-prinsip proses fisiologi berdasarkan perbedaan struktur organ.
3. Strategi adaptasi berarti menjelaskan tentang bagaimana suatu organ pada tumbuhan akan memodifikasi struktur dan proses fisiologinya untuk dapat bertahan hidup sesuai dengan kondisi lingkungannya.

Hasil pengamatan pada uji coba pertama ini menunjukkan bahwa selama proses pembelajaran, materi keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan yang diberikan pada tahap mengembangkan sikap dan persepsi positif memfasilitasi pemahaman mahasiswa bahwa proses fisiologi selalu berkaitan dengan struktur dan lingkungan tempat tumbuh. Pada tahap ini mahasiswa sudah mampu memberikan contoh keterkaitan struktur pada fungsi dengan baik. Selain itu, mahasiswa telah mampu memberikan contoh keterkaitan struktur dan fungsi berdasarkan tumbuhan yang mereka temukan di lingkungan tempat tinggalnya. Sebagai contoh, mahasiswa yang tinggal di daerah bersuhu tinggi memberikan contoh keterkaitan struktur sel kipas dan stomata bentuk halter pada tumbuhan tebu dengan proses transpirasi. Waktu yang dipergunakan untuk memberikan materi keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan juga sesuai dengan alokasi waktu yang direncanakan, begitupun tujuan pemberian materi ini sudah sesuai dengan yang diharapkan.

Materi keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan yang diberikan pada tahap belajar untuk pemerolehan dan pengintegrasian juga dibantu dengan media animasi. Materi tersebut membantu mahasiswa dalam menentukan karakteristik struktur tumbuhan dan menghubungkannya dengan fungsi tumbuhan. Mahasiswa memahami adanya karakteristik tertentu pada struktur tumbuhan yang berkaitan dengan proses fisiologi, yang menjadi pertanda kondisi lingkungan tempat hidup tumbuhan tersebut. Namun materi keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan belum dapat memfasilitasi mahasiswa dalam memberikan alasan pengajuan hipotesis. Hal ini disebabkan dalam

memberikan alasan, mahasiswa diharuskan mengidentifikasi jaringan yang terdapat pada suatu organ yang terlibat dalam proses fisiologi. Ketidakmampuan mahasiswa dalam mengidentifikasi jaringan tumbuhan memberikan dampak terhadap waktu yang digunakan untuk diskusi dan mengemukakan masalah (*problem statement*).

Materi perbedaan struktur organ tumbuhan dikaitkan dengan proses fisiologi yang diberikan pada tahap perluasan dan penghalusan pengetahuan. Penyampaian materi tersebut menggunakan media gambar organ-organ tumbuhan dengan struktur yang berbeda serta data proses fisiologi yang dipengaruhi lingkungan. Materi perbedaan struktur organ tumbuhan terhadap proses fisiologi dapat membantu mahasiswa dalam merumuskan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi. Sebagai contoh, pada saat membahas fotosintesis mahasiswa dapat merumuskan prinsip bahwa bentuk stomata yang berbeda dapat berpengaruh terhadap kemampuan menyerap CO_2 . Namun mereka belum mampu mengemukakan alasan berdasarkan perbedaan struktur stomata. Hal ini disebabkan sebagian besar mahasiswa belum mampu mengidentifikasi perbedaan jaringan pada organ yang berkaitan dengan karakteristik jaringan dengan proses fisiologi. Waktu yang digunakan untuk memberikan alasan dalam merumuskan prinsip menjadi lebih lama karena ketidakmampuan dalam mengidentifikasi perbedaan jaringan pada organ tumbuhan.

Materi strategi adaptasi diberikan pada tahap belajar menggunakan pengetahuan secara bermakna. Materi tersebut terlebih dahulu disampaikan dengan cara memberikan gambaran dalam merumuskan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan. Selanjutnya mahasiswa diminta untuk merancang eksperimen dengan menerapkan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan. Berdasarkan hasil pengamatan, materi strategi adaptasi dapat membantu mahasiswa dalam memilih tumbuhan yang disesuaikan dengan kondisi lingkungan. Mahasiswa telah mampu menentukan tumbuhan yang akan digunakan dalam melaksanakan praktikum sesuai dengan kondisi lingkungan. Akan tetapi, mereka masih tampak mengalami kesulitan dalam memberikan alasan.

Kemudian dari hasil analisis struktur dan urutan materi yang diterapkan pada pembelajaran model PeNKIM ditemukan beberapa hal.

- a. Materi keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan yang disampaikan pada tahap belajar untuk pemerolehan dan pengintegrasian belum memfasilitasi mahasiswa dalam memberikan alasan pengajuan hipotesis. Mahasiswa masih memiliki beban kognitif dalam hal mengidentifikasi jaringan pada organ tumbuhan.
- b. Ketidakmampuan mahasiswa dalam mengidentifikasi jaringan pada tumbuhan menyebabkan beban kognitif pada saat mempelajari materi perbedaan struktur organ tumbuhan terhadap proses fisiologi dan materi strategi adaptasi. Hal ini dibuktikan dengan mahasiswa yang belum mampu merumuskan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi serta merancang eksperimen dengan baik.

Dengan demikian, struktur dan urutan materi pada pembelajaran model PeNKIM harus diperbaiki agar dapat mengurangi beban kognitif mahasiswa dalam mempelajari fisiologi tumbuhan secara terintegrasi. Perbaikan dilakukan pada materi keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan yang disampaikan pada tahap belajar untuk pemerolehan dan pengintegrasian. Pada saat mahasiswa mempelajari materi tersebut, mahasiswa dibimbing untuk melakukan identifikasi jaringan pada organ tumbuhan yang berkaitan dengan proses fisiologi sehingga mahasiswa yang memiliki pengetahuan awal kurang tentang struktur tumbuhan dapat difasilitasi untuk menghubungkan keterkaitan struktur pada fungsi secara koheren.

Uji Coba Tahap Kedua

Berbeda dengan uji coba tahap pertama, uji coba pada tahap kedua ini dilaksanakan terhadap 22 orang mahasiswa semester IV tahun ajaran 2010/2011 yang tengah melaksanakan semester pendek pada mata kuliah anatomi tumbuhan. Setelah menempuh semester pendek, kemudian mahasiswa diberikan pembelajaran PeNKIM untuk mengintegrasikan struktur tumbuhan pada fungsi ketika mempelajari fisiologi tumbuhan.

1. Strategi pembelajaran

Indikator keberfungsian strategi pembelajaran pada model PeNKIM dalam melatih kemampuan menganalisis informasi dapat dilihat apakah strategi yang diterapkan dapat memfasilitasi mahasiswa dalam hal:

- a. memilih informasi yang relevan;
- b. mengorganisasi materi menjadi representasi yang logis;
- c. mengintegrasikan materi yang sedang dipelajari dengan pengetahuan yang telah ada;
- d. mengidentifikasi jaringan pada organ tumbuhan;
- e. merumuskan prinsip-prinsip proses fisiologi berdasarkan struktur organ yang berbeda; dan
- f. merancang eksperimen berdasarkan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan sesuai dengan kondisi lingkungan.

Strategi pembelajaran yang ditambahkan pada uji coba kedua adalah sebagai berikut.

- a. Diskusi terfokus dengan bimbingan dosen diterapkan pada tahap belajar untuk pemerolehan dan pengintegrasian. Diskusi terfokus mengarahkan mahasiswa untuk mengidentifikasi jaringan pada organ tumbuhan. Mahasiswa dibimbing oleh dosen untuk melakukan identifikasi pada saat menyampaikan materi keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan. Tujuan melakukan identifikasi pada tahap belajar untuk pemerolehan dan pengintegrasian adalah memfasilitasi mahasiswa dalam menjelaskan karakteristik struktur organ yang berperan pada proses fisiologi. Kemampuan mahasiswa dalam mengidentifikasi jaringan tumbuhan dapat memudahkan mahasiswa dalam menerapkan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan dan memberikan alasan dalam memilih jenis tumbuhan yang digunakan dalam praktikum berdasarkan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan.
- b. Penambahan contoh gambar keterkaitan struktur pada fungsi pada tahap perluasan dan penghalusan pengetahuan. Penambahan contoh gambar difokuskan pada gambar yang memperlihatkan variasi jaringan pada satu organ yang sama dan hidup pada lingkungan yang sama pula. Contohnya

dengan memperlihatkan variasi jaringan pada beberapa jenis daun yang hidup di daerah xerofit. Tujuan penambahan contoh gambar pada tahap ini adalah untuk mengarahkan mahasiswa melihat variasi jaringan pada suatu organ yang berkaitan dengan fungsinya. Ditambahkannya gambar pada konsep-konsep yang bersifat abstrak dan memiliki kompleksitas yang tinggi diharapkan akan membantu mahasiswa dalam memproses informasi pada memori kerja.

- c. Pemberian contoh *graphic organizer* pada tahap perluasan dan penghalusan pengetahuan. *Graphic organizer* diberikan setelah menyampaikan materi perbedaan struktur organ tumbuhan terhadap proses fisiologi. Hal ini bertujuan untuk membantu pembentukan skema kognitif agar mahasiswa dapat menggambarkan skema kognitifnya dalam bentuk peta konsep.
- d. Pengukuran *intrinsic load* dilaksanakan pada tahap belajar untuk pemerolehan, tahap perluasan dan penghalusan pengetahuan, serta tahap belajar menggunakan pengetahuan secara bermakna. Tujuan pengukuran *intrinsic load* pada tahap tersebut adalah untuk melihat kemampuan mahasiswa dalam memilih informasi yang relevan, mengorganisasi materi menjadi representasi yang logis, dan mengintegrasikan materi yang sedang dipelajari dengan pengetahuan yang telah ada.
- e. Penambahan alokasi waktu pada tahap belajar untuk pemerolehan dan pengintegrasian, perluasan dan penghalusan pengetahuan, serta belajar menggunakan pengetahuan secara bermakna. Tujuan penambahan alokasi waktu adalah memberikan kesempatan kepada dosen untuk membimbing mahasiswa mengidentifikasi jaringan tumbuhan, memberikan contoh *graphic organizer*, dan mengerjakan tugas untuk mengukur *intrinsic load*.

Perubahan strategi pembelajaran dan urutan materi dilakukan berdasarkan hasil uji coba pertama. Tujuan perubahan tersebut untuk melatih kemampuan mahasiswa dalam menganalisis informasi. Strategi pembelajaran dan struktur urutan materi dalam melatih kemampuan mahasiswa menganalisis informasi pada uji coba kedua sebagaimana diperlihatkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 5 Strategi Pembelajaran dan Struktur Urutan Materi

Tahap	Urutan materi	Strategi yang digunakan
Mengembangkan sikap dan persepsi positif (20 menit).	Keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan	<ul style="list-style-type: none"> • Presentasi keterkaitan struktur pada fungsi. • Memberikan permasalahan tentang keterkaitan struktur pada fungsi dalam kondisi lingkungan yang berbeda.
Belajar untuk pemerolehan dan pengintegrasian (40 menit).	Keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan	<ul style="list-style-type: none"> • Presentasi menggunakan media animasi. • Penggunaan <i>prior knowledge</i> tentang struktur tumbuhan. • Diskusi terfokus untuk mengidentifikasi jaringan pada organ tumbuhan*. • Pembentukan kelompok kecil dalam melaksanakan diskusi. • Mengemukakan masalah (<i>problem statement</i>) keterkaitan struktur pada fungsi. • Pengukuran <i>intrinsic load</i>*.
Perluasan dan penghalusan pengetahuan (60 menit).	Perbedaan struktur organ tumbuhan dikaitkan dengan proses fisiologi.	<ul style="list-style-type: none"> • Memberikan gambar struktur suatu organ yang bervariasi berdasarkan lingkungan tempat tumbuhnya*. • Pemrosesan data dengan cara memberikan gambar organ-organ dengan struktur yang berbeda serta data proses fisiologi yang dipengaruhi lingkungan. • Perumusan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi. • Mempresentasikan hasil perumusan beserta alasannya. • Memberikan contoh <i>graphic organizer</i>*. • Membuat skema kognitif berupa peta konsep. • Pengukuran <i>intrinsic load</i>*.

Belajar menggunakan pengetahuan secara bermakna (30 menit).	Strategi adaptasi	<ul style="list-style-type: none"> • Merancang eksperimen. • Pengukuran <i>intrinsic load</i>*.
---	-------------------	---

Keterangan:

*menunjukkan perubahan yang terjadi pada uji coba kedua.

Adapun perbandingan model PeNKIM pada uji coba pertama dan uji coba kedua.

Tabel 6 Perbandingan Model PeNKIM pada Uji Coba Pertama dan Kedua

Hasil Validasi pakar pada uji coba I Model PeNKIM pada uji coba I (hasil perbaikan berdasarkan hasil uji coba I)			Hasil Validasi pakar pada uji coba II Model PeNKIM pada uji coba II (hasil perbaikan berdasarkan hasil uji coba II)		
Tahap	Kegiatan yang dilakukan dosen	Kegiatan yang dilakukan mahasiswa	Tahap	Kegiatan yang dilakukan dosen	Kegiatan yang dilakukan mahasiswa
Mengembangkan sikap dan persepsi positif	Merepresentasikan keterkaitan struktur tumbuhan pada fungsi tumbuhan dengan menekankan penerapan konsep keterkaitan struktur pada fungsi terhadap permasalahan di lingkungan untuk memberikan gambaran dalam mengintegrasikan pengetahuan struktur pada fungsi.	Menjawab pertanyaan secara individual tentang contoh perbedaan struktur yang berkaitan dengan fungsi pada lingkungan tertentu.	Mengembangkan sikap dan persepsi positif	Merepresentasikan keterkaitan struktur tumbuhan pada fungsi tumbuhan dengan menekankan penerapan konsep keterkaitan struktur pada fungsi terhadap permasalahan di lingkungan, untuk memberikan gambaran dalam mengintegrasikan pengetahuan struktur pada fungsi.	Menjawab pertanyaan secara individual tentang contoh perbedaan struktur yang berkaitan dengan fungsi pada lingkungan tertentu.
Belajar untuk pemerolehan dan pengintegrasian	Penjelasan materi dibantu media animasi tentang karakteristik struktur akar, batang dan daun yang berperan pada proses fisiologi.	Mendiskusikan karakteristik struktur akar, batang dan daun yang berperan pada proses fisiologi menggunakan <i>prior knowledge</i> untuk mengajukan hipotesis dan alasan pengujian hipotesis	Belajar untuk pemerolehan dan pengintegrasian	a. Penjelasan materi dibantu media animasi tentang karakteristik struktur akar, batang dan daun yang berperan pada proses fisiologi. b. Membimbing diskusi terfokus pada saat mahasiswa mengidentifikasi jaringan pada organ tumbuhan.	a. Mengidentifikasi dan menginterpretasi bukti keterkaitan struktur pada fungsi, serta menyimpulkan sesuai dengan bukti yang ada b. Mendiskusikan karakteristik struktur akar, batang dan daun yang berperan pada proses fisiologi menggunakan <i>prior knowledge</i> untuk mengajukan hipotesis dan alasan pengujian hipotesis. c. Menjawab 1 pertanyaan dari instrumen <i>intrinsic load</i> secara berkelompok
Perluasan dan penghalusan pengetahuan	a. Memberikan gambar organ-organ tumbuhan dengan struktur yang berbeda serta data proses fisiologi yang dipengaruhi oleh lingkungan. b. Membuat skema kognitif integrasi struktur pada fungsi berupa peta konsep.	a. Merumuskan prinsip-prinsip proses fisiologi berdasarkan perbedaan struktur organ dan setiap kelompok mengemukakan hasil perumusannya beserta alasannya b. Membuat skema kognitif integrasi struktur pada fungsi berupa peta konsep.	Perluasan dan penghalusan pengetahuan	a. Memberikan gambar struktur suatu organ yang bervariasi berdasarkan lingkungan tempat tumbuhnya, serta data proses fisiologi yang dipengaruhi oleh lingkungan. b. Memberikan contoh <i>graphic organizer</i> (matrik perbandingan) yang menggambarkan keterkaitan antara struktur dan fungsi tumbuhan	a. Merumuskan prinsip-prinsip proses fisiologi berdasarkan perbedaan struktur organ dan setiap kelompok mengemukakan hasil perumusannya beserta alasannya b. Membuat skema kognitif integrasi struktur pada fungsi berupa peta konsep c. Menjawab 1 pertanyaan dari instrumen <i>intrinsic load</i> secara berkelompok
Belajar menggunakan pengetahuan secara bermakna	Memberikan tugas merancang eksperimen yang dapat dilaksanakan dalam waktu 1 jam.	Merancang eksperimen dengan menerapkan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan.	Belajar menggunakan pengetahuan secara bermakna	Memberikan tugas merancang eksperimen yang dapat dilaksanakan dalam waktu 1 jam.	a. Merancang eksperimen dengan menerapkan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan yang disesuaikan dengan kondisi lingkungan. b. Menjawab 1 pertanyaan dari instrumen <i>intrinsic load</i> secara berkelompok

2. Keberfungsian strategi pembelajaran dalam melatih kemampuan mahasiswa mengalisis informasi.

Strategi dan alokasi waktu yang berubah pada uji coba kedua adalah pada tahap belajar untuk pemerolehan dan pengintegrasian, perluasan dan penghalusan pengetahuan, serta belajar menggunakan pengetahuan secara bermakna. Seluruh

tahapan pada pembelajaran model PeNKIM dilaksanakan dalam waktu 150 menit. Kemampuan mahasiswa dalam menganalisis informasi diidentifikasi menggunakan instrument *intrinsic load*. Keberfungsian strategi pembelajaran dalam melatih kemampuan mahasiswa menganalisis informasi dapat dilihat dari kemampuan mahasiswa dalam mengintegrasikan pengetahuan tentang struktur pada fungsi secara komprehensif.

Pada tahap belajar untuk pemerolehan dan pengintegrasian, mahasiswa selain memperhatikan penjelasan keterkaitan struktur pada fungsi yang dibantu dengan media animasi, mahasiswa juga melakukan identifikasi dan interpretasi dari suatu organ. Pada tahap perluasan dan penghalusan pengetahuan, mahasiswa diberi gambar struktur suatu organ yang bervariasi berdasarkan lingkungan tempat tumbuhnya dan *graphic organizer*. Penambahan contoh gambar memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk melihat variasi jaringan pada organ yang sama berdasarkan lingkungan tempat tumbuhnya. Pemberian *graphic organizer* memberikan gambaran kepada siswa bagaimana menghubungkan keterkaitan struktur pada tumbuhan secara koheren.

Pengukuran *intrinsic load* pada setiap tahap pembelajaran dilakukan secara berkelompok untuk mengetahui kemampuan mahasiswa dalam memproses dan menganalisis informasi setelah melaksanakan diskusi sehingga mereka dapat menggunakan hasil diskusi untuk memilih informasi yang relevan dan mengorganisasikan materi menjadi representasi yang logis.

Berdasarkan hasil analisis penurunan *intrinsic load* yang ditunjukkan dengan kemampuan mahasiswa dalam menyelesaikan tugas, target yang telah ditetapkan belum tercapai. Masih banyak soal-soal yang belum dijawab dengan benar, terutama soal-soal yang berkaitan dengan indikator mengonstruksi dukungan dengan mengajukan bukti perbedaan struktur tumbuhan terhadap strategi adaptasi yang dilakukan oleh tumbuhan, penerapan prinsip-prinsip struktur pada fungsi tumbuhan, serta merumuskan hipotesis dan merancang eksperimen berdasarkan prinsip keterkaitan struktur terhadap proses fisiologi.

Strategi pengintegrasian struktur pada fungsi dengan terlebih dahulu melakukan identifikasi dan interpretasi struktur sebelum

mendiskusikan karakteristik struktur organ dapat memberikan pengalaman yang bermakna bagi mahasiswa dalam mempelajari fisiologi tumbuhan karena mahasiswa akan selalu menghubungkan struktur organ terhadap fungsinya. Contohnya, mahasiswa dapat memahami perbedaan bentuk stomata antara tumbuhan monokotil dan dikotil dan mampu menghubungkan dengan kecepatan transpirasi. Akan tetapi mahasiswa belum mampu membangun pengetahuan yang mengintegrasikan beberapa informasi yang lebih kompleks. Hal ini terbukti pada saat mahasiswa berdiskusi dan memberikan argumentasi, belum mampu menganalisis kesalahan konsep keterkaitan struktur pada fungsi terhadap strategi adaptasi pada lingkungannya. Ketidakmampuan tersebut berdampak pada ketidakmampuan mahasiswa dalam menjawab soal-soal yang berkaitan dengan penerapan prinsip-prinsip struktur pada fungsi tumbuhan dan merancang eksperimen.

Pemberian soal-soal pada setiap tahap pada model PeNKIM ternyata berdampak pada memori kerja mahasiswa dalam memahami konsep-konsep yang memiliki interkoneksi tinggi. Hal ini sebagai akibat *split attention* yang dialami mahasiswa. Sebagai contoh, mahasiswa menjadi kurang fokus dalam mengerjakan soal-soal karena dalam waktu yang bersamaan harus menganalisis informasi keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan, serta juga melaksanakan diskusi.

Penambahan contoh gambar pada tahap perluasan dan penghalusan pengetahuan membantu mahasiswa terutama dalam memilih jenis tumbuhan pada saat merancang eksperimen. Akan tetapi baru 3 dari 6 kelompok yang sudah mampu memberikan alasan pemilihan jenis tumbuhan berdasarkan prinsip-prinsip keterkaitan struktur pada fungsi dengan benar. Mahasiswa sebenarnya sudah terbantu dengan penambahan contoh gambar dalam memproses dan menganalisis informasi pada memori kerja untuk memilih informasi yang relevan. Adanya *split attention* menyebabkan kelebihan kapasitas pemrosesan pada sistem kognitif karena mahasiswa dituntut untuk mengerjakan soal-soal, berdiskusi, serta memahami materi yang memiliki interkoneksi tinggi melalui representasi verbal dan bergambar secara bersamaan pada setiap tahap pembelajaran.

Pemberian contoh *graphic organizer* belum banyak membantu pembentukan skema kognitif mahasiswa dalam bentuk peta konsep. Sebagian besar mahasiswa masih mengalami kesulitan dalam menentukan proposisi dan hierarki konsep serta tidak ada satu kelompokpun yang menggambarkan ikatan silang antara satu konsep dengan konsep yang lain. Berikut ditampilkan skor rata-rata kemampuan menganalisis informasi pada uji coba kedua.

Tabel 7 Skor Rata-Rata Kemampuan Menganalisis Informasi

Aspek	KELOMPOK												Rata-Rata
	I		II		III		IV		V		VI		
	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F	T	F	
I	3	3	3	3,5	3,6	3	2,4	2,5	2,6	2	3	2,5	2,84
II	2,75	2,75	3	3,5	2,75	2,5	2,5	2,5	2,5	2,25	3,25	2,5	2,68
III	1	4	3	3	1	4	1	1	1	4	1	3	2,25
IV	1	1	3	1	1	1	3	2	3	1	1	2	1,67
Rata-rata	1,94	2,69	3	2,75	2,09	2,63	2,22	2,00	2,28	2,31	2,06	2,25	2,36
	2,32		2,88		2,36		2,11		2,30		2,16		

Keterangan:

T: transpirasi

F: fotosintesis

Aspek I: identifikasi komponen-komponen struktur yang relevan dengan fungsi.

Aspek II: integrasi struktur pada fungsi tumbuhan.

Aspek III: menerapkan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi.

Aspek IV: merancang eksperimen.

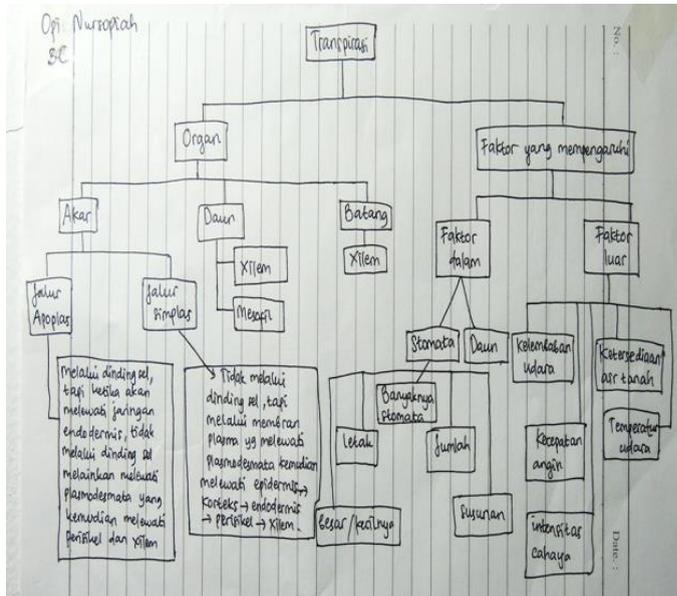
Berdasarkan tabel tersebut, kemampuan mahasiswa dalam mengidentifikasi komponen struktur yang relevan dengan fungsi memiliki skor rata-rata paling tinggi, sedangkan kemampuan merancang eksperimen memiliki rata-rata skor paling rendah. Kemampuan mahasiswa dalam mengidentifikasi komponen struktur yang relevan dengan fungsi mendeskripsikan bahwa:

- mahasiswa telah mampu memilih jaringan dari suatu organ untuk dibandingkan dan dihubungkan dengan proses fisiologi tertentu;
- mahasiswa mampu mengidentifikasi persamaan dan perbedaan jaringan pada suatu organ terkait fungsi; dan

- c. mahasiswa mampu menjelaskan dan menetapkan pengelompokan tumbuhan berdasarkan karakteristik jaringan penyusun organ tumbuhan.

