

Optimalisasi Pemanfaatan Teknik Kultur Jaringan Tumbuhan Dalam Mendukung SDGs 2030 Melalui Sains dan Entrepreneurship

Endang Semiarti

Fakultas Biologi UGM, Jl. Teknika Selatan, Sekip Utara, Yogyakarta 55281,
e-mail: endsemi@ugm.ac.id

Abstrak – Perguruan tinggi adalah institusi pendidikan yang diharapkan dapat mencetak lulusan yang kompeten di bidangnya. Untuk mendukung pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (*Sustainable Development Goals/SDGs*) dimana diharapkan semua negara dapat mengelola ekosistem guna mendukung kehidupan yang lebih baik bagi seluruh umat manusia pada tahun 2030, kurikulum di PT telah menerapkan matakuliah Bioentrepreneur dengan pendampingan kurikuler dan ko-kurikuler kepada para mahasiswa untuk mendorong mahasiswa memiliki jiwa entrepreneur, inovatif, dan tanggap terhadap situasi dan kondisi yang berbasis sains dan teknologi, sehingga menghasilkan lulusan yang dapat menjadi pencipta pekerjaan, bukan pencari pekerjaan. Salah satu kompetensi yang diharapkan adalah mahasiswa menguasai teknik kultur jaringan tumbuhan untuk menghasilkan bibit unggul dalam jumlah besar/massal dan seragam, memproduksi metabolit sekunder untuk bahan obat, menciptakan tanaman dengan fenotip baru yang lebih baik dalam upaya memenuhi kebutuhan pangan, kesehatan, serta kebutuhan lainnya untuk kehidupan yang lebih baik bagi masyarakat dan seluruh umat manusia. Dalam makalah ini akan dijelaskan mengenai prinsip dasar dan strategi produksi bibit tanaman secara umum dengan teknik kultur jaringan tumbuhan dan manipulasi genotip untuk mendapatkan fenotip baru yang unggul dengan rekayasa genetika dan penyuntingan genom menggunakan sistem CRISPR/Cas9 yang diharapkan demi mendukung pilar pembangunan sosial dalam SDGs 2030 yaitu tercapainya pemenuhan hak dasar manusia yang berkualitas secara adil dan setara untuk meningkatkan kesejahteraan bagi seluruh masyarakat.

Kata kunci: Perguruan Tinggi, Sains dan Entrepreneur, Lulusan Kompeten, Teknik Kultur Jaringan Tumbuhan, Rekayasa Genetika, Penyuntingan Genom, SDGs 2030.

PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara tropis yang merupakan salah satu hotspot keanekaragaman hayati (tumbuhan, hewan, mikroorganisme) kedua tertinggi di dunia setelah Brazil, sehingga bisa disebut sebagai megabiodiversitas. Biodiversitas tersebut secara alami tumbuh di hutan hujan tropis kita, sehingga adanya konversi hutan untuk perkebunan atau pembangunan jalan/infrastruktur bangunan menyebabkan terjadinya deforestasi, ditambah dengan adanya Penebangan liar pohon-pohon di hutan tersebut menyebabkan terjadinya ancaman pada populasi Biodiversitas di dalamnya. Perubahan iklim yang terjadi akhir-akhir ini juga merupakan faktor yang menyebabkan terjadinya penurunan populasi yang sangat signifikan. Oleh karena itu perlu adanya usaha berkelanjutan yang melibatkan semua pihak untuk penyelamatan biodiversitas kita dari kepunahan, dan sebagai akademisi dan warga negara kita harus berkomitmen untuk memanfaatkan teknologi yang tepat dan mengelola secara bijak, dalam usaha melindungi biodiversitas kita secara berkelanjutan.

Pada tahun 2016, PBB menyatakan adanya 17 Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (*Sustainable Development Goals/SDGs*) yang mengajak semua negara baik kaya, maupun miskin untuk mengelola ekosistem guna mendukung kehidupan yang lebih baik untuk seluruh umat manusia pada tahun 2030. Setiap negara anggota, termasuk Indonesia membuat program NDC, *National Determined Commitment*, untuk mencapai SDGs tersebut. PBB karena merasa tidak akan mencapai target, telah mengeluarkan lagi program 2021-2030 the *UN Decade on Ecosystem Restoration*. António Guterres, Sekretaris Jenderal United Nations, pada pertemuan COP 26 di Glasgow tahun 2022 menyatakan antara lain bahwa kita

harus bergerak untuk menyelamatkan ekosistem yang rusak, bila tidak kita sebenarnya sedang menggali kuburan kita sendiri, "We are digging our own grave". Oleh sebab itu, Biodiversitas pada tingkat ekosistem harus dimanfaatkan, dikelola secara bijak, dan dilindungi agar berkelanjutan. Program SDGs ini bertujuan antara lain memperbaiki dan menjaga ekosistem untuk mendukung kehidupan yang lebih baik untuk seluruh umat manusia pada tahun 2030. Ke-17 SDGs tersebut adalah 1) Tidak ada kemiskinan; 2) Tidak ada kelaparan; 3) Kesehatan dan kesejahteraan yang baik; 4) Pendidikan berkualitas; 5) Kesetaraan gender; 6) Air bersih dan sanitasi; 7) Energi terjangkau dan bersih; 8) Pekerjaan yang layak dan pertumbuhan ekonomi; 9) Industri, inovasi dan infrastruktur; 10) Mengurangi ketimpangan; 11) Kota dan masyarakat berkelanjutan; 12) Konsumsi dan produksi yang bertanggung jawab; 13) Aksi/perubahan iklim; 14) Kehidupan di bawah air; 15) Kehidupan di bawah tanah; 16) Perdamaian, keadilan, dan lembaga yang kuat; 17) Kemitraan untuk mencapai tujuan.

