

**PERAN PEMBELAJARAN BIOLOGI SEL DAN MOLEKULER
DALAM PENGELOLAAN DAN KONSERVASI KEANEKARAGAMAN HAYATI INDONESIA**

Reisky Megawati Tammu

Fakultas Ilmu Pendidikan Universitas Pelita Harapan, Tangerang

E-mail: reisky.tammu@uph.edu (*correspondence author*)

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki keanekaragaman hayati yang tinggi atau negara megabiodiversitas. Akan tetapi, masih banyak keanekaragaman hayati yang belum dikenali, terabaikan, tereksploitasi, bahkan hampir punah. Upaya pengelolaan dan konservasi keanekaragaman hayati bukan sekedar tanggung jawab moral kepada bangsa dan negara melainkan kepada Sang Pencipta. Karena itu, pembelajaran biologi diharapkan dapat memberikan pengetahuan sekaligus membangun karakter para siswa dalam mengelola dan mengkonservasi keanekaragaman hayati dengan benar. Masalah pengelolaan dan konservasi keanekaragaman hayati bukan hanya terkait dengan ekologi tetapi seluruh cabang ilmu biologi termasuk biologi sel dan molekuler, bahkan terintegrasi dengan disiplin ilmu lainnya dalam biologi konservasi. Biologi sel dan molekuler berfokus untuk mempelajari struktur sel serta molekul penyusunnya. Materi biologi sel dan molekuler mulai diajarkan pada siswa tingkat SMP dan SMA hingga tingkat universitas. Kajian ini bertujuan untuk mendeskripsikan peranan pembelajaran biologi sel dan molekuler dalam pengelolaan dan konservasi keanekaragaman hayati di Indonesia melalui metode studi literatur. Hasil kajian yang diperoleh menunjukkan bahwa pembelajaran biologi sel dan molekuler dapat memberikan pemahaman dasar untuk mengenal karakteristik utama seluruh sumber daya hayati Indonesia pada level seluler, sebagai wadah untuk mempelajari struktur dan fungsi makhluk hidup khususnya organisme uniseluler dan mikroskopis, berperan dalam menggali informasi terkait keragaman genetik, serta menunjang pengembangan dan konservasi keanekaragaman hayati Indonesia melalui teknik-teknik maupun teknologi yang mutakhir seperti DNA rekombinan, fusi protoplas, koleksi mikrob, kultur sel, dan sebagainya.

Kata kunci: keanekaragaman hayati, Indonesia, pembelajaran, biologi sel, molekuler

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan yang terletak sangat strategis di antara benua Asia dan Australia, dan diapit Samudera Hindia dan Pasifik. Seluruh wilayah Indonesia terdapat di dekat ekuator dan beriklim tropis. Keunggulan kondisi geografis ini merupakan faktor pendukung tingginya keanekaragaman hayati di Indonesia bahkan dikenal sebagai salah satu negara megabiodiversitas. Di

Indonesia, keragaman tumbuhan *Palmae* mencapai 477 jenis (225 endemik) yang menempati urutan pertama dunia; keragaman mamalia sejumlah 515 jenis (39% endemik) yang menempati urutan kedua; keragaman reptil sejumlah 511 jenis (150 endemik) yang menempati urutan keempat; keragaman burung sejumlah 1.531 jenis (397 endemik) yang menempati

urutan kelima dan masih banyak lagi (Supriatna, 2008).

Tuhan menciptakan segala sesuatu dengan terstruktur, sistematis, kompleks, dan teratur sesuai dengan tujuannya masing-masing bagi kemuliaanNya. Keanekaragaman hayati yang dimiliki Indonesia merupakan ciptaan dan pemberian dari Tuhan bagi bangsa Indonesia yang harus dikelola secara bertanggung jawab untuk memelihara hidup seluruh rakyat dan menjadi modal dalam pembangunan bangsa dalam menjalankan mandat budaya dari Tuhan. Sayangnya, sampai saat ini masih banyak sumber daya hayati Indonesia yang belum dikenali, terabaikan, bahkan dimanfaatkan secara berlebihan atau tidak bertanggung jawab sehingga terancam punah. Manusia perlu menyadari bahwa keberadaan sumber daya hayati bukan untuk memuaskan kepentingan pribadi mereka semata, namun bertujuan untuk kemuliaan Tuhan. Sebagai pengelola, manusia bukan hanya perlu meningkatkan pengetahuannya tentang keanekaragaman hayati, namun harus memiliki hikmat dan karakter yang benar dalam mengelola dan melestarikannya sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan Tuhan (Poythress, 2013).

