BAB II
KAJIAN PUSTAKA

2.1 Literasi Sains

Literasi sains adalah kemampuan untuk terlibat dengan isu-isu dan gagasan sains sebagai warga negara yang berpikir (OECD, 2016a, hlm.1). Menurut Chen & Osman, 2017), literasi sains dapat megajarkan warga negara untuk membuat suatu keputusan di dalam kehidupan sehari-hari melalui penilaian terhadap informasi dan konsep sains. Berdasarkan paparan tersebut, kita dapat menyimpulkan bahwa warga negara dapat memecahkan masalah di dalam kehidupan sehari-hari melalui literasi sains.

Literasi sains dinilai melalui sebuah studi *Programme for International Student Assessment* (PISA) dari *Organisation for Economic Co-operation and Development* (OECD). Menurut OECD (2016a, hlm. 23), definisi literasi sains PISA 2015 terdiri dari empat aspek yang saling terkait, yaitu:

1. Konteks

   Isu-isu personal, lokal/nasional maupun global, baik yang terjadi saat ini ataupun di masa lalu, yang menuntut pemahaman mengenai sains dan teknologi.
2. Pengetahuan

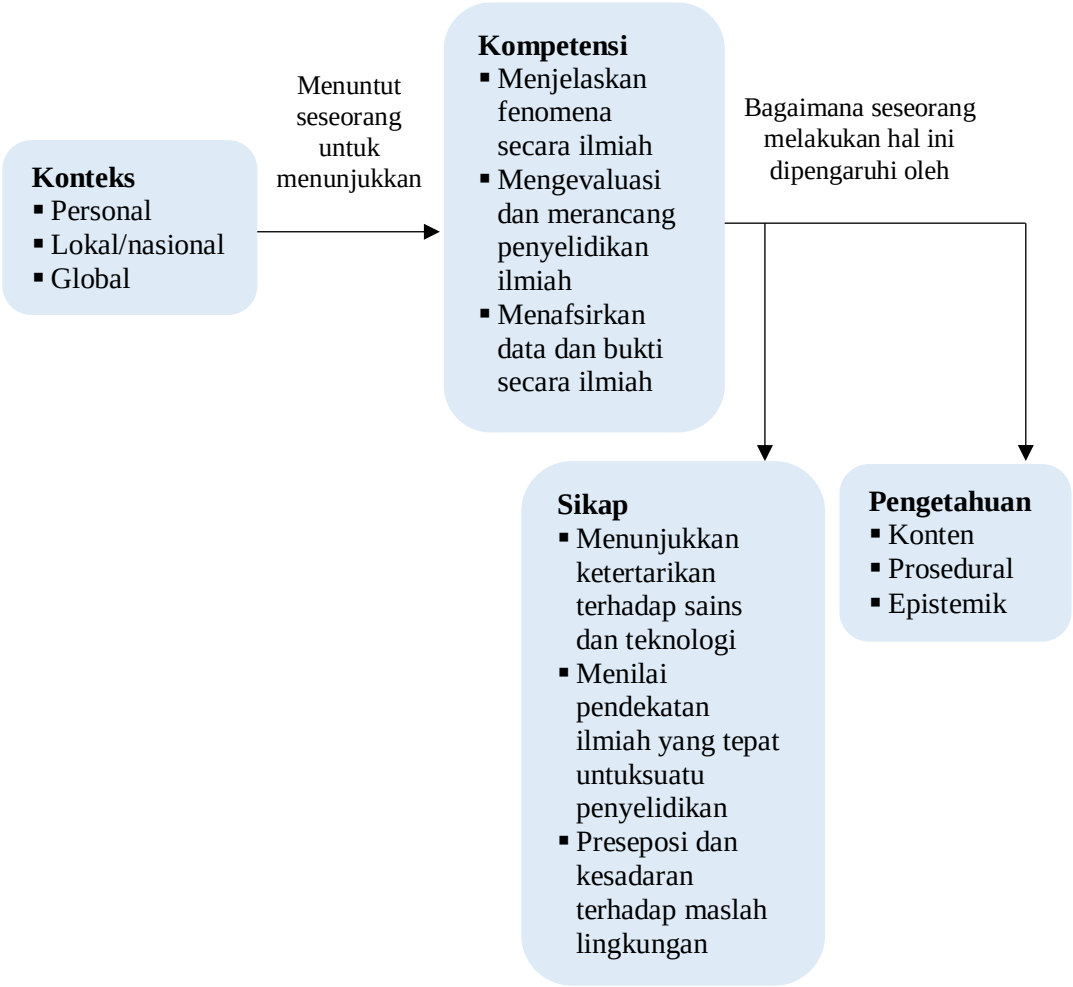
   Pemahaman mengenai fakta, konsep, dan teori penjelasan utama yang membentuk dasar pengetahuan ilmiah.
3. Kompetensi

   Kemampuan untuk menjelaskan fenomena secara ilmiah, mengevaluasi dan merancang penyelidikan ilmiah, dan menafsirkan data dan fakta secara ilmiah.
4. Sikap

   Seperangkat sikap terhadap sains yang ditunjukkan dengan ketertarikan terhadap sains dan teknologi, menilai pendekatan ilmiah yang tepat untuk suatu penyelidikan, serta persepsi dan kesadaran terhadap masalah lingkungan.

Hubungan keempat aspek di atas disajikan pada gambar 2.1.

Noriko Medoruma Marlita, 2017
PENGEMBANGAN BUKU PENGAYAAN KONTEKS SEL SURYA BERBASIS SENSITASI PEWARNA DAN POTENSINYA UNTUK MEMBANGUN LITERASI SAINS SISWA SMA
Univeristas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu



Gambar 2.1 Hubungan Empat Aspek Literasi Sains pada PISA 2015 (OECD, 2016a, hlm. 23)

Konteks dalam aspek PISA 2015 merupakan konteks yang relevan dengan kurikulum sains dari negara-negara peserta yang diatur dalam lingkup personal, lokal/nasional, dan global. Setiap konteks terbagi lagi menjadi empat topik, meliputi kesehatan dan penyakit, sumber daya alam, kualitas lingkungan, bahaya, serta batas sains dan teknologi. Namun, konteks tersebut bukan merupakan hal yang dinilai oleh PISA 2015. PISA 2015 menilai kompetensi dan pengetahuan dalam konteks tertentu. (OECD, 2016a, hlm. 23-24).

Kompetensi yang dibutuhkan oleh seseorang yang memiliki literasi ilmiah agar mereka mampu terlibat dalam diskusi mengenai sains dan teknologi. OECD (2016a, hlm. 24-25) mengemukakan kompetensi tersebut sebagai berikut.

1. Menjelaskan fenomena secara ilmiah, yaitu mengenali, memberikan, dan mengevaluasi penjelasan mengenai berbagai fenomena alam dan teknologi. Kompetensi tersebut meliputi kemampuan untuk :
   a. Mengingat dan menerapkan pengetahuan ilmiah secara tepat.
   b. Mengidentifikasi, menggunakan dan menghasilkan model dan gambaran yang bersifat menjelaskan.
   c. Membuat prediksi dan memberikan alasannya dengan tepat.
   d. Menyarankan hipotesis yang bersifat menjelaskan.
   e. Menjelaskan implikasi dari pengetahuan ilmiah yang potensial terhadap masyarakat.
2. Mengevaluasi dan merancang penyelidikan ilmiah, yaitu menggambarkan dan menilai penyelidikan ilmiah serta mengusulkan cara untuk menjawab pertanyaan secara ilmiah. Kompetensi tersebut meliputi kemampuan untuk :
   a. Mengidentifikasi pertanyaan penyelidikan dalam studi ilmiah.
   b. Membedakan pertanyaan-pertanyaan yang dapat dengan yang tidak dapat diselidiki secara ilmiah.
   c. Mengajukan cara menyelidiki suatu pertanyaan secara ilmiah.
   d. Mengevaluasi cara menyelidiki suatu pertanyaan secara ilmiah.
   e. Menjelaskan dan mengevaluasi bagaimana ilmuan memastikan data bersifat reliabel serta penjelasan bersifat objektif dan dapat digeneralisasi.
3. Menafsirkan data dan bukti secara ilmiah, yaitu menganalisis dan mengevaluasi data, pernyataan, dan argumen dalam berbagai penggambaran dan menarik kesimpulan yang tepat. Kompetensi tersebut meliputi kemampuan untuk :
   a. Mengubah data dari satu representasi ke representasi lainnya.
   b. Menganalisis dan menafsirkan data serta menarik kesimpulan dengan tepat.
   c. Mengidentifikasi asumsi, fakta dan penalaran dalam teks yang berhubungan dengan sains.
   d. Membedakan antara argumen yang berlandaskan dengan argumen yang tidak berlandaskan fakta dan teori ilmiah.
   e. Mengevaluasi argumen dan fakta ilmiah dari berbagai sumber (misalnya. koran, internet, dan jurnal).