Pemerintah RI telah menunjuk Kementerian Perekonomian sebagai kementerian utama untuk berkoordinasi dengan kementerian yang lain dan bekerjasama dengan sektor swasta, masyarakat sipil, organisasi masyarakat, akademisi, pemuda dan komunitas internasional dengan tujuan utama untuk mencapai SDGs. Dalam dua tahun, Indonesia seperti halnya negara-negara lain di dunia mengalami kondisi darurat pandemi COVID-19 yang menyebabkan banyak orang kehilangan pekerjaan, sehingga harus mencari mata pencaharian lain untuk tetap mempertahankan kehidupannya dan keluarganya. Oleh karena itu banyak orang beralih ke dunia pertanian untuk melangkah lebih jauh mengakhiri kemiskinan dan menangani kebutuhan pangan, kesehatan sambil mengatasi perubahan iklim dan perlindungan lingkungan.

Untuk menjawab permasalahan dalam SDGs Bidang Pertanian, perlu adanya pendidikan untuk mencetak tenaga-tenaga ahli yang dapat mengaplikasikan Teknik Kultur Jaringan Tumbuhan sebagai salah satu teknik dalam Bioteknologi untuk memperbanyak tanaman secara massal dan seragam dalam waktu yang relatif cepat dapat digunakan untuk produksi bibit-bibit tanaman pertanian, tanaman obat, maupun tanaman ornamental, juga menyelamatkan tanaman langka untuk mewujudkan SDGs 2030.

Bioteknologi Tumbuhan dan perkembangannya

Bioteknologi adalah teknologi yang menggunakan dan memanfaatkan sistem dan agen hayati untuk mendapatkan barang dan jasa yang berguna untuk kesejahteraan hidup manusia dan lingkungannya. Berdasarkan perkembangannya terdapat 3 era bioteknologi, yaitu:

1. Bioteknologi Tradisional/Klasik dan Konvensional

Menggunakan jasa mikrobia dan faktor ekologi/lingkungan untuk merubah makhluk hidup (fermentasi jamur untuk membuat tempe, minuman shake, tape, dll), Perkawinan silang (konvensional)

2. Bioteknologi Modern

Memanipulasi makhluk hidup dengan menyisipkan gen (rekayasa genetika): Tanaman tahan kekeringan, tanaman dengan sifat baru/unggul

3. Bioteknologi Millennial (Pasca Tahun 2000)

Dengan majunya Teknologi informasi dan peralatan canggih, telah diketahui urutan basa genom DNA manusia, hewan, tanaman: dapat membuat artifisial gen, mutan unik dengan mengedit genom untuk membungkam gen yang tidak diinginkan, mengubah nasib sel, mempercepat pembungaan, dan lain-lain.

Saat ini kita berada di era Bioteknologi Modern. Teknik kultur jaringan tumbuhan merupakan bagian dari Bioteknologi modern, yaitu teknologi yang dapat mengisolasi sel/jaringan tumbuhan,

menumbuhkannya pada medium buatan secara aseptis di dalam botol sehingga sel-sel tersebut dapat tumbuh dan berkembang, beregenerasi menjadi tanaman lengkap kembali dan identik dengan tetuanya, sehingga dapat digunakan untuk menghasilkan bibit secara massal untuk memenuhi jumlah bibit tanaman pertanian, tanaman obat, maupun produksi tanaman langka yang sudah kritis terancam punah.

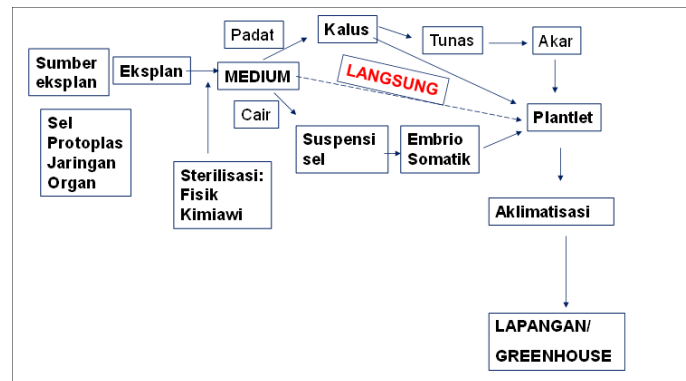
Teknik Kultur Jaringan Tumbuhan

Teknik Kultur jaringan Tumbuhan adalah teknik yang sangat menjanjikan untuk produksi/perbanyak bibit tanaman dalam jumlah besar/massal dan seragam, juga dapat digunakan untuk mendapatkan tanaman unggul. Perbanyak tanaman secara generatif/kawin, perkecambahan bijinya juga dapat dibantu dengan perkecambahan biji *in vitro* (di dalam tabung). Karena banyak biji yang sulit dikecambahkan secara alami, misalnya biji yang bersifat rekalsitran. Perbanyak tanaman secara vegetatif dengan menumbuhkan sel soma/sel tubuh dengan kultur jaringan dapat dilakukan dengan kultur protoplas (sel yang telah dihilangkan dinding selnya), sel tunggal, jaringan, maupun organ (Suryowinoto, 2013).

Pembuatan tanaman dengan sifat baru/varietas baru dapat dilakukan melalui strategi mutasi, pembuatan variasi somaklonal, poliploidisasi, rekayasa genetika dan yang akhir-akhir ini barusaja digunakan adalah dengan penyuntingan genom menggunakan sistem CRISPR/Cas9 untuk memperoleh tanaman dengan sifat unggul/sifat baru yang diinginkan (Semiarti et al., 2020).

Berdasarkan bahan tanaman yang digunakan dan tujuannya, Teknik Kultur Jaringan dibedakan menjadi 2 tipe, yaitu untuk Produksi dan untuk Perbaikan sifat tanaman. Yang termasuk dalam tipe 1 untuk produksi: 1) Perbanyak tanaman/Mikropropagasi; 2)Produksi metabolit sekunder, 3) Pembuatan biji sintetis. Tipe 2 untuk perbaikan sifat, meliputi: 1) Kultur embrio; 2) Kultur Anther, Pollen, Mikrospora; 3) Transformasi genetik; 4) Fusi Protoplas (Haque et al. 2022).