Biologi merupakan ilmu pengetahuan yang mempelajari tentang makhluk hidup dan interaksi dengan lingkungannya dengan cakupan yang sangat luas (Campbell, Reece & Mitchell, 2002). Hal ini berarti seluruh keanekaragaman hayati berada dalam ruang lingkup pembelajaran biologi. Pembelajaran biologi bukan hanya hadir memberi pengetahuan, namun sebagai wadah untuk membangun karakter dalam mengelola keanekaragaman hayati dengan benar serta mengkonservasinya. Depdiknas (2003) menyatakan bahwa biologi merupakan wahana untuk meningkatkan pengetahuan, keterampilan, sikap, nilai dan tanggung jawab sebagai seorang warga negara

yang beriman dan bertakwa kepada Tuhan Yang Maha Esa sesuai ajaran agama yang dianutnya, serta bertanggung jawab terhadap lingkungan, masyarakat, bangsa dan negara. Dalam mempelajari tentang keanekaragaman hayati pada pembelajaran biologi, para siswa akan menyadari pribadi dan peranannya sebagai penjaga bumi, bertanggung jawab memelihara lingkungan dan menjaga keharmonisan antara makhluk hidup (Van Brummelen, 2006).

Keanekaragaman hayati bukan hanya terkait dengan ekologi namun seluruh cabang ilmu biologi termasuk biologi sel dan molekuler. Kajian topik terkait pembelajaran biologi sel dan molekuler juga sudah mulai diberikan pada siswa level SMP dan SMA sesuai kompetensi yang ditetapkan oleh pemerintah, hingga menjadi salah satu mata kuliah bagi mahasiswa jurusan biologi di universitas.

Kajian ini bertujuan untuk mempelajari peran pembelajaran biologi sel dan molekuler dalam pengelolaan dan konservasi keanekaragaman hayati Indonesia. Studi pustaka dilakukan untuk menemukan, menghubungkan, menguraikan, menganalisis berbagai teori, gagasan, dan hasil penelitian yang relevan guna mencapai tujuan yang ditetapkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Keanekaragaman Hayati Indonesia

Keanekaragaman hayati (kehati) atau biodiversitas dikenal dengan istilah *biodiversity* dalam bahasa Inggris. Terminologi *biodiversity* merupakan singkatan dari *biological diversity* yang pertama kali diperkenalkan oleh Walter Rosen tahun 1985 (Bartkowski, 2017). Secara harafiah, *biological diversity* dalam bahasa Indonesia dapat diartikan sebagai keragaman biologis.

Menurut Supriatna (2008), keanekaragaman hayati adalah kekayaan hidup di bumi yang terdiri

atas tumbuhan, hewan, mikroorganisme, mulai dari kandungan genetik sampai ekosistem yang dibentuk sehingga menjadi lingkungan hidup. Berdasarkan *Convention of Biological Diversity* pada tahun 1992, biodiversitas merupakan keragaman di antara semua organisme hidup dari seluruh tempat termasuk darat, laut, ekosistem air, serta kompleksitas biologis tempat mereka berada yang meliputi keragaman di dalam spesies, antar spesies dan antar ekosistem (Bartkowski, 2017). Dengan demikian, keanekaragaman hayati merupakan keragaman segala bentuk kehidupan di bumi mulai dari tingkat genetik, spesies, hingga ekosistem.

Terdapat tiga tingkatan ataupun kategori dari keanekaragaman hayati yaitu keanekaragaman ekosistem, keanekaragaman spesies, dan keanekaragaman genetik. Secara lebih detail, BAPPENAS (2016) menjelaskan ketiga kategori keanekaragaman hayati tersebut, sebagai berikut 1) Keanekaragaman ekosistem yaitu keragaman susunan dan bentuk bentang alam baik daratan maupun lautan sebagai tempat organisme hidup dan berinteraksi dengan lingkungan fisik, contoh ekosistem padang rumput dan ekosistem hujan tropis; 2) Keanekaragaman spesies yaitu keragaman jenis organisme yang menempati suatu ekosistem, contoh cabai merah dan cabai rawit; 3) Keanekaragaman genetika yaitu keragaman individu dalam suatu jenis akibat perbedaan genetik, contoh: mangga memiliki beberapa varietas seperti golek, harum manis, dan sebagainya. Ketiga kategori tersebut saling berhubungan dan mempengaruhi satu sama lain.