Selain kompetensi, PISA 2015 juga menilai pengetahuan meliputi:

1. Pengetahuan konten
   a. Sistem fisik, meliputi :
      1) Struktur materi (contohnya model partikel, ikatan).
      2) Sifat materi (contohnya perubahan wujud, daya hantar panas dan listrik).
      3) Perubahan kimia pada materi (contohnya reaksi kimia, perpindahan energi, asam/basa).
      4) Gerak dan gaya (contohnya kecepatan dan gesekan) dan aksi pada suatu jarak (contohnya gaya magnet, gravitasi, dan elektrostatik).
      5) Energi dan perubahannya (contohnya konservasi, disipasi, dan reaksi kimia).
      6) Interaksi antara energi dan materi (contohnya gelombang radio dan cahaya serta gelombang seismik dan suara).
   b. Sistem kehidupan, meliputi :
      1) Sel (contohnya struktur dan fungsi, DNA, serta flora dan fauna).
      2) Konsep suatu organisme (contohnya uniseluler dan multiseluler).
      3) Manusia (contohnya kesehatan, nutrisi, dan subsistem, seperti pencernaan, pernapasan, sirkulasi, ekskresi, reproduksi serta hubungan antar subsistem).
      4) Populasi (contohnya spesies, evolusi, keanekaragaman hayati, dan variasi genetik).
      5) Ekosistem (contohnya rantai makanan serta aliran energi dan materi).
      6) Biosfer (contohnya layanan ekosistem dan pembangunan berkelanjutan).
   c. Sistem bumi dan ruang angkasa, meliputi :
      1) Struktur sistem Bumi (contohnya litosfer, atmosfer, dan hidrosfer).
      2) Energi dalam sistem Bumi (contohnya sumber daya dan iklim global).
      3) Perubahan pada sistem Bumi (contohnya tektonik lempeng, siklus geokimia, serta tenaga konstruktif dan destruktif).
      4) Sejarah Bumi (contohnya fosil, asal usul, dan evolusi).

5) Bumi dalam ruang angkasa (contohnya gravitasi, tata surya, dan galaksi).
6) Sejarah dan skala alam semesta serta sejarahnya (contohnya tahun cahaya dan teori *Big Bang*).

2. Pengetahuan prosedural
   a. Konsep variabel, termasuk variabel kontrol, bebas, dan terikat.
   b. Konsep pengukuran, contohnya kuantitatif (pengukuran), kualitatif (pengamatan), serta penggunaan variabel skala, kategori, dan kontinu.
   c. Cara untuk menilai dan mengurangi ketidakpastian, seperti pengukuran berulang dan rata-rata.
   d. Mekanisme untuk memastikan kedapatulangan (seberapa dekat hasil pada pengukuran berulang dengan nilai yang sama) dan akurasi data (seberapa dekat nilai pada hasil pengukuran dengan nilai yang sebenarnya).
   e. Cara umum untuk meringkas dan menyajikan data menggunakan tabel, grafik, dan *chart*, serta menggunakannya dengan tepat.
   f. Strategi pengendalian variabel dan peranannya dalam desain eksperimen atau penggunaan uji acak terkontrol untuk mencegah penemuan yang kacau serta mengidentifikasi mekanisme penyebab yang mungkin.
   g. Dasar dari suatu desain yang tepat untuk pertanyaan ilmiah tertentu, seperti desain percobaan, berbasis lapangan, atau penentuan pola.
3. Pengetahuan epistemik
   a. Konstruksi dan fitur pendefinisian sains, meliputi :
      1) Dasar dari observasi ilmiah, fakta, hipotesis, model, dan teori.
      2) Fungsi dan tujuan sains (untuk menghasilkan penjelasan mengenai dunia alam) yang membedakannya dari teknologi (untuk menghasilkan solusi optimal bagi kebutuhan manusia), serta apa yang menopang pertanyaan dan data yang tepat, baik ilmiah maupun teknologi.
      3) Nilai sains, contohnya komitmen untuk publikasi, objektivitas, dan eliminasi bias.
      4) Dasar pemikiran yang digunakan dalam sains, contohnya deduktif, induktif, kesimpulan untuk penjelasan terbaik (abduktif), analogi, dan pemikiran berbasis model.

b. Peranan konstruksi dan fitur dalam mempertimbangkan pengetahuan yang dihasilkan oleh sains, meliputi :
   1) Bagaimana pernyataan ilmiah didukung oleh data dan penalaran dalam sains.
   2) Fungsi perbedaan bentuk pada penyelidikan empiris dalam membentuk pengetahuan, tujuannya (untuk menguji hipotesis yang bersifat menjelaskan atau mengidentifikasi pola), dan desainnya (observasi, eksperimen terkontrol, dan studi korelasional).
   3) Pengaruh kesalahan pengukuran terhadap tingkat kepercayaan dalam pengetahuan ilmiah.
   4) Penggunaan dan peranan model fisis, sistem, dan abstrak serta batasannya.
   5) Peranan kolaborasi dan kritik serta bagaimana penilaian sejawat membantu untuk membangun kepercayaan dalam klaim ilmiah.
   6) Peranan pengetahuan ilmiah, bersama bentuk pengetahuan lainnya, dalam mengidentifikasi dan menyampaikan isu-isu teknologi dan sosial.

2.2 Teknosains

Teknosains merupakan pandangan yang menghubungkan sains dan teknologi, yang termasuk ke dalam konteks PISA 2015. Sains dan teknologi merupakan dua bidang yang dipisahkan di dalam pendidikan tradisional, padahal keduanya memiliki hubungan yang sangat erat. Tala (2009) mengungkapkan dua hubungan antara sains dan teknologi, yaitu sains didorong teknologi dan teknologi didorong sains. Sains didorong teknologi merupakan hubungan antara sains dan teknologi yang menyatakan bahwa sains dikembangkan agar dapat diterapkan sebagai solusi untuk menciptakan teknologi baru, sedangkan teknologi didorong sains merupakan hubungan antara sains dan teknologi yang menyatakan bahwa teknologi dibutuhkan dalam pengembangan konsep sains ketika menginterpretasikan data dari fenomena yang terjadi. (Tala, 2009, hlm. 275-276). Berdasarkan pandangan teknosains, tenaga kependidikan memiliki pekerjaan untuk mengeksplorasi aspek teknologi dan sains yang saat ini terpisah dan menggabungkan keduanya di dalam kurikulum untuk meningkatkan literasi sains

(Gilbert, Boulter, & Elmer, 2000, hlm. 4). Tingkat literasi sains dipengaruhi oleh bahan ajar yang digunakan oleh siswa (Yenni, Hernani, & Widodo, 2017) sehingga salah satu cara yang dapat dilakukan untuk menerapkan teknosains dan literasi sains adalah mengembangkan bahan ajar berbasis teknosains.

2.3 Model dan Pemodelan

Model adalah representasi, biasanya berdasarkan analogi, yang dibuat melalui kontekstualisasi suatu bagian dunia dengan tujuan tertentu. Kata representasi merujuk pada gagasan, analogi merujuk pada sifat yang serupa dengan model dan dunia, sedangkan tujuan merujuk pada penjelasan atau prediksi melalui visualisasi (Chamizo, 2011; Gilbert, Boulter, & Elmer, 2000). Harrison & Treagust (2000) mengklasifikasikan model menjadi beberapa jenis, diantaranya *pedagogical analogical models* dan *symbolic models*. Pada *pedagogical analogical models*, *'analogical'* karena memuat informasi yang sama dengan target dan *'pedagogical'* karena merupakan penjelasan guru dari hal yang tidak terlihat seperti atom dan molekul agar mudah dipahami siswa. *Symbolic models* meliputi rumus dan persamaan kimia (Glyn, 1991 dan Shulman, 1986 dalam Harrison & Treagust, 2000, hlm. 1015-1016).

Pembuatan model disebut pemodelan. Pemodelan membutuhkan tigas aspek, yaitu pengetahuan (tentang informasi bagian dunia yang akan dimodelkan), memilih dan mengintegerasikan seperangkat hal yang dianggap penting untuk tujuan tertentu (seperti analogi), serta imajinasi dan kreativitas (untruk merancang model sesuai dengan bagian dunia yang akan dimodelkan). (Chamizo, 2011, hlm. 1624-1625).

Schwarz, dkk. (2009) mengatakan bahwa pemodelan adalah praktek inti di dalam sains dan bagian penting dari literasi sains. Mereka pun merumuskan target pemodelan ke dalam empat tingkatan, meliputi:

1. Siswa membangun model yang sesuai dengan bukti dan teori sebelumnya untuk menggambarkan, menjelaskan, atau memprediksi fenomena.
2. Siswa menggunakan model untuk menggambarkan, menjelaskan, dan memprediksi fenomena.

3. Siswa membandingkan dan mengevaluasi kemampuan model yang berbeda untuk secara akurat mewakili dan memperhitungkan pola dalam fenomena, dan untuk memprediksi fenomena baru.
4. Siswa merevisi model untuk meningkatkan kekuatan penjelasan dan prediktif mereka, dengan mempertimbangkan bukti tambahan atau aspek fenomena.

(Schwarz, dkk., 2009, hlm. 632; 635).

2.4 Buku Pengayaan

Buku pengayaan merupakan salah satu jenis bahan ajar cetak berdasarkan klasifikasi Depdiknas (2008). Dalam Pasal 1 Permendiknas Nomor 2 Tahun 2008, buku pengayaan didefiniskan sebagai buku yang memuat materi yang dapat memperkaya buku teks pendidikan dasar, menengah, dan perguruan tinggi. Istilah memperkaya merujuk pada memperkaya wawasan, pengalaman, pengetahuan, penguasaan ipteks dan keterampilan siswa, pendidik, pengelola pendidikan, dan masyarakat. Selain itu, buku pengayaan dapat meningkatkan penguasaan ipteks dan keterampilan dan membentuk kepribadian pembaca (Depdiknas, 2008, hlm, 8).