Secara umum Teknik Kultur jaringan mengikuti prosedur umum seperti yang tampak pada Gambar 1. Pertama harus dipilih tanaman donor dengan elite genetik yang baik sebagai sumber eksplan (bahan tanaman yang dikultur), eksplan bisa berupa sel, protoplas, jaringan atau organ (daun, akar, bunga). Eksplan yang berasal dari luar disterilisasi secara kimiawi menggunakan NaClO, atau secara fisik dengan dicelupkan Alkohol 70% kemudian dibakar 3 kali. Selanjutnya eksplan dipotong-potong dan ditanam pada media tumbuh sesuai dengan jenis tanaman yang ditanam. Media padat digunakan untuk menanam eksplan yang umumnya diinduksi pertumbuhan kalusnya, kemudian dipindahkan ke medium induksi tunas, setelah keluar tunas dipindahkan ke medium induksi akar sampai tumbuh membentuk plantlet (tanaman hasil kultur jaringan) yang masih di dalam botol. Untuk induksi metabolit sekunder kalus dapat dipisah-pisahkan kemudian ditanam pada medium cair, digoyang pada *shaker*, setelah terbentuk banyak, sel dan metabolit dapat dipanen untuk pembuatan obat herbal. Kultur cair juga dapat digunakan untuk menginduksi pembentukan embrio dari sel soma (embrio somatik) yang selanjutnya ditanam pada medium dengan tambahan hormon auksin dan sitokinin untuk membentuk plantlet. Plantlet juga dapat diinduksi secara langsung dari organ yang ditanam, dimana eksplan ditanam langsung pada medium dengan tambahan auxin dan sitokinin. Plantlet yang terbentuk selanjutnya dapat ditanam di greenhouse setelah diaklimatisasi untuk menyesuaikan tanaman dari kondisi di dalam botol (*in vitro*) ke kondisi di luar botol (*ex vitro*).



Gambar 1. Teknik Dasar Kultur Jaringan Tumbuhan



Gambar 2. Produksi Bibit Tanaman Anggrek Phalaenopsis hibrida dengan Kultur Jaringan (Sumber: Ichihashi, 2002)

Prinsip Dasar Teknik Kultur Jaringan Tumbuhan

Teknik kultur Jaringan tumbuhan didasari oleh Teori Sel yang dinyatakan oleh Schleiden dan Schwann pada tahun 1838 bahwa Sel tumbuhan bersifat autonom, yang kemudian diperkuat oleh Haberlandt pada tahun 1902 yang menyatakan bahwa sel tanaman bersifat totipoten (mampu tumbuh menjadi tanaman lengkap). Sehingga apabila ditanam pada medium tumbuh dan lingkungan yang sesuai, maka sel tersebut akan tumbuh dan berkembang menjadi tanaman baru.

Mengapa sifat totipoten dapat dimiliki oleh sel tumbuhan? Karena sifat-sifat pada tumbuhan ditentukan oleh gen atau sekelompok gen di dalam genomnya, gen-gen tersebut saling mengadakan interaksi mengatur metabolisme di dalam sel. Di dalam menjalankan metabolismenya, sel mengadakan regulasi genetik untuk *switch ON/OFF* suatu gen atau sekelompok gen pada genomnya (Howell, 1998). Sedangkan ekspresi suatu gen umumnya diinduksi atau dipicu oleh faktor intrinsik yang berasal dari dalam sel itu sendiri, maupun faktor ekstrinsik yang berasal dari luar tubuhnya, baik secara kimiawi maupun fisik. Adanya perlukaan pada jaringan sehat akan memicu respon gen-gen penghasil protein penutup luka, sehingga terjadi pembelahan sel terus menerus. Pemberian 2,4D pada medium tumbuh menyebabkan sel tanaman pada bagian luka mengalami pembelahan terus-menerus/tidak terkontrol sehingga terbentuk kalus (Islam et al. 1998). Kalus merupakan kumpulan sel yang tumbuh pada jaringan luka dan terus membelah secara tidak terorganisir. Apabila pada medium tumbuh ditambahkan hormon/zat pengatur tumbuh auksin dan sitokinin, maka sel kalus akan terinduksi menjadi embrio (kalus embriogenik) atau dari jaringan kalus dapat membentuk organ. Kultur jaringan juga dapat digunakan untuk menumbuhkan sel haploid (mikrospora) menjadi tanaman utuh yang bersifat haploid, selanjutnya dapat digunakan sebagai tanaman galur murni setelah tanaman tersebut diberi perlakuan poliploidisasi menjadi tanaman dihaploid yang homozigotik.

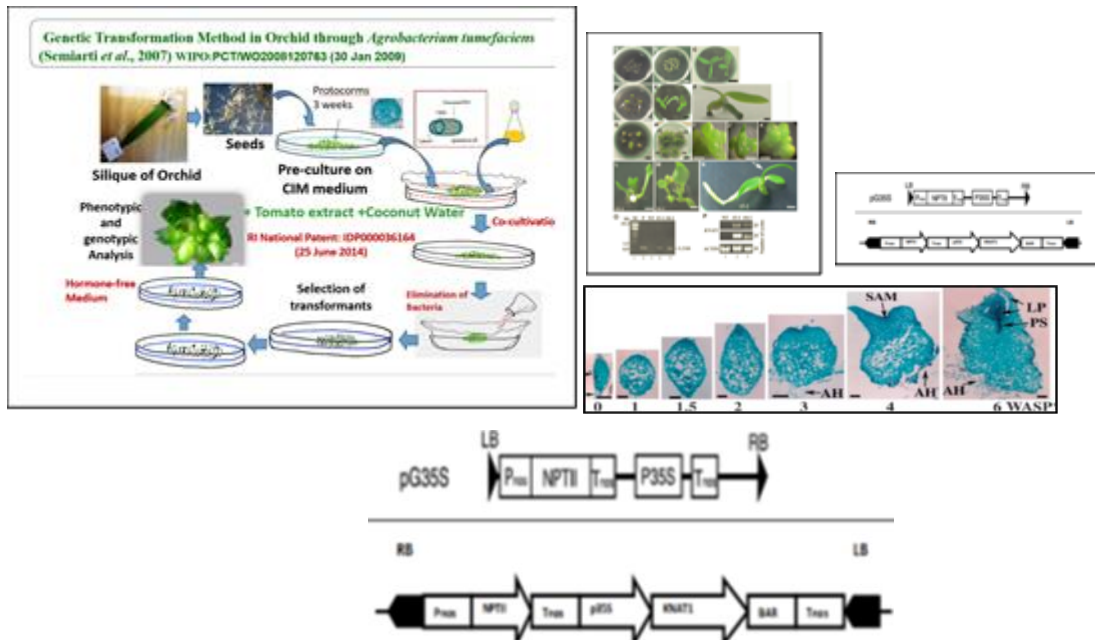
Strategi Pemanfaatan Teknik Kultur Jaringan Tumbuhan Untuk Pemuliaan Tanaman: Rekayasa Genetika dan Penyuntingan Genom