Indonesia dikenal sebagai salah satu negara megabiodiversitas di dunia. Data dari BAPPENAS (2016) menunjukkan bahwa Indonesia mempunyai sekitar 3.983 jenis vertebrata (10% dari dunia), 197.964 jenis invertebrata, 151.847 jenis serangga, 91.251 jenis tumbuhan berspora (6% dari dunia), serta 19.232 jenis tumbuhan berbiji yang terdiri atas

120 jenis Gymnospermae dan 19.112 jenis Angiospermae yang telah berhasil diidentifikasi dari sekitar 40.000 jenis yang ada. Indonesia memiliki keragaman jenis paku-pakuan yang sangat tinggi mencapai lebih dari 4000 spesies, dan juga tercatat sebagai salah satu pusat Vavilov yaitu pusat sebaran keanekaragaman genetik tumbuhan budidaya/pertanian untuk tanaman pisang pala, cengkeh, durian, dan rambutan (Kusuma & Hikmat, 2015).

Keanekaragaman hayati memiliki nilai-nilai yang penting bagi suatu bangsa. Terdapat lima nilai keanekaragaman hayati menurut BAPPENAS (2016), diantaranya 1) nilai konsumsi sebagai bahan pangan, sandang dan papan, 2) nilai produksi yang diperoleh dari pengolahan maupun perdagangan, 3) nilai jasa lingkungan yang terkait dengan formasi ekosistem yang dibentuk oleh keanekaragaman hayati untuk menunjang kelangsungan habitat bagi manusia dan organisme lainnya; (4) nilai eksistensi yaitu nilai yang dimiliki oleh keanekaragaman hayati karena keberadaan di suatu tempat; (5) nilai pilihan yang terkait dengan potensi keanekaragaman hayati untuk memberikan keuntungan bagi masyarakat di masa mendatang.

Pengelolaan dan Konservasi Keanekaragaman Hayati Indonesia serta Tantangannya

Pengelolaan keanekaragaman hayati berfokus pada upaya pengenalan dan pemanfaatan berbagai jenis sumber daya hayati secara benar bagi kesejahteraan masyarakat dengan mempertimbangkan berbagai aspek secara menyeluruh. Berkaitan dengan tingginya nilai guna dan nilai ekonomis keanekaragaman hayati, manusia seringkali memanfaatkannya secara tidak bertanggung jawab untuk kepentingan sendiri sehingga menyebabkan kepunahan. Data dari IUCN dan ICBP menunjukkan 126 burung, 63 mamalia,

21 reptil, dan 63 spesies hewan lainnya di Indonesia yang terancam punah (Sutoyo, 2010). Saat ini tercatat sekitar 240 spesies tanaman dinyatakan langka dan sekitar 36 spesies pohon di Indonesia dinyatakan terancam punah, termasuk kayu ulin di Kalimantan Selatan, sawo kecil di Jawa Timur, kayu hitam di Sulawesi, dan kayu pandak di Jawa (Kusuma & Hikmat, 2015). Suhartini (2009) dalam Triyono (2013) menyatakan ancaman terhadap keanekaragaman hayati dapat terjadi melalui berbagai cara berikut: perluasan areal pertanian dengan membuka hutan, rusaknya habitat varietas liar, alih fungsi lahan pertanian, pencemaran lingkungan, semakin meluasnya tanaman varietas unggul yang lebih disukai petani, dan perkembangan biotipe hama serta penyakit baru yang virulen.

Terdapat dua jenis upaya untuk konservasi keanekaragaman hayati yaitu *in situ* dan *ex situ*. Konservasi *in situ* berarti perlindungan spesies pada habitat aslinya, contohnya cagar alam. Sedangkan, konservasi *ex situ* berarti perlindungan spesies di luar habitat aslinya, contohnya kebun raya dan kebun binatang. Hal ini sesuai dengan pendapat Pathak & Abido (2014) yaitu konservasi *in situ* meliputi pemeliharaan dan perlindungan habitat alami, sedangkan konservasi *ex situ* meliputi perlindungan dan perkembangbiakan dari suatu varietas spesies, klon ataupun materi genetik dari spesies baik dalam kebun raya, ataupun penggunaan beberapa lingkungan habitat semi-natural. Tantangan Indonesia bukan hanya melestarikan keanekaragaman hayati, melainkan juga mengenali berbagai sumber daya hayati yang dimiliki saat ini. Meskipun Indonesia tercatat sebagai negara dengan kekayaan tumbuhan yang tinggi, namun hanya sebagian kecil spesies tumbuhan yang telah

diketahui informasi sumberdaya genetiknya, terutama untuk jenis-jenis yang telah dikembangkan pemanfaatannya secara komersial (Kusuma & Hikmat, 2015).