Buku pengayaan merupakan buku nonteks pendidikan sehingga pedoman penulisan buku pengayaan berkualitas berdasar pada pedoman penulisan buku nonteks berkualitas. Berikut ini merupakan empat komponen utama dalam penulisan buku nonteks yang berkualitas menurut Pusbuk (2008, hlm. 67-82).

1. Komponen materi

Materi buku pengayaan dituntut memenuhi kriteria umum, meliputi materi yang mendukung pencapaian tujuan pendidikan nasional, materi yang tidak bertentangan dengan ideologi dan kebijakan politik negara, dan materi yang menghindari masalah SARA, bias gender, serta pelanggaran HAM. Kriteria lain yang harus dipenuhi oleh buku pengayaan adalah kriteria khusus, di antaranya materi yang ditulis sesuai dengan perkembangan ilmu yang mutakhir, sahih, dan akurat. Materi harus akurat berdasarkan rujukan yang dapat dipertanggungjawabkan.

Materi buku pengayaan berhubungan dengan beragam bidang keilmuan, diantaranya IPA. Materi pada buku pengayaan IPA minimal berisi tentang penerapan atau penggunaan IPA dalam kehidupan sehari-hari, meliputi bentuk, sumber, dan manfaat energi, hubungan energi dan kegunaannya bagi kehidupan manusia, pemahaman cara kerja perangkat teknologi, serta kegiatan percobaan

sederhana yang menjadikan IPA sebagai ilmu pengetahuan yang menyenangkan (Kemdiknas, 2011, hlm. 6-7).

2. Komponen penyajian

Materi buku pengayaan harus disajikan secara runtun, lugas, dan mudah dipahami. Salah satu bentuk penyajian yang dapat dimasukkan ke dalam buku pengayaan adalah percobaan untuk mengembangkan aspek keterampilan. Langkah kerja dalam percobaan dilengkapi dengan gambar atau nomor tahapan kerja.

3. Komponen bahasa dan/atau ilustrasi

Bahasa pada buku pengayaan akan mempengaruhi keterpahaman pembaca. Keterpahaman yang tinggi dapat dicapai pembaca pemula apabila kosakata yang digunakan pada buku pengayaan merupakan kosakata yang sederhana. Menurut Suherli, bahasa pada buku pengayaan juga harus menghindari penggunaan istilah asing. Selain bahasa, komponen ilustrasi merupakan komponen di dalam buku pengayaan. Ilustrasi (gambar/foto/diagram/tabel) yang digunakan harus sesuai dan proporsional dengan teks dalam buku pengayaan.

4. Komponen grafika

Komponen grafika dalam buku pengayaan meliputi desain halaman depan dan tipografi isi buku. Penulis dapat mengusulkan komponen grafika yang diharapkan kepada penerbit sehingga penulis tidak terlibat secara langsung dalam mewujudkan grafika buku.

2.5 Kurikulum Kimia SMA

Undang-Undang Nomor 20 Tahun 2003 menyatakan kurikulum sebagai seperangkat rencana dan pengaturan mengenai tujuan, isi, dan bahan pelajaran serta cara yang digunakan sebagai pedoman penyelenggaraan kegiatan pembelajaran untuk mencapai tujuan pendidikan tertentu. Berdasarkan pengertian tersebut, kurikulum merupakan pedoman dalam mencapai tujuan pendidikan tertentu.

Kurikulum 2013 merupakan kurikulum yang berlaku di Indonesia saat ini. Berdasarkan Permendikbud Nomor 69 Tahun 2013 tentang Kerangka Dasar dan Struktur Kurikulum Sekolah Menengah Atas/Madrasah Aliyah, kurikulum 2013 dikembangkan berdasarkan berbagai tantangan yang dihadapi Indonesia, meliputi upaya meningkatkan sumber daya manusia yang memiliki kompetensi dan keterampilan melalui pendidikan kemajuan teknologi, pengaruh teknosains, dan.

hasil studi Program for International Student Assessment (PISA) yang tidak menggembirakan. Atas pertimbangan berbagai tantangan tersebut, kurikulum 2013 dikembangkan untuk mempersiapkan manusia Indonesia agar memiliki kemampuan hidup sebagai pribadi dan warga negara yang beriman, produktif, kreatif, inovatif, dan afektif serta mampu berkontribusi pada kehidupan bermasyarakat, berbangsa, bernegara, dan peradaban dunia.

Tujuan kurikulum 2013 diuraikan menjadi kompetensi sehingga tercapainya tujuan kurikulum 2013 dapat dilihat dari ketercapaian kompetensi. Pengembangan kurikulum di SMA/MA, termasuk kimia, dilakukan dalam rangka mencapai dimensi kompetensi pengetahuan, kerja ilmiah, serta sikap ilmiah sebagai perilaku sehari-hari dalam berinteraksi dengan masyarakat, lingkungan dan pemanfaatan teknologi, seperti yang disajikan pada gambar 2.2.

Gambar 2.2 Kerangka Pengembangan Sains

Gambar 2.2 di atas menunjukkan bahwa peserta didik mampu menerapkan kompetensi sains yang dipelajari di sekolah menjadi perilaku dalam kehidupan masyarakat serta memanfaatkan masyarakat dan lingkungan sebagai sumber belajar

Lingkungan memiliki objek dan fenomena yang dapat dikaitkan dengan konteks global misalnya pemanasan global, efek rumah kaca, sumber daya energi, energi alternatif, dan teknologi. Kaitan antara lingkungan dan konteks dapat digunakan dalam pembelajaran. Sesuai dengan perkembangan teknologi, pembelajaran sepatutnya dapat mengakses kemajuan teknologi informasi dan komunikasi sebagai sarana, sumber belajar maupun alat pembelajaran (Kemdikbud, 2017, hlm. 7-12).

2.6 Perumusan Tujuan Pembelajaran

Tujuan pembelajaran merupakan pernyataan yang jelas mengenai apa yang diinginkan pada akhir program dari sejumlah pokok dan sub pokok bahasan (Tim Pengembangan Ilmu Pendidikan, 2007, hlm. 271). Tujuan pembelajaran harus beracuan kepada indikator yang sudah diberikan, atau setidaknya tujuan pembelajaran tersebut harus mengandung dua aspek *audience* dan *behavior* (Shobirin, 2016, hlm. 191). Dua aspek tersebut merupakan bagian dari empat aspek dalam tujuan pembelajaran, yaitu *audience, behavior, condition,* dan *degree* (Maryani dan Fatmawati, 2015, hlm.80). Baker (dalam Susilana dan Riyana, 2009, hlm. 33) membuat formula teknik perumusan tujuan pembelajaran dengan rumus ABCD untuk memudahkan merumuskan tujuan pembelajaran, yaitu:

a. *Audience,* artinya sasaran sebagai pembelajar yang perlu dijelaskan secara spesifik agar jelas untuk siapa tujuan tersebut diberikan. Sasaran yang dimaksud di sini misalnya siswa SD kelas IV, siswa SMP kelas 2, siswa SMA kelas 3, dan lain-lain.
b. *Behaviour,* yaitu perilaku spesifik yang diharapkan dilakukan atau dimunculkan siswa setelah pembelajaran berlangsung. *Behaviour* ini dirumuskan dalam bentuk kata kerja, contohnya menjelaskan, menyebutkan, merinci, mengidentifikasi, memberikan contoh, dan sebagainya.
c. *Conditioning,* yaitu keadaan yang harus dipenuhi atau dikerjakan siswa pada saat dilakukan pembelajaran, misalnya dengan cara mengamati, tanpa membaca kamus, dengan menggunakan kalkulator, dengan benar, dan sebagainya.
d. *Degree,* yaitu batas minimal tingkat keberhasilan terendah yang harus dipenuhi dalam mencapai perilaku yang diharapkan. Penentuan ini tergantung pada jenis bahan materi penting tidaknya materi. Contoh, 3 buah, minimal 80%, empat jenis, dan sebagainya.

Selain aspek ABCD, tujuan pembelajaran mencakup kata kerja operasional yang dapat diamati dan diukur (Maryani dan Fatmawati, 2015, hlm.80), yang disajikan pada tabel 2.1.

Tabel 2.1
Kata Kerja Operasional

Ranah Kognitif Menurut Anderson		
Mengingat (C1)	Memahami (C2)	Menerapkan (C3)
Mendefinisikan Mengetahui Mendaftar Menghafal Memberi nama Mengingat kembali	Mengklasifikasikan Menggambarkan Membedakan Menjelaskan Memberi contoh Menulis kembali Menguraikan	Melengkapi Mendemonstrasikan Mengembangkan Mengoperasikan Menghitung Menggunakan Meramalkan
Menganalisis (C4)	Mengevaluasi (C5)	Menciptakan (C6)
Mengidentifikasi Mengilustrasikan Mengambil kesimpulan Menghubungkan Menelaah	Menilai Membandingkan Menyimpulkan Mengkritik Mempertimbangkan kebenaran Membuktikan Mempertentangkan	Menggabungkan Menyusun Membangun Menciptakan Merencanakan Memproduksi

Ranah Afektif Menurut Krathwohl, Bloom, & Masia (1964)				
Menerima (A1)	Menanggapi (A2)	Menilai (A3)	Meng-konseptualisasikan Nilai (A4)	Mendalami Nilai (A5)
Mendengar-kan Mendiskusi-kan Membaca	Menanggapi Menginterpretasi-kan Mengklarifikasi Menanyakan	Mengemukakan argumen Membenarkan Meyakinkan Mengkritik	Membangun Mengembangkan Memodifikasi Menghubungkan Membandingkan	Memutuskan Menunjuk-kan Memecahkan Membiasakan

Ranah Psikomotor Menurut Dave dalam Armstrong (1970)				
Peniruan (P1)	Manipulasi (P2)	Presisi (P3)	Artikulasi (P4)	Naturalisasi (P5)
Menyalin Mengikuti Mereplikasi Mengulangi Mematuhi	Membuat kembali Mengembang-kan Melakukan Mengelola Melaksanakan	Mendemonstrasi-kan Melengkapi Menunjukkan Menyempurnakan Mengkalibrasi Mengontrol	Mengkonstruksi Memecahkan Mengadaptasi Mengembangkan Memformulasikan Memodifikasi	Merancang Menentukan Mengelola Menciptakan

Diadaptasi dari Thomas, 2005 dan Dave (1970) dalam Richlin (2006).