Dengan demikian, kemampuan mahasiswa dalam mengintegrasikan struktur pada fungsi tumbuhan dianggap cukup baik. Dalam hal ini, mahasiswa mampu untuk mengintegrasikan pengetahuan tentang struktur tumbuhan pada fungsi tumbuhan dan menganalisis kesalahan konsep keterkaitan struktur pada fungsi terhadap strategi adaptasi pada lingkungan tempat hidupnya. Akan tetapi, mahasiswa masih mengalami kesulitan dalam mengonstruksi dukungan dengan mengajukan bukti perbedaan struktur tumbuhan terhadap strategi adaptasi yang dilakukannya.

Adapun contoh peta konsep seperti di bawah ini menunjukkan hierarki yang benar dan tidak pula menunjukkan hierarki dari umum ke spesifik sehingga penempatan hierarki jaringan pada suatu organ belum tepat. Proposisi antara konsep yang satu dengan konsep lainnya juga belum dituliskan dan masih memisahkan antara struktur dan fungsi. Mahasiswa cenderung hanya menekankan pada pengaruh lingkungan. Mahasiswa tidak membuat ikatan silang sehingga saat menerangkan proses fisiologi yang dipengaruhi oleh struktur dan lingkungan, penempatan jaringan-jaringan pada suatu organ diletakkan secara terpisah. Jadi, diketahui bahwa salah satu contoh peta konsep ini tidak dapat menggambarkan skema kognitif.



Gambar 18 Contoh peta konsep

Kemampuan mahasiswa dalam menerapkan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi dan merancang eksperimen masih rendah. Kesalahan yang paling umum dalam menerapkan prinsip hanya terfokus pada satu macam jaringan ketika melakukan analisis jaringan yang berperan dalam proses fisiologi. Contohnya saat membahas materi fotosintesis, mahasiswa hanya terpaku pada perbedaan jaringan mesofil dan tidak memberi alasan berdasarkan reaksi kimia yang terjadi. Rancangan eksperimen mahasiswa belum menggambarkan penerapan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan, terutama reaksi kimia maupun prinsip fisika yang menyertai proses fotosintesis maupun transpirasi.

Berdasarkan hasil pengujian terhadap kemampuan menganalisis informasi ditemukan empat hal penting.

- Mahasiswa telah mampu memilih objek belajar sesuai dengan makna ajar yang berindikasi mampu memilih jaringan pada organ akar, batang, maupun daun yang berperan dalam proses transpirasi maupun fotosintesis.
- Mahasiswa mampu mengidentifikasi keragaman struktur fungsi. Sebagai contoh mahasiswa mampu mengidentifikasi

persamaan dan perbedaan jaringan batang dikotil dan monokotil yang berperan dalam kecepatan proses penyerapan air. Proses penyerapan tersebut berkaitan dengan gaya adesi pada jaringan pembuluh antara lignin dan air pada tumbuhan dikotil serta selulosa dan air pada tumbuhan monokotil. Akan tetapi mahasiswa belum menjelaskan keterkaitan antara kecepatan proses penyerapan air yang dilakukan oleh batang dengan proses transpirasi. Mahasiswa mampu mengidentifikasi dengan baik persamaan dan perbedaan struktur epidermis, struktur jaringan pembuluh, bentuk, dan letak stomata pada daun tumbuhan dikotil dan monokotil yang berkaitan dengan laju fotosintesis dengan intensitas cahaya matahari.

- c. Mahasiswa belum mampu menerapkan atau menggunakan informasi yang diperoleh terutama untuk memberi alasan penerapan prinsip keterkaitan struktur terhadap fungsi tumbuhan dan merancang eksperimen.
- d. Kemampuan mahasiswa masih rendah dalam menghubungkan konsep-konsep melalui pembuatan peta konsep sehingga tidak dapat menggambarkan skema kognitif mahasiswa.

Penurunan *intrinsic load* dinilai dengan cara melihat kemampuan mahasiswa menganalisis informasi keterkaitan antara struktur pada fungsi tumbuhan. Penilaian yang dilakukan adalah dengan cara berikut.

Tabel 8 Skor Kemampuan Mahasiswa dalam Menganalisis Informasi pada Konsep Transpirasi dan Fotosintesis

Kelompok	Konsep		Rata-rata
	Transpirasi	Fotosintesis	
I	1,94	2,69	2,32
II	3	2,75	2,88
III	2,09	2,63	2,36
IV	2,22	2,00	2,11
V	2,28	2,31	2,30
VI	2,06	2,25	2,16
Rata-rata	2,27	2,44	2,36

Berdasarkan tabel di atas tampak bahwa rata-rata kemampuan mahasiswa dalam menganalisis informasi masih rendah yaitu

hanya mencapai skor rata-rata 2,36. Dari enam kelompok hanya satu kelompok yang memiliki nilai baik yaitu kelompok II karena telah melebihi 60% dari skor yang diharapkan, baik dari nilai pada proses transpirasi maupun fotosintesis. Sementara lima kelompok lainnya memiliki nilai kurang baik.

Kemampuan menganalisis pada konsep transpirasi lebih rendah dibandingkan fotosintesis. Hal ini tampak dari perolehan skor rata-rata tersebut. Empat dari enam kelompok memiliki skor rata-rata kemampuan menganalisis informasi pada konsep fotosintesis lebih baik dibandingkan skor rata-rata pada konsep transpirasi.

Dengan demikian ditemukan tiga poin mengenai perbedaan kemampuan mahasiswa dalam menganalisis konsep transpirasi dan fotosintesis.

- a. Konsep fotosintesis lebih dikuasai oleh mahasiswa. Perbedaan tersebut disebabkan mahasiswa baru mampu menyelesaikan dengan baik aspek identifikasi komponen-komponen struktur yang relevan pada fungsi dan aspek integrasi struktur pada fungsi. Selain itu, mahasiswa lebih mudah mengidentifikasi jaringan-jaringan yang berperan pada proses fotosintesis karena mereka hanya mengidentifikasi jaringan yang terdapat pada satu organ yaitu daun. Sementara pada konsep transpirasi melibatkan tiga macam organ, yaitu akar, batang, dan daun. Dengan demikian interkoneksi dalam mengidentifikasi jaringan yang berperan dalam proses transpirasi lebih tinggi dibandingkan interkoneksi jaringan yang berperan pada konsep fotosintesis.
- b. Mahasiswa belum mampu dengan baik menerapkan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi, terutama yang berhubungan dengan reaksi kimia yang terjadi pada proses fotosintesis. Sebagai contoh, mahasiswa masih kesulitan memberikan alasan mengapa pada tumbuhan C₄ dan CAM, CO₂ ditambat oleh PEP terlebih dahulu sebelum kemudian ditambat oleh RuPB. Selain itu, mahasiswa juga belum mampu menerapkan prinsip adanya seludang pembuluh dan jaringan mesofil yang berbeda pada tumbuhan C₄ dan CAM berkaitan dengan penambatan CO₂.

- c. Perolehan skor pada aspek menerapkan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi dan merancang eksperimen sangat rendah.

3. Kendala dalam pelaksanaan uji coba kedua

Kendala-kendala yang ditemui ketika uji coba kedua diuraikan sebagaimana berikut.

- a. Tidak semua mahasiswa berperan aktif dalam mendiskusikan tugas yang diberikan oleh dosen. Tampak bahwa hanya mahasiswa yang memiliki kemampuan tinggi yang mendominasi diskusi, sedangkan mahasiswa yang memiliki kemampuan rendah agak sulit mengikuti pembelajaran yang sudah diprogram dengan memadukan berbagai bentuk keterampilan.
- b. Waktu yang diberikan untuk mengerjakan tugas tidak mencukupi dengan indikasi banyaknya tugas yang tidak terselesaikan dengan lengkap, tidak mengintegrasikan pengetahuan struktur pada fungsi, bahkan ada sebagian yang tidak mengerjakan tugas terutama dari mahasiswa yang memiliki kemampuan rendah.
- c. Jumlah soal terlalu banyak sehingga tidak cukup waktu untuk dikerjakan dalam pembelajaran menggunakan model PeNKIM. Selain itu, mahasiswa belum mampu mengerjakan peta konsep dengan baik.
- d. Kemampuan merumuskan prinsip-prinsip fisiologi berdasarkan struktur organ masih rendah sehingga berdampak pada ketidakmampuan merancang eksperimen.
- e. Mahasiswa masih mengalami *split attention* (perhatian terbagi) yakni antara harus mengerjakan tugas menganalisis informasi dengan melaksanakan diskusi.

Untuk mengatasi kendala tersebut maka pelaksanaan pembelajaran model PeNKIM pada uji coba ketiga perlu diperbaiki dalam hal-hal berikut.

- a. Pemberian tugas untuk mengukur *intrinsic load* dikerjakan secara individual agar seluruh mahasiswa terlibat secara aktif dalam memproses informasi.
- b. Pengurangan jumlah soal untuk mengukur *intrinsic load*. Semula, soal yang diberikan berjumlah enam, lalu dikurangi

menjadi lima soal untuk masing-masing konsep sehingga setiap soal diberi kesempatan untuk diselesaikan dalam waktu ± 5 menit.

- c. Pemberian contoh gambar organ tumbuhan dengan struktur yang berbeda disertai data proses fisiologi yang dilanjutkan dengan mendiskusikan dan memecahkan masalah prinsip-prinsip proses fisiologi berdasarkan perbedaan struktur organ yang harus secara kontekstual.
- d. Pembentukan skema kognitif integrasistruktur pada fungsiberupa pemberian contoh *graphic organizer* (matrik perbandingan) yang menggambarkan keterkaitan antara struktur dan fungsi tumbuhan dipindahkan ke tahap belajar menggunakan pengetahuan secara bermakna agar dosen memiliki waktu yang cukup dalam memberikan penjelasan.
- e. Pembentukan skema kognitif mahasiswa tidak dilihat dari kemampuan membuat peta konsep,tetapi dari kemampuan membuat *mind map* (peta pikiran) yang dikerjakan sebagai tugas di luar jam perkuliahan. Struktur konsep yang dipelajari termasuk dalam konsep relasional sehingga lebih cocok menggunakan *mind map*.
- f. Mahasiswa ditekankan untuk lebih fokus saat pembelajaran berlangsung agar tidak terjadi *split attention*. Upaya yang dilakukan adalah dengan cara tidak memberikan tugas menganalisis informasi pada setiap tahap pembelajaran, tetapi sekaligus di akhir pembelajaran.
- g. Penambahan tahapan dalam pembelajaran yaitu tahap kebiasaan berpikir di akhir proses pembelajaran. Tujuan penambahan tahapan ini adalah untuk mengerjakan tugas menganalisis informasi, yang pada awalnya dilakukan pada setiap tahap pembelajaran.

Uji Coba Ketiga

Tujuan uji coba ketiga ini adalah untuk menghasilkan model PeNKIM yang lebih komprehensif dan implementatif berdasarkan hasil uji coba kedua. Pada tahap ini, uji coba diimplementasikan kepada 22 mahasiswa semester V kelas C tahun ajaran 2010/2011 yang tengah mengikuti mata kuliah fisiologi tumbuhan dan telah lulus mata kuliah

anatomi tumbuhan. Desain uji coba pada tahap ini juga telah diperbaiki sebagaimana hasil uji coba sebelumnya.

Indikator keberfungsian model PeNKIM dalam mengembangkan skema kognitif dapat dilihat dari kemampuan menganalisis informasi dan kemampuan penalaran induktif dan deduktif. Tujuan mengembangkan skema kognitif adalah agar mahasiswa mampu mengorganisasikan pengetahuan struktur pada fungsi tumbuhan agar terbentuk skema kognitif dalam *long-term memory*. Berkembangnya skema kognitif akan memudahkan mahasiswa untuk memperoleh pengetahuan yang bersifat holistik melalui keterkaitan konseptual materi yang sedang dipelajari dengan bidang kajian yang relevan. Selain itu, skema kognitif memfasilitasi penggunaan berbagai proses kognitif yang menekankan pada keterampilan berpikir.

Perubahan strategi yang dilakukan pada model PeNKIM uji coba ketiga diuraikan sebagaimana berikut.

1. Berdiskusi dan memecahkan masalah dilaksanakan secara kontekstual supaya mahasiswa lebih mudah memberi alasan penerapan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan menggunakan informasi yang telah diperoleh.
2. Pemberian contoh *graphic organizer* semula diberikan pada tahap perluasan dan penghalusan pengetahuan. Pada uji coba ini diberikan pada tahap belajar menggunakan pengetahuan secara bermakna. Hal ini dilakukan agar mahasiswa mendapatkan terlebih dahulu informasi tentang keterkaitan struktur pada fungsi secara lengkap. *Graphic organizer* dapat memfasilitasi mahasiswa dalam membentuk skema kognitif pada *long-term memory*.
3. Pembuatan peta pikiran untuk melihat skema kognitif mahasiswa diberikan sebagai tugas di luar jam pelajaran. Tujuan perubahan ini supaya mahasiswa dapat mengembangkan skema kognitifnya lebih bebas dalam menggambarkan keterkaitan struktur pada fungsi.
4. Pengukuran kemampuan menganalisis informasi diberikan secara individual. Tujuannya untuk melihat hubungan kemampuan menganalisis informasi dengan kemampuan penalaran tiap mahasiswa.
5. Pengukuran menganalisis informasi dilakukan di akhir pembelajaran setelah tahap belajar menggunakan pengetahuan secara bermakna yaitu pada tahap kebiasaan berpikir (*habits of*

mind). Tujuan diberikan pada tahap akhir adalah untuk mencegah terjadinya *split attention* sehingga mahasiswa lebih fokus dalam mengerjakan tugas.

Tahapan pembelajaran model PeNKIM dalam mengembangkan skema kognitif mahasiswa pada uji coba ketiga ini tampak sebagaimana dalam tabel berikut.

Tabel 9 Tahapan Pembelajaran pada Uji Coba Ketiga

Tahapan	Urutan materi	Strategi yang digunakan
Mengembangkan sikap & persepsi positif (20 menit).	Keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan.	<ul style="list-style-type: none"> • Presentasi keterkaitan struktur pada fungsi. • Memberikan permasalahan mengenai keterkaitan struktur pada fungsi dalam kondisi lingkungan yang berbeda.
Belajar untuk pemerolehan dan pengintegrasian (35* menit).	Keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan	<ul style="list-style-type: none"> • Presentasi menggunakan media animasi • Penggunaan <i>prior knowledge</i> tentang struktur tumbuhan. • Diskusi terfokus untuk mengidentifikasi jaringan pada organ tumbuhan. • Pembentukan kelompok kecil dalam melaksanakan diskusi. • Mengemukakan masalah (<i>problem statement</i>) keterkaitan struktur pada fungsi.
Perluasan dan penghalusan pengetahuan (50* menit).	Perbedaan struktur organ tumbuhan dikaitkan dengan proses fisiologi.	<ul style="list-style-type: none"> • Memberikan gambar struktur suatu organ yang bervariasi berdasarkan lingkungan tempat tumbuhnya. • Pemrosesan data dengan cara memberikan gambar organ-organ dengan struktur yang berbeda serta data proses fisiologi yang dipengaruhi lingkungan dengan melakukan diskusi dan memecahkan masalah secara kontekstual*. • Perumusan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi. • Mempresentasikan hasil perumusan beserta alasannya.
Belajar menggunakan pengetahuan secara bermakna (20 menit*)	Strategi adaptasi	Merancang eksperimen

Kebiasaan Berpikir (25 menit*)	Pengukuran <i>intrinsic load</i> *
--------------------------------	------------------------------------

Keterangan:

*menunjukkan perubahan yang terjadi pada uji coba ketiga.

Tabel 10 Perbandingan Model PeNKIM pada Uji Coba Kedua dan Ketiga

Model PeNKIM pada Uji II

Model PeNKIM pada tahapan Uji III

Tahap	Kegiatan yang dilakukan dosen	Kegiatan yang dilakukan mahasiswa
Mengembangkan sikap dan persepsi positif	Merepresentasikan keterkaitan struktur tumbuhan pada fungsi tumbuhan dengan menekankan penerapan konsep keterkaitan struktur pada fungsi terhadap permasalahan di lingkungan, untuk memberi gambaran dalam mengintegrasikan pengetahuan struktur pada fungsi.	Menjawab pertanyaan secara individual tentang contoh perbedaan struktur yang berkaitan dengan fungsi pada lingkungan tertentu.
Belajar untuk pemrolehan dan pengintegrasian	a. Penjelasan materi dibantu media animasi tentang karakteristik struktur akar, batang dan daun yang berperan pada proses fisiologi. b. Membimbing diskusi terfokus pada saat mahasiswa mengidentifikasi jaringan pada organ tumbuhan.	a. Mengidentifikasi dan menginterpretasi bukti keterkaitan struktur pada fungsi, serta menyimpulkan sesuai dengan bukti yang ada b. Mendiskusikan karakteristik struktur akar, batang dan daun yang berperan pada proses fisiologi menggunakan <i>prior knowledge</i> untuk mengajukan hipotesis dan alasan pengujian hipotesis. c. Menjawab 1 pertanyaan dari instrumen <i>intrinsic load</i> secara berkelompok.

Tahap	Kegiatan yang dilakukan dosen	Kegiatan yang dilakukan mahasiswa
Mengembangkan sikap dan persepsi positif	Merepresentasikan keterkaitan struktur tumbuhan pada fungsi tumbuhan dengan menekankan penerapan konsep keterkaitan struktur pada fungsi terhadap permasalahan di lingkungan, untuk memberi gambaran dalam mengintegrasikan pengetahuan struktur pada fungsi.	Menjawab pertanyaan secara individual tentang contoh perbedaan struktur yang berkaitan dengan fungsi pada lingkungan tertentu.
Belajar untuk pemrolehan dan pengintegrasian	a. Penjelasan materi dibantu media animasi tentang karakteristik struktur akar, batang dan daun yang berperan pada proses fisiologi b. Membimbing diskusi terfokus pada saat mahasiswa mengidentifikasi jaringan pada organ tumbuhan	a. Mengidentifikasi dan menginterpretasi bukti keterkaitan struktur pada fungsi, serta menyimpulkan sesuai dengan bukti yang ada b. Mendiskusikan karakteristik struktur akar, batang dan daun yang berperan pada proses fisiologi menggunakan <i>prior knowledge</i> untuk mengajukan hipotesis dan alasan pengujian hipotesis.

Tahap	Kegiatan yang dilakukan dosen	Kegiatan yang dilakukan mahasiswa
Perluasan dan Penghalusan pengetahuan	a. Memberikan gambar organ-organ tumbuhan dengan struktur yang berbeda serta data proses fisiologi yang dipengaruhi oleh lingkungan. b. Memberikan contoh <i>graphic organizer</i> (matrik perbandingan) yang menggambarkan keterkaitan antara struktur dan fungsi tumbuhan	a. Merumuskan prinsip-prinsip proses fisiologi berdasarkan perbedaan struktur organ dan setiap kelompok mengemukakan hasil perumusannya beserta alasannya. b. Membuat skema kognitif integrasi struktur pada fungsi berupa peta konsep c. Menjawab 1 pertanyaan dari instrumen <i>intrinsic load</i> secara berkelompok.
Belajar menggunakan pengetahuan secara bermakna	Memberikan tugas merancang eksperimen yang dapat dilaksanakan dalam waktu 1 jam.	a. Merancang eksperimen dengan menerapkan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan yang disesuaikan dengan kondisi lingkungan. b. Menjawab 1 pertanyaan dari instrumen <i>intrinsic load</i> secara berkelompok

Tahap	Kegiatan yang dilakukan dosen	Kegiatan yang dilakukan mahasiswa
Perluasan dan Penghalusan pengetahuan	a. Memberikan gambar organ-organ tumbuhan dengan struktur yang berbeda serta data proses fisiologi. b. Memberikan permasalahan agar mahasiswa dapat menerapkan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi secara kontekstual, berdasarkan kondisi di lingkungan tempat tinggalnya.	a. Merumuskan prinsip-prinsip proses fisiologi berdasarkan perbedaan struktur organ dan setiap kelompok mengemukakan hasil perumusannya beserta alasannya. b. Mendiskusikan prinsip-prinsip proses fisiologi berdasarkan perbedaan struktur organ pada lingkungan yang memiliki perbedaan suhu. c. Mengemukakan hasil perumusan dan pemecahan masalah beserta alasannya.
Belajar menggunakan pengetahuan secara bermakna	a. Memberikan tugas merancang eksperimen yang dapat dilaksanakan dalam waktu 1 jam. b. Memberikan contoh <i>graphic organizer</i> (matrik perbandingan) yang menggambarkan keterkaitan antara struktur pada fungsi tumbuhan.	a. Merancang eksperimen dengan menerapkan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan yang disesuaikan dengan kondisi lingkungan.
Kebiasaan berpikir	Menugaskan menganalisis informasi tentang pengetahuan integrasi struktur pada fungsi tumbuhan.	a. Menjawab pertanyaan-pertanyaan dari instrumen <i>intrinsic load</i> secara individual. b. Menyelesaikan tugas diluar jam pelajaran untuk membuat skema kognitif integrasi struktur pada fungsi berupa peta pikiran.

1. Keberfungsian model PeNKIM dalam mengembangkan skema kognitif.

Hasil uji coba ketiga menunjukkan bahwa pembelajaran menggunakan model PeNKIM dapat dilaksanakan dalam mata kuliah fisiologi tumbuhan, khususnya pada konsep transpirasi dan fotosintesis. Integrasi struktur tumbuhan pada fungsi tumbuhan menggunakan model PeNKIM memberikan pengaruh yang positif terhadap proses berpikir mahasiswa. Pengaruh positif yang dimaksud terutama dalam usaha untuk memahami konsep kompleks pada mata kuliah fisiologi tumbuhan. Pengaruh positif tersebut sangat bergantung pada strategi pembelajaran yang digunakan pada model PeNKIM sebagaimana berikut ini.

- a. Pembelajaran dilaksanakan secara kontekstual sehingga mahasiswa lebih mudah memahami konsep yang sedang dipelajari karena selalu berkaitan dengan permasalahan yang ada di tempat tinggalnya.
- b. Pembelajaran kontekstual mendorong munculnya sikap dan persepsi positif pada diri mahasiswa. Hal ini ditunjukkan dengan keterlibatan mahasiswa dalam diskusi dan memberikan argumentasi dalam menganalisis kesalahan konsep keterkaitan struktur pada fungsi.
- c. Identifikasi dan interpretasi struktur organ tumbuhan pada saat mendiskusikan bukti keterkaitan struktur pada fungsi, membantu mahasiswa dalam memecahkan permasalahan yang berkaitan dengan prinsip-prinsip proses fisiologi berdasarkan perbedaan struktur organ tumbuhan.
- d. Kemampuan merumuskan prinsip-prinsip fisiologi berdasarkan struktur organ tumbuhan berpengaruh pada peningkatan kemampuan merancang eksperimen.
- e. Mahasiswa terbiasa menggunakan *prior knowledge* dalam berpikir pada situasi baru sehingga mahasiswa secara otomatis menghubungkan konsep pada saat menerapkan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan.
- f. *Graphic organizer* memfasilitasi mahasiswa untuk membentuk skema kognitif sehingga memungkinkan mereka untuk memperoleh pengetahuan yang bersifat holistik melalui

keterkaitan konseptual materi fisiologi tumbuhan yang dipelajari dengan materi anatomi tumbuhan.

Mahasiswa tidak mengalami *split attention* sehingga lebih fokus dalam memahami materi baik dengan cara mendengarkan penjelasan dari dosen, berdiskusi, memecahkan masalah maupun melalui mengemukakan argumentasi ketika diskusi. Hilangnya *split attention* berdampak pada pemahaman konsep sehingga mahasiswa dapat menjawab sebagian besar tugas menganalisis informasi dengan benar.

2. **Pengukuran kemampuan menganalisis informasi dan penalaran.**
 - a. Kemampuan menganalisis informasi

Tabel 11 Skor Rata-Rata Kemampuan Menganalisis Informasi

No	Aspek	Transpirasi	Fotosintesis	Rata-rata
1	Identifikasi komponen-komponen struktur yang relevan dengan fungsi	3,2	3,4	3,3
2	Integrasi struktur pada fungsi tumbuhan	2,7	3,2	2,95
3	Penerapan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi	2,8	3,3	3,05
4	Merancang eksperimen	2,8	2,9	2,85
Rata-rata		2,9	3,2	3,05

Dari tabel di atas tampak bahwa skor rata-rata kemampuan menganalisis informasi pada konsep fotosintesis dan transpirasi termasuk dalam kriteria baik karena melebihi skor 2,75. Kemampuan mahasiswa dalam mengidentifikasi komponen yang relevan dengan fungsi memiliki skor rata-rata paling tinggi, sedangkan kemampuan merancang eksperimen memiliki rata-rata skor paling rendah. Rendahnya kemampuan merancang eksperimen disebabkan ada sebagian

mahasiswa yang masih memerlukan bimbingan terutama dalam memberikan alasan penggunaan jenis tumbuhan tertentu serta menarik hipotesis.

Secara umum kemampuan menganalisis informasi konsep fotosintesis lebih baik dari konsep transpirasi pada semua aspek yang diukur. Peningkatan kemampuan dalam aspek identifikasi komponen yang relevan dengan fungsi mendukung kemampuan mahasiswa dalam mengintegrasikan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi. Begitu pula peningkatan kemampuan mengidentifikasi struktur tumbuhan dan mengintegrasikan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi meningkatkan kemampuan mahasiswa dalam menerapkan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi dalam merancang eksperimen.