Pembelajaran Biologi Sel dan Molekuler

Subowo (2011, hal. 4) menyatakan bahwa biologi sel berfokus pada morfologi submikroskopik dan ultra struktur sel, dan biologi molekuler berfokus mempelajari susunan, bentuk, kedudukan molekul-molekul yang merupakan satu kesatuan menyusun sistem seluler. Pembelajaran biologi sel dan molekuler memiliki cakupan materi dan kompetensi yang berbeda sesuai dengan tingkat pendidikan. Pada tingkat SMP, biologi sel dan molekuler diajarkan dalam bidang studi IPA Terpadu pada kelas VII berdasarkan kurikulum 2013 (Permendikbud, 2016) dengan kompetensi pengetahuan yaitu mengidentifikasi sistem organisasi kehidupan mulai dari tingkat sel sampai organisme dan komposisi utama penyusun sel, dan kompetensi keterampilan yaitu membuat model struktur sel tumbuhan/hewan. Hal ini berarti pada tingkat SMP, para siswa sudah mampu memahami sel sebagai unit terkecil penyusun tubuh makhluk hidup dan mengenal struktur sel.

Dalam mempelajari materi genetik dalam sel dan proses pembelahan sel, maka biologi sel dan molekuler sangat berkaitan erat dengan genetika. Pada tingkat SMA, biologi sel dan molekuler diajarkan dalam mata pelajaran biologi dengan kompetensi (Tabel 1).

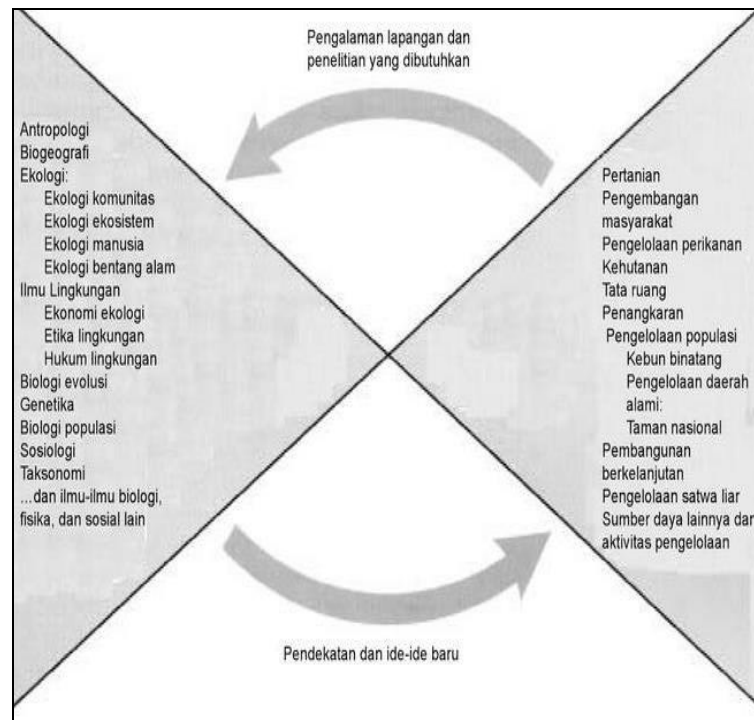
Tabel 1. Kompetensi biologi sel dan molekuler pada tingkat SMA (Permendikbud, 2016)