2.7 Analisis Wacana

Menurut Setiadi (2014), analisis wacana merupakan pendekatan yang diterapkan pada analisis penggunaan bahasa, baik tulis maupun lisan, atau bentuk tanda dan lambang lainnya. Penerapan analisis wacana merupakan langkah sistematis dalam mendalami bahan bacaan, seperti buku ajar. Penerapan analisis wacana diperlukan dalam pengembangan bahan ajar agar proses pengembangan dapat dilakukan secara efisien dan informasi dapat disampaikan dengan baik dari segi konten maupun konteks tanpa mengesampingkan aspek pedagogi. Analisis wacana teks bertujuan untuk mendapatkan kejelasan mengenai struktur dan konten dari teks (Setiadi, 2014, hlm. 1).

Analisis wacana terdiri dari lima langkah, yaitu penghalusan teks sumber, penurunan struktur makro teks, penurunan keterampilan intelektual, penurunan instrumen evaluasi, analisis komponen piktorial pendukung teks, yang dijabarkan sebagai berikut.

1. Penghalusan teks sumber

Teks sumber merupakan sintesis dari berbagai bahan bacaan (teks asli) dengan bahasan yang lengkap. Selanjutnya, teks sumber dihaluskan menjadi teks dasar melalui penghapusan dan penyisipan kata atau frasa. Penghapusan dilakukan terdahap kata yang diulang atau berlebihan, sedangkan penyisipan dilakukan dengan memasukkan kata atau frasa untuk memperjelas makna dari teks. Penghalusan ini dilakukan untuk membantu pembaca dalam memahami teks sesuai kemampuannya (Setiadi, 2014, hlm. 3).

2. Penurunan stuktur makro teks

Pokok bahasan bahan ajar dianalisis dan dipetakan ke dalam struktur makro untuk mengendalikan pekerjaan penulisan teks bahan ajar. maka dari setiap bab atau pokok bahasan bahan ajar tersebut dianalisis dan dipetakan ke dalam model representasi teks dalam bentuk struktur makro teks. Struktur makro merupakan pemetaan bagaimana konsep-konsep tersebut dieksplanasi dalam wacana. Struktur makro memiliki dua dimensi, yaitu dimensi progresi dan dimensi elaborasi. Dimensi progresi dipetakan ke bawah, sedangkan dimensi elaborasi dipetakan ke samping. Kriteria ketepatan dicapai melalui penerapan wacana dalam dimensi

progresi, sedangkan kriteria kejelasan dicapai melalui fungsi eksplanasi terhadap materi dalam dimensi elaborasi (Setiadi, 2014, hlm. 6-7).

3. Penurunan keterampilan intelektual

Tujuan paragraf merupakan tindakan pedagogi penulis dalam membuat penjelasan yang akan menjadi keterampilan intelektual bagi pembaca. Keterampilan intelektual dituangkan ke dalam paragraf atau kalimat di dalam teks. (Setiadi, 2014, hlm. 10).

4. Penurunan instrumen evaluasi

Pengembangan instrumen evaluasi dapat dikendalikan dengan menempatkan struktur keterampilan intelektual sebagai indikator pencapaian tujuan untuk mengukur ketercapaian tindakan eksplanasi tersebut dengan merujuk pada keterampilan intelektual dari wacana. Evaluasi merupakan upaya penggalian kembali kesesuai keterampilan intelektual yang dimiliki pembaca dengan tindakan pedagogi dari penulis melalui penjelasan yang diberikan di dalam bacaan. Keberhasilan wacana dicapai jika keterampilan intelektual pembaca sesuai dengan tindakan pedagogi dari penulis (Setiadi, 2014, hlm. 12).

5. Analisis komponen piktorial pendukung teks

Media pendukung teks berupa foto, gambar, bagan, grafik, dan bentuk piktorial diam lainnya diperlukan saat mengembangkan buku. Komponen piktorial disesuaikan dengan keterampilan intelektual. Jika paragraf menyajikan analogi dari sesuatu, piktorial yang dipilih berupa gambaran dari apa yang dijadikan analogi tersebut. Bentuk piktorial pendukung eksplanasi juga berkaitan dengan karakteristik dari objek. Jika karakter objek diam dan terlihat, piktorial yang dibutuhkan adalah foto/gambar. Jika karakter objek diam tetapi tidak terlihat, piktorial yang dibutuhkan adalah gambar ilustrasi/simbol/lambang (Setiadi, 2014, hlm. 12).

Menurut Setiadi, pada pembuatan bahan ajar .*courseware* terdapat istilah pengalihan teks, yaitu pengubahan teks dari buku menjadi teks interaktif (teks keluaran Pengembangan multimedia *courseware* dapat menggunakan pendekatan konstruktivistik dengan sajian konsep yang harus dipahami siswa dengan mengkonstruksi pengetahuannya secara mandiri ketika mereka belajar menggunakan multimedia tersebut (Sunarya & Setiadi, 2012, hlm. 94). Setiadi pun

menunjukkan bahwa teks keluaran dibuat dengan mensejajarkan teks dasar, tindakan pedagogi, teks keluaran, dan grafis pendukung. Teks keluaran berisi materi subjek yang akan diinformasikan kepada peserta didik (Setiadi, Siswaningsih, & Kamil, 2004, hlm. 33). Teks dasar diubah menjadi teks keluaran agar mudah diajarkan dan dipahami (Anggraeni, 2016).

2.8 Uji Keterpahaman Membaca terhadap Teks Sains

Menurut Vellutino (dalam Best, dkk., 2005, hlm. 66), keterpahaman membaca dapat didefiniskan sebagai kemampuan untuk memperoleh arti dari teks yang ditulis untuk tujuan tertentu. Keterpahaman membaca dipengaruhi oleh masalah yang terkait dengan buku teks. Masalah umum dari banyak buku teks sains adalah tidak adanya informasi yang dianggap penulis sebagai pengetahuan yang telah dimiliki pembaca. Informasi seharusnya ditambahkan dengan jelas agar pembaca dapat memahami teks secara mendalam tanpa harus bergantung pada pengetahuan awal mereka. Menurut Beck, McKeown, Sinatra, & Loxterman (dalam Best, Rowe, Ozuru, & McNamara, 2005, hlm. 68), penghilangan semacam itu bahkan terjadi pada informasi yang sangat penting untuk menunjang penjelasan di dalam teks. Pemahaman terhadap teks dapat dilakukan dengan menggunakan penilaian berupa pertanyaan terbuka atau pilihan ganda (Best, dkk., 2005, hlm. 68). Menurut Heaton (dalam Xu, 2011, hlm. 219), uji keterpahaman membaca menggunakan pilihan ganda harus didasari oleh informasi yang diberikan oleh bahan bacaan.

Pokok uji pilihan ganda ialah pokok uji yang terdiri dari suatu pernyataan yang belum lengkap, dan untuk melengkapi pernyataan itu disediakan beberapa pernyataan sambungan, salah satu di antaranya merupakan jawaban benar (kunci jawaban). Pernyataan atau pertanyaan pada pokok uji pilihan berganda disebut stem, sedangkan alternatif jawaban disebut opsi. Alternatif jawaban benar disebut kunci, sedangkan alternatif jawaban salah disebut pengecoh (distraktor). Keunggulan bentuk pilihan berganda, yaitu dapat disusun untuk mengukur kemampuan di setiap jenjang dalam domain kognitif dan stem terbuka untuk ilustrasi, misalnya diagram, grafik, gambar, tabel, dan sebagainya. Hal ini sangat berguna untuk memperpendek stem dan meningkatkan kejelasan persoalan yang diajukan.

Berikut ini dikemukakan pedoman untuk menulis pokok uji bentuk pilihan berganda.

1. Hanya ada satu kunci (jawaban benar).
2. Pengecoh harus menarik perhatian (tidak mencoloh kesalahannya).
3. Kata negatif (tidak, bukan, kecuali) harus digaris bawahi atau ditulis dengan huruf besar atau huruf miring, agar jelas terlihat.
4. Hindari adanya pernyataan option seperti berikut: "tidak satupun jawaban di atas benar", atau "semua jawaban di atas benar".
5. Alternatif-alternatif jawaban hendaknya homogen dalam arti berada dalam satu konteks (satu persoalan).
6. Panjang masing-masing *option* hendaknya relatif sama. Jangan ada kecenderungan bahwa kunci selalu lebih panjang dari pengecoh-pengecohnya.
7. Hindari ketergantungan satu pokok uji pada jawaban pada pokok uji lainnya.
8. Kunci hendaknya diletakkan secara acak (tidak berpola), seperti misalnya:
   1. C 2. B 3. C 4. A 5. D dst.
9. Sesuai dengan kaidah ejaan yang berlaku. Jika stem merupakan kalimat yang belum lengkap, di ujung kalimat dituliskan empat titik (….). Tiga titik untuk mengantikan jawaban dan satu titik terakhir merupakan titik penutup kalimat. Jika stem merupakan kalimat belum lengkap, maka kalimat *option* harus diawali dengan huruf kecil, sedangkan jika stem berupa kalimat tanya, maka kalimat opsi diawali oleh huruf besar.