Pada era milenial ini, kemampuan mengaplikasikan Teknik Kultur jaringan Tumbuhan menjadi hal yang sangat penting, terutama untuk dapat memfasilitasi pelaksanaan transformasi genetik untuk rekayasa genetika (*genetic engineering*) dan penyuntingan genom (*genome editing*) (Purwantoro et al. 2022). Perkembangan ilmu pengetahuan khususnya di bidang biologi molekuler dan Teknologi Informasi (TI) menyebabkan kita dapat menganalisis dan mengisolasi gen, kemudian memindahkan gen dari satu individu ke individu lainnya, sehingga pemuliaan tanaman berkembang dengan sangat pesat. Saat ini aplikasi biologi molekuler telah berhasil digunakan untuk melakukan penyisipan gen ke dalam genom tanaman. Teknik ini kemudian disebut dengan rekayasa genetik. Gen yang disisipkan tidak terbatas pada gen yang berasal dari satu spesies yang sama, dapat berasal dari tanaman yang lain, bahkan dapat berasal dari bakteri, dan hewan untuk tujuan tertentu.

Secara umum terdapat beberapa metode yang sering digunakan dalam introduski gen seperti transformasi genetik melalui perantara bakteri *Agrobacterium tumefaciens* (*Agrobacterium-Mediated-Transformation*), *particle bombardment*, *elektroporasi*, *microinjection*, *biolistic* dan *sonication*. Metode dengan perantara *A. tumefaciens* sampai saat ini menjadi metode yang paling efisien karena mampu mentransfer segmen DNA yang relatif besar dengan alat dan bahan yang sederhana (Mubeen et al., 2016).

Salah satu contohnya adalah rekayasa genetika pada tanaman anggrek, penyisipan gen *KNAT1* dari tanaman model *Arabidopsis thaliana* telah dilakukan pada 3 jenis anggrek alam Indonesia *Phalaenopsis amabilis*, *Coelogyne pandurata* dan *Vanda tricolor* dengan metode *Agrobacterium-mediated transformation* pada protokorm (Semiarti et al., 2011). Selain itu, transformasi genetik dengan perantara *A. tumefaciens* juga telah berhasil diaplikasikan pada tanaman padi (*Oryza sativa* L.) (Reddy et al., 2018), *Dendrobium officinale* (Kui et al, 2017) dan mikroalga (*Dunaliella tertiolecta*) (Norzagaray-Valenzuela et al., 2018).

Tanaman transgenik anggrek *P.amabilis* telah terbukti menunjukkan fenotip baru yang terbentuk karena peran gen *KNAT1* (Class-1 KNOX) sebagai salah satu gen kunci dalam menentukan identitas serta polaritas tunas pucuk pada tanaman, yaitu dari 1 protokorm dapat tumbuh menjadi 31 tanaman (Semiarti et al., 2014). Pada saat dilakukan overekspresi gen *KNAT1*, potongan daun tanaman anggrek transgenik memunculkan pertumbuhan multitunas yang bersifat embrionik. Hal ini menunjukkan adanya peran gen kunci dalam pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan yang teregulasi secara sistematis. Penemuan ini sangat menjanjikan kemanfaatannya baik dari segi akademik maupun ekonomi, untuk produksi maupun pembuatan sifat baru yang unggul pada tanaman. Tanaman anggrek transgenik pembawa gen *KNAT1* menunjukkan sifat genotip dan fenotip yang stabil, yaitu dapat membentuk tunas-tunas baru saat dikulturkan pada medium dasar tanpa hormon. Hal ini sangat menguntungkan untuk produksi tanaman-tanaman pertanian dengan sifat tertentu seperti yang diharapkan (Semiarti et al. 2010; Semiarti et al. 2022).



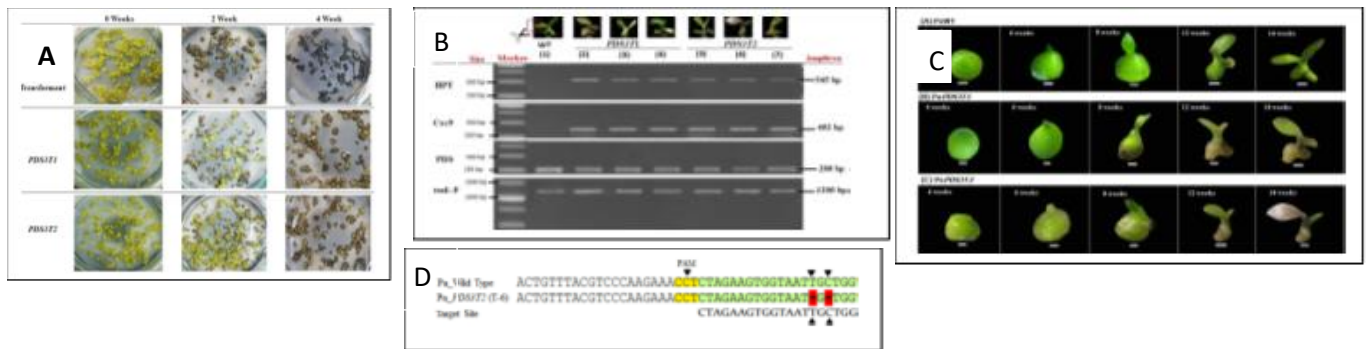
Gambar 3. Teknik Rekayasa Genetika dengan *Agrobacterium-mediated Transformation* pada Tanaman Anggrek P. Amabilis dengan penyisipan gen *KNAT1*. (Sumber: Semiarti et al. 2007).