Kelas	Kompetensi inti 3 (pengetahuan)	Kompetensi inti 4 (keterampilan)
X	3.4. Menganalisis struktur virus, replikasi dan peran virus dalam kehidupan.	4.4. Melakukan kampanye tentang bahaya virus dalam kehidupan terutama bahaya AIDS berdasarkan tingkat virulensinya.
XI	3.1. Menjelaskan komponen kimiawi penyusun sel, struktur, fungsi dan proses yang berlangsung dalam sel sebagai unit terkecil kehidupan 3.2. Menganalisis berbagai bioproses dalam sel yang meliputi mekanisme transpor membran, reproduksi, dan sintesis protein.	4.1. Menyajikan pengamatan mikroskopik struktur sel hewan dan tumbuhan sebagai unit terkecil kehidupan. 4.2. Membuat model tentang bioproses yang terjadi dalam sel berdasarkan studi literatur dan percobaan.
XII	3.2. Menjelaskan proses metabolisme sebagai reaksi enzimatik dalam makhluk hidup. 3.3. Menganalisis hubungan struktur dan fungsi gen, DNA, kromosom dalam penerapan prinsip pewarisan sifat pada makhluk hidup. 3.4. Menganalisis proses pembelahan sel sebagai dasar penurunan sifat dari induk kepada keturunannya.	4.2. Menyusun laporan hasil percobaan tentang enzim, fotosintesis, dan respirasi anaerob. 4.3. Merumuskan urutan proses sintesis protein dalam kaitannya dengan penyampaian kode genetik (DNA, RNA, protein). 4.4. Menyajikan hasil pengamatan pembelahan sel pada sel hewan dan sel tumbuhan.

Di tingkat universitas, mata kuliah biologi sel dan molekuler biasanya diberi bobot 3 sks dengan 2 sks teori dan 1 sks untuk praktikum. Pokok bahasan dalam mata kuliah biologi sel dan molekuler bagi mahasiswa S1 Biologi maupun S1 Pendidikan Biologi (Universitas Pendidikan Indonesia, 2009) yaitu: konsep dan teori sel, struktur dan fungsi sel prokaryot, eukaryot, dan virus, struktur kimia sel, struktur dan fungsi membran; struktur dan fungsi organela sel, struktur dan fungsi ribosom, sintesis protein, struktur dan fungsi bangun pada sel. Sejalan dengan hal tersebut, cakupan materi biologi sel dan molekuler bagi mahasiswa S1 Biologi di Universitas Gadjah Mada (n.d.) yaitu: evolusi sel dan sejarah penemuan sel, konsep umum sel, struktur, komponen dan fungsi penyusun sel, proses biosintesis senyawa dalam sel, katalisis dan energi, serta transport intraseluler, sistem komunikasi interseluler, regulasi genetik, siklus sel, proses pembelahan sel, kontrol siklus sel dan kematian sel, dan penggunaan teknik-teknik biologi molekuler untuk mempelajari sel dan molekul

Pembelajaran Biologi Sel dan Molekuler dalam Pengelolaan dan Konservasi Kehati Indonesia

Pengelolaan dan konservasi keanekaragaman hayati bukan hanya terkait dengan cabang biologi tertentu seperti ekologi, dan botani. Seluruh cabang ilmu biologi saling bersinergi untuk dapat memberikan pengetahuan yang lebih utuh mengenai keanekaragaman hayati Indonesia khususnya karakteristik, pemanfaatan, dan upaya konservasinya. Biologi sel dan molekuler beserta bidang ilmu lainnya turut berperan untuk memberikan pendekatan dan ide-ide yang baru terhadap pengelolaan dan konservasi keanekaragaman hayati dalam kesatuan yang disebut biologi konservasi (Gambar 1). Sebaliknya pengalaman di lapangan dan penelitian yang dilakukan dapat semakin memperkaya pengetahuan berbagai bidang ilmu tersebut.



Gambar 1. Biologi konservasi sebagai sintesa dari berbagai ilmu dan pengalaman di lapangan (Indrawan et al., 2007 berdasarkan Temple, 1991).

Sesuai dengan Gambar 1, pengelolaan dan konservasi keanekaragaman hayati melibatkan berbagai bidang ilmu yang saling berkaitan. Namun secara lebih spesifik, pembelajaran biologi sel dan molekuler yang diberikan pada berbagai tingkat pendidikan memiliki peran dalam pengelolaan dan konservasi keanekaragaman hayati sebagai berikut,

- 1) Pembelajaran biologi sel dan molekuler memberikan pemahaman dasar untuk memahami karakteristik utama seluruh organisme sumber daya hayati Indonesia pada level seluler. Setiap organisme terdiri atas sel sebagai unit penyusun yang terkecil. Memahami sel berarti memahami struktur dan fungsi pada makhluk hidup pada level terkecil. Informasi mengenai karakter pada setiap organisme sangat diperlukan untuk identifikasi, meninjau potensi, dan menentukan upaya konservasi yang tepat. Selain itu, sel dapat digunakan sebagai perwakilan untuk mempelajari sifat-sifat organisme yang sulit untuk dibawa dan dianalisis langsung di laboratorium. Menurut Francois Bacon, biologi

molekuler merupakan sarana untuk mempelajari organisme hidup, termasuk manusia (Subowo, 2011),