Dalam melakukan analisis informasi mahasiswa terbukti mahasiswa telah mampu melakukan hal-hal berikut.

- 1) Menentukan struktur yang harus diamati dalam proses fisiologi.
- 2) Mengidentifikasi persamaan dan perbedaan jaringan pada suatu organ terhadap proses fisiologi secara koheren.
- 3) Mengonstruksi dukungan dengan mengajukan bukti perbedaan struktur tumbuhan terhadap proses fisiologi berdasarkan bukti perbedaan kondisi lingkungan.
- 4) Memilih jenis tumbuhan yang akan digunakan dalam merancang eksperimen dan mampu memberikan alasan pemilihan tumbuhan berdasarkan strukturnya sehingga tujuan eksperimen terpenuhi.
- 5) Membuat cara kerja secara jelas dan menarik hipotesis serta alasan penarikan hipotesis tersebut berdasarkan struktur tumbuhan.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa model PeNKIM mampu memfasilitasi mahasiswa dalam menganalisis informasi dengan baik.

b. Kemampuan penalaran

Soal-soal untuk mengukur kemampuan penalaran dibagi menjadi kemampuan penalaran secara induktif dan deduktif

yang masing-masing terdiri dari tiga aspek, yaitu analisis, proposional, dan sebab akibat.

Tabel 12 Persentase Kemampuan Penalaran Mahasiswa

Jenis Penalaran		Ketercapaian	Rata-Rata
Induktif	Analisis	63 ± 8,4	64 ± 10,3
	Proposional	57 ± 13,1	
	Sebab akibat	72 ± 4,4	
Deduktif	Analisis	58 ± 10,3	62 ± 10,1
	Proposional	68 ± 5,4	
	Sebab akibat	60 ± 11,9	

Terlihat pada tabel di atas bahwa rata-rata kemampuan penalaran mahasiswa terbilang baik karena telah melampaui ketercapaian 60%. Kemampuan penalaran induktif sedikit lebih tinggi daripada kemampuan penalaran deduktif. Penalaran induktif dengan aspek sebab akibat memiliki ketercapaian paling tinggi, sedangkan penalaran induktif dengan aspek proposional rata-rata skornya paling rendah. Penalaran deduktif dengan aspek proposional memiliki ketercapaian paling tinggi, sedangkan penalaran deduktif pada aspek analisis memiliki ketercapaian paling rendah.

Hasil ketercapaian kemampuan penalaran di atas menunjukkan bahwa model pembelajaran PeNKIM dapat memfasilitasi mahasiswa untuk bernalar. Terfasilitasinya mahasiswa dalam bernalar dipengaruhi oleh prinsip dimensi belajar dari Marzano (1992) melalui proses berpikir dalam memperoleh dan mengintegrasikan pengetahuan, mengembangkan dan menyeleksi pengetahuan, serta menggunakan pengetahuan bermakna.

Rangkaian ketiga proses tersebut akan menciptakan kebiasaan berpikir yang dapat membentuk sikap positif dan bertanggung jawab serta persepsi terhadap sesuatu yang dipelajari menjadi lebih bermakna. Hal ini membantu mahasiswa dalam mengembangkan penalaran.

Kemampuan penalaran mahasiswa pada uji coba ketiga ini menunjukkan adanya peningkatan sebagaimana terlihat pada tabel berikut.

Tabel 13 Peningkatan Penalaran

<i>Pre-test</i>	<i>Rata-Rata Pos-test</i>	<i>N gain</i>
32,9 ± 7,29	63,18 ± 6,97	0,45

Tabel di atas menunjukkan rata-rata hasil *pre-test*, *post-test*, dan *N gain* yang digunakan untuk melihat peningkatan penalaran mahasiswa. Terlihat bahwa peningkatan kemampuan penalaran setelah diterapkannya model PeNKIM pada uji coba ketiga termasuk dalam kategori sedang dengan nilai *N gain* sebesar 0,45. Jadi, dapat disimpulkan bahwa model PeNKIM pada uji coba ketiga ini dapat berfungsi meningkatkan penalaran mahasiswa. Mereka telah mampu berpikir lebih kompleks dalam memahami keterkaitan struktur pada fungsi. Meningkatnya penalaran mahasiswa menunjukkan kemampuan menganalisis informasi berkontribusi terhadap peningkatan penalaran karena dalam menganalisis informasi mahasiswa dituntut tidak hanya menghafal konsep, tetapi juga harus mengutamakan pemahaman prinsip-prinsip yang berfungsi untuk membangun skema kognitif pada *long-term memory*.

Implementasi PeNKIM untuk Menurunkan Beban Kognitif

Implementasi model PeNKIM diujicobakan terhadap 33 mahasiswa kelas B semester V tahun ajaran 2010/2011 yang tengah menempuh mata kuliah fisiologi tumbuhan. Sementara pengintegrasian tipe *nested* yang menggunakan strategi pembelajaran konvensional diimplementasikan terhadap 31 mahasiswa kelas A pada semester yang sama.

1. Model PeNKIM yang digunakan.

Model PeNKIM yang diimplementasikan adalah hasil dari uji coba ketiga. Adapun tujuannya adalah menurunkan beban kognitif mahasiswa saat mengintegrasikan struktur pada fungsi tumbuhan. Pembelajaran model PeNKIM pada uji coba ketiga tidak mengalami perubahan ketika diimplementasikan karena model tersebut telah dianggap baik dalam hal-hal berikut.

- a. Penggunaan strategi pembelajaran.
Dosen dan mahasiswa sudah dapat melaksanakan seluruh strategi yang digunakan pada model PeNKIM. Strategi tersebut dilaksanakan sesuai dengan alokasi yang telah ditentukan.
- b. Urutan materi memfasilitasi mahasiswa dalam mengintegrasikan struktur pada fungsi tumbuhan.
- c. Melatih kemampuan menganalisis informasi.
Dalam hal ini, mahasiswa telah mampu dengan baik menganalisis informasi pada konsep transpirasi dan fotosintesis karena rata-rata ketercapaian skor kemampuan menganalisis informasi mencapai 75%.
- d. Melatih kemampuan penalaran. Kemampuan penalaran mahasiswa terbilang baik karena rata-rata melampaui ketercapaian 60%.

Model yang telah diujicobakan kemudian diimplementasikan pada perkuliahan fisiologi tumbuhan. Secara umum strategi perkuliahan fisiologi tumbuhan yang diterapkan sebagai wahana untuk mengakomodasi dan memfasilitasi mahasiswa dalam mengintegrasikan struktur pada fungsi tumbuhan terbagi menjadi lima tahap, yaitu mengembangkan sikap dan persepsi positif, belajar untuk pemerolehan dan pengintegrasian, perluasan dan penghalusan pengetahuan, belajar menggunakan pengetahuan secara bermakna, dan kebiasaan berpikir. Model PeNKIM pada tahap implementasi dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 14 Model PeNKIM pada Tahap Implementasi

Tahap	Kegiatan yang Dilakukan Dosen	Kegiatan yang dilakukan mahasiswa
Mengembangkan sikap dan persepsi positif.	Merepresentasikan keterkaitan struktur tumbuhan pada fungsi tumbuhan dengan menekankan penerapan konsep keterkaitan struktur pada fungsi terhadap permasalahan di lingkungan untuk memberi gambaran dalam mengintegrasikan pengetahuan struktur pada fungsi.	Menjawab pertanyaan secara individual tentang contoh perbedaan struktur yang berkaitan dengan fungsi pada lingkungan tertentu.

<p>Belajar untuk pemerolehan dan pengintegrasian</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Penjelasan materi dibantu dengan media animasi tentang karakteristik struktur akar, batang, dan daun yang berperan pada proses fisiologi. • Membimbing diskusi terfokus ketika mahasiswa mengidentifikasi jaringan pada organ tumbuhan. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mengidentifikasi dan menginterpretasikan bukti keterkaitan struktur pada fungsi serta menyimpulkan sesuai dengan bukti yang ada. • Mendiskusikan karakteristik struktur akar, batang, dan daun yang berperan pada proses fisiologi menggunakan <i>prior knowledge</i> untuk mengajukan hipotesis dan alasan pengajuan hipotesis.
<p>Perluasan dan penghalusan pengetahuan.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Memberikan gambar organ-organ tumbuhan dengan struktur yang berbeda serta data proses fisiologi. • Memberikan permasalahan agar mahasiswa dapat menerapkan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi secara kontekstual berdasarkan kondisi di lingkungan tempat tinggalnya. 	<ul style="list-style-type: none"> • Merumuskan prinsip-prinsip proses fisiologi berdasarkan perbedaan struktur organ dan setiap kelompok mengemukakan hasil perumusannya beserta alasannya. • Mendiskusikan prinsip-prinsip proses fisiologi berdasarkan perbedaan struktur organ pada lingkungan yang memiliki perbedaan suhu. • Mengemukakan hasil perumusan dan pemecahan masalah beserta alasannya.
<p>Belajar menggunakan pengetahuan secara bermakna.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Memberikan tugas merancang eksperimen yang dapat dilaksanakan dalam waktu 1 jam. • Memberikan contoh <i>graphic organizer</i> (matrik perbandingan) yang menggambarkan keterkaitan antara struktur pada fungsi tumbuhan. 	<ul style="list-style-type: none"> • Merancang eksperimen dengan menerapkan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan yang disesuaikan dengan kondisi lingkungan. • Menyelesaikan tugas di luar jam pelajaran untuk membuat skema kognitif integrasi struktur pada fungsi berupa peta pikiran.

Kebiasaan berpikir.	Menugaskan menganalisis informasi tentang pengetahuan integrasi struktur pada fungsi tumbuhan.	Menjawab pertanyaan dalam instrumen <i>intrinsic load</i> secara individual.
---------------------	--	--

2. Beban kognitif pada implementasi model PeNKIM

a. *Intrinsic load*

Kemampuan menganalisis informasi digunakan untuk mengukur *intrinsic load*. Dalam melakukan analisis informasi mahasiswa diminta untuk mengerjakan tugas yang terdiri dari lima soal untuk mengintegrasikan struktur pada fungsi tumbuhan. Masing-masing soal dikerjakan dalam waktu ± 5 menit. Tabel di bawah ini menunjukkan perbedaan kemampuan analisis informasi antara kelompok eksperimen dan kelompok kontrol.

Tabel 15 Perbedaan Skor Rata-Rata Kemampuan Menganalisis Informasi

No	Aspek	Transpirasi		Fotosintesis	
		Eksperimen	Kontrol	Eksperimen	Kontrol
1	Identifikasi komponen-komponen struktur yang relevan fungsi.	3,36	2,89	3,63	2,96
2	Integrasi struktur pada fungsi tumbuhan	3,28	2,13	3,11	2,47
3	Penerapan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi.	3,76	2,46	2,96	2,10
4	Merancang eksperimen.	3,20	2,10	2,89	2,32
Rata-rata		3,4	2,4	3,1	2,6

Berdasarkan data dalam tabel di atas tampak bahwa kelas eksperimen memiliki kemampuan menganalisis informasi lebih baik daripada kelas kontrol. Hal ini terlihat pada skor rata-rata yang diperoleh yakni di atas 3,0. Skor tersebut termasuk dalam kriteria baik, sedangkan kemampuan menganalisis pada kelas kontrol termasuk dalam kriteria cukup baik karena berada pada rentang 2,5—2,75.

Pada kelas eksperimen kemampuan menganalisis informasi konsep transpirasi lebih baik daripada konsep fotosintesis, sedangkan pada kelas kontrol kemampuan menganalisis informasi pada konsep fotosintesis lebih baik

daripada konsep transpirasi. Perbedaan ini membuktikan bahwa kelas kontrol mengalami beban kognitif dalam memahami konsep fotosintesis karena konsep tersebut memiliki interkoneksi tinggi, tidak saja antara struktur terhadap fungsi, tetapi juga antara struktur dengan reaksi kimia yang menyertai proses fisiologi. Hal ini tampak bahwa pada kelas kontrol, hanya satu aspek dari kemampuan menganalisis informasi yang termasuk dalam kriteria baik yaitu pada aspek identifikasi komponen-komponen struktur yang relevan fungsi, sedangkan aspek yang lainnya termasuk dalam kategori kurang baik.

Kemampuan menganalisis informasi pada aspek identifikasi komponen-komponen struktur yang relevan fungsi memiliki skor rata-rata yang paling tinggi baik pada kelas eksperimen maupun kelas kontrol. Tampak bahwa pada kelas eksperimen maupun kelas kontrol aspek tersebut memiliki skor rata-rata paling tinggi pada konsep fotosintesis. Skor rata-rata kedua kelompok termasuk dalam kriteria baik. Hal ini karena mahasiswa pada konsep tersebut hanya mengidentifikasi jaringan-jaringan yang terdapat pada satu organ tumbuhan sedangkan pada konsep transpirasi mahasiswa harus mengidentifikasi jaringan-jaringan pada tiga organ tumbuhan.

Kemampuan menganalisis informasi pada aspek integrasi struktur pada fungsi, penerapan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan, dan merancang eksperimen memiliki skor rata-rata lebih tinggi pada konsep transpirasi pada kelas eksperimen, tetapi tidak pada kelas kontrol yang pada konsep transpirasi tersebut mempunyai skor lebih rendah pada aspek integrasi struktur pada fungsi dan merancang eksperimen. Kemampuan ketiga aspek tersebut pada kelas eksperimen termasuk dalam kriteria baik, sedangkan pada kelas kontrol termasuk dalam kriteria kurang.

Data skor rata-rata kemampuan menganalisis informasi pada kelas eksperimen dan kelas kontrol memberikan informasi bahwa pengetahuan tentang struktur tumbuhan tidak cukup untuk memahami proses fisiologi apabila

pengetahuan struktur tumbuhan tidak diintegrasikan pada fungsi tumbuhan. Model PeNKIM dapat memfasilitasi pengintegrasian struktur pada fungsi karena pada model tersebut diawali dengan mengembangkan sikap dan persepsi positif terhadap pembelajaran sehingga mahasiswa siap dan merasakan manfaat dalam mempelajari suatu konsep yang pada akhirnya akan mengurangi beban kognitif walaupun dalam proses pembelajarannya memadukan beberapa keterampilan terutama keterampilan berpikir (*thinking skill*) dan keterampilan isi (*content-specific skill*).

Intrinsic load pada implementasi model PeNKIM diperoleh dari skor rata-rata kemampuan menganalisis informasi pada kelas eksperimen dan kelas kontrol. Skor rata-rata kemampuan menganalisis informasi pada kelas eksperimen dan kelas kontrol disajikan pada tabel berikut.

Tabel 16 Rangkuman Hasil Uji Instrinsic Load pada Kelas Eksperimen dan Kelas Kontrol

Hasil Perhitungan	<i>Intrinsic Load</i>	
	Eksperimen	Kontrol
Jumlah sampel (n)	33	31
Rata – rata (x)	3,2	2,5
Normalitas data	0,08* > 0,05	0,09* > 0,05
Homogenitas Variansi	0,960* > 0,05	
t hitung	0,00* < 0,05	

Keterangan:

* menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan pada α 0,05.

Data pada tabel di atas tampak bahwa skor rata-rata kemampuan menganalisis informasi pada kelas eksperimen lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol. Setelah dilakukan pemberian skor dilanjutkan dengan menguji normalitas distribusi data dan homogenitas variansi menggunakan SPSS 20.

Nilai tes normalitas menunjukkan nilai signifikansi 0,08 untuk kelas eksperimen, sedangkan untuk kelompok kontrol menunjukkan nilai 0,09. Nilai signifikansi kelompok eksperimen maupun kelompok kontrol lebih besar dari 0,05 sehingga data berdistribusi normal. Uji selanjutnya yaitu

uji homogenitas menggunakan uji F. Hasil uji homogenitas menunjukkan nilai signifikansi 0,960, nilai tersebut lebih besar dari 0,05. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa variansi kedua kelompok tidak berbeda.

Setelah dilakukan uji normalitas dan uji homogenitas, selanjutnya untuk mengetahui ada tidaknya persamaan rata-rata antara dua kelompok sampel dilanjutkan menggunakan uji t. Hasil pengujian menunjukkan nilai signifikansi $(0,00) < \alpha$, hal ini menunjukkan *intrinsic load* pada kelas eksperimen lebih rendah dibandingkan pada kelas kontrol. Hasil pengujian ini memberikan gambaran bahwa penerapan model PeNKIM pada perkuliahan fisiologi tumbuhan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penurunan *intrinsic Load*.

b. *Extraneous load*

Pengukuran beban kognitif mahasiswa pada saat menerima informasi (*extraneous load*) bertujuan untuk mengetahui beban kognitif mahasiswa yang diakibatkan oleh penerapan model PeNKIM. Aktivitas kognitif mahasiswa pada saat penerapan model PeNKIM merupakan usaha mental mahasiswa dalam membangun skema kognitif untuk memahami konsep transpirasi dan fotosintesis. Dalam kajian ini usaha mental mahasiswa dikategorikan rendah apabila mereka merasa mudah mengidentifikasi komponen-komponen struktur yang relevan fungsi, mengintegrasikan struktur pada fungsi tumbuhan, membangun skema integrasi struktur pada fungsi tumbuhan dan menerapkan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi, dan merancang eksperimen. Usaha mental rendah menunjukkan *extraneous load* menurun.

Tabel 17 Persentase *Extraneous load* Saat Menerima Informasi Antara Kelompok Eksperimen dan Kelompok Kontrol

Aspek	Mudah		Sedang		Sulit	
	E	K	E	K	E	K
Identifikasi komponen-komponen struktur yang relevan fungsi	38	21	51	51	11	28

Integrasi struktur pada fungsi tumbuhan	37	21	50	46	13	28
Skema integrasi struktur pada fungsi	19	3	44	42	37	55
Penerapan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi.	28	21	58	57	14	22
Merancang Eksperimen	31	10	47	46	22	44
Rata-rata	30,6	14,4	50	48,4	19,4	35,4

Pada tabel di atas tampak bahwa persentase kelompok eksperimen yang menyatakan mudah dalam menganalisis informasi lebih tinggi dari persentase kelompok kontrol, sedangkan yang menyatakan sulit dalam menganalisis informasi lebih tinggi pada kelompok kontrol dibandingkan pada kelompok eksperimen.

Hasil analisis data menunjukkan bahwa usaha mental pada kelompok eksperimen lebih rendah dibandingkan usaha mental pada kelompok kontrol pada saat menerima informasi. Dengan demikian penerapan model PeNKIM dalam mengintegrasikan struktur tumbuhan pada fungsi tumbuhan tidak terlalu membebani mahasiswa meskipun integrasi struktur tumbuhan pada fungsi tumbuhan pada konsep transpirasi dan fotosintesis memiliki interkoneksi yang tinggi. Hal ini terbukti hanya 20,4% pada kelas eksperimen yang menyatakan sulit.

Aspek yang dirasakan paling sulit oleh mahasiswa adalah membuat skema integrasi struktur pada fungsi dalam bentuk peta pikiran, terbukti hanya 19% dari kelompok eksperimen dan 3% dari kelompok kontrol yang menyatakan mudah. Pada umumnya peta pikiran yang dibuat mahasiswa masih kurang tepat dalam:

- 1) menentukan kata kunci pada topik yang dibahas;
- 2) menentukan kata penghubung untuk menghubungkan setiap kata kunci;
- 3) menentukan hierarki antarkonsep; dan

struktur yang relevan fungsi. Hal ini membuktikan bahwa model PeNKIM memfasilitasi mahasiswa dalam mengidentifikasi komponen-komponen struktur yang relevan fungsi karena saat pembelajaran menggunakan model PeNKIM, mahasiswa diberikan bimbingan eksekutif menggunakan *performance objective* sehingga tumbuh sikap dan persepsi yang positif pada diri mahasiswa terhadap tugas kelas yang harus dikerjakan.

Penurunan *extraneous load* dilihat dari skor mahasiswa yang merasa mudah dalam menganalisis informasi. Skor mahasiswayang merasa mudah dalam menganalisis informasi pada kelas eksperimen dan kelas kontrol disajikan dalam tabel ringkasan analisis statistik.

Tabel 18 Perhitungan *Extraneous load*

Hasil Perhitungan	<i>Extraneous load</i>	
	Eksperimen	Kontrol
Jumlah sampel (n)	33	31
Rata-rata (x)	0,28	0,32
Normalisasi data	0.000 < 0,05	0.000 < 0.05
Tes Mann Whitney U	0.023 < 0.05	

Tabel tersebut menunjukkan persentase rata-rata kesulitan mahasiswa dalam menganalisis informasi pada kelas eksperimen lebih rendah dibanding kelas kontrol. Setelah dilakukan perhitungan persentase, dilanjutkan dengan menguji normalitas distribusi data menggunakan SPSS 20.

Hasil tes normalitas menunjukkan nilai $p < 0.000$ baik untuk kelas eksperimen maupun kelas kontrol. Dengan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa data kedua kelompok sampel tidak berdistribusi normal. Oleh karena itu, uji kesamaan dua rata-rata dilakukan dengan statistik nonparametrik yaitu uji Mann Whitney U. Hasil analisis uji Mann Whitney U menunjukkan bahwa nilai signifikansinya sebesar $0.023 < \alpha$. Dengan demikian, dapat disimpulkan adanya perbedaan penurunan *extraneous load* yang signifikan antara kelas eksperimen dan kelas kontrol.

Extraneous load pada kelas eksperimen lebih rendah dibandingkan kelas kontrol. Rendahnya nilai *extraneous load*, menunjukkan adanya penurunan *extraneous load* yang dipengaruhi oleh model PeNKIM karena model PeNKIM memfasilitasi mahasiswa dalam mempelajari bahan ajar secara bermakna melalui penjelasan konsep terintegrasi struktur pada fungsi yang dihubungkan dengan permasalahan di lingkungan. Dengan demikian, model tersebut memudahkan mahasiswa dalam memahami pengintegrasian struktur pada fungsi.

c. *Germane load*

Pengukuran kemampuan penalaran ini bertujuan untuk mengetahui beban kognitif mahasiswa dalam menerapkan skema kognitif agar dapat mengaitkan informasi baru dengan informasi yang ada dalam memori jangka panjang (*germane load*). Kemampuan penalaran mahasiswa dilakukan melalui pemberian 30 soal pilihan ganda beralasan.

Tabel 19 Perhitungan Persentase Kemampuan Penalaran Mahasiswa pada Konsep Transpirasi

No	Subkonsep	Transpirasi	
		Eksperimen	Kontrol
1	Proses transportasi air	69	68
2	Absorpsi air oleh akar	66	51
3	Pergerakan air melalui xilem	89	74
4	Pergerakan air dari daun menuju atmosfer	40	41
5	Strategi adaptasi	65	44
6	Laju transpirasi	64	51
Rata-rata		66	55

Tabel 20 Perhitungan Persentase Kemampuan Penalaran Mahasiswa pada Konsep Fotosintesis

No	Subkonsep	Fotosintesis	
		Eksperimen	Kontrol
1	Reaksi yang memerlukan cahaya	65	64
2	Reaksi karbon	61	48
3	Tumbuhan C3, C4, CAM	61	41

4	Strategi adaptasi	66	56
5	Laju fotosintesis	69	59
Rata-rata		65	52

Berdasarkan kedua tabel di atas tampak bahwa persentase kemampuan penalaran kelas eksperimen lebih tinggi daripada kelas kontrol, baik pada konsep transpirasi maupun fotosintesis. Konsep transpirasi lebih mudah dipahami mahasiswa daripada konsep Fotosintesis, hal ini sesuai dengan data kemampuan menganalisis informasi, di mana kemampuan menganalisis informasi konsep transpirasi lebih baik daripada konsep fotosintesis.

Pada kelas eksperimen, subkonsep laju fotosintesis dan pergerakan air melalui xilem pada konsep transpirasi merupakan subkonsep yang paling tinggi dikuasai oleh mahasiswa dibandingkan dengan subkonsep lainnya. Mahasiswa lebih memahami konsep-konsep yang berhubungan dengan kemampuan mengidentifikasi jaringan pada tumbuhan. Kemampuan mahasiswa cenderung lebih rendah dalam memahami materi yang berkaitan dengan proses fisika pada konsep transpirasi dan reaksi kimia pada proses fotosintesis.

Pembelajaran dengan model PeNKIM berkontribusi terhadap penurunan *germane load* dengan indikasi mahasiswa terlibat dalam proses kognitif mendalam seperti mengorganisasi bahan ajar dan menghubungkannya dengan pengetahuan yang mereka miliki untuk bernalar dalam memecahkan suatu masalah.

Germane load dapat dilihat dari hasil tes penalaran. Sebelum diimplementasikan model PeNKIM, mahasiswa memiliki kemampuan penalaran yang sama antara kelas eksperimen dan kelas kontrol. Ringkasan analisis statistik kemampuan awal mahasiswa dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 21 Perhitungan Persentase Kemampuan Awal Penalaran pada Kelas Eksperimen dan Kelas Kontrol

Hasil Perhitungan	<i>Extraneous load</i>	
	Eksperimen	Kontrol
Jumlah sampel (n)	33	31
Rata – rata(x)	36.96	37,39
Normalitas data	0.200 > 0.05	0.200 > 0.05
Homogenitas Variansi	0.402 > 0.05	
Uji-t	0,839 > 0,05	

Pada tabel di atas tampak bahwa $p (0,839) > \alpha$. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kedua kelompok memiliki kemampuan awal penalaran yang sama. *Germane load* dihitung dari hasil nilai kemampuan penalaran ketika *post-test*. Berikut hasilnya.