Dalam beberapa tahun terakhir, penyuntingan genom tanaman telah dilakukan untuk 2 tujuan: 1) untuk menganalisis fungsi gen tertentu (tujuan ilmiah); 2) menghasilkan varietas tanaman baru dengan sifat yang lebih baik, termasuk peningkatan hasil, peningkatan ketahanan terhadap penyakit, meningkatkan kualitas makanan dan toleransi stres yang lebih tinggi (tujuan ekonomi). Teknologi ini secara alami merupakan sistem pertahanan diri pada prokaryot kelompok Archaea dan Bakteri. Secara umum, pendekatan penyuntingan genom menggunakan *sequence-specific nucleases* (SSNs) yang terdiri dari DNA-binding domain untuk memberikan spesifisitas urutan yang terkait dengan domain nuclease untuk menghasilkan DNA *strand breaks* (DSB) pada SSNs. Gen target dapat dipotong dengan tujuan membungkam/meng-knockout gen tersebut sehingga tidak berfungsi, atau dikenal 4 metode penyuntingan genom, yaitu: 1) *zinc finger nucleases* (ZFNs) (Tahun 2005); 2. *transcription activator-like effector nucleases* (TALENs) (Tahun 2011); 3. *clustered regularly interspaced short palindromic repeats/CRISPR-associated protein 9* (CRISPR/Cas9) (Tahun 2013); dan 4) CRISPR/CRISPR *from Prevotella and Francisella* 1 (CRISPR/Cpf1) (Tahun 2016).

Dari keempat metode penyuntingan genom tersebut, CRISPR/Cas9 paling banyak digunakan. CRISPR/Cas9 adalah teknologi pengeditan genom terbaru yang telah digunakan di berbagai hewan dan tanaman termasuk model dan nonmodel dengan efisiensi tinggi, CRISPR/Cas9 dapat digunakan untuk penargetan gen biallelic secara bersamaan (Tsutsui dan Higashiyama, 2017). Metode CRISPR/Cas9 pada tanaman sudah mulai banyak digunakan, misalnya untuk mendegradasi pembentukan lignin dari tanaman kedelai untuk menghasilkan *biofuel*, untuk menghasilkan tanaman berdaun variegata pada beberapa spesies tanaman Arabidopsis, dan tanaman anggrek. Saat ini sedang dijalankan meng-KO gen GAI (*Gibberelic Acid Inhibitor*) untuk mempercepat waktu pembungaan dari beberapa tanaman.

Kemampuan melakukan teknik kultur jaringan tumbuhan di laboratorium diperlukan untuk rekayasa genetika dan penyuntingan genom ini terutama pada pengkondisian bahan tanaman di fase awal sebelum insersi gen asing dilakukan, saat penyisipan gen atau konstruksi CRISPR/Cas 9 ke tanaman, dan pemeliharaan tanaman setelah transfer gen untuk menghasilkan tanaman transforman. Setelah mencapai umur tertentu perlu pengecekan genom tanaman apakah gen yang disisipkan telah terintegrasi pada genom tanaman, dan pengecekan molekuler di level RNA dan protein untuk memastikan bahwa gen yang disisipkan dapat terekspresi dan berfungsi pada tanaman resipien. Apabila semua hasilnya positif, akan diperoleh tanaman transgenik yang selanjutnya dapat diperbanyak secara massal/mikropropagasi dengan teknik kultur jaringan tumbuhan sehingga dihasilkan tanaman dengan fenotip dan genotip baru hasil rekayasa genetik dan penyuntingan gen.

Aplikasi teknik kultur jaringan tumbuhan untuk mendukung penelitian penyuntingan genom, dapat dilihat pada Gambar 4 yang merupakan salah satu contoh kultur tanaman anggrek *P.amabilis* yang telah diberi perlakuan CRISPR/Cas9 dengan gen target *PHYTONE DESATURASE (PDS3)* untuk menghasilkan tanaman anggrek berdaun varigata. Hasil analisis sekuen dari gen target menunjukkan terjadinya delesi, yang menyebabkan terjadinya perubahan fenotip.



Gambar 4. Tanaman Anggrek *P.amabilis* hasil penyuntingan gen *PDS3* dengan sistem CRISPR/Cas 9. A) Perkembangan protokorm (embrio anggrek) setelah disisipi T-DNA dengan konstruksi CRISPR/Cas9-*PDS3*, B) Analisis DNA genom dengan metode Polymerase Chain Reaction (PCR) untuk gen Hygromisin Resisten (HPT), gen *PDS3*, gen Cas 9 dan kontrol internal intergenik sekuen pada kloroplas tRNL-F, C) Analisis sekuen gen target *PDS3* yang menunjukkan delesi, D) Fenotip tanaman transforman hasil penyuntingan gen *PDS3*. Skala= 1 cm. (Sumber: Semiarti et al. 2020)

Varigata merupakan fenomena perbedaan warna pada organ vegetatif yang disebabkan oleh mutasi gen tunggal. Sebagai contoh mutasi pada gen *PDS3* dan *VAR2* (Kato et al., 2007, Tsutsui and Higashiyama, 2016). Untuk tanaman hias fenotip varigata akan meningkat nilai ekonominya. Proses pembentukan varigata juga dapat diterapkan pada warna bunga yang sebelumnya berwarna ungu polos dapat diubah menjadi ungu dengan garis semburat warna putih sehingga lebih menarik.

Prinsip dasar dan strategi pengembangan Teknik Kultur jaringan Tumbuhan untuk produksi tanaman pangan, tanaman hias, tanaman obat, tanaman hutan dapat diperkenalkan oleh dosen kepada mahasiswa untuk memberikan ketrampilan dan memacu kreativitas mahasiswa untuk berinovasi menghasilkan tanaman dengan sifat-sifat unggul yang nantinya dapat diterapkan di masyarakat untuk mewujudkan tujuan program SDGs 2030.

KESIMPULAN

Pemanfaatan teknik kultur jaringan tumbuhan adalah sebagai metode perbanyak tanaman secara cepat dan massal dan peningkatan sifat tanaman untuk menghasilkan tanaman unggul dengan sifat baru yang diinginkan. Namun, secara akademik, teknik kultur jaringan tumbuhan dapat digunakan sebagai alat oleh para peneliti untuk mengetahui peranan gen serta regulasi genetik yang terjadi secara seluler. Pemuliaan tanaman yang memiliki sifat ekonomi tinggi dengan memanfaatkan teknik kultur jaringan juga masih perlu ditingkatkan. Salah satu teknik molekuler terkini, CRISPR/Cas9, diharapkan dapat menjadi metode yang paling presisi dalam mendapatkan tanaman dengan sifat yang baru.