- 2) Pembelajaran biologi sel dan molekuler sangat diperlukan untuk mempelajari struktur dan fungsi sumber daya hayati Indonesia khususnya organisme uniseluler dan mikroskopis, contohnya bakteri, alga, invertebrata, dan sebagainya. Keanekaragaman hayati yang dimiliki Indonesia bukan hanya sekedar tumbuhan dan hewan yang berukuran besar, melainkan juga berbagai organisme mikroskopis dan uniseluler yang kasat mata. Biologi sel dan molekuler bersinergi dengan bidang mikrobiologi untuk mempelajari, membudidayakan, dan mengkonservasi berbagai mikroorganisme tersebut. Di Indonesia, koleksi mikrob InaCC merupakan tempat konservasi eks situ mikrob untuk sektor pangan, pertanian kesehatan, dan energi yang meliputi penyimpanan dan penyediaan sel-sel hidup, genom suatu organisme, informasi terkait hereditas dan fungsi-fungsi dalam sistem biologi (BAPPENAS, 2016). Biologi sel dan molekuler

memfasilitasi hal tersebut melalui pembahasan mengenai struktur dan fungsi sel, komponen-komponen penyusun sel serta metabolisme yang terjadi dalam sel, 3) Pembelajaran biologi sel dan molekuler sangat berperan dalam mempelajari dan menggali informasi terkait keragaman hayati tingkat genetik. Dalam setiap spesies masih terdapat banyak sekali keragaman genetik atau varietas yang biasanya dihasilkan dari persilangan maupun poliploidisasi, misalnya pada spesies pepaya (*Carica papaya*), melon, cabai, dan sebagainya. Karakter morfologi saja tidak cukup untuk memberikan gambaran yang utuh mengenai keragaman genetik tersebut. Setiap organisme memiliki kandungan kromosom tertentu dalam setiap selnya. Melalui teknik karyotype, jumlah dan struktur kromosom dari sel suatu organisme dapat diketahui (Cheema & Pant, 2013). Dalam pembuatan karyotipe, perlu dilakukan studi mengenai waktu mitosis dari suatu organisme, fase-fase pembelahan sel, struktur dan bentuk kromosom, dan sebagainya. Oleh sebab itu, pembelajaran biologi sel dan molekuler serta genetika sangat dibutuhkan untuk memberi pemahaman dasar mengenai materi genetik dalam sel dan pembelahan sel, 4) Pembelajaran biologi sel dan molekuler menunjang pengembangan dan konservasi keanekaragaman hayati Indonesia melalui teknik-teknik maupun teknologi yang mutakhir. Banyak teknik maupun teknologi dalam biologi sel dan molekuler yang dapat diaplikasikan untuk mengembangkan dan mengkonservasi keanekaragaman hayati Indonesia. Beberapa di antaranya seperti kultur sel, fusi protoplas, DNA rekombinan, kultur jaringan, *gene bank*, dan sebagainya. Hal ini sejalan dengan pendapat Sutoyo (2010) bahwa ancaman keanekaragaman hayati di Indonesia dapat diatasi dengan ilmu pengetahuan dan teknologi yaitu dengan cara identifikasi dan inventarisasi keragaman dalam hal sebaran, keberadaan, pemanfaatan, dan sistem pengelolaannya. Fusi protoplas dan teknologi DNA

rekombinan dapat digunakan untuk mengembangkan kualitas dari sumber daya hayati, misalnya dengan meningkatkan ketahanan padi terhadap penyakit, meningkatkan kandungan vitamin dalam tanaman.. Menurut Pathak & Abido (2014), kultur sel tanaman, kultur embrio dan anther, *gene bank* dan kultur jaringan merupakan teknik yang sangat aplikatif dan cocok untuk konservasi ex situ. Selain itu, konservasi secara ex situ dapat juga dilakukan melalui koleksi berbagai spesimen dan mikrobia. Koleksi mikrob InaCC saat ini telah mencapai 1.939 koleksi hidup mikrob yang terdiri atas kapang bakteri sebanyak 901 isolat, Actinomycetes 136 isolat, dan mikroalga 25 isolat (BAPPENAS, 2016).