(Firman, 2013, hlm. 27-29).

Pilihan ganda hanya salah satu bentuk soal untuk uji keterpahaman. Menurut Ferguson, Bråten, Strømsø, & Anmarkrud (2013, hlm. 107), pertanyaan uraian terbatas dapat digunakan sebagai penilaian pemahaman epistemik agar partisipan dapat menjawab berdasarkan pemikiran mereka yang dibangun saat membaca teks. Uraian terbatas merupakan pokok uji uraian dengan lingkup permasalahan yang spesifik dan meminta jawaban yang tidak terlalu panjang, yakni satu atau dua paragraf. Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam pembuatan pokok uji uraian terbatas meliputi penekanan yang menuntut siswa berpikir bukan menghafal (Firman, 2013, hlm. 35; 37).

Hasil uji keterpahaman membaca perlu dianalisis untuk mengetahui tingkat keterpahaman terhadap teks, misalnya teks di dalam bahan ajar. Analisis dilakukan dengan menghitung jawaban ide pokok yang dijawab benar oleh siswa kemudian membagi jumlah ide pokok yang dijawab dengan benar dengan jumlah ide pokok secara keseluruhan kemudian dikalikan dengan 100% (Arifin dan Anwar, 2015, hlm. 4). Keterpahaman dibagi menjadi tiga tingkatan, yaitu tingkat mandiri *(independent level)*, tingkat bersifat pembelajaran *(instructional level)*, dan tingkat kegagalan *(frustration level)*. Pembaca pada *independent level* tidak membutuhkan bantuan guru. Mereka akan memahami teks. *Instructional level* berarti guru akan memberikan bantuan. Ini merupakan tingkat yang ideal. *Frustration level* berarti tidak ada bantuan dari guru yang akan memungkinkan siswa untuk memahami teks. Hal ini terlalu sulit. Ketiga istilah tersebut mengacu pada bagaimana keterpahaman teks untuk siswa (Gunderson, D'Silva, & Odo, 2014, hlm. 65).

2.9 Penelitian Terdahulu yang Relevan

Adapun penelitian lain yang berhubungan dengan buku pengayaan adalah untuk membangun literasi kimia siswa SMA, yaitu:

1. *Pengembangan Buku Pengayaan Konteks Otot Buatan untuk Membangun Literasi Kimia Siswa SMA* oleh Ulum (2016) yang mengintegrasikan konteks otot buatan dengan konten kimia sekolah, diantaranya materi polimer dan gaya elektrostatik.
2. *Pengembangan Buku Pengayaan Konteks Nanoselulosa untuk Membangun Literasi Kimia Siswa SMA* oleh Fauzi (2016) yang mengintegrasikan konteks nanoselulosa dengan konten kimia sekolah, di antaranya materi ikatan hidrogen dan koloid.
3. *Pengembangan Buku Pengayaan Konteks Electrolyte Fuel Cell untuk Membangun Literasi Kimia Siswa SMA* oleh Saefulloh (2016) yang mengintegrasikan konteks sel bahan bakar dengan konten kimia sekolah, di antaranya materi ikatan hidrogen.
4. *Pengembangan Buku Pengayaan Konteks Pelumas Media Magnetik untuk Membangun Literasi Kimia Siswa SMA* oleh Nurhadi (2016) yang mengintegrasikan konteks pelumas media magnetik dengan konten kimia

sekolah, yaitu materi senyawa ionik, interaksi antar molekul, kimia unsur, dan polimer.

5. *Artificial muscles' enrichment text: Chemical Literacy Profile of pre-service teachers* oleh Hernani, Ulum, & Mudzakir (2017) yang meneliti profil kemampuan literasi kimia *pre-service teachers* dengan pembelajaran individual dengan menggunaan buku pengayaan konteks otot buatan.
6. *The first year pre-service teachers' chemical literacy in individual learning case using the fuel cell technology based-chemical enrichment book* oleh Hernani, Saefulloh, & Mudzakir (2017) yang meneliti kemampuan literasi kimia *pre-service teachers* dengan pembelajaran individual menggunakan buku pengayaan kimia berbasis teknologi sel bahan bakar.

2.10 Deskripsi Konteks Sel Surya Berbasis Sensitasi Pewarna

2.10.1 Sel Surya

Sel surya merupakan perangkat yang dapat mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Sel surya merupakan aplikasi dari prinsip fotosintesis pada daun sehingga daun dikatakan sebagai sel surya alami. *Dye* di dalam daun, yaitu klorofil, menyerap cahaya dari matahari dan mengubahnya menjadi gula, sumber energi kimia. Perbedaannya adalah sel surya buatan manusia membutuhkan energi matahari, tapi lebih memilih mengubahnya menjadi energi listrik daripada menjadi energi kimia (NGGS, 2014, hlm. 5).

Sel surya dikenal sebagai perangkat *photovoltaic*. Istilah *"photovoltaic"* memiliki dua kata, yaitu kata Yunani *'phos'* yang berarti cahaya dan "Volta" yang merupakan penemu voltase, sehingga diterjemahkan menjadi cahaya dan listrik (Singh, Kothari, dan Tyagi, 2016, hlm. 480). Sel surya telah dikembangkan sampai tiga generasi (Khoja, 2012, hlm. 5-6).

1. Generasi Pertama: *Crystalline Silicon Solar Cell Technology*

   Sel surya generasi pertama merupakan sel surya berbasis silikon memiliki ukuran paling besar dibandingkan generasi lainnya. Silikon memiliki kemampuan sebagai semikonduktor pada suhu yang lebih tinggi, sehingga menarik untuk dijadikan bahan baku sel surya. Generasi ini mendominasi pasar dengan persentase sebesar 80-90%.

2. Generasi Kedua: *Thin Film Solar Cell Technology*

   Sel surya generasi kedua berbasis lapisan tipis. Satu atau beberapa lapisan tipis bahan fotovoltaik disimpan pada kaca penghantar listrik. Efisiensinya lebih rendah dibandingkan sel surya generasi pertama, tetapi biaya produksinya lebih murah. Generasi kedua diperkirakan akan mendominasi pasar perumahan.

3. Generasi Ketiga: *Dye-Sensitized Solar Cell Technology*

   Sel surya generasi ketiga berbasis pewarna yang memiliki sifat elektrokimia. Bahan yang digunakan relatif murah, seperti zatperwarna (dye) yang dapat menyerap sinar matahari, kaca, bubuk titania, dan serbuk karbon. Saat ini penelitian sel surya generasi ketiga menargetkan efisiensi sebesar 30-60%. Generasi ketiga terdiri atas berbagai inovasi sel surya yang potensial, meliputi *multijunction solar cells, polymer solar cells, polymer solar cells, nanocrystalline-nanowire cells,* dan *dye sensitized solar cells* (DSSC).

Sel surya dikembangkan berdasarkan kekurangan generasi sebelumnya agar generasi selanjutnya memiliki kelebihan. Tabel 2.2 menyajikan kelebihan dan kekurangan dari setiap generasi sel surya.

Tabel 2.2
Kelebihan dan Kekurangan Setiap Generasi Sel Surya

Aspek	Sel Surya Generasi ke-…		
	1	2	3
Kelebihan	- Efisiensi tinggi	- Biaya produksi lebih murah dibangdingkan generasi pertama - Fleksibilitas tinggi	- Biaya produksi rendah - Proses produksi lebih mudah - Bahan baku mudah ditemukan
Kekurangan	- Dibutuhkan silikon murni yang harganya mahal - Biaya produksi tinggi - Fleksibilitas rendah	- Efisiensi lebih rendah dari generasi pertama - Unsur cadmium pada CdTe dapat terbakar dan menyebabkan polusi berbahaya	- Masih ada yang menggunakan elektrolit volatil - Belum diproduksi secara massal - Efisiensi yang masih rendah

Diadaptasi dari Khoja (2012)

2.10.2 Sel Surya Berbasis Sensitasi Pewarna atau *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)

Sel surya berbasis sensitasi pewarna atau yang lebih dikenal dengan sebutan *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC), pertama kali ditemukan oleh Professor Michael Gratzel pada tahun 1991. DSSC adalah sel surya fotoelektrokimia (Septina, Fajarisandi, dan Aditia, 2007, hlm. 12-13). Sel surya berbasis sensitasi pewarna terdiri dari beberapa komponen berikut.