DAFTAR PUSTAKA

- Haque MI., Singh PK, Ghuge S., Kumar A., Rai A.C., Kumar A., and Modi A.(2022). A general introduction to and background of plant tissue culture: Past, current, and future aspects. A chapter in: A Chapter in: Advances In: Plant Tissue Culture Current Developments and Future Trends, ISBN: 978-0-323-90795-8 Edited by A.C. Rai, A. Modi, M.Singh, Academic Press, UK, Elsevier Inc. p. 1-20.
- Ichihashi S. (2002). Mass Propagation of Orchid Technology to Support Global Market. International Seminar on Orchid. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Islam MO, Ichihashi S and Matsui S. 1998. Control of growth and development of Protocorm like body derived from callus by carbon source in Phalaenopsis. *Plant Biotechnol*, 15: 183-187.
- Kato Y., Miura E., Matsushima R., Sakamoto W. (2007). White Leaf Sectors in yellow variegated2 Are Formed by Viable Cells with Undifferentiated Plastids. *Plant Physiology*, Volume 144, Issue 2, June 2007, Pages 952–960, <https://doi.org/10.1104/pp.107.099002>
- Kui L, Chen H, Zhang W, He S, Xiong Z, Zhang Y, Yan L, Zhong C, He F, Chen J, et al. 2017. Building a Genetic Manipulation Tool Box for Orchid Biology: Identification of Constitutive Promoters and Application of CRISPR/Cas9 in the Orchid, *Dendrobium officinale*. *Front Plant Sci*. 7:2036. doi:10.3389/fpls.2016.02036.
- Mubeen, H., Rubab, Z.N., Ammara, M., Muhammad, W.S., Shahid, R., 2016. Gene transformation: methods, uses and applications. *J. Pharm. Biol. Sci.* 4 (2), 1–4.
- Norzagaray-Valenzuela, C.D., German-Baez, L.J., Valdez-Flores, M.A., Hernandez-Verdugo, S., Shelton, L.M., Valdez-Ortiz, A., 2018. Establishment of an efficient genetic transformation method in *Dunaliella tertiolecta* mediated by *Agrobacterium tumefaciens*. *J. Microbiol. Methods* 150, 9–17. <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2018.05.010>.
- Purwantoro A., Purwestri Y.A., Lawrie M.D., and E. Semiarti (2022). Genetic transformation via plant tissue culture techniques: Current and future approaches. A Chapter in: Advances In: Plant Tissue Culture Current Developments and Future Trends, ISBN: 978-0-323-90795-8 Edited by A.C. Rai, A. Modi, M.Singh, Academic Press, UK, Elsevier Inc. P. 131-156.
- Reddy, S.S.S., Singh, B., Peter, A.J., Rao, T.V., 2018. Production of transgenic local rice cultivars (*Oryza sativa* L.) for improved drought tolerance using *Agrobacterium* mediated transformation. *Saud. J. Biol. Sci.* 25 (8), 1535–1545.
- Semiarti, E., Indrianto, A., Purwantoro, A., Iminingsih, S., Suseno, N., Ishikawa, I., Yoshioka, Y., Machida, Y., Machida, C., 2007. *Agrobacterium*-mediated transformation of the wild orchid species *Phalaenopsis amabilis*. *Plant biotechnol.* 24: 265 – 272

- Semiarti E., Indrianto A., Purwantoro A., Martiwi I. N. A., Feroniasanti Y. M. L., Nadifah F., Mercuriana I. S., Dwiyani R., Iwakawa H., Yoshioka Y., Machida Y. and Machida C. 2010. High-frequency genetic transformation of *Phalaenopsis amabilis* orchid using tomato extract-enriched medium for the pre-culture of protocorms. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, Vol. 85 No. 3: 205-210 (2010).
- Semiarti E., Indrianto A., Purwantoro A., Machida Y. and Machida C. (2011) *Agrobacterium-mediated Genetic Transformation of Indonesian Orchids for Micropropagation*. A Chapter in: *Scientific e-book Genetic Transformation*, ISBN 978-953-307-364-4, ed by M.Alvarez, InTech-Open Publisher, <http://www.intechweb.org/>.
- Semiarti, E., Indrianto, A., Purwantoro, A., 2014. In vitro culture of orchid: the roles of class-1 KNOX gene in shoot development. *J. Biol. Res.* 20, 18–27.
- Semiarti, E., Purwantoro, A., Sari, I.P., 2020a. Biotechnology approaches on characterization, mass propagation, and breeding of Indonesian Orchids *Dendrobium lineale* (Rolfe.) and *Vanda tricolor* (Lindl.) with its phytochemistry. In: Merillon, J.-M., Kodja, H. (Eds.), *Orchids Phytochemistry, Biology and Horticulture*. Springer Nature, Switzerland, pp. 2–11.
- Semiarti E., S.Nopitasari, Y.Setiawati, M.D.Lawrie, A.Purwantoro, J.Widada, K.Ninomiya, Y.Asano, S.Matsumoto, Y.Yoshioka (2020b). Application of CRISPR/Cas9 Genome Editing System for Molecular Breeding of Orchids, *Indonesian Journal of Biotechnology*, Volume 25, Issue 1, June 2020.
- Semiarti E., Purwestri Y.A., Rohman S., and Putri W.A. (2022). Genetic Transformation in Prokaryotic and Eukaryotic Cells. A Chapter in: *Molecular Cloning*. IntechOpen Ltd., DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.103839>
- Stephen H. Howell (1998). *Molecular Genetics of Plant Development*. Cambridge Univ. Press.
- Suryowinoto, M.2013. *Kultur Jaringan Tumbuhan dan Manfaatnya*. Fakultas Biologi Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Tsutsui, H. And Higashiyama, T (2016). pKAMA-ITACHI Vectors for Highly Efficient CRISPR/Cas9-Mediated Gene Knockout in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Cell Physiol.*58(1): 46-56.
- Zhang H., Zhang J., Lang Z., Ramón J., Botella, Zhu J.K. (2017) *Genome Editing—Principles and Applications for Functional Genomics Research and Crop Improvement*, *Critical Reviews in Plant Sciences*, 36:4, 291-309, DOI: 10.1080/07352689.2017.1402989