Tabel 22 Perhitungan *Germane Load*

Hasil Perhitungan	<i>Extraneous load</i>	
	Eksperimen	Kontrol
Jumlah sampel (n)	33	31
Rata-rata(x)	68,2	59,4
Normalitas data	0.200 > 0.05	0.200 > 0.05
Homogenitas Variansi	0.644 > 0.05	
Uji t	0.002 < 0.05	

Berdasarkan tabel tersebut terlihat bahwa skor rata-rata kemampuan penalaran pada kelas eksperimen lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol. Setelah dilakukan pemberian skor dilanjutkan dengan menguji normalitas dan homogenitas. Hasil uji statistik menunjukkan bahwa data kedua kelompok berdistribusi normal karena nilai $p 0,200 >$ nilai $\alpha 0,05$. Begitu pula kedua kelompok memiliki variasi yang homogen karena nilai signifikansi $(0,644) >$ nilai α . Analisis statistik dilanjutkan dengan uji-t.

Hasil analisis statistik menunjukkan $p (0,002) <$ nilai α . Hal ini berarti bahwa kemampuan penalaran berbeda signifikan. Kemampuan penalaran yang lebih tinggi pada kelompok eksperimen menunjukkan *germane load* pada kelas eksperimen lebih rendah dibandingkan pada kelas kontrol.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa pembelajaran model PeNKIM dapat menurunkan *germane load*. Untuk mengukur efektivitas pembelajaran model PeNKIM dalam meningkatkan penalaran mahasiswa maka perhitungannya dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 23 Nilai Rata-Rata pada Kelas Eksperimen dan Kelas Kontrol

Kelompok	Nilai rata-rata mahasiswa		
	Pre-test	Post-test	N-Gain
Eksperimen	36,96 ± 7,93	68,15 ± 7,62	0,49
Kontrol	37,39 ± 8,42	59,39 ± 12,1	0,35

Berdasarkan data pada tabel tersebut tampak bahwa kedua strategi pembelajaran dapat meningkatkan kemampuan penalaran mahasiswa pada kategori sedang. Akan tetapi apabila dilihat dari nilai N-gain, model PeNKIM menghasilkan nilai yang lebih baik.

Untuk mengetahui hubungan antarkomponen beban kognitif maka dalam kajian ini dianalisis menggunakan uji korelasional. Ringkasan analisis statistiknya sebagaimana perhitungan pada tabel berikut.

Tabel 24 Uji Korelasi Hubungan di Antara Komponen Beban Kognitif

No	Korelasi	Koefisien korelasi (r^2)		Keterangan
		Eksperimen	Kontrol	
1	<i>Intrinsic load</i> terhadap <i>germane load</i>	0,899 r = 0,95	0,785 r = 0,89	p = 0,00* < 0,01
2	<i>Extraneous load</i> terhadap <i>germane load</i>	-0,684 r = 0,83	-0,825 r = 0,91	p = 0,00* < 0,01
3	<i>Intrinsic load</i> terhadap <i>extraneous load</i>	-0,837 r = 0,91	-0,689 r = 0,83	p = 0,00* < 0,01

Berdasarkan tabel tersebut tampak bahwa hubungan antara ketiga beban kognitif menunjukkan korelasi yang signifikan p = 0,00* < 0,01. Korelasi *germane load* pada kelas eksperimen lebih dipengaruhi oleh *intrinsic load* yang berkorelasi 0,899 dibandingkan dengan *extraneous load* yang

berkorelasi -0,684. Sementara pada kelas kontrol, *germane load* lebih dipengaruhi oleh *extraneous load* yang berkorelasi -0,825 dibandingkan dengan *intrinsic load* yang berkorelasi 0,786.

Korelasi positif antara *intrinsic load* terhadap *germane load* menunjukkan bahwa semakin tinggi kemampuan menganalisis informasi maka semakin tinggi pula kemampuan penalaran mahasiswa. Sementara korelasi negatif antara *extraneous load* terhadap *germane load* menunjukkan bahwa semakin rendah usaha mental mahasiswa dalam memahami informasi maka semakin tinggi kemampuan penalaran mahasiswa. Demikian pula korelasi negatif antara *intrinsic load* terhadap *extraneous load* menunjukkan bahwa semakin rendah usaha mental mahasiswa dalam memahami informasi semakin tinggi kemampuan mahasiswa dalam menganalisis informasi.

Koefisien determinasi (r) antara *intrinsic load* terhadap *germane load* pada kelas eksperimen adalah 0,95, sedangkan pada kelas kontrol adalah 0,89. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan penalaran pada kelas eksperimen 95% dipengaruhi oleh kemampuan menganalisis informasi, sedangkan pada kelas kontrol kemampuan penalaran 89% dipengaruhi oleh kemampuan menganalisis informasi. Koefisien determinasi antara *extraneous load* terhadap *germane load* pada kelas eksperimen adalah 0,83. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan penalaran 83% dipengaruhi oleh usaha mental mahasiswa yang diakibatkan oleh model pembelajaran. Kemudian pada kelas kontrol kemampuan penalaran 91% dipengaruhi oleh usaha mental mahasiswa yang diakibatkan oleh model pembelajaran. Koefisien determinasi antara *intrinsic load* terhadap *extraneous load* pada kelas eksperimen adalah 0,91, sedangkan pada kelas kontrol 0,83. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan menganalisis informasi pada kelas eksperimen 91% dipengaruhi oleh usaha mental mahasiswa yang diakibatkan oleh model pembelajaran, sedangkan pada kelas kontrol kemampuan menganalisis informasi 83% dipengaruhi oleh usaha mental mahasiswa yang diakibatkan oleh model pembelajaran.

Berdasarkan data yang telah dipaparkan maka *intrinsic load* dan *extraneous load* berpengaruh terhadap peningkatan penalaran (*germane load*) mahasiswa karena sumber kognitif mahasiswa memungkinkan mereka untuk menginvestasikan pengetahuan keterkaitan struktur pada fungsi dalam skema kognitifnya. Mahasiswa yang memiliki skor kemampuan penalaran rendah memiliki tingkat usaha mental yang tinggi dan kemampuan menganalisis informasinya rendah. Sebaliknya mahasiswa yang skor kemampuan penalarannya tinggi, memiliki usaha mental yang rendah dan kemampuan menganalisis informasi tinggi.



BAB 7

HASIL PENGEMBANGAN MODEL PEMBELAJARAN PENKIM

Pengintegrasian Struktur dan Fungsi Tumbuhan dengan Pembelajaran Model Penkim

Pengintegrasian struktur pada fungsi tumbuhan didasarkan pada kebutuhan mahasiswa saat mempelajari fisiologi tumbuhan. Seperti yang diketahui, konsep-konsep yang dipelajari pada fisiologi tumbuhan memiliki interkoneksi yang tinggi, baik dengan struktur tumbuhan maupun dengan reaksi kimia yang menyertai proses fisiologi. Oleh karena itu untuk mempelajarinya, memerlukan asimilasi konsep melalui proses pengintegrasian sehingga terbangun pengetahuan yang komprehensif dan saling berhubungan.

Model-model konstruktivis dalam pembelajaran menyatakan bahwa pengetahuan dan pemahaman yang telah ada merupakan dasar untuk belajar bermakna (Ausubel dalam Dahar, 1996). Teori pengolahan memori beranggapan bahwa retensi pengetahuan yang terbentuk pada memori jangka panjang dapat segera diakses. Hal ini melibatkan penguatan pengetahuan melalui integrasi pembelajaran baru dengan struktur pengetahuan yang telah mapan (Taber, 2003). Beberapa peneliti menyatakan bahwa peserta didik kesulitan mengintegrasikan pengetahuan yang sudah mereka miliki pada saat mempelajari materi baru, integrasi konsep tidak selalu terjadi pada peserta didik ketika mereka mempelajari sesuatu hal yang baru (Kalyuga, 2007; Taber, 2003).

Pengintegrasian struktur pada fungsi sebenarnya berpotensi untuk terjadinya beban kognitif pada mahasiswa, apabila pengetahuan awal tentang struktur tumbuhan diberikan sebagai potongan-potongan informasi yang tidak saling berhubungan untuk diintegrasikan pada saat mempelajari fungsi tumbuhan. Akan tetapi apabila pengetahuan tentang struktur dan fungsi dikemas menjadi suatu informasi yang saling berhubungan dan memiliki makna maka dapat menurunkan beban kognitif. Hal itu sesuai dengan teori beban kognitif bahwa informasi yang saling berhubungan akan menghilangkan keterbatasan memori kerja dalam memproses informasi (Schnotz & Kürschner, 2007).

Penelitian penurunan beban kognitif yang sudah dilaksanakan cenderung pada pemanfaatan media dan pengukuran beban kognitifnya lebih banyak pada *intrinsic load* serta *extraneous load*. Hasil penelitian tentang pemanfaatan media pembelajaran untuk menurunkan beban kognitif antara lain dilakukan oleh Lee dkk (2006) yang menyatakan bahwa *intrinsic dan extraneous load* dalam tampilan visual dapat dimanipulasi dan keterbatasan pengetahuan siswa dapat diatasi dengan manipulasi tersebut. Moreno (2006) dan Moreno & Valdez (2007) menyatakan penggunaan multimedia berbasis penemuan dan representasi pengetahuan secara verbal dan visual secara bersamaan dapat mereduksi *extraneous load* dan meningkatkan hasil belajar. Demikian pula Leutner dkk (2009) menyatakan bahwa strategi visualisasi dari bahan bacaan yang bertujuan mengubah informasi verbal menjadi visual dapat mengurangi *extraneous load* dan meningkatkan pemahaman terhadap bahan bacaan serta hasil belajar.

Berdasarkan hasil studi pendahuluan dan kajian tentang bagaimana mengelola pembelajaran untuk menurunkan beban kognitif, ditemukan bahwa: 1) mahasiswa kesulitan mengintegrasikan pengetahuan awal dan cenderung tidak menghubungkan konsep kunci tentang struktur ketika mempelajari fungsi tumbuhan; dan 2) pembelajaran sebaiknya memperhatikan ketersediaan pengetahuan dalam *long-term memory* yang penting untuk mencegah kelebihan beban pada *working memory* dan untuk memandu proses kognitif. Untuk itu, diperlukan suatu model pembelajaran yang dapat mengintegrasikan pengetahuan struktur pada fungsi tumbuhan dengan menurunkan beban kognitif.

Pembelajaran model PeNKIM dikembangkan untuk memfasilitasi mahasiswa dalam mengintegrasikan pengetahuan struktur pada fungsi tumbuhan. Alasan pengembangan model pembelajaran tersebut karena proses pembelajarannya memadukan beberapa keterampilan sehingga memungkinkan mahasiswa untuk terlibat aktif dalam proses berpikir yang adaptif terhadap proses sistem kognitif. Jadi, berdasarkan hasil uji coba yang telah dipaparkan pada bab sebelumnya ditemukan keberhasilan-keberhasilan ketika dosen mengimplementasikan model PeNKIM ketika proses perkuliahan. Uraianya dapat dilihat sebagaimana dipaparkan di bawah ini.

1. Pembahasan uji coba pertama

Pembelajaran model PeNKIM bertujuan memfasilitasi pengintegrasian struktur pada fungsi tumbuhan dengan memperhatikan ketersediaan pengetahuan dalam *long-term memory* untuk mencegah kelebihan beban pada *working memory* dan untuk memandu proses kognitif. Berdasarkan tujuan tersebut, agar strategi perkuliahan dan urutan materi dapat terlaksana dengan baik maka dosen menggunakan strategi pembelajaran model PeNKIM yang menekankan penggunaan *prior knowledge* secara aktif dalam rangka merumuskan, menerapkan prinsip, dan memecahkan masalah. Sementara urutan materi diberikan mulai dari materi yang sederhana hingga materi yang lebih kompleks.

Pada uji coba pertama, ditemui beberapa kendala dalam melaksanakan strategi perkuliahan. Kendala-kendala yang dimaksud adalah sebagai berikut.

- a. Strategi mengemukakan masalah keterkaitan struktur pada fungsi belum dapat terlaksana dengan baik karena mahasiswa belum mampu mengidentifikasi struktur jaringan organ pada tumbuhan yang berperan dalam proses fisiologi.
- b. Strategi merumuskan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan belum terlaksana dengan baik karena mahasiswa masih memiliki kendala dalam melakukan identifikasi perbedaan jaringan pada organ tumbuhan.
- c. Strategi merancang eksperimen belum dapat dilaksanakan dengan baik karena mahasiswa mengalami kesulitan merumuskan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan sebagai akibat keterbatasan mahasiswa dalam

melakukan identifikasi perbedaan jaringan pada organ tumbuhan sehingga berakibat pada ketidakmampuan mengintegrasikan konsep yang koheren.

- d. Materi keterkaitan struktur pada fungsi yang disampaikan pada tahap belajar untuk pemerolehan dan pengintegrasian belum memfasilitasi kemampuan melakukan identifikasi perbedaan jaringan pada organ tumbuhan sehingga menyebabkan beban kognitif saat mempelajari materi perbedaan struktur organ tumbuhan terhadap proses fisiologi dan materi strategi adaptasi.

Kendala-kendalam tersebut kemudian dapat diatasi dengan meningkatkan kemampuan mahasiswa dalam melakukan identifikasi jaringan pada organ tumbuhan dan merumuskan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan. Untuk meningkatkan kemampuan melakukan identifikasi jaringan tumbuhan, dilakukan penambahan strategi perkuliahan. *Pertama*, pada tahap belajar untuk pemerolehan dan pengintegrasian ditambahkan strategi diskusi terfokus untuk memfasilitasi mahasiswa dalam mengidentifikasi jaringan pada organ tumbuhan. *Kedua*, pada tahap perluasan dan penghalusan pengetahuan ditambahkan strategi pemberian gambar struktur suatu organ yang bervariasi berdasarkan lingkungan tempat tumbuhnya serta memberikan contoh *graphic organizer*.

Setelah strategi tersebut dilaksanakan, adapun hasil yang didapat adalah rendahnya kemampuan mengidentifikasi jaringan pada organ tumbuhan berdampak pada ketidakmampuan merumuskan dan menerapkan prinsip serta merancang eksperimen. Padahal, kemampuan mengidentifikasi jaringan pada suatu organ tumbuhan menjadi syarat untuk dapat merumuskan dan menerapkan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi serta merancang eksperimen. Dengan demikian, pada percobaan kedua dilakukan penambahan strategi perkuliahan yaitu strategi diskusi terfokus. Strategi tersebut dapat dilakukan untuk mengatasi ketidakmampuan dalam mengidentifikasi jaringan pada organ tumbuhan. Melalui diskusi terfokus mahasiswa menjadi lebih mudah dalam melakukan identifikasi tumbuhan, terutama pada mahasiswa yang memiliki kemampuan awal yang rendah.

Hal ini karena pada diskusi tersebut mahasiswa terfokus untuk mengembangkan kemampuan mengidentifikasi jaringan pada tumbuhan yaitu dengan cara mendeskripsikan ciri-ciri dan sifat setiap jaringan yang terdapat pada organ tumbuhan. Dengan mengetahui ciri-ciri dan sifat suatu jaringan, mahasiswa dapat mengintegrasikan konsep koheren sehingga terbentuk skema “jaringan pada organ tumbuhan” pada *long-term memory*. Terbentuknya skema tersebut, memudahkan mahasiswa menentukan jaringan yang harus diidentifikasi ketika mereka mempelajari fungsi tumbuhan. Kemampuan mahasiswa dalam menentukan jaringan yang harus diidentifikasi tentu berpengaruh terhadap kemampuan menghubungkan konsep-konsep kunci tentang struktur pada saat mempelajari fungsi tumbuhan. Dengan demikian, mahasiswa menjadi lebih mudah mengintegrasikan pengetahuan struktur pada fungsi tumbuhan untuk menjelaskan keterkaitan jaringan dari organ-organ yang berperan dalam suatu proses fisiologi secara komprehensif.

Sebagai contoh, ketika menjelaskan keterkaitan struktur pada laju transpirasi, mahasiswa tidak lagi terfokus pada satu jenis organ tumbuhan, tetapi sudah secara langsung menghubungkan dengan organ batang, terutama jaringan xilem sehingga mereka mampu menghubungkan keberadaan lignin pada dinding sel xilem dengan proses fisika yang terjadi pada saat air dibawa ke seluruh bagian tumbuhan.

Hasil penelitian ini didukung oleh Scharfenberg & Bogner (2010) bahwa diskusi terfokus dapat membantu mahasiswa mengontruksi skema sehingga keterbatasan *working memory* dapat dihindari. Hal ini dapat membantu menurunkan *intrinsic load* yang mengarah pada pencapaian kognitif dan perubahan positif dalam efisiensi pembelajaran.

Strategi pemberian gambar struktur suatu organ yang bervariasi berdasarkan lingkungan tempat tumbuhnya kemudian diberikan pada tahap perluasan dan penghalusan pengetahuan. Melalui strategi ini, mahasiswa menjadi lebih mudah mengidentifikasi perbedaan jaringan pada tumbuhan yang hidup di lingkungan yang berbeda. Mahasiswa menjadi terlatih menentukan jaringan yang harus diidentifikasi saat merumuskan prinsip keterkaitan

struktur pada fungsi tumbuhan. Selain itu, mahasiswa lebih mudah menjelaskan bagaimana hasil identifikasi tersebut digunakan untuk menerapkan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi saat merancang eksperimen. Dengan demikian, pemberian contoh gambar yang bervariasi dapat membantu proses kognitif ke arah cara berpikir yang lebih kompleks dalam hal memilih, menentukan, dan mengevaluasi objek belajar.

Hasil penelitian tersebut didukung oleh teori beban kognitif, bahwa keberhasilan belajar mahasiswa meliputi proses: (a) interaksi bermakna dengan bahan ajar (Moreno, Mayer, Spires & Lester 2001); (b) organisasi informasi ke dalam model mental atau representasi (Mayer & Moreno, 2002); (c) integrasi representasi baru dengan pengetahuan yang telah ada (Eylon, Berger, Bagno, E., 2008).

Pemberian contoh *graphic organizer* yang menggambarkan keterkaitan antara struktur pada fungsi tumbuhan bertujuan membantu mahasiswa dalam menggambarkan skema kognitif. Dengan diberikannya *graphic organizer* mahasiswa tertantang berpikir bagaimana menyeleksi dan mengorganisasikan keterkaitan struktur pada fungsi menjadi struktur yang koheren sehingga dapat mendukung proses kognitif. Secara mental mahasiswa dapat mengintegrasikan hasil identifikasi jaringan organ tumbuhan saat mempelajari perbedaan proses fisiologi yang terjadi pada tumbuhan. Dengan demikian, mahasiswa lebih mudah merumuskan dan menerapkan prinsip pada saat merancang eksperimen.

Penemuan tersebut sejalan dengan pendapat Stull & Mayer (2007) bahwa *graphic organizer* dapat memfasilitasi belajar dengan cara membantu siswa untuk mengorganisasikan dan mengintegrasikan informasi dari bahan ajar yang berupa narasi. Kohler (2009) menyatakan bahwa *graphic organizer* memfasilitasi siswa mempresentasikan suatu informasi yang saling berhubungan sehingga mendukung proses kognitif siswa untuk berpikir secara komprehensif.

2. Pembahasan uji coba kedua

Penemuan hasil pada uji coba kedua bertujuan untuk menganalisis penambahan strategi dari hasil uji coba pertama, mengembangkan,

dan memperbaiki strategi pembelajaran pada model PeNKIM. Untuk mengetahui apakah strategi yang digunakan pada model PeNKIM berfungsi dengan baik maka dianalisis dengan melihat kemampuan mahasiswa dalam menganalisis informasi. Kemampuan menganalisis informasi adalah kemampuan mahasiswa dalam memilih informasi yang relevan, mengorganisasi materi menjadi representasi yang logis, mengintegrasikan materi yang sedang dipelajari dengan pengetahuan yang telah ada, mengidentifikasi jaringan pada organ tumbuhan, merumuskan prinsip-prinsip proses fisiologi berdasarkan struktur organ yang berbeda, dan merancang eksperimen berdasarkan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan sesuai dengan kondisi lingkungan.

Berdasarkan hasil uji coba pertama, strategi yang digunakan untuk memfasilitasi kemampuan menganalisis informasi adalah strategi yang dapat mengembangkan keterampilan metakognisi. Menurut Urena dkk (2010) keterampilan metakognisi dapat dikembangkan dengan cara menciptakan lingkungan belajar yang memungkinkan siswa dapat menjelaskan dan mempertahankan pemikiran mereka dalam membuat pilihan dan keputusan. Sementara strategi yang dapat digunakan untuk mengembangkan kemampuan metakognisi adalah yang memberikan kesempatan kepada siswa untuk melakukan penemuan melalui kolaborasi (Lin, Schwartz, Hatono, 2005; Thomas dkk, 2008).

Kemudian berdasarkan hasil uji coba kedua, terdapat beberapa temuan yang menunjukkan bahwa model PeNKIM dapat melatih kemampuan menganalisis informasi. Temuan-temuan berikut diuraikan sebagaimana berikut.

- a. Pengemasan informasi menjadi kesatuan yang bermakna membantu mahasiswa memproses informasi. Pengemasan informasi tersebut sesuai dengan model pengolahan informasi Atkinson-Shiffrin (Slavin, 2008) yaitu model koneksitas. Model tersebut menjelaskan bahwa pengetahuan yang disimpan di otak akan membentuk suatu jaringan koneksi, bukan dalam informasi yang saling terpisah. Berdasarkan temuan tersebut dan model pengolahan informasi, mahasiswa lebih mudah untuk menerapkan prinsip keterkaitan struktur

pada fungsi karena informasi-informasi tentang struktur dan fungsi tumbuhan sudah dikemas menjadi satu kesatuan yang bermakna. Pengemasan informasi menjadi kesatuan yang bermakna sehingga mahasiswa dapat memproses informasi saat memecahkan masalah. Hal ini diperkuat oleh teori beban kognitif bahwa atribut penting dari beban kognitif adalah memori kerja yang memiliki keterbatasan dalam kapasitas dan durasi ketika memproses informasi yang belum dikenal apabila terdapat lebih dari tujuh potongan informasi baru diolah secara bersama maka memori kerja akan mengalami kelebihan beban, tetapi akan terjadi penurunan apabila potongan informasi baru ini saling berkaitan (Miyake & Shah, 1999).

- b. Pembelajaran yang dilaksanakan secara kontekstual tidak menimbulkan beban kognitif dalam mengintegrasikan struktur pada fungsi tumbuhan. Pembelajaran kontekstual ini sesuai dengan teori pemrosesan informasi bahwa informasi akan lebih lama disimpan dalam otak apabila diperoleh berdasarkan pengalaman (Slavin, 2008). Pada dasarnya pembelajaran kontekstual merupakan suatu sistem yang dapat merangsang otak untuk menyusun pola-pola yang mewujudkan makna. Kebermaknaan pada pembelajaran kontekstual dihasilkan karena materi pelajaran dihubungkan dengan pengalaman dalam kehidupan sehari-hari. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian bahwa mahasiswa telah komprehensif melihat keterkaitan antarorgan tumbuhan, bahkan dapat secara spontan menganalisis perbedaan jaringan pada satu organ untuk melihat strategi adaptasi tumbuhan terhadap lingkungan tempat tumbuhnya. Kemampuan mahasiswa tersebut membuktikan bahwa pembelajaran kontekstual meningkatkan rasa ingin tahu dan mendorong mencari tahu alasan untuk memperluas pengetahuan yang telah mereka miliki. Selain itu, pembelajaran secara kontekstual akan mendorong siswa berpikir logis sehingga materi menjadi bermakna karena dapat diterapkan untuk memecahkan permasalahan dalam kehidupan sehari-hari. Hal ini didukung oleh peneliti lain bahwa pembelajaran

kontekstual berperan dalam meningkatkan pemahaman, terutama pembelajaran yang membutuhkan aktivitas menganalisis dan mengklasifikasikan (Bulte dkk, 2006). Pembelajaran kontekstual meningkatkan perkembangan dan integrasi konsep serta kerja sama dan tanggung jawab dalam belajar (Braund & Reiss, 2006).

- c. Terjadinya *split attention* saat memproses informasi. *Split attention* yang terjadi karena usaha mental yang dilakukan oleh mahasiswa dalam memproses informasi sangat tinggi. Mahasiswa memerlukan usaha mental tidak saja untuk memproses informasi melalui berbagai macam strategi pada setiap tahap pembelajaran, tetapi juga harus mengerjakan tugas dari instrumen *intrinsic load*. Sebagai contoh, *split attention* yang terjadi pada tahap belajar untuk pemerolehan dan pengintegrasian adalah pada saat mahasiswa memproses informasi melalui strategi pemecahan masalah. Dalam hal ini, mahasiswa harus berkonsentrasi memecahkan masalah yang ada dalam instrumen *intrinsic load*. Dengan demikian, mahasiswa memerlukan konsentrasi dalam melaksanakan aktivitas secara bersamaan.

Menurut beberapa penelitian yang dirangkum oleh Matlin (2009), *split attention* dapat menurunkan keakurasian dalam melaksanakan aktivitas. Hal ini terbukti penurunan keakurasian terjadi saat memproses informasi melalui strategi pembelajaran. Mahasiswa menjadi sulit mengembangkan proses berpikirnya sehingga berdampak pada kemampuan menyelesaikan tugas menganalisis informasi. Skor kemampuan menganalisis informasi pada uji coba kedua termasuk dalam kategori kurang baik (2,36), sedangkan kemampuan menganalisis informasi menjadi lebih baik termasuk dalam kategori baik (3,05). Hal ini disebabkan pada uji coba ketiga mahasiswa sudah tidak mengalami *split attention* karena pengukuran *intrinsic load* dilakukan tidak pada setiap tahapan pembelajaran. Akan tetapi dilakukan di akhir pembelajaran dengan menambah tahapan pembelajaran baru yaitu tahap kebiasaan berpikir.