KESIMPULAN

Biologi sel dan molekuler beserta cabang ilmu lainnya saling berhubungan membentuk biologi konservasi sebagai upaya pengelolaan dan konservasi keanekaragaman hayati di Indonesia. Meskipun demikian, secara spesifik pembelajaran biologi sel dan molekuler sangat berperan dalam upaya pengelolaan dan konservasi keanekaragaman hayati dengan cara: (a) memberikan pemahaman dasar untuk mengenal karakteristik utama seluruh sumber daya hayati Indonesia pada level seluler, (b) sebagai wadah untuk mempelajari struktur dan fungsi makhluk hidup khususnya organisme uniseluler dan mikroskopis, (c) berperan dalam menggali informasi terkait keragaman genetik, (e) menunjang pengembangan dan konservasi keanekaragaman hayati Indonesia melalui teknik-teknik maupun teknologi yang mutakhir seperti koleksi mikrob, DNA rekombinan, fusi protoplas, kultur sel, dan sebagainya.

DAFTAR PUSTAKA

- BAPPENAS (2016). *Indonesian Biodiversity Strategy and Action Plan 2015 – 2020*. (Online). Diakses dari: https://www.bappenas.go.id/files/publikasi_utama/Dokumen_IBSAP_2015-2020.pdf. Pada tanggal 5 Juli 2017 ISBN: 978-602-1154-49-6.
- Bartkowski, B. (2017). *Economic valuation of biodiversity: an interdisciplinary conceptual perspective*. New York: Routledge. ISBN: 978-1-138-03936-0.
- Campbell, N. A., Reece, J. B., & Mitchell, L. G., (2002). *Biologi edisi kelima jilid I* (Biology, fifth edition). Jakarta: Erlangga.
- Cheema, S. K. & Pant, M. R. (2013). Karyotype analysis of seven cultivated varieties of *Capsicum annum* L.. *Caryologia*, 66(1), 70-75.
- Depdiknas. (2003). *Standar kompetensi mata pelajaran biologi SMA dan MA*. Jakarta: Pusat Kurikulum, Balitbang Depdiknas.
- Indrawan, M., Primack, R. B., Supriatna, J. (2007). *Biologi konservasi, edisi revisi*. Jakarta: Yayasan Obor Indonesia. ISBN: 978-979-461-288-X.
- Kusuma, C., & Hikmat, A. (2015). Keanekaragaman hayati flora di Indonesia. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 5 (2), 187-198. DOI: 10.19081/jpsl.5.2.187
- Pathak, M. R., & Abido, M. S. (2014). The role of biotechnology in the conservation of biodiversity. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, 2 (4), 352 – 363. ISSN No. 2320 – 8694.
- Permendikbud. (2016). Peraturan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2016 tentang Standar Proses Pendidikan Dasar dan Menengah. Depdikbud: Jakarta.
- Poythress, V. S. (2013). *Menebus sains: Pendekatan yang berpusat pada Allah*. Surabaya: Penerbit Momentum.
- Subowo. (2011). *Biologi Sel*. (Edisi 6). Jakarta: CV. Agung Seto.
- Supriatna, J. (2008). *Melestarikan alam Indonesia*. Jakarta: Yayasan Obor Indonesia. ISBN: 978-979-461-696-3.
- Sutoyo. (2010). Keanekaragaman hayati Indonesia: suatu tinjauan masalah dan pemecahannya. *Buana Sains*, 10 (2), 101 – 106.
- Triyono, K. (2013). Keanekaragaman hayati dalam menunjang ketahanan pangan. *INNOFARM: Jurnal Inovasi Pertanian*, 11 (1), 12-22.
- Universitas Pendidikan Indonesia. (2009). *Silabus biologi sel dan molekuler*. (Online). Diakses dari: <http://silabus.upi.edu/Direktori/FPMIPA/Biologi/48.Biologi%20Molekuler.pdf> Pada tanggal 19 September 2017
- Universitas Gadjah Mada (n.d.). *Silabus biologi sel dan molekuler*. Diambil tanggal 19 September 2017 dari: <http://elisa.ugm.ac.id/user/archive/download/24161/d192e992af50405620e92b83cfc25854>
- Van Brummelen, H. (2006). *Berjalan bersama Tuhan di dalam kelas: Pendekatan Kristiani untuk pembelajaran [Walking with God in the classroom: Christian approaches in learning and teaching]*. Jakarta: Universitas Pelita Harapan (Original work published 1998).