Optimalisasi Teknik Kultur Jaringan Tumbuhan Dalam Mendukung SDGs 2030 Melalui Pembelajaran Sains Dan Entrepreneurship

Ir. Pranowo Singgihandjojo¹, Syahrani Dwi Lukmana², Arini Hidayati²

¹P4S V&M Biotechnology, Muntilan

Email : pranowo.singgih@gmail.com

²Politeknik Pembangunan Pertanian Yogyakarta Magelang, Program Studi Teknologi Benih

Email : syahraniidwilukmana@gmail.com, arinihidayati054@gmail.com

Abstrak – Kebutuhan bibit saat ini semakin meningkat dengan kualitas yang bermutu dan sebat sehingga dapat bersaing di pasar global. Bibit unggul yang dihasilkan oleh pemulia tanaman (*breeder*) jumlahnya terbatas, dan untuk mengembangkannya dalam jumlah banyak dan cepat secara konvensional sulit terpenuhi. Masalah tersebut dapat diantisipasi melalui kultur jaringan. Kultur jaringan merupakan teknologi yang sudah cukup lama ditemukan serta mudah untuk dilaksanakan oleh kalangan praktisi agribisnis. Walaupun demikian penerapan teknologi tersebut membutuhkan ketrampilan dan pengetahuan dasar untuk menunjang keberhasilannya sehingga dapat menciptakan bibit yang memenuhi 3K (Kualitas, Kuantitas dan Kontinuitas). Di era perkembangan teknologi yang sangat pesat ini, tentu saja sangat berpeluang dan berpotensi untuk membuka dunia wirausaha kultur jaringan. Hal ini juga bisa dilakukan mahasiswa untuk membentuk jiwa entrepreneurship, atau bisa juga melakukan Perjanjian Kerja Sama (PKS). Kerja sama hasil/produk kultur jaringan dapat dibedakan menjadi: 1. PKS Produksi Massal, 2. PKS Adaptasi Media dan PKS Produksi Massal, 3. PKS Inisiasi dan Adaptasi Media, dan PKS Produksi Massal. Kultur jaringan ini bertujuan untuk mendukung pilar pembangunan ekonomi dalam SDGs 2030 melalui keberlanjutan peluang kerja dan usaha serta inovasi pertanian dengan kemitraan.

Kata Kunci : Bibit, Kultur Jaringan, Entrepreneurship

PENDAHULUAN

Kebutuhan bibit pertanian baik pangan maupun non pangan semakin meningkat dari tahun ke tahun. Peningkatan ini membutuhkan bibit dalam jumlah yang sangat banyak, dengan kualitas bermutu, sehat, sesuai dengan kebutuhan masyarakat, dan dapat bersaing di pasar global. Bibit unggul yang dihasilkan oleh pemulia tanaman (*breeder*) jumlahnya terbatas, dan untuk mengembangkannya dalam jumlah yang banyak dan cepat secara konvensional sulit terpenuhi. Untuk mengantisipasi masalah tersebut adalah melalui kultur jaringan. Teknik kultur jaringan merupakan teknologi yang sudah cukup lama ditemukan, mudah untuk dilaksanakan oleh kalangan praktisi agribisnis. Walaupun demikian penerapan teknologi tersebut membutuhkan keterampilan dan pengetahuan dasar untuk menunjang keberhasilannya. Untuk bergerak di dunia pertanian, khususnya di bidang teknik kultur jaringan maka perlu memperhatikan yaitu 3K (Kualitas, Kuantitas dan Kontinuitas). Tanaman hasil kultur jaringan yang ditanam di lapangan secara penampakan tidak berbeda dibandingkan perbanyakannya secara konvensional, bahkan pertumbuhan di lapangan terlihat lebih cepat. Contohnya pada tanaman pisang hasil kultur jaringan mulai berbuah pada umur 8 bulan, lebih cepat dibandingkan dengan perbanyakannya konvensional yang mulai berbuah umur 12 bulan.

Apabila memilih usaha dalam bidang kultur jaringan perlu ditetapkan jenis dan jumlah macam tanaman, penjualan dalam bentuk botol atau *community pot* dalam *tray*, atau dari a sampai z (dari bibit dalam botol sampai dewasa), dari produsen sampai *retail*. Semua itu disesuaikan dengan modal, ruang/tempat usaha, waktu, dan tenaga. Saat ini, permasalahannya bukan terletak pada *customer*, tapi ada didalam pelakunya/produsen. Makin besar perusahaan makin hierarki, maka makin cenderung orang-orang di perusahaan sulit membaca perubahan pasar yang zaman ini sudah serba *digital*.

Jika kita yang berwiraswasta di bidang kultur jaringan, supaya selalu *update* sekalian untuk pemasarannya, kita dapat mengikuti pameran-pameran, dapat menjadi anggota perkumpulan/kelompok organisasi / asosiasi, membuat *blog*, *website* atau media promosi di *platform digital* dan sebagainya. Sebagai contoh bagaimana dengan penjualan bibit pisang kultur jaringan? Ini dapat dilakukan kerjasama dengan dinas pertanian, PPL setempat yang mengembangkan tanaman pisang. Selain itu dapat pula kerjasama dengan sebuah perusahaan sebagai program *Cooperate Social Responsibility* (CSR) dengan cara petani memelihara bibit di lahannya sendiri dan hasil dibeli serta dipasarkan perusahaan. Umumnya petani hanya butuh kepastian pemasaran. Selain itu dapat juga selama 8 bulan sejak penanaman, kita sudah menjalin kerja sama dengan supermarket, toko buah, juga pedagang pengepul di pasar tradisional.