Pemberian *graphic organizer* pada tahap perluasan dan penghalusan pengetahuan belum memfasilitasi mahasiswa untuk mengorganisasikan pengetahuan secara bermakna karena informasi tentang keterkaitan struktur pada fungsi belum mencukupi. Sebagai contoh, pada tahap tersebut mahasiswa belum menerapkan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi sehingga fungsi *graphic organizer* adalah menjaga informasi yang relevan (*maintenance of relevant information*) tersimpan di dalam *long-term memory* belum berfungsi dengan baik.

3. Pembahasan pada uji coba ketiga

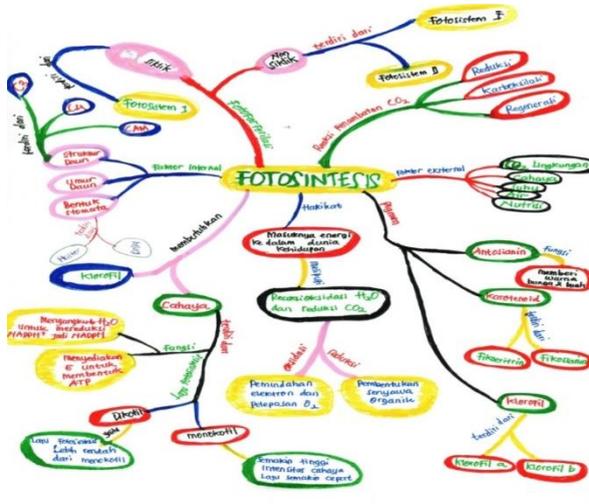
Pembahasan pada uji coba ketiga bertujuan untuk mengembangkan dan memperbaiki strategi pembelajaran pada model PeNKIM. Untuk mengetahui apakah strategi yang digunakan pada model PeNKIM berfungsi dengan baik kemudian dianalisis dengan melihat kemampuan mahasiswa dalam mengembangkan skema kognitifnya. Berkembangnya skema kognitif mahasiswa merupakan hasil dari proses pengintegrasian struktur pada fungsi tumbuhan melalui berbagai macam strategi dan media dalam proses pembelajarannya.

Berdasarkan hasil temuan pada uji coba pertama dan kedua, kemudian pada uji coba ketiga strategi pembelajaran lebih menekankan bagaimana sistem kognitif mahasiswa dalam memproses dan menganalisis informasi. Hal ini sejalan dengan pendapat Marzano (1992) bahwa penerapan kerangka instruksional Marzano menekankan pada *cognitive sistem processes*. Demikian pula pendapat Craik (2000) yang dikemukakan oleh Slavin (2008) bahwa seseorang menempatkan rangsangannya pada tingkat pemrosesan mental yang berbeda-beda, dan hanya menyimpan informasi yang telah menjalani pemrosesan secara mendalam.

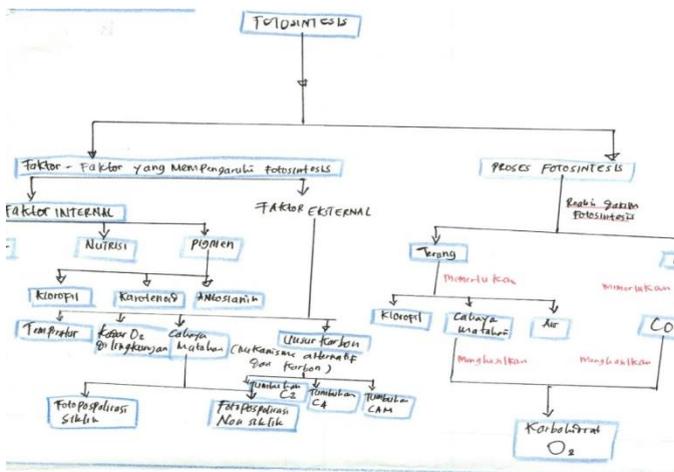
Strategi pembelajaran dan media yang digunakan dalam model PenKIM dianggap sebagai rangsangan untuk memproses informasi. Informasi tersebut tentu harus diolah dalam struktur kognitif agar dapat dimaknai dan akan tersimpan dalam skema kognitif. Strategi dan media pembelajaran yang digunakan pada uji coba ketiga sama dengan yang digunakan pada uji coba kedua. Akan tetapi pemberian contoh *graphic organizer* dipindahkan dari

tahap perluasan dan penghalusan pengetahuan ke tahap belajar menggunakan pengetahuan secara bermakna. Hal ini dilakukan berdasarkan teori pengolahan informasi untuk menurunkan beban *working memory* yang dinyatakan oleh Schnotz & Kürschner (2007) bahwa untuk menjaga informasi yang relevan (*maintenance of relevant information*) tetap tersimpan di dalam *long-term memory* diperlukan pengorganisasian informasi menggunakan suatu diagram. Jadi, pemberian contoh *graphic organizer* pada tahap belajar menggunakan pengetahuan secara bermakna dianggap lebih tepat. Pada tahap tersebut mahasiswa mampu memproses dan menganalisis informasi untuk mengintegrasikan struktur pada fungsi tumbuhan. Hal ini berarti informasi telah diproses secara mendalam dan sudah tersimpan dalam *long-term memory*. Dengan demikian, pemberian contoh *graphic organizer* dapat memperkuat dan memelihara informasi yang telah tersimpan. Informasi tersebut juga dapat dipanggil dengan mudah ketika mahasiswa mengerjakan tugas menganalisis informasi pada tahap selanjutnya yaitu tahap kebiasaan berpikir.

Berdasarkan analisis pada uji coba ketiga, dihasilkan suatu temuan bahwa berkembangnya skema kognitif berpengaruh terhadap kemampuan menganalisis informasi dan kemampuan penalaran. Hal ini terjadi karena skema kognitif menyimpan informasi yang bermakna pada *long-term memory* dalam bentuk jaringan fakta dan konsep yang saling berkaitan. Temuan ini sesuai dengan *mind map* yang dibuat oleh mahasiswa. *Mind map* tersebut memperlihatkan bahwa pengorganisasian informasi sudah cukup baik dibandingkan pengorganisasian informasi menggunakan *concept map*. *Mind map* dan *concept map* yang telah dibuat diperlihatkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 20 Contoh Pengorganisasian Informasi Menggunakan *Mind Map*



Gambar 21 Contoh Pengorganisasian Informasi Menggunakan *Concept Map*

Dengan demikian, penggunaan *mind map* lebih tepat digunakan dibandingkan dengan *concept map* dalam melihat perkembangan skema kognitif mahasiswa. Hal ini sesuai dengan pendapat Wraight (2006) bahwa *mind map* digunakan siswa untuk meringkas dan mengorganisasikan informasi. *Mind map*

memfasilitasi mahasiswa untuk mengorganisasikan informasi sebagaimana cara kerja otak. Menurut Buzan (2002), *mind map* merupakan suatu teknik yang digunakan untuk membuat catatan yang memperlihatkan pola dan hubungan antara fakta atau ide. *Mind map* sesuai dengan teori belajar bermakna karena mahasiswa belajar pengetahuan baru dan menghubungkannya dengan pengetahuan yang telah ada dalam struktur kognitif dengan cara mengakomodasi informasi baru.

Keles (2012) menyatakan bahwa *mind map* merupakan teknik mengorganisasikan informasi dengan cara mengorganisasikan fakta dan pengetahuan yang ada di dalam pikiran siswa. Melalui *mind map*, mahasiswa dapat menciptakan hubungan dan menyusun informasi dengan hierarki yang bervariasi, baik secara vertikal maupun horizontal. Lebih lanjut, Keles (2012) menyatakan bahwa pengetahuan yang berbasis lingkungan sulit untuk digambarkan secara komprehensif. Demikian pula konsep pada mata kuliah fisiologi tumbuhan sangat erat kaitannya dengan lingkungan tempat hidup tumbuhan dan perubahan lingkungan. Jadi, penggunaan *mind map* untuk melihat perkembangan struktur kognitif mahasiswa sangat cocok karena memungkinkannya untuk membuat hubungan antara kondisi lingkungan dengan konsep yang relevan. *Mind map* selain dapat digunakan untuk mengorganisasikan informasi dapat pula membantu memecahkan masalah (Buzan, 2002). Kajian tersebut sesuai dengan hasil percobaan bahwa mahasiswa yang memiliki skema kognitif yang baik lebih mudah dalam memecahkan masalah. Pernyataan tersebut terlihat pada diagram di bawah ini bahwa pada kelas eksperimen, kemampuan memecahkan masalah lebih baik dibandingkan pada kelas kontrol.

Pada kelas eksperimen skema kognitif mahasiswa dapat berkembang karena proses pembelajaran menekankan penggunaan *prior knowledge*. Hal ini sesuai dengan prinsip pengembangan skema kognitif yang dikemukakan oleh Anderson & Bower (1983) yang dikemukakan oleh Slavin (2008) bahwa informasi yang cocok dengan skema yang sudah ada pada *long-term memory* akan lebih mudah dipahami, dipelajari, dan diingat daripada informasi yang tidak cocok dengan skema yang ada.

Pembelajaran model PeNKIM memfasilitasi perkembangan skema kognitif karena strategi yang dikembangkan menuntun pada pembentukan skema. Pada tahap belajar untuk pemerolehan dan pengintegrasian, mahasiswa sudah diarahkan untuk mengembangkan skema tentang struktur tumbuhan yaitu dengan cara memberikan informasi dan permasalahan keterkaitan struktur fungsi sehingga informasi tersebut menjadi lebih bermakna karena dikemas menjadi informasi yang saling berkaitan. Pada tahap belajar untuk pemerolehan dan pengintegrasian, skema yang sudah terbentuk pada tahap sebelumnya akan lebih berkembang. Perkembangan tersebut merupakan hasil dari pemrosesan informasi tentang struktur tumbuhan yang lebih kompleks yang dikaitkan dengan fungsi tumbuhan pada lingkungan yang berbeda. Pemrosesan informasi tersebut akan menghasilkan koneksitas antara struktur pada fungsi tumbuhan yang lebih luas pada skema kognitif mahasiswa.

Perkembangan skema kognitif selama proses pembelajaran merupakan hasil kegiatan yang melibatkan mahasiswa untuk menghubungkan ide-ide secara aktif. Dengan berkembangnya skema kognitif, mahasiswa mampu menarik kesimpulan yang logis berdasarkan hubungan yang ada pada skema kognitif. Hal tersebut dibuktikan dengan kemampuan menganalisis informasi dan kemampuan penalaran yang termasuk dalam kategori baik. Pernyataan tersebut sesuai dengan Ormrod (2008) dan Solso dkk (2008) bahwa skema kognitif dapat membantu siswa menarik hubungan yang logis untuk melihat hubungan sebab akibat, membuat prediksi dan keputusan, serta memecahkan masalah. Hal tersebut diperkuat oleh hasil penelitian yang dilakukan Manoli & Papadopoulou (2012) bahwa pengorganisasian informasi dalam bentuk skema dapat membantu siswa guna melakukan *self-regulated learning* yang dibutuhkan untuk berpikir tingkat tinggi.

- 4. Pembahasan pada implementasi pembelajaran model PeNKIM**
Pembelajaran model PeNKIM pada uji coba ketiga telah dianggap baik untuk dapat diterapkan pada tahap implementasi. Strategi dan urutan materi yang dikembangkan dalam model tersebut sudah sesuai dengan tuntutan kerangka instruksional Marzano dan teori beban kognitif. Strategi yang dikembangkan menuntun

mahasiswa berperan aktif dalam memproses informasi yang disesuaikan dengan *prior knowledge* sehingga dapat membentuk dan membangun skema kognitifnya sendiri. Hal ini sesuai dengan pendapat Marzano (1992) bahwa prinsip dasar dalam belajar adalah proses interaksi antara apa yang telah diketahui dan apa yang akan dipelajari. Selanjutnya Marzano menyatakan bahwa apabila mahasiswa atau siswa tidak terlibat secara personal dalam proses membentuk dan mengorganisasikan informasi maka akan mengalami kegagalan dalam memahami informasi. Menurut Sweller dkk (1998) yang dikemukakan oleh Schnotz & Kürschner (2007) bahwa skema kognitif menyediakan informasi yang saling berhubungan dan dalam proses berpikir akan berinteraksi dengan *working memory* sehingga memudahkan terjadinya asimilasi dan pemahaman konsep. Berdasarkan kedua pendapat di atas, pengembangan pembelajaran model PeNKIM menekankan pada proses berpikir untuk mendapatkan pengetahuan sesuai dengan bagaimana otak memproses pengetahuan.

Pada tahap implementasi pembelajaran model PeNKIM akan dibandingkan dengan pembelajaran terintegrasi tipe *nested* yang diberikan secara konvensional. Tujuannya adalah untuk melihat beban kognitif yang ditimbulkan dari kedua mata kuliah tersebut. Strategi yang digunakan pada pembelajaran terintegrasi tipe *nested* secara konvensional menekankan pada perpaduan tiga keterampilan, yaitu keterampilan sosial (*social skill*), keterampilan berpikir (*thinking skill*), dan keterampilan isi (*content-specific skill*) ketika membahas suatu topik. Keterampilan sosial dilatihkan kepada mahasiswa dengan cara melakukan kerja sama dalam memecahkan masalah keterkaitan struktur pada fungsi. Sementara keterampilan berpikir diajarkan dengan cara menerapkan strategi pemecahan masalah dan merancang eksperimen agar mahasiswa mampu merumuskan dan menerapkan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan. Selanjutnya, keterampilan isi diberikan dengan cara mengintegrasikan struktur pada fungsi tumbuhan untuk mempelajari fisiologi tumbuhan.

Berdasarkan hasil implementasi, terdapat perbedaan beban kognitif antara yang menggunakan pembelajaran model PeNKIM dan pembelajaran terintegrasi tipe *nested* dalam mengintegrasikan

struktur pada fungsi tumbuhan. Beban kognitif mahasiswa ini dilihat dari kemampuan menganalisis informasi untuk mengukur *intrinsic load*, usaha mental dalam memahami informasi untuk mengukur *extraneous load*, dan kemampuan penalaran untuk mengukur *germane load*. *Intrinsic load* mahasiswa dikatakan rendah apabila skor kemampuan menganalisis informasinya tinggi. Sementara *extraneous load* mahasiswa rendah apabila skor usaha mental dalam memahami informasi rendah. Kemudian, *germane load* mahasiswa rendah apabila skor kemampuan penalarannya tinggi.

Hasil analisis statistik perbedaan beban kognitif antara kelas eksperimen dan kelas kontrol menunjukkan bahwa beban kognitif pada kelas eksperimen lebih rendah dibandingkan dengan kelas kontrol. Perbedaan tersebut dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 25 Perbedaan Beban Kognitif Antara Kelas Eksperimen dan Kelas Kontrol

Beban Kognitif	Kelas Eksperimen	Kelas Kontrol
Menganalisis informasi	3,2	2,5
Usaha mental	0,28	0,32
Penalaran	68,2	59,4

Terlihat pada tabel di atas tampak bahwa skor kemampuan menganalisis informasi dan kemampuan penalaran pada kelas eksperimen lebih tinggi dibandingkan dengan kelas kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa beban *intrinsic load* dan *germane load* pada kelas eksperimen lebih rendah dibandingkan dengan kelas kontrol. Demikian pula *extraneous load* kelas eksperimen lebih rendah dibandingkan kelas kontrol karena skor usaha mental yang diperlukan dalam memahami materi lebih rendah.

Hasil analisis statistik menggunakan uji persamaan dua rata-rata menunjukkan bahwa beban kognitif antara kelas eksperimen dan kelas kontrol berbeda signifikan. Hal tersebut menunjukkan bahwa mahasiswa yang menggunakan pembelajaran model PeNKIM memiliki beban kognitif lebih rendah dibandingkan mahasiswa yang menggunakan pembelajaran terintegrasi tipe *nested* secara konvensional dalam mengintegrasikan struktur pada

fungsi. Lebih rendahnya beban kognitif mahasiswa diakibatkan karena pembelajaran model PeNKIM selain menekankan proses berpikir, juga menciptakan lingkungan belajar yang memfasilitasi mahasiswa untuk terlibat dalam proses pembelajaran. Karakteristik khusus pembelajaran model PeNKIM yang menyebabkan rendahnya beban kognitif mahasiswa dalam mengintegrasikan struktur pada fungsi tumbuhan adalah sebagai berikut.

Pembelajaran diawali dengan mengembangkan sikap dan persepsi positif mahasiswa dalam mempelajari suatu konsep yang memiliki interkoneksi tinggi. Pengembangan sikap dan persepsi positif dalam pembelajaran sangat diperlukan untuk membangun rasa ingin tahu terhadap materi yang akan dipelajarinya. Dengan terbangunnya rasa ingin tahu kemudian dapat mengembangkan perhatian mahasiswa untuk mengeksplorasi dan memindahkan pengetahuan yang bermakna dari sumber belajar untuk pengembangan lebih lanjut. Selain itu mahasiswa mampu mempertahankan konsentrasi pada tahapan pembelajaran selanjutnya. Hasil kajian ini didukung oleh beberapa peneliti yang menyatakan bahwa persepsi meningkatkan motivasi untuk terlibat aktif dalam pembelajaran dan bersedia menerima pengetahuan serta keterampilan dari berbagai sumber dan metode (George, 2006; Ainley, 2011).

Pengembangan sikap dan persepsi positif terhadap pembelajaran menjadikan mahasiswa lebih fokus dalam pembelajaran dan memilih objek belajar sesuai dengan permasalahan yang dikembangkan di kelas. Mahasiswa telah terfasilitasi untuk mengelaborasi pengetahuan tentang struktur pada fungsi dengan indikasi mahasiswa telah mampu menentukan jaringan yang harus diidentifikasi ketika mereka mempelajari fungsi tumbuhan. Kemampuan mahasiswa dalam menentukan jaringan yang harus diidentifikasi merupakan kunci untuk mampu merumuskan dan menerapkan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi. Dengan demikian, mahasiswa menjadi lebih mudah mengintegrasikan pengetahuan struktur pada fungsi tumbuhan. Hal ini terbukti bahwa beban kognitif mahasiswa rendah karena hanya 20,4% pada kelas eksperimen yang menyatakan sulit.

Teori beban kognitif yang mendukung hasil kajian ini adalah keberhasilan belajar siswa pada tahap kedua yaitu tahap belajar untuk pemerolehan dan pengintegrasian. Pada tahap ini, mahasiswa dibimbing untuk mengintegrasikan keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan menggunakan media animasi sehingga membantu mahasiswa menemukan pentingnya keterkaitan struktur pada fungsi dalam memahami materi fisiologi tumbuhan. Mahasiswa mampu membangun materi baru berdasarkan materi yang telah diajarkan sebelumnya dan memperkuat hubungan-hubungan tersebut ketika mengembangkan suatu konsep dan mahasiswa akan terus membawa keterkaitan tersebut dalam tahapan pembelajaran selanjutnya. Hasil tersebut didukung oleh penelitian yang menggunakan multimedia bahwa penggunaan multimedia dalam proses pembelajaran terutama pembelajaran yang mengombinasi antara materi verbal dan bergambar dapat memudahkan siswa dalam belajar (Mayer dkk, 2001; Schnotz, 2007).

Pendekatan pembelajaran pada tahap ini dikembangkan berdasarkan ide-ide kunci yang bertindak melalui keterkaitan konsep saat mengajar dan integrasi konsep pada saat siswa belajar. Hal tersebut merupakan cara yang bermanfaat untuk membantu mahasiswa belajar menghubungkan pengetahuan struktur tumbuhan yang telah mereka pelajari. Dosen pada saat mengajar tidak hanya menerangkan keterkaitan yang relevan antarstruktur dan fungsi, tetapi juga menjelaskan pentingnya hubungan secara epistemologi. Proses pengintegrasian pengetahuan penting untuk belajar bermakna, pada tahap ini mahasiswa sudah mampu mengorganisasi pengetahuan pada struktur koheren dan mengintegrasikan informasi baru dengan struktur pengetahuan yang telah ada.

Mahasiswa lebih mudah untuk menerapkan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi karena informasi tentang struktur dan fungsi tumbuhan sudah dikemas menjadi satu kesatuan yang bermakna. Pengemasan informasi membantu mahasiswa dalam memecahkan masalah. Hal ini sesuai dengan pendapat Ormrod (2008) bahwa pemecahan masalah akan lebih sukses apabila siswa menyimpan

banyak informasi dalam *long-term memory*-nya dengan berbagai kepingan informasi terorganisasi yang tepat dan saling terkait.

Diskusi terfokus saat mengidentifikasi tumbuhan terbukti dapat memudahkan mahasiswa dalam mengintegrasikan konsep koheren. Kemampuan mengidentifikasi jaringan pada organ tumbuhan menjadi kunci bagi mahasiswa untuk mengintegrasikan struktur pada fungsi.

Kemudian pada tahap perluasan dan penghalusan pengetahuan, mahasiswa sudah mampu menerapkan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi. Kemampuan tersebut sangat dipengaruhi oleh kemampuan mengidentifikasi jaringan pada organ tumbuhan. Sebagai contoh, dalam memecahkan permasalahan keterkaitan pada fungsi tumbuhan terhadap proses fotosintesis, mahasiswa terlebih dahulu mengidentifikasi organ yang berperan dalam proses fotosintesis, kemudian mengidentifikasi jaringan pada organ dengan tahapan berikut.

- a. Mengidentifikasi komponen-komponen struktur yang relevan pada fungsi. Di sini, mahasiswa dapat memahami jaringan-jaringan pada organ daun yang berperan dalam proses fotosintesis.
- b. Mengidentifikasi persamaan dan perbedaan jaringan pada suatu organ. Dalam hal ini, mahasiswa sudah mampu membedakan jaringan pada daun dikotil dan monokotil yang berpengaruh terhadap laju fotosintesis.
- c. Mengonstruksi dukungan dengan mengajukan bukti perbedaan struktur tumbuhan terhadap strategi adaptasi yang dilakukannya.

Mahasiswa mampu dengan baik membedakan struktur yang berpengaruh terhadap fotosintesis dengan cara menganalisis jaringan daun pada tumbuhan C3, C4, dan CAM terutama dilihat dari struktur mesofil, epidermis, bentuk dan letak stomata. Mahasiswa telah mampu menerapkan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi dengan cara menerapkan konsep fungsi jaringan suatu organ terhadap efektivitas fotosintesis. Sebagai contoh, mahasiswa mampu menerapkan prinsip fungsi adanya seludang pembuluh pada tumbuhan jagung sehingga tumbuhan tersebut dalam kondisi suhu panas dan intensitas matahari yang tinggi dapat mencegah

terjadinya fotorespirasi meskipun kadar CO₂ di udara rendah. Pada saat dosen memberikan permasalahan adanya peningkatan suhu, mahasiswa secara spontan akan mengaitkan peranan enzim dalam proses fisiologi pada tumbuhan serta menghubungkannya dengan struktur yang dimiliki oleh jaringan tumbuhan C4 dan CAM.

Berdasarkan temuan dari hasil implementasi di atas, mahasiswa tidak mengalami beban kognitif saat harus mengintegrasikan pengetahuan struktur pada fungsi karena pembelajaran dilaksanakan secara kontekstual. Perumusan dan penerapan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi telah didasarkan pada hasil identifikasi jaringan yang komprehensif sesuai dengan lingkungan tempat hidup tumbuhan tersebut. Kemampuan mahasiswa tersebut membuktikan bahwa pembelajaran kontekstual pada pembelajaran model PeNKIM memfasilitasi kegiatan belajar untuk mencari, memproses, dan menemukan pengalaman belajar yang bersifat konkret melalui aktivitas mahasiswa dalam menghubungkan antara pengetahuan yang dimilikinya dengan mengaplikasikannya pada kehidupan nyata.

Selain itu pembelajaran kontekstual dapat meningkatkan keterampilan meta kognisi mahasiswa dalam menentukan langkah-langkah yang diperlukan untuk memecahkan masalah. Sebagai contoh, saat mengidentifikasi jaringan pada tumbuhan xerofit, mahasiswa akan mengidentifikasi bentuk dan banyaknya lapisan epidermis, letak dan bentuk stomata, bentuk dan kerapatan mesofil, serta susunan jaringan pembuluh. Dengan demikian mahasiswa sudah menggunakan ide-ide kunci dalam mengidentifikasi suatu tumbuhan yang disesuaikan dengan kondisi lingkungannya. Lin, Schwartz, dan Hatono (2005) menyatakan bahwa penekanan pada tugas-tugas yang kontekstual akan mengembangkan kemampuan meta kognisi. Selain itu, pemelajar dewasa menyadari adanya keterbatasan dalam sistem memori mereka sehingga akan melakukan strategi membuat catatan, mengingat informasi penting, mengabaikan informasi yang tidak penting, menggunakan *mnemonics*, dan menggunakan ide-ide penting (Schraw dkk, 2006)

Pada tahap ini skema kognitif mahasiswa sudah terbentuk karena proses pembelajaran menekankan pada strategi penggunaan *prior knowledge* yang membantu mahasiswa

mengasimilasi pengetahuan melalui perumusan dan penerapan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan. Terbukti mahasiswa sudah dapat menentukan ide-ide kunci dalam menghubungkan keterkaitan antara struktur pada fungsi. Temuan pada tahap ini adalah terbangunnya skema yang relevan pada memori jangka panjang melalui penggunaan *prior knowledge* dapat memudahkan mahasiswa menangani aktivitas kognitif yang kompleks dan mengorganisasi pengetahuan secara aktif. Dengan adanya skema yang relevan pada memori jangka panjang maka integrasi pengetahuan baru dan restrukturisasi pengetahuan pada pengetahuan awal yang dimiliki mahasiswa akan lebih mudah. Hal ini menunjukkan bahwa mahasiswa tidak memiliki beban kognitif ketika menerima dan mengelola informasi. Hasil tersebut didukung oleh peneliti lain bahwa terbentuknya skema kognitif memudahkan mahasiswa untuk mengintegrasikan beberapa elemen tunggal menjadi satu unit informasi yang dapat diproses dalam memori kerja (Seufert, Janen, Brunkën, 2007).