2.10.2.1 Substrat

Substrat yang digunakan pada sel surya berbasis sensitasi pewarna adalah jenis TCO *(Transparent Conductive Oxide)* yang merupakan kaca transparan konduktif. Material substrat itu sendiri berfungsi sebagai badan dari sel surya dan lapisan konduktifnya berfungsi sebagai tempat muatan mengalir. Material yang umumnya digunakan yaitu *Flourine-Doped Tin Oxide* (FTO) dan *Indium Tin Oxide* (ITO) (Septina, Fajarisandi, dan Aditia, 2007, hlm. 12-13). Khusus untuk aplikasi DSSC *(Dye Sensitized Solar Cell),* FTO menunjukkan sifat konduktivitas listrik yang relatif lebih tahan terhadap perlakuan pemanasan dibandingkan dengan ITO, sehingga FTO sangat potensial digunakan sebagai elektroda pada DSSC. FTO umumnya lebih murah dan ketersediaan bahan baku yang lebih mudah diperoleh. (Lalasari, Arini, Yuwono, dan Firdiyono, 2015, hlm. 106)

2.10.2.2 Semikonduktor

Semikonduktor pada sel surya berbasis sensitasi pewarna berfungsi sebagai pembawa elektron ke substrat. Penggunaan oksida semikonduktor dalam fotoelektrokimia dikarenakan kestabilannya menghadapi fotokorosi. TiO_2 masih menjadi material yang sering digunakan karena efisiensi DSSC menggunakan TiO_2 masih belum tertandingi. (Septina, Fajarisandi, dan Aditia, 2007, hlm. 15). Selain TiO_2, ZnO dan SnO_2 dapat digunakan sebagai semikonduktor pada sel surya berbasis sensitasi pewarna (Wali, Fakharuddin, & Jose, 2015).

Di antara jenis nanomaterial yang tidak terhitung, titanium dioksida, TiO_2, banyak digunakan karena dianggap tidak larut, sangat stabil, tidak bereaksi dengan bahan lain, stabil secara termal, *nonflammable*, biaya rendah, dan ramah lingkungan (Contado dan Agnoni, 2008, hlm. 7594). Efisiensi TiO_2 lebih rendah daripada nanopartikel TiO_2 yang berkaitan dengan jumlah matahari yang diserap.

Jumlah pewarna yang diserap TiO_2 lebih sedikit daripada nanopartikel TiO_2 karena permukaannya kecil. (Jeng, Wung, Chang & Chow, 2013, hlm. 2).

Di dalam produk tabir surya, TiO_2 digunakan sebagai penyerap sinar UV. Efektif melawan UV-B dan memberikan perlindungan pula dari UV-A, transmisi yang baik antara 400 dan 700 nm, diperkuat dengan pengurangan ukuran partikel, biasanya 10-20 nm (Contado dan Agnoni, 2008, hlm. 7594). Oleh sebab itu, TiO_2 dapat diisolasi dari krim tabir surya. Di dalam cawan porselen, 6 gram krim tabir surya (sebagai alternatifnya dapat digunakan *smarties*, pasta gigi, permen karet) dikeringkan selama satu malam pada suhu 120^0C dalam oven. Residu dari spesi organik dapat dihilangkan dengan kalsinasi dengan pembakar burner sampai TiO_2 diperoleh berupa padatan putih kering. Langkah selanjutnya yang dilakukan adalah mendeteksi TiO_2. Seujung spatula hasil proses sebelumnya dicampurkan dengan lima ekuivalen kalium hidrogen sulfat di dalam cawan porselen dan dipanaskan sampai diperoleh lelehan jernih dan transparan dan uap putih trioksida belerang naik. Segera setelah lelehan itu mendingin, dididihkan dalam satu asam sulfat encer sampai lendir meleleh. Larutan disaring ke dalam satu tabung reaksi dimana larutan hidrogen peroksida 3% ditambahkan ke filtrat sampai kehadiran TiO_2 dihasilkan sebagai titanium peroksida sulfat berwarna kuning oranye sesuai dengan persamaan berikut.

$$TiO_2 + 2KHSO_4 \rightarrow TiO(SO_4) + K_2SO_4 + H_2O$$

$$TiO(SO_4) + H_2O_2 \rightarrow [TiO\text{-}O]SO_4 + H_2O$$

(Wilke & Waitz, 2014, 83-84)

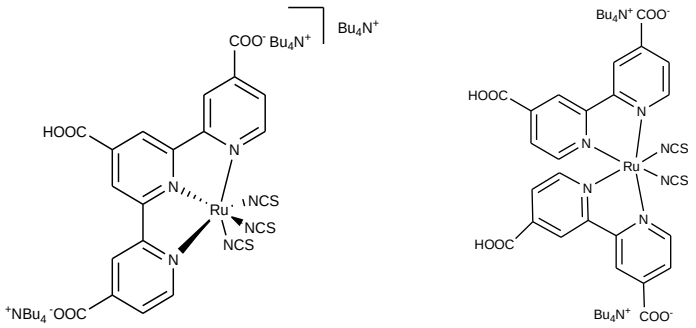
2.10.2.3 *Dye*

Fungsi TiO_2 pada krim kecantikan dan sel surya berbasis sensitasi pewarna sama, yiatu untuk menyerap sinar ultraviolet (UV) dengan persentase hanya 5% dari sinar matahari. Jumlah yang sangat sedikit untuk menghasilkan listrik. Oleh sebab itu, ada komponen yang disebut dye dan berfungsi meningkatkan serapan sinar matahari. Dye menyerap cahaya tampak dengan persentase cukup besar, yaitu 45% dari sinar matahari. Senyawa TiO_2 dan *dye* membuat sel surya berbasis sensitasi pewarna dapat menyerap 50% sinar matahari. (Purwanto & Prajitno, 2013, hlm. 3). *Dye* disebut juga sebagai pewarna, zat wana, atau *photosensitizer* (penyerap sinar matahari). Pada umumnya, konstruksi

fotosensitizer terdiri atas jembatan *donor-acceptor-substituted* π-terkonjugasi (Hug, Bader, Mair, dan Glatzel, 2014, hlm. 218).

Halme (2002, hlm. 48-49) menjelaskan beberapa sifat *dye* yang sangat diperlukan, yaitu *dye* mampu terabsorp dengan baik di permukaan semikonduktor dan molekul *dye* yang terserap harus cukup stabil ketika bekerja sekitar 20 tahun terpapar sinar matahari alami. Selain itu, *dye* harus mudah diproduksi dan tidak mengandung zat beracun.

Dye terbagi menjadi *dye* alami (organik) dan *dye* buatan (sintetik). Dye yang umumnya digunakan dan mencapai efisiensi paling tinggi yaitu jenis *ruthenium* complex, jenis *dye* buatan. Walaupun DSSC menggunakan *ruthenium complex* telah mencapai efisiensi yang cukup tinggi, namun dye jenis ini cukup sulit untuk disintesis dan *ruthenium complex* komersil berharga mahal (Septina, Fajarisandi, dan Aditia, 2007, hlm. 16). *Black dye* dan *dye* N179 merupakan contoh *dye* kompleks ruthenium (Ito, 2011, hlm. 23-24), yang digambarkan pada gambar 2.3.

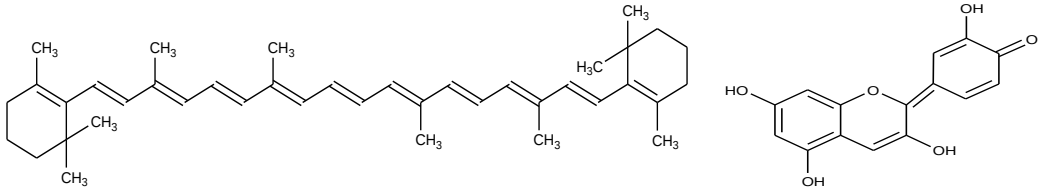


(a) (b)

Gambar 2.3 (a) Struktur Black Dye; (b) Struktur Ruthenium Dye (N719) untuk DSSC (TBA^+ : tetrabutylammonium)

Dye alami merupakan solusi dari kekurangan *ruthenium complex dye*. *Dye* alami, yang tidak beracun dan murah, seperti pigmen yang digunakan dalam pewarna makanan bisa digunakan untuk DSSC. *Dye* alami dapat diekstrak dengan mudah dan aman dari tanaman, artinya *dye* alami murah dan tersedia secara luas, dan tidak memerlukan pengujian sintesis dan toksisitas yang kompleks. Oleh karena itu, penggunaan *dye* alami penting untuk pengembangan DSSC yang murah dan tersedia secara komersial (Ito, 2011, hlm. 42). *Dye* alami, seperti klorofil, karotena, dan antosianin, yang ditunjukkan gambar 2.4, terdapat di dalam daun tanaman, bunga, dan buah. Secara eksperimen, sel surya TiO_2 tersensitasi pewarna alami

mencapai efisiensi sebesar 7,1% dan stabilitas yang tinggi (Campbell, dkk. dalam Jiao, Zhang, dan Meng, 2009).



(a) (b)

Gambar 2.4 (a) Struktur Katorena; (b) Struktur Antosianin

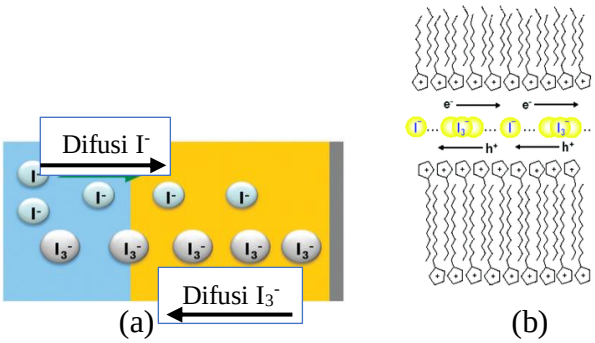
2.10.2.4 Elektrolit

Elektrolit berfungsi untuk meregenerasi *dye*. Elektrolit yang dapat digunakan pada DSSC terdiri dari iodida (I^-) dan triiodida (I_3^-) sebagai pasangan redoks dalam pelarut (Lee, Li, & Ho, 2017). Karakteristik ideal dari pasangan redoks untuk elektrolit DSSC diantaranya adalah tingginya kelarutan terhadap pelarut untuk mendukung konsentrasi yang tinggi dari muatan pada elektrolit, kestabilan yang tinggi baik dalam bentuk tereduksi mauun teroksidasi, empunyai reversibilitas tinggi, dan inert terhadap komponen lain pada DSSC (Septina, Fajarisandi, dan Aditia, 2007, hlm. 16-17).