Contoh, bagaimana terbentuknya skema kognitif memudahkan mahasiswa menangani aktivitas kognitif yang kompleks dan mengorganisasikan pengetahuan secara aktif? Pada saat mahasiswa dihadapkan pada grafik pengaruh suhu terhadap kecepatan transpirasi antara tumbuhan monokotil dan dikotil, mahasiswa dengan mudah menganalisis jaringan yang menyebabkan adanya perbedaan laju transpirasi dan mengajukan alasan keterkaitan struktur, lingkungan, dan laju transpirasi dengan tepat.

Tahap belajar menggunakan pengetahuan bermakna adalah tahap di mana mahasiswa harus menerapkan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan dalam merancang eksperimen. Pada tahap ini, mahasiswa telah mampu merancang eksperimen dengan baik, mampu memutuskan tumbuhan apa yang akan digunakan dalam eksperimen, menemukan cara untuk menguji hipotesis, dan melaksanakan rancangan eksperimen tersebut. Kemampuan mahasiswa tersebut menunjukkan bahwa strategi merancang eksperimen pada pembelajaran model PeNKIM dalam mengintegrasikan struktur pada fungsi sudah memberikan pembelajaran yang bermakna bagi mahasiswa. Hal ini sesuai dengan pendapat Marzano (1992) bahwa pembelajaran di kelas

dapat dikatakan bermakna apabila mahasiswa sudah mampu mengambil keputusan, melakukan penyelidikan, melaksanakan eksperimen, memecahkan masalah, dan menemukan sesuatu.

Kemampuan mahasiswa dalam menggunakan pengetahuan secara bermakna, tidak terlepas dari penggunaan strategi sebelumnya, yaitu strategi diskusi terfokus, mengemukakan masalah, pemrosesan data secara kontekstual, dan pemberian gambar struktur organ yang bervariasi. Kemampuan mengidentifikasi jaringan pada organ tumbuhan dan merumuskan prinsip keterkaitan pada fungsi akan mengembangkan skema kognitif mahasiswa. Pada tahap ini, mahasiswa difasilitasi untuk menghubungkan pengetahuan tentang integrasi struktur pada fungsi dalam menerapkan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi untuk mengambil suatu keputusan. Pengambilan keputusan yang dilakukan oleh mahasiswa sudah menggunakan skema kognitifnya. Hal ini sesuai dengan pernyataan Dahar (1996) yang menyatakan bahwa prasyarat terjadinya belajar bermakna adalah materi yang akan dipelajari harus bermakna secara potensial. Kebermaknaan potensial materi pelajaran bergantung pada dua faktor, yaitu (a) materi harus memiliki kebermaknaan logis, dan (2) gagasan-gagasan yang relevan harus terdapat dalam struktur kognitif peserta didik.

Kemampuan mahasiswa dalam menggunakan pengetahuan secara bermakna pada model PeNKIM karena dalam proses pembelajaran mahasiswa merumuskan sendiri prinsip-prinsip keterkaitan struktur pada fungsi dan diberi kesempatan untuk melakukan kegiatan penemuan melalui kegiatan merancang eksperimen. Langkah-langkah yang dilaksanakan oleh mahasiswa dalam merancang eksperimen adalah:

- a. mendiskusikan fokus pertanyaan terlebih dahulu;
- b. mengidentifikasi jaringan pada organ tumbuhan yang berperan pada proses fisiologi;
- c. merumuskan keterkaitan struktur pada fungsi;
- d. menerapkan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi;
- e. menentukan jenis tumbuhan yang akan dipakai;
- f. merumuskan hipotesis;
- g. menuliskan langkah-langkah kerja; dan

h. menjelaskan cara pengumpulan data.

Langkah-langkah di atas sesuai dengan prinsip pembelajaran Bruner (1966) yang dikemukakan oleh Viola dkk (2007) bahwa pembelajaran akan bermakna apabila guru mendorong siswanya melakukan kegiatan penemuan (inkuiri). Begitu pula menurut Marzano (1992) bahwa belajar bermakna apabila siswa mampu melaksanakan *experimental inquiry*. Berdasarkan hasil implementasi dalam kajian ini, mahasiswa berhasil merancang eksperimen dengan baik dan tidak menyebabkan beban kognitif. Terbuktyi, hanya 22% mahasiswa yang menyatakan sulit dalam merancang eksperimen. Mahasiswa tersebut umumnya adalah yang memiliki kemampuan mengidentifikasi dengan kategori cukup.

Tahap kebiasaan berpikir merupakan tujuan akhir dari serangkaian proses pembelajaran model PeNKIM. Penggunaan kata “kebiasaan berpikir” pada tahap terakhir model ini mengisyaratkan bahwa terdapat situasi belajar dan mengajar yang dapat mendorong proses-proses yang menghasilkan mental mahasiswa untuk terbiasa memecahkan masalah dalam mata kuliah fisiologi tumbuhan dengan mengintegrasikan struktur pada fungsi tumbuhan.

Strategi yang dikembangkan telah disesuaikan dengan perkembangan struktur kognitif mahasiswa. Keterbatasan pada *working memory* dan kemampuan *long-term memory* untuk menyimpan skema kognitif menjadi dasar penggunaan strategi untuk mengintegrasikan struktur pada fungsi. Pengembangan strategi pada pembelajaran model PeNKIM sesuai dengan pendapat (Adey, Shayer dan Yates, 1989 dalam Kuswana, 2011) bahwa program keterampilan berpikir merupakan pendekatan dalam pendidikan yang digunakan oleh guru dan dirancang secara terstruktur serta identik dengan pengembangan pembelajaran kognitif.

Hasil implementasi menunjukkan kemampuan mahasiswa dalam menganalisis informasi termasuk dalam kategori baik. Dalam menganalisis informasi, mahasiswa berhasil memecahkan masalah keterkaitan struktur pada fungsi, terutama saat merancang eksperimen dan membuat *mind map*. Strategi yang digunakan pada

tahap belajar untuk pemerolehan dan perluasan dan penghalusan pengetahuan dapat mengembangkan kemampuan otomatisasi (kemampuan untuk menyelesaikan tugas tanpa usaha mental sadar) pada tahap belajar menggunakan pengetahuan secara bermakna. Mahasiswa dalam proses pembelajaran dibiasakan untuk selalu menghubungkan struktur pada fungsi tumbuhan sehingga saat diminta untuk merancang eksperimen, mereka secara otomatis terlebih dahulu menentukan organ tumbuhan yang berperan dalam proses fisiologi. Sebagai contoh, ketika mahasiswa diminta untuk merancang eksperimen transpirasi, mereka secara otomatis akan mempertimbangkan bentuk dan sebaran stomata karena mereka sudah mengetahui bahwa sebagian besar air akan diuapkan melalui stomata pada organ daun.

Jadi, dapat disimpulkan bahwa pembelajaran model PeNKIM dapat memfasilitasi mahasiswa untuk terbiasa berpikir karena mahasiswa selalu diberikan tugas yang menuntut mahasiswa untuk berpikir, baik secara induktif maupun deduktif. Hal ini sesuai dengan teori kognitif bahwa dalam belajar keterampilan berpikir sebaiknya peserta didik diperlakukan sebagai seorang pemikir (Lipman, 1991 dalam Kuswana, 2011).

Komponen Beban Kognitif yang Berpengaruh pada Materi Struktur dan Fungsi Tumbuhan

Aktivitas pembelajaran yang biasa dilaksanakan membutuhkan usaha mental dari mahasiswa untuk mengintegrasikan sendiri pengetahuan tentang struktur yang tidak terorganisasi pada informasi yang kompleks tentang fungsi tumbuhan. Hal tersebut menurut para ahli berpotensi menyebabkan beban kognitif dan dapat mengurangi pemahaman siswa terhadap materi yang sedang dipelajari (Yaslam & Hamilton, 2010; Cromley dkk, 2009; Schntz & Kürschner, 2007).

Pembelajaran model PeNKIM dikembangkan untuk menurunkan beban kognitif saat mengintegrasikan pengetahuan struktur pada fungsi tumbuhan dengan tujuan memaksimalkan pembentukan skema kognitif sehingga konsep yang diajarkan menjadi bermakna. *Intrinsic load* dan *germane load* dalam kajian ini dilihat dari persentase rata-rata skor ketidaktercapaian mahasiswa dalam menganalisis informasi dan penalaran. Sementara *extraneous load* dilihat dari skor usaha mental

mahasiswa dalam memahami informasi. Ringkasan perhitungan penurunan komponen beban kognitif sebagaimana diperlihatkan dalam tabel berikut.

Tabel 26 Beban Kognitif pada Kelas Eksperimen dan Kelas Kontrol

Beban Kognitif	Kelas Eksperimen	Kelas Kontrol
<i>Intrinsic load</i>	31,8	40,6
<i>Extraneous load</i>	2,8	3,2
<i>Germane load</i>	20	37,5

Pada tabel di atas tampak bahwa beban kognitif pada kelas eksperimen lebih rendah dibandingkan dengan kelas kontrol. Hal ini membuktikan bahwa pembelajaran model PeNKIM dapat menurunkan beban kognitif mahasiswa dalam mengintegrasikan struktur pada fungsi tumbuhan. Dengan demikian, pembelajaran model PeNKIM dapat mengakomodasi kebutuhan mahasiswa dalam mengintegrasikan struktur pada fungsi tumbuhan karena tahapan pembelajaran pada model tersebut dilaksanakan secara sistematis dalam mengembangkan skema kognitif pada memori jangka panjang.

Penurunan *intrinsic load* dan *extraneous load* sangat berpengaruh terhadap penurunan *germane load*. Lebih lanjut, uraiannya akan dijelaskan sebagaimana di bawah ini.

1. Intrinsic load

Intrinsic load merupakan beban yang diakibatkan oleh kompleksitas materi yang harus diproses. Dalam kajian ini, materi yang diberikan terintegrasi antara struktur dengan fungsi tumbuhan. Persentase terendah beban kognitif ini terletak pada *intrinsic load*. Hal ini membuktikan bahwa materi yang terintegrasi dapat mengaktifkan memori kerja untuk berhubungan dengan memori jangka panjang karena informasi tentang struktur dan fungsi sudah dikemas menjadi informasi yang saling berhubungan.

Intrinsic load pada kelas kontrol berbeda signifikan dengan kelas eksperimen ($p < 0.00 < \alpha < 0.05$). Hal ini terjadi karena pengintegrasian materi struktur pada fungsi tumbuhan pada kelas eksperimen dimulai dari pengintegrasian dengan interkoneksi rendah menuju pengintegrasian dengan interkoneksi yang lebih kompleks. Adapun urutan materi yang diberikan kepada mahasiswa adalah sebagai berikut.

- a. Keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan.
Materi ini diberikan dalam dua tahap, yaitu tahap mengembangkan sikap, persepsi positif, dan tahap belajar untuk pemerolehan serta pengintegrasian. Perbedaan penyampaian materi pada kedua tahap ini adalah kompleksitas pengintegrasian yang harus dilakukan oleh mahasiswa. Pada tahap pertama, pengintegrasian yang dilakukan oleh mahasiswa hanya melibatkan satu jaringan pada satu organ dan mengaitkannya dengan proses fisiologi pada lingkungan yang berbeda. Sementara pada tahap kedua mahasiswa diharuskan mengidentifikasi jaringan-jaringan yang ada pada suatu organ terlebih dahulu dimulai dengan jaringan dermis, jaringan dasar, dan jaringan pembuluh kemudian mengintegrasikan karakteristik jaringan pada suatu organ tersebut yang berperan dalam proses fisiologi.
- b. Perbedaan struktur organ tumbuhan terkait proses fisiologi diberikan pada tahap perluasan dan penghalusan pengetahuan. Proses pengintegrasian dilakukan dengan cara membandingkan perbedaan dan persamaan jaringan-jaringan suatu organ pada beberapa jenis tumbuhan terlebih dahulu. Kemudian, merumuskan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan.
- c. Strategi adaptasi, diberikan pada tahap belajar menggunakan pengetahuan secara bermakna. Proses pengintegrasian pada tahap ini paling kompleks karena mahasiswa harus memilih karakteristik jaringan suatu organ dan menerapkan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan.

Berdasarkan urutan materi di atas, mahasiswa telah dilatih untuk membentuk skema kognitif secara bertahap sehingga memori kerja mahasiswa saat menerima informasi dapat melaksanakan pengodean dasar dan kompleks. Pengodean dasar adalah proses input persepsi mahasiswa tentang adanya keterkaitan antara struktur pada fungsi menjadi kode yang cocok untuk penyimpanan pada memori jangka pendek atau memori jangka panjang. Pengodean kompleks adalah proses menghubungkan informasi yang bermakna dengan skema tentang

struktur yang disimpan pada memori jangka panjang sehingga terjadi restrukturisasi informasi. Sebagai contoh, pengodean dasar ialah informasi tentang jaringan mesofil yang merupakan tempat berlangsungnya proses fotosintesis. Pengodean kompleks terjadi saat mahasiswa mengidentifikasi bahwa jaringan mesofil pada tumbuhan kacang merah berbeda dengan jaringan mesofil pada tumbuhan jagung. Perbedaan tersebut berkaitan dengan lokasi fiksasi CO₂ pada kedua tumbuhan yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan. Dari contoh tersebut terlihat bahwa skema kognitif mahasiswa akan mengalami perkembangan.

Pemberian materi secara gradual dari informasi sederhana menuju informasi yang kompleks diperkuat oleh pemrosesan informasi menurut teori beban kognitif bahwa *intrinsic load* berhubungan dengan kompleksitas informasi yang harus diproses secara simultan di memori kerja (Sweller & Chandler, 1994 dalam Schnotz & Kurschner, 2007). Proses pengintegrasian struktur pada fungsi secara bertahap menjadikan mahasiswa terbiasa dengan materi tersebut sehingga pemrosesan informasi pada memori kerja menjadi lebih efektif. Hal inilah yang menjadikan *intrinsic load* pada kelas eksperimen lebih rendah.

Penyajian materi pada pembelajaran model PeNKIM di setiap tahap pembelajaran melibatkan mahasiswa dalam membangun skema kognitif. Namun, tidak demikian pada pembelajaran terintegrasi tipe *nested* dengan pembelajaran konvensional. Dosen menyajikan materi secara gradual yaitu dari materi sederhana menuju materi yang lebih kompleks. Akan tetapi materi keterkaitan struktur pada fungsi diberikan dalam bentuk yang sudah jadi. Mahasiswa langsung disajikan materi bagaimana hubungan antara perubahan yang terjadi pada jaringan tumbuhan yang berkaitan dengan perubahan fungsi. Dengan demikian, *prior knowledge* mahasiswa tidak dilibatkan secara langsung dalam mengintegrasikan struktur pada fungsi tumbuhan. Tidak dipergunakannya *prior knowledge* secara langsung menyebabkan mahasiswa mengalami beban kognitif yang lebih tinggi untuk merumuskan dan menerapkan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan. Asimilasi konsep terjadi tanpa melibatkan proses kognitif yang mendalam, mahasiswa tidak terlatih dalam

mengembangkan skema kognitifnya sehingga mengalami kesulitan dalam menganalisis informasi. Keadaan ini sesuai dengan pendapat Marzano (1992) bahwa jika siswa tidak menghubungkan pengetahuan yang baru dengan sesuatu yang sudah diketahui maka belajar menjadi lebih sulit.

2. *Exranous load*

Exranous load merupakan beban yang diakibatkan oleh desain pembelajaran dan organisasi bahan ajar. Pembelajaran model PeNKIM dalam ini menggunakan pendekatan konstruktivisme dan beberapa strategi pembelajaran. Strategi yang digunakan adalah: a) pentingnya lingkungan belajar; b) pentingnya pengetahuan awal dalam proses belajar; c) membantu memahami informasi dan bagaimana informasi itu digunakan. Perbedaan *extraneous load* pada kelas kontrol berbeda signifikan dengan kelas eksperimen. Hal ini terlihat dari nilai yang diperoleh yakni $p\ 0.00 < \alpha\ 0.05$. Peristiwa ini membuktikan bahwa strategi yang digunakan dalam model PeNKIM dapat memudahkan mahasiswa memproses informasi keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan dalam memori kerja dan merekonstruksi skema kognitifnya.

Perbedaan penurunan *extraneous load* pada kelas kontrol dan eksperimen disebabkan oleh hal-hal berikut.

- a. Kelas eksperimen mementingkan lingkungan belajar yang baik untuk mendukung tercapainya tujuan pembelajaran. Tujuan tersebut tidak hanya pada segi pencapaian prestasi akademik, melainkan juga diarahkan untuk mengembangkan sikap dan minat belajar. Strategi ini digunakan agar mahasiswa merasa mudah memahami materi yang sedang dipelajari. Mahasiswa sadar bahwa materi tentang struktur yang telah dipelajari bermanfaat untuk mempelajari fungsi tumbuhan, kesadaran tersebut berdampak pada berkembangnya sikap dan minat belajar mahasiswa. Berdasarkan teori beban kognitif, terjadi penurunan *extraneous load* apabila pemrosesan informasi baru berhubungan dengan pengetahuan sebelumnya (Violla dkk, 2007).

Lingkungan belajar juga menekankan interaksi sosial di dalam kelas, baik antara mahasiswa dengan dosen maupun mahasiswa dengan mahasiswa yang lain. Interaksi sosial

tersebut tercermin saat dosen memberikan bimbingan dan pembentukan kelompok kecil untuk menyelesaikan tugas. Interaksi sosial yang dikembangkan sesuai dengan prinsip Vygotsky bahwa mahasiswa akan jauh lebih berkembang jika berinteraksi dengan orang lain (Silver dkk, 2007). Interaksi sosial yang terjadi di dalam kelas terbukti mengembangkan perkembangan potensial mahasiswa sehingga mereka yang memiliki kemampuan di bawah rata-rata terbantu untuk memecahkan masalah. Hal ini terbukti rata-rata mahasiswa menyatakan cukup mudah dalam menyelesaikan tugas. Pada kelas eksperimen hanya 19,4% yang menyatakan sulit, sedangkan pada kelas kontrol 35,4% menyatakan sulit.

Pada kelas kontrol, untuk menciptakan lingkungan belajar yang kondusif maka cara yang dilakukan adalah membentuk kelompok guna mempermudah siswa dalam menyelesaikan tugas-tugas kelas. Akan tetapi pengondisian tersebut tidak secara langsung mengembangkan persepsi positif terhadap pembelajaran. Hal ini karena tujuan pengintegrasian struktur pada fungsi tumbuhan tidak diungkapkan secara jelas tentang makna dan fungsinya. Menurut Ormrod (2008), setiap siswa membawa skema kognitif yang berbeda-beda ke dalam kelas. Skema kognitif akan berkembang apabila setiap mahasiswa bekerja sama berbagi pengalaman dengan mahasiswa yang lain. Menurut Stigler & Hiebert (2000), komitmen pengajar untuk menyediakan ide-ide yang jelas dan membagi tujuan bagaimana untuk apa siswa belajar merupakan dasar untuk meningkatkan hasil belajar. Berdasarkan pernyataan di atas, tanpa adanya tujuan yang jelas mahasiswa pada kelas kontrol merasa kesulitan untuk mengembangkan skema kognitif.

- b. Mementingkan pengetahuan awal untuk menerima, memproses, dan menyimpan informasi. Pengetahuan awal sangat penting untuk proses pengintegrasian struktur pada fungsi tumbuhan. Pada dasarnya, dalam *long-term memory* mahasiswa telah ada pengetahuan awal, tetapi mereka cenderung terfragmentasi. Jadi, hubungan antarkonsep struktur tumbuhan sangat lemah. Dalam hal ini, mahasiswa belum melihat keterkaitan antarorgan saat mempelajari

struktur sehingga mereka kurang memaknai pentingnya mempelajari struktur tumbuhan.

Ketika mengimplementasikan *prior knowledge* dalam, mahasiswa terfasilitasi untuk menyeleksi informasi tentang struktur yang relevan dengan fungsi sehingga mereka tertantang untuk menggali kembali pengetahuan awalnya. Hal tersebut berpengaruh pada konstruksi skema kognitif mahasiswa tentang struktur tumbuhan. Selain itu, mahasiswa menambahkan informasi keterkaitan struktur pada fungsi dalam struktur kognitif, pandangan mahasiswa tentang struktur dan fungsi menjadi lebih terintegrasi. Mereka sadar bahwa saat mempelajari fungsi tumbuhan maka pengetahuan tentang struktur tumbuhan tidak dapat dipisahkan. Mahasiswa juga dapat mengembangkan skema kognitif karena secara bertahap skema kognitifnya telah memiliki sejumlah skema yang spesifik tentang keterkaitan struktur pada fungsi sehingga dapat dikembangkan dengan menghubungkannya pada pengaruh lingkungan. Hal ini sesuai dengan pernyataan peneliti lain bahwa pengetahuan awal tidak saja berpengaruh terhadap konsep yang dipelajari, tetapi juga pada persepsi dan perhatian (Cook, 2006).

Keberadaan skema akan mereduksi beban dalam *working memory* untuk memproses informasi. Memori kerja akan efektif menerima, memproses, dan menyimpan informasi pada *long-term memory*. Dengan tereduksinya beban pada *working memory* akan berpengaruh terhadap penurunan *extraneous load* karena mahasiswa akan lebih mudah mengintegrasikan struktur pada fungsi tumbuhan.

Pada kelas kontrol, pengintegrasian struktur pada fungsi diberikan dalam bentuk yang sudah jadi sehingga kurang memberikan kesempatan kepada mereka untuk menggunakan pengetahuan awal tentang struktur secara aktif. Mahasiswa gagal dalam melakukan asimilasi konsep dengan baik sehingga kebermaknaan pengintegrasian struktur pada fungsi kurang didapatkan oleh mahasiswa. Pengetahuan yang baru kurang berhubungan dengan pengetahuan yang sudah ada karena masih terfragmentasi. Hal inilah yang menyebabkan kesulitan

mahasiswa dalam mengembangkan skema kognitifnya. Hasil kajian tersebut sesuai dengan pernyataan Rouet (2006) yang dikemukakan oleh Kalyuga (2007) bahwa apabila dalam *long-term memory* tidak cukup tersedia pengetahuan awal maka pencarian informasi oleh *working memory* mungkin menjadi aktivitas yang acak dan tidak sistematis.

- c. Membantu memahami informasi dan bagaimana informasi tersebut digunakan. Proses untuk membantu mahasiswa memahami informasi adalah dengan menggunakan multi-representasi yang koheren dengan proses kognitif mahasiswa, yaitu gambar statis, animasi, grafik, tabel data, dan *graphic organizer*. Penggunaan multi-representasi sangat bermanfaat bagi mahasiswa untuk memahami informasi keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan karena dalam mempelajari fisiologi tumbuhan seringkali mahasiswa dihadapkan pada konsep-konsep yang bersifat abstrak dan memiliki kompleksitas yang tinggi. Dengan demikian, karakteristik konsep-konsep tersebut membutuhkan visualisasi untuk mempelajarinya.

Gambar statis dalam kajian ini digunakan untuk menjelaskan jaringan pada organ yang berperan dalam proses fisiologi. Namun gambar statis ini tidak dapat mendeskripsikan proses fisiologi yang memperlihatkan kaitan antara struktur pada fungsi. Contohnya, saat menerangkan perbedaan antara jaringan daun yang termasuk kelompok C3, C4, dan CAM, gambar statis dapat membantu pemahaman mahasiswa terhadap perbedaan jaringan pada daun yang menyebabkan berbedanya proses fisiologi, tetapi sulit untuk menjelaskan bagaimana perbedaan proses penambatan CO₂ dan pada jaringan mana CO₂ direduksi pada tumbuhan tersebut, serta perbedaan laju fotosintesis antara tumbuhan dikotil dan monokotil.

Untuk mempermudah mahasiswa memahami proses fisiologi tersebut digunakan media animasi dan tabel data yang dilengkapi grafik laju fotosintesis. Penggunaan media animasi akan mengembangkan kemampuan mahasiswa dalam berpikir visuospatial sehingga mereka dapat membayangkan bagaimana

proses fisiologi yang berhubungan dengan reaksi kimia terjadi pada jaringan tumbuhan. Tabel data yang dilengkapi grafik digunakan untuk memudahkan mahasiswa membedakan laju fotosintesis antara tumbuhan dikotil dan monokotil yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan. Dengan diberikannya multipel-representasi mahasiswa mendapatkan pengalaman dalam pembelajaran yang saling melengkapi karena setiap representasi berisi informasi yang berbeda. Representasi yang saling melengkapi akan memberikan keuntungan bagi mahasiswa karena dapat mengurangi beban dalam memori kerja untuk memproses informasi baru yang berkaitan dengan skema kognitif yang telah mereka miliki. Hasil implementasi ini sesuai dengan peneliti lain bahwa multipel representasi berpengaruh terhadap proses belajar. Lebih lanjut dikatakan bahwa multipel representasi berperan untuk mendukung keterlibatan siswa dalam belajar dan meningkatkan hasil belajar (Sankey & Gardiner, 2011; Ainsworth, 2007) serta dapat berkontribusi untuk menghilangkan beban pada *working memory* dalam memproses informasi (Cook, 2006).

Pemberian contoh *graphic organizer* yang menggambarkan keterkaitan antara struktur pada fungsi tumbuhan dapat membantu mahasiswa menggambarkan skema kognitif. Hal ini karena mereka tertantang untuk berpikir bagaimana menyeleksi dan mengorganisasikan keterkaitan struktur pada fungsi menjadi struktur yang koheren. Peta pikiran yang dibuat oleh mahasiswa sudah cukup menggambarkan adanya struktur yang koheren dalam menggambarkan keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan karena mahasiswa difokuskan untuk mengintegrasikan pengetahuan struktur pada fungsi tumbuhan. Dengan demikian, pemberian *graphic organizer* dapat mendukung proses kognitif karena secara mental mahasiswa dapat mengintegrasikan pengetahuan struktur pada saat mempelajari fisiologi tumbuhan.

Kondisi demikian sejalan dengan pendapat Stull & Mayer (2007) bahwa *graphic organizer* dapat memfasilitasi belajar dengan cara membantu siswa mengorganisasikan dan mengintegrasikan informasi dari bahan ajar yang

berupa narasi. Pemberian contoh *graphic organizer* terbukti dapat menurunkan *extraneous load* pada kelas eksperimen dibandingkan dengan kelas kontrol.

Pemberian multirepresentasi pada kelas kontrol sebenarnya dapat membantu mahasiswa memahami adanya keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan, tetapi dengan tidak terlibatnya pengetahuan awal secara aktif maka akan menyulitkan mahasiswa dalam memproses informasi. Menurut Lee dkk (2006), belajar adalah proses aktif untuk memaknai suatu konsep dan membangun pengetahuan bahwa membangun pengetahuan dibatasi oleh *working memory* peserta didik. Dengan terbatasnya *working memory* maka akan mengakibatkan keterbatasan kemampuan manusia dalam memproses informasi yang datang.

Mahasiswa tidak hanya harus mampu memahami keterkaitan struktur pada fungsi, tetapi juga menggunakan informasi tersebut untuk memecahkan fenomena yang terjadi di lingkungan. Strategi pemecahan masalah digunakan untuk membantu mahasiswa dalam menggunakan informasi keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan. Dalam memecahkan masalah, mahasiswa akan mendiskusikan tugas tersebut secara berkelompok. Selanjutnya mahasiswa akan melakukan identifikasi masalah menggunakan pengetahuan awal yang mereka miliki dan memecahkan permasalahan dengan menerapkan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan. Aktivitas yang dilakukan oleh mahasiswa memperlihatkan adanya pembagian tugas bersama, berbagi pengetahuan bersama anggota kelompok, dan melakukan elaborasi untuk menerapkan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan.

Berdasarkan hasil implementasi tampak bahwa strategi pemecahan masalah dapat menurunkan *extraneous load*. Hal ini terjadi karena mahasiswa: pertama, mempelajari suatu masalah secara bermakna karena proses memecahkan masalah menggunakan pengetahuan awal yang sudah ada dalam memori jangka panjang sehingga *working memory* akan lebih mudah melakukan elaborasi keterkaitan struktur

pada fungsi tumbuhan. Kedua, mengembangkan skema kognitif karena mahasiswa akan mendapatkan lebih banyak informasi keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan sebagai hasil dari berbagi pengetahuan ketika diskusi. Mahasiswa yang sebelumnya memiliki pengetahuan awal yang rendah akan mendapatkan informasi tambahan untuk melengkapi skema kognitifnya dari anggota kelompok yang lain yang memiliki pengetahuan awal lebih baik. Mahasiswa cenderung lebih mudah untuk memproses informasi karena dilakukan secara bersama.

Hasil tersebut sesuai dengan pernyataan Schmidt dan Loyens (2007) bahwa proses pemecahan masalah melalui PBL adalah *scaffolding* untuk kemandirian siswa. Selanjutnya dijelaskan pula bahwa siswa akan terbebani apabila harus menyelesaikan tugas yang kompleks secara individual karena tidak dapat membagi pengetahuan dan tanggung jawab dengan orang lain (Silver dkk, 2007).

3. *Germane load*

Germane load adalah beban dalam pembentukan skema kognitif. Dalam teori beban kognitif, informasi diorganisasikan dalam *long-term memory* dalam bentuk skema kognitif (Schnotz & Kürschner, 2007). Pembelajaran model PeNKIM dapat mengembangkan skema kognitif mahasiswa saat mempelajari fisiologi tumbuhan. Pengembangan skema kognitif tersebut disebabkan mahasiswa sudah mampu menghubungkan pengetahuan tentang struktur pada fungsi tumbuhan. Sebagai contoh, mahasiswa tidak merasa kesulitan saat memanggil kembali (*retrieve*) konsep fotosintesis dari *longterm memory* karena telah berhasil mendapatkan berbagai informasi tentang konsep fotosintesis. Misalnya organ dan jaringan yang berperan dalam fotosintesis, reaksi kimia yang terjadi pada proses fotosintesis, faktor-faktor yang memengaruhi proses fotosintesis, atau pengaruh perbedaan struktur tumbuhan terhadap laju fotosintesis. Berbagai informasi yang mahasiswa ketahui tentang fotosintesis saling terkait dalam *long-term memory*-nya sehingga membentuk skema kognitif “fotosintesis”.

Pengembangan skema kognitif mahasiswa melalui model PeNKIM diperoleh dengan cara: (a) mengintegrasikan konsep

struktur pada fungsi tumbuhan; (b) menganalisis fenomena keterkaitan struktur pada tumbuhan; (c) menerapkan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan yang berkaitan dengan kondisi lingkungan tempat tumbuhnya; (d) menggunakan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan saat memecahkan masalah dan merancang eksperimen. Keempat cara pengembangan skema kognitif tersebut bersifat konstruktif karena melibatkan kombinasi beberapa potongan informasi menjadi kesatuan yang bermakna. Pengembangan skema kognitif dengan cara tersebut sesuai dengan prinsip penyimpanan pengetahuan deklaratif pada *longterm memory* yaitu dengan cara pengulangan, pembelajaran bermakna, organisasi pengetahuan, elaborasi dan pembayangan visual (*visual imagery*) (Dahar, 1996; Ormrod, 2008).

Germane load diakibatkan karena pemelajar mengalami *intrinsic load* dan/atau *extraneous load*. *Germane load* berkontribusi dalam mengaitkan informasi baru dengan informasi yang ada dalam memori jangka panjang. Hal-hal yang berhasil digali akibat penurunan beban kognitif dalam implementasi model PeNKIM dijabarkan pada uraian di bawah ini.

- a. *Intrinsic load* dan *extraneous load* berpengaruh secara signifikan terhadap *germane load*. Hal ini sesuai dengan pendapat Moreno (2006) bahwa *germane load* dipengaruhi oleh *extraneous load* dan *intrinsic load*. Persamaan regresi antara ketiga komponen beban kognitif pada kelas eksperimen adalah $\hat{y} = 49,4 + 9,1 x_1 - 3,95 x_2$, sedangkan pada kelas kontrol adalah $\hat{y} = 60,4 + 11,3 x_1 - 9,76 x_2$.

Persamaan regresi pada kelas eksperimen memperlihatkan bahwa perbandingan antara kemampuan menganalisis informasi (x_1) terhadap usaha mental (x_2) memiliki perbandingan yang lebih besar dibandingkan pada kelas kontrol. Jadi pada kelas eksperimen, bertambahnya kompleksitas materi yang memengaruhi usaha mental dalam *working memory* tidak terlalu berdampak pada *germane load* karena mahasiswa telah memiliki skema kognitif yang berperan menurunkan *working memory* saat memproses informasi. Sementara pada kelas kontrol, bertambahnya kompleksitas materi sangat memengaruhi usaha mental

karena skema kognitif tidak dibangun secara aktif, melainkan berdasarkan informasi keterkaitan struktur pada fungsi yang sudah dikemas oleh dosen. Hal inilah yang menyebabkan keterbatasan *working memory* dalam memproses informasi karena tidak terjadinya kesepakatan antara *working memory* dan *long-term memory*. Grafik persamaan regresi antara kelas eksperimen dan kelas kontrol dapat dilihat pada bagan berikut ini.

Bagan di atas tampak bahwa pengembangan skema kognitif mahasiswa dipengaruhi oleh kemampuan menganalisis informasi dan usaha mental mahasiswa. Kelas eksperimen *germane load* lebih dipengaruhi oleh *intrinsic load* ($r = 0,95$) dibandingkan oleh *extraneous load* (0,83). Sementara pada kelas kontrol *germane load* lebih dipengaruhi oleh *extraneous load* (0,91) dibandingkan *intrinsic load* (0,89).

- b. Penurunan *germane load* akan lebih baik apabila dipengaruhi oleh penurunan *intrinsic load* dibandingkan dengan penurunan *extraneous load*. Hal itu menunjukkan bahwa pengembangan skema kognitif mahasiswa akan lebih baik apabila dipengaruhi oleh kemampuan menganalisis informasi dibandingkan usaha mental. Hasil tersebut diperkuat oleh persamaan regresi. Garis regresi pada kelas eksperimen menunjukkan adanya peningkatan pengembangan skema kognitif yang pesat dibandingkan garis regresi pada kelas kontrol. Sementara pada kelas eksperimen tampak bahwa semakin baik kemampuan mahasiswa dalam menganalisis informasi, semakin baik pula perkembangan skema kognitifnya. Akan tetapi tidak demikian pada kelas kontrol, semakin rendah usaha mental mahasiswa tidak menunjukkan peningkatan yang pesat pada perkembangan skema kognitif mahasiswa.

Berdasarkan hasil di atas, dapat disimpulkan bahwa pembelajaran model PeNKIM mampu memfasilitasi mahasiswa dalam mengembangkan skema kognitifnya karena model tersebut dapat memfasilitasi mahasiswa menurunkan usaha mental melalui tahap pengembangan sikap dan persepsi positif. Pada tahap tersebut mahasiswa dibantu untuk mampu mengerjakan tugas-tugas melalui persiapan bahan ajar yang

mendukung eksplorasi koherensi konseptual dan integrasi konseptual sehingga mahasiswa menyadari kebermaknaan informasi yang diterima.

Penurunan usaha mental tersebut dapat dipertahankan pada tahap pembelajaran selanjutnya yaitu pada tahap belajar untuk pemerolehan dan pengintegrasian, tahap perluasan dan penghalusan pengetahuan, dan tahap belajar menggunakan pengetahuan secara bermakna. Ketiga tahap tersebut menggunakan strategi yang memfasilitasi mahasiswa untuk mengasimilasi informasi pada pengetahuan yang telah ada pada struktur kognitifnya. Dengan cara mengasimilasi informasi tersebut, mahasiswa dapat memperluas dan memodifikasi hubungan antarkonsep sehingga mempermudah mahasiswa dalam menganalisis informasi. Sebagai contoh, mahasiswa dapat memperluas informasi tentang jaringan pada daun yang berperan dalam fotosintesis dengan cara mengidentifikasi daun pada tumbuhan monokotil dan dikotil. Selanjutnya dimodifikasi dengan cara mengidentifikasi beberapa jenis daun yang hidup pada lingkungan yang berbeda untuk menerapkan prinsip fiksasi CO_2 . Dari contoh tersebut tampak bahwa struktur kognitif mahasiswa dapat berkembang, tidak saja dipengaruhi oleh usaha mental, tetapi juga oleh kemampuan menganalisis informasi.

Penurunan usaha mental pada kelas kontrol tidak dapat meningkatkan pengembangan skema kognitif secara pesat, dibandingkan pada kelas eksperimen. Penggunaan model pengintegrasian tipe *nested* secara konvensional sebenarnya sudah dapat memfasilitasi mahasiswa untuk menurunkan usaha mental karena informasi yang diberikan bukan merupakan potongan informasi yang terpisah antara struktur dan fungsi akan tetapi sudah dalam bentuk keterkaitan antara struktur pada fungsi. Dengan demikian, mahasiswa sudah merasakan adanya kebermaknaan dalam belajar. Akan tetapi kebermaknaan tersebut tidak berdasarkan proses asimilasi oleh mahasiswa sendiri, namun diberikan oleh dosen dalam bentuk informasi yang sudah jadi. Seiring dengan kompleksitas informasi yang bertambah, penurunan usaha

mental dalam memahami informasi kurang mendukung kemampuan mahasiswa dalam menganalisis informasi sehingga perkembangan skema kognitif mahasiswa tidak berkembang dengan pesat. Hal ini dibuktikan koefisien korelasi antara *extraneous load* terhadap *intrinsic load* pada kelas kontrol lebih rendah (-0,689) dibandingkan kelas eksperimen (-0,837). Hal ini pula yang mendasari alasan mengapa pada kelas kontrol, *germane load* lebih dipengaruhi oleh *extraneous load* dibandingkan oleh *intrinsic load*.

Penurunan usaha mental pada kelas eksperimen dibuktikan pula dari respons mahasiswa. Pada kelas eksperimen cenderung lebih banyak mahasiswa yang menyatakan sangat setuju terhadap proses pembelajaran dibandingkan pada kelas kontrol. Ini karena mahasiswa telah memiliki persepsi positif terhadap pembelajaran yang menggunakan kerangka instruksional Marzano. Hal ini ditunjukkan pada kelas eksperimen 100% mahasiswa menyatakan nyaman ketika presentasi dan 88% menyatakan tidak tegang. Sementara pada kelas kontrol 88% menyatakan nyaman pada saat presentasi dan hanya 71% yang menyatakan tidak tegang. Demikian pula optimisme keberhasilan dalam pembelajaran lebih tinggi kelas eksperimen dibandingkan kelas kontrol. Namun keinginan untuk melakukan kegiatan berpikir tidak berbeda jauh meskipun dalam proses pembelajaran sehari-hari mahasiswa dari kelas eksperimen lebih kreatif dan kritis dalam mengerjakan tugas. Hal ini dibuktikan pada kelas eksperimen saat ditugaskan untuk merancang eksperimen, mahasiswa mencobakan hasil rancangannya sebagai bahan untuk presentasi, sedangkan kelas kontrol tidak mencoba hasil rancangannya.

Pengaruh Penurunan Beban Kognitif terhadap Pemahaman Fisiologi Tumbuhan dan Penalaran Mahasiswa Pendidikan Biologi

Kemampuan pemahaman konsep pada implementasi pembelajaran model PeNKIM dikategorikan menggunakan taksonomi dari Marzano. Soal-soal kemampuan pemahaman konsep yang dibuat bertujuan untuk

mengembangkan kemampuan berpikir tingkat tinggi. Oleh karena itu, level pemrosesan yang digunakan untuk mengategorikan pemahaman konsep adalah pada level analisis dan level penggunaan pengetahuan (*knowledge utilization*). Adapun Kemampuan penalaran yang diukur dalam tahap implementasi bertujuan mengembangkan cara berpikir secara induktif dan deduktif untuk menjelaskan berbagai fenomena tentang keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan dan menyelesaikan masalah baik secara kualitatif maupun kuantitatif.

Tabel 27 Persentase Rata-Rata Kemampuan Pemahaman Konsep pada Kelas Eksperimen dan Kelas Kontrol

No	Level Pemrosesan	Indikator	Kelas Eksperimen	Kelas Kontrol
1	Generalisasi	Mampu menyusun prinsip atau membuat kesimpulan.	63 ± 14,1	47 ± 16,2
2	Menspesifikan	Mampu mengidentifikasi konsekuensi logis dan membuat prediksi.	58 ± 14,7	56 ± 16,3
3	Mengambil Keputusan	Mampu menggunakan informasi untuk membuat keputusan atau mengajukan alternatif.	61 ± 20,5	49 ± 20,2
4	Menyelesaikan Masalah	Mampu menggunakan informasi untuk menyelesaikan masalah.	73 ± 13,5	61 ± 9,1
5	Eksperimen	Mampu membuat hipotesis.	71 ± 8,4	68 ± 18,9
Rata-rata			65 ± 15,9	54 ± 17,3

Tabel 28 Persentase Rata-Rata Kemampuan Penalaran pada Kelas Eksperimen dan Kelas Kontrol

Jenis Penalaran		Kelas Eksperimen	Kelas Kontrol
Induktif	Analisis	77 ± 19,1	56 ± 22,8
	Proporsional	61 ± 14,1	69 ± 24,2
	Sebab akibat	65 ± 16,6	52 ± 23,1
Deduktif	Analisis	66 ± 15,1	56 ± 23,2
	Proporsional	74 ± 15,3	65 ± 18,0
	Sebab akibat	65 ± 21,4	59 ± 22,3
Rata-rata		68,1 ± 16,9	59,5 ± 22,3

Tampak bahwa kemampuan pemahaman konsep pada semua level pemrosesan lebih baik pada kelas eksperimen dibandingkan kelas kontrol. Rata-rata kemampuan pemahaman konsep pada kelas eksperimen sudah cukup baik karena telah melebihi 60%, sedangkan pada kelas kontrol masih kurang baik. Begitu pula rata-rata kemampuan penalaran pada kelas eksperimen lebih baik dibandingkan kelas kontrol. Rata-rata kemampuan penalaran pada kelas eksperimen sudah termasuk dalam kategori baik karena sudah melebihi 60% (Bao dkk, 2009). Adanya perbedaan tersebut diakibatkan pada kelas eksperimen, mahasiswa dibiasakan untuk melakukan aktivitas berikut.

1. Mengembangkan potensi berpikir.

Pengembangan potensi berpikir dilakukan dengan cara mengelaborasi pengetahuan menggunakan *prior knowledge*. Dengan melakukan elaborasi mahasiswa dapat memperluas dan memperhalus materi baru berdasarkan beberapa proses, seperti restrukturisasi, interkoneksi konsep koheren, integrasi informasi dari elemen-elemen baru, dan identifikasi hubungan antara elemen-elemen tersebut. Proses elaborasi pengetahuan inilah yang menghasilkan penambahan komponen-komponen pengetahuan. Hal ini sesuai dengan pendapat beberapa ahli bahwa siswa yang secara teratur mengelaborasi apa yang mereka pelajari di sekolah, biasanya lebih berprestasi dibandingkan siswa yang hanya menerima informasi (Ormrod, 2008).

Berkembangnya skema kognitif mahasiswa disebabkan adanya penurunan *intrinsic load* dan *extraneous load* yang akan memudahkan mahasiswa mengintegrasikan pengetahuan baru dan restrukturisasi pengetahuan pada pengetahuan awal yang dimiliki. Temuan dari berkembangnya skema kognitif mahasiswa pada tahap implementasi adalah meningkatnya kemampuan pemecahan masalah. Hal ini mengindikasikan bahwa mahasiswa mampu memilih pengetahuan yang telah dipelajarinya untuk digunakan pada situasi baru. Hasil tersebut sesuai dengan pendapat Kalyuga (2008) dan Ormrod (2008) bahwa kemampuan pemecahan masalah akan meningkat apabila dalam *long-term memory* terdapat skema kognitif. Mahasiswa yang skema kognitifnya berkembang dengan baik akan lebih mampu mengambil pengetahuan yang tersimpan

dalam *long-term memory* dan dengan cepat menghasilkan langkah dalam membuat solusi.

Skema kognitif berperan dalam membuat solusi alternatif untuk memecahkan suatu permasalahan. Dalam melakukan pemecahan masalah, mahasiswa terlebih dahulu merumuskan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi, selanjutnya menerapkan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi dan merumuskan hipotesis. Pada ketiga tahap tersebut, mahasiswa mampu berpikir secara induktif dan deduktif. Kemampuan berpikir tersebut sesuai dengan temuan pada tahap implementasi bahwa pengembangan potensi berpikir dapat meningkatkan kemampuan penalaran mahasiswa. Tampak bahwa rata-rata kemampuan penalaran induktif dan deduktif mahasiswa sudah termasuk dalam kriteria baik. Hal ini dikarenakan selama proses pembelajaran mahasiswa dilatih untuk merumuskan prinsip secara induktif melalui identifikasi jaringan pada organ yang berperan dalam proses fisiologi dan menerapkan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi secara deduktif. Kemampuan penalaran analisis secara induktif pada kelas eksperimen menunjukkan nilai tertinggi. Hal ini didukung oleh kemampuan menganalisis informasi pada aspek identifikasi komponen-komponen struktur yang relevan fungsi dan memiliki nilai dengan kategori baik.

2. Mengembangkan *scientific mind*.

Dalam pengintegrasian pengetahuan struktur pada fungsi tumbuhan, pembelajaran model PeNKIM memfasilitasi mahasiswa untuk membangun pengetahuan dengan cara melakukan inferensi berdasarkan fakta dan fenomena yang ada di lingkungan, serta merancang eksperimen.

Inferensi merupakan salah satu cara agar mahasiswa dapat memberikan pemaknaan terhadap fakta dan fenomena di alam mengenai keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan. Dalam melakukan inferensi, mahasiswa terlebih dahulu mengidentifikasi persamaan dan perbedaan jaringan pada organ yang terlibat dalam proses fisiologi dan mengklasifikasikan tumbuhan berdasarkan perbedaan struktur dan fungsi fisiologisnya. Dengan demikian, mahasiswa memiliki suatu pola keterkaitan antara struktur pada fungsi tumbuhan. Fakta-fakta tersebut kemudian dijadikan data

untuk melakukan interpretasi keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan.

Merancang eksperimen merupakan salah satu cara agar mahasiswa memiliki kemampuan dalam merumuskan prinsip, melaksanakan analisis terhadap variabel-variabel dalam suatu eksperimen, menerapkan prinsip untuk menentukan jenis tumbuhan yang akan dipakai dalam rancangan eksperimen, dan mengajukan hipotesis. Langkah-langkah yang dilakukan oleh mahasiswa dalam membangun pengetahuannya tersebut tidak lain untuk melatih kemampuan kerja ilmiah (*scientific abilities*) serta melatih berpikir analisis, proporsional, dan sebab akibat baik secara induktif maupun secara deduktif. Kemampuan kerja ilmiah tersebut dapat membantu mahasiswa memecahkan masalah dan mengambil keputusan.

Scientific mind juga dapat mengembangkan persepsi positif terhadap pembelajaran. Di sini, mahasiswa menjadi tertantang untuk menggali kemampuannya. Sebagai contoh pada saat diberi tugas merancang eksperimen, pada kelas eksperimen hasil rancangan tersebut diujicobakan sehingga ketika mahasiswa mempresentasikan hasil rancangan eksperimen, mereka dapat dapat berargumentasi berdasarkan fakta dan data. Kondisi tersebut sesuai dengan pendapat beberapa peneliti lain bahwa *scientific mind* berkorelasi positif dengan *science process skills* serta *science process skills* berpengaruh terhadap pencapaian hasil belajar, kemampuan berpikir, dan sikap positif terhadap sains (Farsakoğlu dkk, 2012; Agoro & Akinsola, 2013).

3. Menggunakan *scaffolding*.

Scaffolding dapat membantu mahasiswa mengatasi kesulitan belajar yang dapat menghambat pembentukan skema kognitif. Pernyataan tersebut sesuai dengan pendapat Ormrod (2008), bahwa *scaffolding* membantu perkembangan kognitif siswa sehingga mereka mampu menyelesaikan berbagai tugas dan aktivitas yang menantang. Pengembangan skema kognitif pada mahasiswa dalam mengintegrasikan struktur pada fungsi tumbuhan dibantu dengan berbagai cara berikut.

- a. Mengembangkan sikap dan persepsi positif agar mahasiswa terlibat secara emosional dan sosial sehingga mereka menjadi tertarik dan mau belajar.
- b. Menyediakan pengalaman belajar dengan mengaitkan pengetahuan struktur tumbuhan yang telah dimiliki dan mengembangkan pengetahuan tersebut sehingga membentuk hubungan yang bermakna dengan fungsi tumbuhan.
- c. Menyediakan berbagai alternatif pengalaman belajar dalam memecahkan masalah. Misalnya dalam tugas merancang eksperimen, setiap kelompok akan merancang eksperimen menggunakan tumbuhan yang berbeda sesuai dengan kondisi lingkungan.
- d. Memanfaatkan multirepresentasi sehingga penyampaian materi menjadi lebih efektif.
- e. Melaksanakan pembelajaran secara kontekstual sehingga memberikan lingkungan belajar yang mendukung penerapan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan dalam kehidupan sehari-hari.
- f. Melaksanakan pembelajaran secara kooperatif dengan membentuk kelompok yang heterogen sehingga mahasiswa dapat saling berinteraksi dan memunculkan strategi untuk memecahkan masalah dalam masing-masing *zone of proximal development* mereka.

Keunggulan dan Keterbatasan PeNKIM dalam Mengintegrasikan Struktur dan Fungsi Tumbuhan

Pembelajaran model PeNKIM diketahui memiliki beberapa keunggulan dan keterbatasan. Keunggulan model PeNKIM yang ditemukan berdasarkan kondisi belajar yang telah dilaksanakan adalah sebagai berikut.