Di antara banyak mediator redoks yang diperiksa, pasangan iodida/triiodida merupakan yang terbaik dan memberikan kondisi optimal, iodida dilarutkan dalam campuran asetonitril (Kalyanasundaram, 2010, hlm. 28). Cairan ionik dapat menggantikan pelarut organik, seperti asetonitril yang biasa digunakan sebagai elektrolit dalam sel surya berbasis sensitasi pewarna karena cairan ionik memiliki kelebihan dibandingkan pelarut organik. Cairan ionik bersifat tidak mudah menguap, tidak mudah terbakar, dan memiliki konduktivitas tinggi, sedangkan pelarut organik mudah menguap dan mudah terbakar (Freemantle, 2010; Mudzakir, Hernani, Widhiyanti, & Sudrajat, 2017).

Cairan ionik dari famili garam dialkil imidazolium (juga dikenal sebagai garam cair pada suhu kamar) telah ditemukan sebagai pengganti yang sangat baik. (Mudzakir, dkk., 2014, hlm. C-62). Penelitian terbaru menunjukkan bahwa penggunaan cairan ionik berbasis *fatty* imidazolinium dapat meningkatkan efisiensi DSSC. Efisensi yang dihasilkan dari DSSC yang menggunakan cairan ionik cis-oleil imidazolinium iodida adalah sebesar 0,53% (VOC: 602 mV; ISC: 0,21 mA)

(Azyedara dan Mudzakir, 2008). Pada elektrolit tanpa cairan ionik, ion I^- dan I_3^- mengalami difusi, sedangkan pada elektrolit yang mengandung cairan ionik, struktur *self assembly* akan terbentuk, seperti yang ditampilkan pada gambar 2.5.

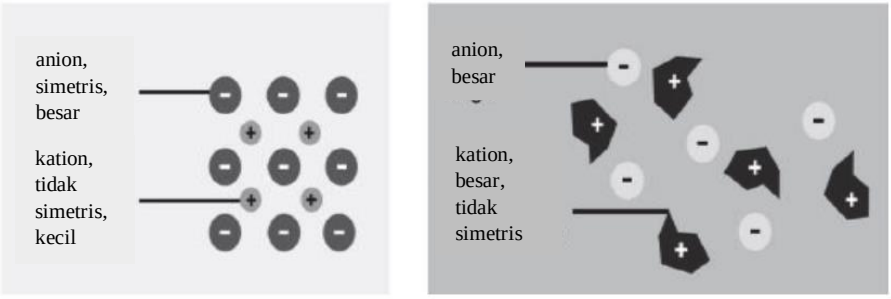


Gambar 2.5 (a) Difusi Ion I^- dan I_3^- ; (b) Struktur *Self Assembly* pada Elektrolit dengan Cairan Ionik

(sumber: Zhang, Huang, & Jiang, 2013; Yamanaka, dkk., 2005)

Pembentukan struktur *self assembly* akan meningkatkan kecepatan pengangkutan I^-/I_3^- di dalam sel (Mudzakir, Anwar, Kurnia, Sunarya, Ellyawati, & Wulan, 2014).

Cairan ionik merupakan garam berwujud cair yang hanya terdiri dari anion dan kation dan memiliki titik leleh yang lebih rendah dari garam, yang biasanya memiliki titik leleh yang tinggi (Hernani, Widhiyanti, & Sudrajat, 2017).



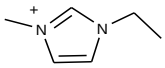
Senyawa Ionik Padat Cairan Ionik

Gambar 2.6 Perbedaan Kation Antara Senyawa Ionik Padat dan Cairan Ionik

(diadaptasi dari Lee, dkk. dalam Mudzakir, dkk. 2017)

Gambar 2.6 menunjukkan perbedaan ukuran dan kesimetrisan kation antara senyawa ionik padat dengan cairan ionik. Ukuran dan kesimetrisan anion, gaya van der Waals, panjang rantai alkil, dan gaya elektrostatik mempengaruhi titik leleh cairan ionik.

Tabel 2.3
Pengaruh Ukuran Anion terhadap Titik Leleh Cairan Ionik Imidazolium

Garam		Ukuran Anion	Titik Leleh (°C)
	Cl^-	kecil	87
	NO_2^-	↑	55
	NO_3^-		38
	$AlCl_4^-$		7
	BF_4^-		6
	$CF_3SO_2^-$	↓	-9
	CF_3COO^-	besar	-14

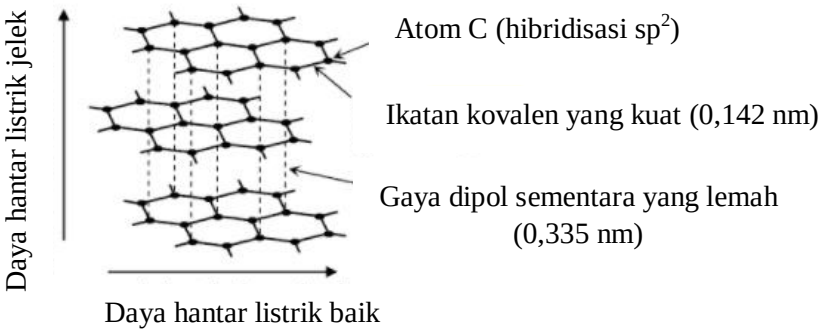
Diadaptasi dari Tiwari dan Demir, 2014, hlm. 315

Sebuah studi komparatif mengilustrasikan tren titik leleh dari sistem cairan ionik imidazolium seperti yang ditimbulkan oleh ukuran anion dan pengaruh gaya elektrostatik (Tiwari & Demir, 2014, hlm. 315).

2.10.2.5 Elektroda pembanding

Elektroda pembanding dibutuhkan untuk mempercepat kinetika reaksi proses reduksi triiodide pada TCO. Platina merupakan material yang umum digunakan sebagai elektroda pembanding pada berbagai aplikasi, juga sangat efisien dalam aplikasinya pada DSSC. Walaupun mempunyai kemampuan katalitik yang tinggi, platina merupakan material yang mahal. Sebagai alternatif, Kay & Gratzel (1996) mengembangkan desain DSSC dengan menggunakan elektroda pembanding karbon sebagai lapisan elektroda pembanding karena luas permukaanya yang tinggi (Septina, Fajarisandi, dan Aditia, 2007, hlm. 17). Elektroda pembanding dapat dibuat dari grafit dan jelaga (Yuri & Dwandaru, 2016, hlm. 320). Elektroda pembanding dari grafit menghasilkan rata-rata tegangan 103,4 mV dan rata-rata arus 2,68 μA, sedangkan elektroda pembanding dari jelaga menghasilkan rata-rata tegangan 56,7 mV dan rata-rata arus 1,32 μA (Yuri dan Dwandaru, 2016, hlm. 327).

Grafit merupakan alotropi karbon, artinya partikel kisi grafit terdiri dari atom karbon. Ikatan kovalen pada setiap lapisan dan gaya dipol sementara (gaya van der Waals) yang lemah antara lapiran-lapisan. Struktur grafit dapat dilihat pada gambar 2.7.

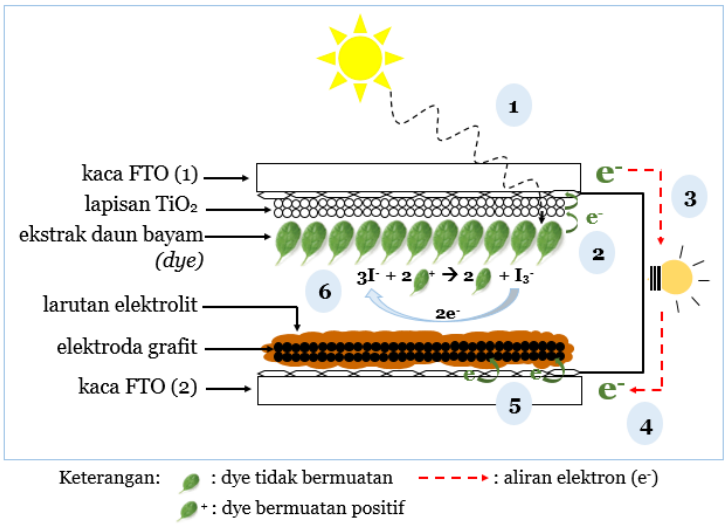


Gambar 2.7 Struktur Grafit

Elektron valensi keempat tersedia untuk ikatan π antara atom-atom yang berdekatan, yang menyebabkan delokalisasi di seluruh lapisan. Ikatan antar lapisan adalah gaya dipol sementara yang lemah (gaya van der Waals) (CS Toh, 2016).

2.10.3 Mekanisme Kerja Sel Surya Berbasis Sensitasi Pewarna

Mekanisme kerja sel surya berbasis sensitasi pewarna melibatkan penyerapan sinar matahari, pergerakan elektron, dan reaksi redoks, seperti pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Mekanisme Kerja Sel Surya Berbasis Sensitasi Pewarna

Tahapan yang terjadi pada mekanisme kerja sel surya berbasis sensitasi pewarna:

1. Cahaya matahari melewati kaca FTO dan TiO_2.
2. Cahaya matahari diserap oleh *dye* sehingga elektron tereksitasi dan pindah ke TiO_2.

$$D + hv \rightarrow D^+ + e^- (TiO_2)$$

Dye yang awalnya tidak bermuatan menjadi bermuatan positif.

3. Elektron berkumpul di kaca FTO dan bergerak melalui kabel sehingga lampu menyala.
4. Setelah lampu menyala, elektron kembali mengalir ke kaca FTO lainnya.
5. Elektron bergerak dari kaca FTO ke lapisan karbon.
6. Elektron yang diterima diikat oleh triiodida (I_3^-) sehingga terbentuk iodida (I^-) dengan bantuan karbon sebagai elektroda pembanding.

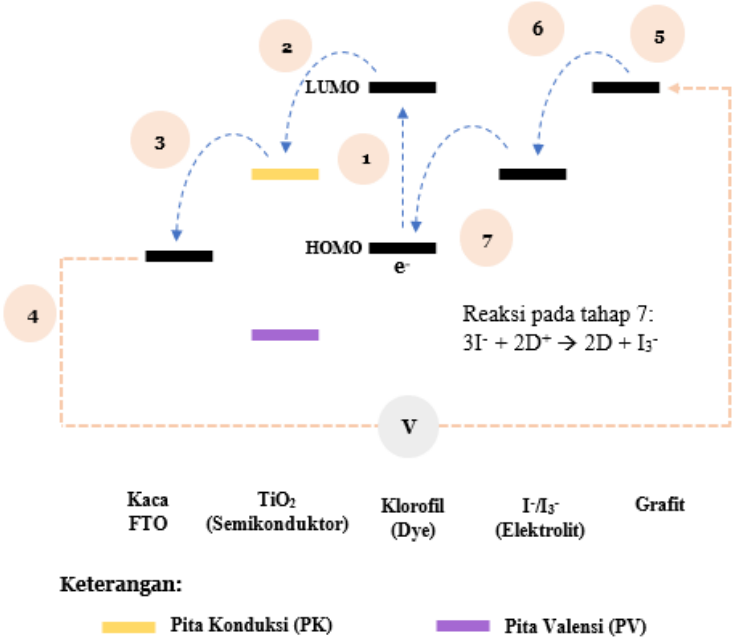
$$I_3^- + 2e^- \rightarrow 3I^-$$

Molekul iodida (I^-) selanjutnya memberikan elektron kepada *dye*, sehingga *dye* kembali netral.

Tahapan ini berlangsung terus menerus hingga membentuk siklus dan listrik dapat terus dihasilkan (O'dea, 2014).

3.10.4 Aliran Elektron pada Sel Surya Berbasis Sensitasi Pewarna

Berikut merupakan tahapan aliran elektron pada sel surya berbasis sensitasi pewarna, sesuai gambar 2.9.



Gambar 2.9 Aliran Elektron pada Sel Surya Berbasis Sensitasi Pewarna

1. Elektron dari tingkat HOMO tereksitasi ke tingkat LUMO di *dye*.
2. Elektron dari pita konduksi *dye* berpindah ke pita konduksi semikonduktor TiO_2.
3. Elektron dari pita konduksi semikonduktor TiO_2 berpindah ke Kaca FTO.

4. Elektron dari Kaca FTO mengalir melalui kabel listrik, listrik menyala, elektron mengalir ke kaca FTO berlapis grafit, dan elektron dari kaca FTO diterima oleh grafit.
5. Elektron dari kabel listrik mengalir melalui lapisan-lapisan grafit.
6. Elektron dari grafit diikat oleh I_3^- di dalam larutan elektrolit, sehingga terbentuk I^-.
7. Molekul I^- memberikan elektron ke tingkat HOMO *dye*, sehingga *dye* kembali ke keadaan dasar (tidak bermuatan positif lagi).

(NGGS, 2014; O'Dea, 2014, Basu, dkk., 2016)

3.10.5 Aplikasi Sel Surya di Dalam Kehidupan Sehari-hari

Sel surya berbasis sensitasi pewarna lebih dikenal dengan istilah DSSC di pasaran. Berikut ini merupakan beberapa aplikasi DSSC di dalam kehidupan:

1. CCTV, CCTV yang berada di luar ruangan dapat memanfaatkan sinar matahari sebagai sumber energinya. DSSC merupakan perangkat yang digunakan untuk membuat sebuah CCTV dapat menyala.
2. Ransel, tas buatan Gcell dilengkapi perangkat DSSC yang dapat mengisi ulang telepon genggam, GPS, iPod atau perangkat elektronik yang kecil. Tas ini juga dilengkapi dengan powerbank yang menggunakan matahari sebagai sumber utamanya.
3. Lentera, lentera yang terdiri dari empat warna translucent DSSC. Daya yang dihasilkan disimpan dalam baterai di dalamnya. Tidak basa-basi, Sony Jepang tidak menggunakan tenaga eksternal.
4. Jendela, jendela (DSSC) ini menghasilkan tenaga dari penerangan dalam ruangan dan cahaya sekitar. Dalam demonstrasi ini, listrik yang dihasilkan digunakan untuk memutar sebuah kipas milik Sony Jepang.
5. Eksterior bangunan, sebuah perusahaan bernama Solaronix memproduksi bagian depan bangunan dengan basis DSSC.

2.11 Deskripsi Konten Kimia Terkait Konteks Sel Surya Berbasis Sensitasi Pewarna

2.11.1 Sel Volta

Sel Volta merupakan reaksi kimia spontan yang menghasilkan listrik. Sel volta terdiri dari katoda sebagai elektroda positif dan anoda sebagai elektroda negatif. Reaksi reduksi terjadi pada katoda, sedangkan reaksi oksidasi terjadi pada anoda (HAM, 2002, hlm. 51). Sel surya berbasis sensitasi pewarna merupakan sel Volta, reaksi redoks spontan terjadi ketika *dye* menyerap sinar matahari dan terjadi aliran elektron di dalam sel sehingga sel dapat menghasilkan listrik.

2.11.2 Unsur Transisi Periode 4

Salah satu unsur transisi periode 4 adalah titanium (Suyatno, dkk., 2004, hlm. 65). Titanium dapat membentuk senyawa oksida berupa titanium(IV) oksida atau TiO_2 yang bersifat semikonduktor. Semikonduktor adalah isolator pada temperatur rendah, tapi menjadi konduktor pada temperatur tinggi (Whitten, Davis, Peck, & Stanley, 2004, hlm. 127).

2.11.3 Ikatan Kovalen

Ikatan kovalen terbentuk ketika dua atom berbagi satu atau lebih pasang elektron. Ikatan kovalen terjadi ketika perbedaan elektronegativitas antara atom adalah nol atau relatif kecil (Whitten, dkk., 2004, hlm. 278). Grafit yang digunakan sebagai elektroda pembanding dalam sel surya berbasis sensitasi pewarna memiliki ikatan kovalen di antara atom karbon di setiap lapisannya (CS Toh, 2016, hlm. 43). Ikatan kovalen yang terjadi adalah ikatan kovalen tunggal yang terjadi karena penggunaan bersama satu pasang elektron. *Dye* pada sel surya berbasis sensitasi pewarna memiliki ikatan rangkap terkonjugasi, di mana ikatan rangkap selang-seling dengan ikatan tunggal (Sunarya & Setiabudi, 2009, hlm. 287).

2.11.4 Larutan elektrolit

Larutan elektrolit merupakan larutan yang dapat menghantarkan listrik (Wright, 2007, hlm. 2). Larutan elektrolit terdiri dari pelarut dan zat terlarut yang disebut elektrolit. Elektrolit adalah senyawa kimia yang lelehan atau larutannya, biasanya dalam air, dapat menghantarkan arus listrik (The McGraw-Hill Companies, 2003, hlm. 130). Elektrolit yang digunakan pada sel surya berbasis

sensitasi pewarna dapat berupa KI dan I_2 dalam asetonitril atau KI, I_2, dan cairan ionik dalam asetonitril.

2.11.5 Gaya elektrostatik

Gaya elektrostatik merupakan gaya yang dapat terjadi antara ion-ion pada jarak tertentu. Jarak antara ion-ion berbanding terbalik dengan besar gaya elektrostatik. Jika jarak antar ion semakin jauh, gaya elektrostatik menjadi semakin lemah (Walstra, 2001). Gaya elektrostatik merupakan gaya yang mempengaruhi titik leleh cairan ionik.

2.11.6 Gaya London

Gaya London adalah gaya tarik menarik yang muncul karena ada dipol sementara di dalam atom atau molekul. Gaya London disebut juga gaya dispersi (Chang, 2010, hlm. 465). Gaya London terjadi di antara lapisan grafit.

2.11.7 Reaksi Redoks

Reaksi oksidasi-reduksi merupakan reaksi di mana oksidasi dan reduksi terjadi, disebut juga reaksi redoks (Whitten, dkk., 2004, hlm. 428). Redoks dapat didefinisikan melalui tiga konsep redoks, seperti pada tabel 2.4.

Tabel 2.4
Pengertian Redoks

Definisi	Oksidasi	Reduksi
1	Menerima oksigen	Melepas oksigen
2	Melepas elektron	Menerima elektron
3	Bilangan oksidasi meningkat	Bilangan oksidasi menurun

Diadaptasi dari Barke, Hazar, & Yitbaek (2009)