1. Model PeNKIM meningkatkan kemampuan menganalisis informasi dan mengembangkan skema kognitif mahasiswa serta memudahkan mereka mengintegrasikan struktur pada fungsi tumbuhan.
2. Model PeNKIM mengembangkan sikap dan persepsi positif dengan cara membantu menumbuhkan sikap dan persepsi positif terhadap iklim belajar dengan menekankan aspek-aspek internal

mahasiswa (suasana mental yang kondusif) daripada aspek-aspek eksternal. Selain itu, model PeNKIM membantu menumbuhkan sikap dan persepsi yang positif terhadap tugas-tugas kelas dengan cara memberikan pemahaman akan nilai tugas, kejelasan tugas, kejelasan sumber, dan menyediakan *scaffolding*.

3. Model PeNKIM mengembangkan potensi berpikir dan *scientific mind* sehingga mahasiswa terlatih untuk bekerja ilmiah dan pembelajaran menjadi lebih bermakna. Dengan berkembangnya potensi berpikir dan *scientific mind* akan mendukung peningkatan pemahaman konsep dan penalaran mahasiswa.
4. Model PeNKIM menyediakan lingkungan belajar yang dapat mendukung kegiatan *minds on* dan *hands on*.
5. Model PeNKIM mendorong konstruksi pengetahuan yang terintegrasi dengan cara: a) mengorganisasikan materi ajar dengan selalu menghubungkan keterkaitan struktur pada fungsi tumbuhan; b) memberikan banyak contoh perbedaan struktur tumbuhan berdasarkan lingkungan tempat tumbuhnya; c) meneliti hubungan sebab akibat dan menemukan bagaimana perbedaan tersebut berhubungan dengan prinsip keterkaitan struktur pada fungsi; d) menjelaskan bagaimana gagasan baru berhubungan dengan pengalaman pribadi mahasiswa dan hal-hal yang telah dipelajari sebelumnya.
6. Mengembangkan keterampilan meta kognisi melalui strategi pemecahan masalah secara kontekstual.

Selain memiliki keunggulan, tidak dipungkiri, pembelajaran model PeNKIM memiliki keterbatasan-keterbatasan ketika diimplementasikan sewaktu proses perkuliahan.

1. Membutuhkan waktu yang lama dalam pelaksanaan pembelajarannya, terutama pada tahap perluasan dan penghalusan pengetahuan serta tahap belajar menggunakan pengetahuan secara bermakna. Dalam mendiskusikan permasalahan, merumuskan prinsip, dan menerapkan prinsip memerlukan waktu yang cukup untuk mengembangkan kemampuan berpikir mahasiswa.
2. Membutuhkan persiapan yang cermat dalam menyajikan urutan materi dan memilih strategi yang digunakan karena pembelajaran tidak saja mengembangkan penguasaan konsep, tetapi juga mengembangkan keterampilan mengorganisasikan pengetahuan

dan keterampilan sosial. Penyajian materi harus sesuai dengan perkembangan skema kognitif mahasiswa dan strategi yang digunakan dapat membantu mahasiswa untuk memecahkan masalah melalui diskusi dengan teman sebaya berdasarkan prinsip *scaffolding*.

3. Membutuhkan pengetahuan awal yang baik tentang struktur tumbuhan karena apabila pengetahuan awal mahasiswa kurang akan menghambat tahap belajar untuk pemerolehan dan pengintegrasian.
4. Mahasiswa yang memiliki kemampuan rendah akan kesulitan mengembangkan skema kognitifnya karena mereka harus membangun sendiri pengetahuannya dan memerlukan aktivitas kognitif yang tinggi.

Tanggapan Mahasiswa Pendidikan Biologi terhadap Model Pembelajaran PeNKIM

Mahasiswa yang telah melakukan pembelajaran dengan model PeNKIM merasa lebih baik dibandingkan pembelajaran terintegrasi tipe *nested* secara konvensional. Hal ini dibuktikan dengan mahasiswa yang ada di kelas kontrol masih mengalami kendala dalam beberapa hal, seperti bekerja sama dalam kelompok, kesulitan mengerjakan soal-soal penalaran, kebermaknaan pembelajaran, dan kemudahan berpikir menggunakan nalar. Selain itu dalam melakukan presentasi, 18% mahasiswa masih merasa tegang dan tidak nyaman. Kondisi tersebut berbeda dengan kelas eksperimen bahwa hanya 4% mahasiswa yang merasa dan tidak nyaman dalam melakukan pembelajaran model PeNKIM. Pada angket yang telah disebar, mahasiswa sangat mendukung perbedaan skor *extraneous load* antara kelas eksperimen dan kelas kontrol. Dengan demikian, hasil angket dapat menggambarkan bahwa penurunan *extraneous load* berpengaruh terhadap kemampuan menganalisis informasi dan kemampuan penalaran.

BAB 8

SIMPULAN

Model Pembelajaran Terintegrasi tipe *nested* dengan Kerangka Instruksional Marzano (PeNKIM) memiliki tahap mengembangkan sikap dan persepsi positif, belajar untuk pemerolehan dan pengintegrasian, serta menjadi alternatif pengintegrasian materi struktur pada fungsi tumbuhan dengan beban kognitif yang rendah. Rendahnya beban kognitif mahasiswa saat mengintegrasikan struktur pada fungsi tumbuhan dikarenakan pada model PeNKIM, proses pembelajarannya menekankan terciptanya lingkungan belajar yang kondusif, menggunakan *prior knowledge*, mengembangkan potensi berpikir, pengemasan informasi secara bermakna, melaksanakan pembelajaran secara kontekstual dan kooperatif.

Efektivitas pembelajaran model PeNKIM dalam mengembangkan skema kognitif dapat ditunjukkan dengan kemampuan menganalisis informasi, usaha mental dalam memahami informasi, dan kemampuan penalaran. Kemampuan menganalisis informasi pada kelas eksperimen termasuk dalam kategori baik dengan rata-rata skor 3,2. Sementara pada kelas kontrol kemampuan menganalisis informasi termasuk kategori cukup baik dengan rata-rata skor 2,5. Adapun usaha mental mahasiswa dalam memahami informasi pada kelas eksperimen lebih rendah (2,8) dibandingkan kelas kontrol (3,2). Kemampuan menganalisis informasi dan usaha mental dalam memahami informasi berpengaruh terhadap kemampuan penalaran mahasiswa. Terbukti kemampuan penalaran pada kelas eksperimen lebih baik dengan skor rata-rata 68,15 serta

N-gain 0,45. Sementara pada kelas kontrol memiliki skor rata-rata 59,39 dengan N-gain 0,35.

Korelasi antara *intrinsic load* terhadap *germane load* berkorelasi positif, sedangkan korelasi antara *extraneous load* terhadap *germane load* berkorelasi negatif. Pada kelas eksperimen korelasi *intrinsic load* terhadap *germane load* lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol. Akan tetapi pada kelas eksperimen korelasi antara *extraneous load* terhadap *germane load* lebih rendah dibandingkan dengan kelas kontrol. Jadi, kemampuan penalaran pada kelas eksperimen lebih dipengaruhi oleh kemampuan menganalisis informasi, sedangkan pada kelas kontrol cenderung dipengaruhi oleh usaha mental dalam memahami informasi. Berdasarkan hasil persamaan regresi, kemampuan penalaran akan lebih baik apabila dipengaruhi oleh kemampuan menganalisis informasi dibandingkan oleh usaha mental mahasiswa dalam memahami informasi. Dengan demikian, penurunan *intrinsic load* akan lebih berpengaruh dibandingkan dengan penurunan *extraneous load* terhadap *germane load*.

Setelah diterapkan pembelajaran model PeNKIM pada mata kuliah fisiologi tumbuhan, mahasiswa merasakan manfaat pengintegrasian struktur pada fungsi karena menjadi lebih mudah memahami materi. Terbangunnya persepsi positif terhadap pembelajaran menyebabkan optimisme keberhasilan dalam belajar lebih tinggi dan mahasiswa terlatih untuk berpikir tingkat tinggi, serta dapat lebih berperan aktif dalam proses pembelajaran. Dengan demikian, penerapan pembelajaran model PeNKIM dapat meningkatkan keterampilan berpikir, memfasilitasi mahasiswa membentuk skema kognitif yang memungkinkan memperoleh pengetahuan, memfasilitasi penggunaan berbagai proses kognitif yang menekankan keterampilan berpikir, dan mengatasi kesulitan tugas kognitif yang dihadapi mahasiswa.

DAFTAR PUSTAKA

- Adodo, S.O. (2013). "Effect of Mind-Mapping as a Self-Regulated Learning Strategy on Students' Achievement in Basic Science and Tecnology". *Mediterranean Journal of Social Science*, 4(6), 163—172.
- Agoro, A.A. dan Akinsola M.K. (2013). "Effectiviness of Reflective Reciprocal Teaching on Pre-Service Teachers' Achievement and Science Process Skills in Integrated Science". *International Journal of Education and Reseach*, 1(8), 1—20.
- Ainley, M. dan John Ainley. (2011). "A Culture Perspective on the Structure of Student Interest in Science". *International Journal of Science Education*, 33, (1), 51—71.
- Ainsworth, S. (2007). "The impact of text coherence on learning by self-explanation". *Learning and Instruction*, 17(3), 286—303.
- Amandieu, F. dkk. (2009). "Effects of Prior Knowledge and Concept Map Structure on Disorientation Cognitive Load, and Learning". *ELSEVIER Learning and Instruction*, 19(5), 376—386.
- Arikunto, S. (2009). *Dasar-Dasar Evaluasi Pendidikan*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Bao, L. dkk. (2009). "Learning and Scientific Rasoning Education". *Education Forum*, 232, 586—587.
- Bell, T. dkk. (2010). "Collaborative Inquiry Learning: Models, Tools, and Challenges". *International Journal of Science Education*, 32(3), 347—377.
- Borg, W.R. dan MD Gall. (2003). *Educational Research: an Introduction*. New York: Longman.
- Braund, M. dan M Reiis. (2011). "Toward a More Authentic Science Curriculum: The Contribution of Out-of School Learning". *International Journal of Science Education*, 28(12), 1373—1388.

- Brookhart, SM. (2010). *Assess Higher Order Thinking Skill in Your Classroom*. Virginia USA: ASCD.
- Bulte, Aartid M.W dkk. (2006). "A Research Approach to Designing Chemistry Education Using Authentic Practice as Contexts". *International Journal of Science Education*, 28(9), 1063—1086.
- Butterfield, A. (2012). *Employing Metacognitive Producess in Natural Science Teaching*. South Africa: Stellenbosch University.
- Buzan, T. (2002). *Buku Pintar Mind Map*. Jakarta: Gramedia.
- Campbell, N.A. dkk. (2011). *Biology*. San Fransisco-USA: Pearson Education Inc.
- Chabalengula, V. dkk. (2012). "How Pre-Service Teachers' Understand and Perform Science Process Skill". *Eurasia Journal of Mathematics, Science, and Technology Education*, 8(3), 167—176.
- Chang, S.L. dan K. Ley. (2006). "A Learning Strategy to Compensate for Cognitive Overload in Online Learning: Learner Use of Printed Online Materials". *Journal of Interactive Online Learning*, 5(1), 104—117.
- Cheng, M.F. dan D.E. Brown. (2010). "Conceptual Resource in Self-Developed Explanatory: The Importance of Integrating Conscious and Intuitive Knowledge". *International Journal of Science Education*, 32(17), 2367—2392.
- Ciascai, L. dan L. Haiduc. (2011). "Metacognitive Strategies that Romanian Pupils Use when Reading Scientific Textbooks". *IPDR*, 5, 389—392.
- Cook, M.P. (2006). "Visual Representations in Science Educational: The Influence of Prior Knowledge and Instructional Design Principles". *Science Education*, 90(6), 1073—1091.
- Creswell, J.W. (2008). *Educational Research*. Singapore, Canada, Japan, Australia, North Asia, Malaysia, Mexico, New Jersey: Pearson Education, Ltd.
- Creswell, J.W. dan Vicki L. Plano Clark. (2007). *Designing and Conducting Mixed Methodes Research*. California USA: Sage Publication.
- Cromley, J.G, S.Hogan, dan L. Dubas. (2010). "Cognitive Activities in Complex Science text and Diagram". *ELSEVIER*, 35, 59—74.
- Dahar, R.W. (1996). *Teori-Teori Belajar*. Jakarta: Erlangga.

- DeLeew, K.L. dan R.G. Mayer. (2008). "A Comparison of Three Measures of Cognitive Load: Evidence for Separable Measures of Intrinsic, Extraneous, and Germane Load". *Journal of Education Psychology*, 100(1), 1223—1234.
- Eylon, B.S., H. Berger, dan E. Bagno. (2008). "Continuous Professional Development Programme on Knowledge Integration in Physics: A Study of Teachers' Collective Discourse". *International Journal of Science Education*, 30(5), 619—641.
- Farsakoğlu, O.F., C. Sahin, dan F. Karsli. (2012). "Comparing Science Process Skill of Prospective Science Teacher: A Cross Sectional Study". *Science Learning and Teaching*, 13(6), 1—21.
- Feldon, D.F., B.G. Timmerman, dan K.A. Stove. (2009). "Translating Expertise Into Effective Instruction: The Impacts of Cognitive Task Analysis (CTA) on Lab Report Quality and Student Retention in the Biological Sciences". *Journal of Research Science Teaching*, 1—21.
- Fenci, H.S. (2010). "Development of Students' Critical-Reasoning Skills Through Content Focused Activities in a General Educational Course". *Journal of College Science Teaching*, 56—62.
- Fogarty, R. (1991). *How to Integrate the Curricula*. Illionis, Skylight Publishing.Inc.
- Foulds, W. dan J. Rowe. (1996). "The Enhancement of Science Process Skill in Primary Teacher Educating Student", *Australian Journal of Teacher Education*, 21(1), 15—24.
- George, R. (2006), "A Cross-Domain Analysis of Change in Students' Attitudes Toward Science and Attitudes about The Utility of Science", *International Journal of Science Education*, 26(6), 571—589.
- Glyselinch, V., E. Janet, dan V. Dubois. (2008), "The Role of Working Memory Components in Multimedia Comprehension". *Applied Cognitive Psychology*, 353—374.
- Gog, Tamara Van, Fred Paas, dan Jeroen J.G. van Merriënboer. (2008). "Effects of studying sequences of process-oriented and product-oriented worked examples on troubleshooting transfer efficiency". *Learning and Instruction*, 18, 211—222.

- Hall, C. dan J. Kidman. (2004). "Teaching and Learning: Mapping The Contextual Influences", *International Education Journal*. 4(5), 331—343.
- Haslam, C.Y. dan R. Joseph. (2010). "Investigating the Use of Integreted Instructions to Reduce the Cognitive Load Associated with Doing Practical Work in Secondary School Science". *International Journal of Science Education*. 32(14), 1943—1958.
- Hidayat, E.B. (1995). *Anatomi Tumbuhan*. Bandung: ITB.
- Hull, D. (1999). *Teaching Science Contextually The Cornerstone of Teach Prep*, Texas-USA: CORD Communications, Inc.
- Hung. W. dan D.H. Jonassen. (2006). "Conceptual Understanding of Causal Reasoning in Physics", *International Journal of Science Education*, 28(13), 1601—1621.
- Kalyuga, S. (2007). "Expertise Reversal Effect and Implication for Learner-Tailored Instruction", *Educ.Psychol*, 10, 1—31.
- _____. (2009). "Knowledge Elaboration: a Cognitive Load Perspective", *ELSEVIER*, 19, 402—410.
- Keles. Ö. (2012). "Mind Maps and Scoring Scale for Enviromental Galns In Science Educational". *New Perspective in Science Education*, 1—6.
- Kohler, P. (2009). "Using Graphic Organizer Effectively". *The Teaching Proffesor Journal*, 23(6), 1—8.
- Kuhn,D. dkk. (2000). "The development of cognitive skills to support inquiry learning". *Cognition and Intruction*, 18, 495—523.
- Kurniawan. D. (2011), *Pembelajaran Terpadu*. Bandung: Pustaka Cendekia Utama.
- Kuswana. W.S. (2011). *Taksonomi Berpikir*. Bandung: Remaja Rosda Karya.
- Lambert, J. (2006). "High School Marine Science and Scientific Literacy, The Promise of an Integrated Science Course", *International Journal of Science Education*, 28(6), 633—654.
- Lazear, D. (2004). *Higher Order Thinking*. Chicago: Zephyr Press.
- Lee, H. dkk. (2006). "Optimizing Cognitive Load for Learning From Computer-Based Science Simulations". *Journal of Educational Psychology*, 98(4), 902—913.

- Leutner, D., C. Leopold., dan E. Sumfleth. (2009). "Cognitive load and science text comprehension: Effects of drawing and mentally imagining text content", *ELSIEVER*. 284—289.
- Lin, X., D. Schwartz., dan G. Hatono. (2005). "Toward Teachers' Adaptive Metacognition". *Educational Psychologist*. 40(4), 245—255.
- Manoli, P dan M. Papadopoulou. (2012). "Graphic Organizer as a Reading Strategy: Research Finding and Issues". *Creative Education*, 3(3), 348—356.
- Marcus, N., M. Cooper, dan J. Weller. (1996). "Understanding Instructions". *Journal of Educational Psychology*, 88, 49—63.
- Marzano, R.J. (1992). *A Different Kind of Classroom, Teaching with Dimension of Learning*. Alexandria: Association for Supervision and Curriculum Development.
- Marzano, R.J. dan J.S. Kendall. (2008). *Designing & Assessing Educational Objective: Applying New Taxonomy*. California-USA: A Sage Company.
- Marzano, R.J., D. Pickering, dan J. McTighe. *Assessing Student Outcomes (Performance assessing Using the Dimension of Learning Model)*. Virginia: ASCD.
- Matlin, M.W. (2009). *Cognitive Psychology*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Mayer, R. E. dan R. Moreno. (2002). "Nine ways to reduce cognitive load in multimedia learning". *Educational Psychologist*, 38, 43—52.
- Mayer, R.E. (2003). "The promise of multimedia learning: Using the same instructional design methods across different media". *Learning and Instruction*, 12,125—141.
- Mayer, R.E., J. Heiser, dan S. Lonn. (2001). "Cognitive constraints on multimedia learning: When presenting more material results in less understanding". *Journal of Educational Psychology*, 93, 187—198.
- McLellan, R. (2006). "The Impact of Motivational 'World-View' on Engagement in a Cognitive Acceleration Programme". *International Journal of Science Education*, 28(7), 781—819.
- Melville. W. dan B. Yaxley. (2009). "Contextual opportunities for Teacher Professional Learning: The Experience of One Science

- Departement". *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 5(4), 257—368.
- Mihalca, L. dkk. (2010). "Effectiveness of cognitive-load based adaptive instruction in genetics education". *ELSIEVER*, 82—88.
- Moreno, R. (2006). "Decreasing Cognitive Load for Novice Students: Effects of Explanatory versus Corrective Feedback in Discovery-Based Multimedia". *Insrtuational Science*. 32, 99—113.
- Moreno, R. dkk. (2001), "The case for social agency in computer-based teaching: Do students learn more deeply when they interact with animated pedagogical agents?". *Cognition and Instruction*, 19(2), 117—214.
- Moreno. R. dan A. Valdez. (2006). "Cognitive load and learning affects of having students organize pictures and words in multimedia environments: The role of student interactivity and feedback". *Educational Technology Research and Development*, 53(3), 35—45.
- Mustafa, J. (2011). "Proposing a Model for Integrating of Social Issues In School Curriculum". *International Journal of Academic Research*, 2(1), 925—930.
- NRC. (1996). *National Science Education Standards*. Washington DC: National Academic Press.
- Ormrod, J. E. (2008). *Psikologi Pendidikan*. Jakarta: Erlangga.
- Park, J. (2006). "Modelling Analysis of Students' Processes of Generating Scientific Explanatory Hypotheses". *International Journal of Science Education*, 28(17), 469—489.
- Rusman. (2010). *Model-Model Pembelajaran*. Bandung: Rajawali Pers.
- Sankey, M.D. dan R.E. Gardiner. (2011). "The Impact of Multiple Representation of Content Using Multimedia on Learning Out Comes Across Learning Styles and Modal Preference". *International Journal of Education and Development Using Information and Communication Technology*, 7(3), 18—35.
- Scharfenberg, F.J. dan F.X. Bogner. (2010). "Instructional Efficiency of Changing Cognitive load in an Out-of-School Laboratory". *International Journal of Science Education*. 37(13), 1678—168.

- Schmith, H.G. dkk. (2007). "Problem-Based Learning is Compatible with Human Cognitive Architecture". *Eductional Psychologist*, 42(2), 91—97.
- Schnotz, W. dan C. Kürschner. (2007). "A Reconsideration of Cognitive Load Theory". *Educ Psychol*, 19, 469—508.
- Schraw, G., K.J. Crippen, dan K. Hartley. (2006), "Promoting Self-Regulation in Science Education: Metacognition as Part of a Broader Perspective on Learning". *Reasearch in Science Education*, 36, 111—139.
- Seufert, T., J. Jänen, dan Brünken. (2007). "The Impact of Intrinsic Cognitive Load on Effectivness of graphical help for coherence formation". *Science Direct Computer in Human Behaviour*, 23, 1055—1071.
- Silver, C.E.H., R.G. Duncan, dan C.A. Chinn. (2007). "Scaffolding and Achievement in Problem Based and Inquiry Learning". *Educational Psychologist*, 42(2), 99—107.
- Slavin, R.E. (2009). *Psikologi Pendidikan: Teori dan Praktik*. Jakarta: PT Indeks.
- Smith, A.S. (1998), "Focusing on Active, Meaningful Learning". *Idea Paper*, 34, 1—7.
- Solso, Robert, Ottoh Maclin, M Kimberly Maclin. (2008). *Psikologi Kognitif*. Jakarta: Erlangga.
- Stiggins, R. J. (1994). *Student-Centered Classroom Assessment*. New York: Merrue an Imprint of Macmillan College Publishing Co.
- Stigler, J.W. dan J. Hiebert. (1999). *The Teaching Gap, Best Odeas from the World's Teachers for Improving Education in the Classroom*. New York, USA: The Free Press.
- Stull, A.T dan R.E. Mayer. (2007). "Learning by Doing Versus Learning by Viewing: Three Experimental Comparisons of Learner Generated Versus Author-Provided Graphic Organizer". *Journal of Educational Psychology*, 99(4), 808—820.
- Sweller, J. (2005). *Implications of cognitive load theory for multimedia learning*. In R.E. Mayer (Ed.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. New York: Cambridge University Press.

- Taber, K. S. (2008). "Conceptual Resources for Learning Science: Issues of transience and grain-size in cognition and cognitive structure". *International Journal of Science Education*, 30(8), 1027—1053.
- _____. (2003). "Explanatory Concetual Integration in Student Thinking: Evidence from a Case Study", *International Journal of Science Education*, 30(14), 1915—1943.
- Taiz, L. dan E. Zeiger. (2002). *Plant Physiology*. USA: Sinauer Associates, Inc. Publishers. Sunderland, Massachusetts.
- Thomas, G., D. Anderson, dan S. Nashon. (2008). "Development of an Instrument Designed to Investigate elements of Science Students' Metacognition, Sef-Efficacy and Learning Processes: The SEMLI-S". *International Journal of Science Education*, 30(13), 1701—1724.
- Tien, W.Y. dan L. Tiai Chung. (2007). "High School Students' Informal Reasoning Regrding a Sosio Scientific Issue, with Relation to Scientific Epistemological Belief and Cognitive Structures". *International Journal of Science Education*, 33(3), 371—400.
- Toit, S. dan G. Kotze. (2009). "Metacognitive Strategies in the Teaching and Learning of Mathematics". *Phytagoras*, 70, 57—67.
- Trianto. (2010). *Model Pembelajaran Terpadu*. Surabaya: Bumi Aksara.
- Trihendradi, (2012). *Step by Step SPSS 20 Analisis Data Statistik*. Yogyakarta : Andi.
- Tytler, R. dan V. Prain. (2010). "A Frame Work for Re-Thinking Learning in Science from Recent Cognitive Science Perspectives". *International Journal of Science Education*, 32(15), 2055—2078.
- Urena, S.S, M. Cooper, dan Ron H. Stevens. (2011). "Enhancement of Metacognition Use and Awareness by Means of a Collaborative Intervention". *International Journal of Science Education*, 33(3), 323—340.
- Veenman, M.V.J., Bernadette H.A.M. van Hout-Wolters, dan Peter Afflerbach. (2006). "Metacognition and Learning: Conceptual and Methodological Consideration". *Metacognition Learning*. 1, 3—14.
- Violla, S.R. dan A. Leo Giretti. (2007). "Detecting Differences in Meaningfull Learning Behaviour and Their Evolution: a Data

- Driven Approach”. *International Journal of Computing and Information Science*, 5, 63—73.
- Watters, J.J. dan L.D. English. (1995). “Children’s Application of Simultaneous and Successive Processing in Inductive and Deductive Reasoning Problem: Implication for Developing Scientific Reasoning Skill”. *International Journal of Science Education*, 32(7), 699—714.
- Wei, B. (2009). “In Search of Meaningful Integration: The Experiences of Developing Integrated Science Curricula in Junior Secondary Schools in China”. *International Journal of Science Education*, 31(2), 259—277.
- Weier, T. E. dkk. (1982). *Botany*. Canada-USA: John Willey & Sons. Inc.
- Wright, J. (2006). “Teaching and Assesing Mind Maps”. *Peer Linguam*, 22(1), 23—38.
- Zumbach, Joerg dan Maryam Mohraz. (2008). “Cognitive Load in Hypermedia Reading Comprehension: Influence of Text Tipe and Linearity”. *Science Direct Computer in Human Behaviour* 24, 875—887.