Sebagai wiraswasta kultur jaringan, kita dapat juga melakukan usaha kerja sama perbanyak tanaman di laboratorium kultur jaringan tanaman yang kita miliki dengan perjanjian kerja sama (PKS) disertai dengan *down payment* (DP) dimulai dari 30% - 50% dari total order (ini dapat menjadi modal awal inisiasi dan produksi massal). Berikut contoh bentuk kerja sama hasil/produk kultur jaringan :

- (1) Kerja sama produksi massal dengan eksplan steril dan formulasi media dari *customer* bisa langsung 1 Perjanjian Kerja Sama (PKS Produksi Massal).
- (2) Kerja sama produksi massal dengan eksplan steril dari *customer* dan formulasi media dari laboratorium kita. Ini harus dibuat 2 PKS (PKS Adaptasi Media dan PKS Produksi Massal).
- (3) Kerja sama eksplan non steril dari *customer*, sedangkan sterilisasi, inisiasi, dan adaptasi media dari laboratorium kita. Ini perlu dibuatkan 2 PKS (PKS Inisiasi+ Adaptasi Media, dan PKS Produksi Massal). Pemisahan inisiasi+adaptasi media dengan produksi massal untuk mencegah ketidaktepatan produksi dan serah terima bibit kepada pihak *customer*.

DAFTAR PUSTAKA

- Chen, Wensheng. 2021. *Tantangan dan Peluang untuk Pertanian Tiongkok: Menyediakan Pangan bagi Banyak Orang Seraya Tetap Melindungi Lingkungan*. PT Pustaka Obor Indonesia, DKI Jakarta.
- Clercq Matthieu De, dkk. 2018. *Agriculture 4.0 : The Future Of Farming Technologi*. World Government Submmite Collaboration whit Oliver Wyman.
- Gore, Al. 2009. *Our Choice: A Plan to Solve The Climate Crisis*. Bloomsbury.
- Lestari Endang G. 2018. *Peranan Kultur Jaringan Untuk Pengadaan Bibit Unggul*. Bandung :Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Bioteknologi dan Sumber Daya Genetik Pertanian.
- Riduan Ahmad, dkk. 2018. "Program Pengembangan Kewirausahaan (PPK) Produk Unggulan Pertanian demi Terciptanya Agropreneur Muda". *Proceeding of Community Development Volume 2* (Hal. 99-105).
- Ross, Alec. 2019. *The Industries of The Future*. Renebook.
- Srivas Apoorva, Onkar Sumant. 2022. "Plant Tissue Culture Market by Crop Type, (Banana Plants, Floriculture Plants, Wood Producing Plants, Fruit Plants, Vegetable Plants, Ornamental Plants, Aquatic Plants And Others), Stage, (Explant Preparation And Inoculation, Multiplication And Hardening) End User, (Agriculture, Research, Gardening & Decoration And Forestry & Botanical Garden): Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2021–2030". <https://www.alliedmarketresearch.com/plant-tissue-culture-market-A14265> diakses pada 11 Agustus 2022

Vol. 1 No. 1 (2022): SNSE VIII
Universitas PGRI Semarang, 27 Agustus 2022
ISSN : 2964-1411

Integrasi *Life-Long Learning* dalam Pembelajaran Sains Untuk Mendukung Sdgs 2030

Muhammad Syaipul Hayat
Universitas PGRI Semarang
m.syaipulhayat@upgris.ac.id

Abstrak – Permasalahan krisis pangan menjadi isu serius yang sedang dihadapi oleh seluruh negara, termasuk Indonesia. Hal tersebut disebabkan karena beberapa faktor utama, seperti perubahan iklim, perubahan paradigma dan tatanan hidup masyarakat serta lahan pertanian yang semakin terbatas. Kondisi demikian sangat berpengaruh terhadap kedaulatan pangan suatu negara, bahkan mengancam terhadap aspek-aspek prinsip bagi kehidupan sosial masyarakat, seperti kemiskinan, kesehatan dan kesejahteraan hidup yang merupakan fokus SDGs pilar pembangunan sosial. Oleh karenanya, kita perlu bekerjasama dengan pemerintah untuk membangun gagasan strategis dalam mengatasi permasalahan tersebut. Sektor pertanian/ hortikultura menjadi fokus utama dalam situasi ini, inovasi-inovasi pertanian diharapkan dapat menjawab segala tantangan yang sedang dihadapi, salah satunya melalui metode kultur jaringan. Gerakan sadar akan ketahanan pangan perlu ditanamkan sejak dini, agar setiap komponen masyarakat memiliki rasa peduli dan tanggungjawab terhadap kebutuhan tersebut. Pendidikan menjadi bagian penting dalam menanamkan nilai-nilai tersebut, yaitu dengan melakukan perubahan paradigma dalam pembelajaran, khususnya bidang sains untuk diarahkan pada penanaman nilai-nilai *life-long learning*, seperti: berpikir kompleks, memproses informasi, efektif berkomunikasi, produktif berkolaborasi dan memiliki *Habits of Mind* yang baik. Dengan demikian, akan dilahirkan Sumber Daya Manusia Unggul yang siap menghadapi tantangan global dan mendukung pencapaian Sustainable Development Goals (SDGs) pada tahun 2030.

Kata kunci: *life-long learning*, pembelajaran sains, Sustainable Development Goals (SDGs)

PENDAHULUAN

Krisis pangan dewasa ini tengah menjadi permasalahan serius yang dihadapi oleh seluruh negara, termasuk Indonesia. Kondisi tersebut disebabkan karena beberapa faktor utama, seperti perubahan iklim, perubahan paradigma dan tatanan hidup masyarakat serta lahan pertanian yang semakin terbatas (Mudrieq, 2014; Pasandaran et al., 2011). Situasi demikian sangat berpengaruh terhadap kedaulatan pangan suatu negara, bahkan mengancam terhadap aspek-aspek prinsip bagi kehidupan sosial masyarakat, seperti kemiskinan, kesehatan dan kesejahteraan hidup yang merupakan fokus SDGs pilar pembangunan sosial (Hadi et al., 2019; Arwan et al., 2022). Kedaulatan pangan dapat diposisikan sebagai strategi pokok untuk mencapai tujuan pembangunan pangan nasional, yakni ketahanan pangan. Kedaulatan pangan tidak menggantikan, namun menjadi pelengkap atau pendukung bahkan menjadi basis untuk tercapainya ketahanan pangan yang sejati. Dengan mengimplementasikan spirit kedaulatan pangan, maka ketahanan pangan global akan lebih mampu dicapai secara kokoh dan berkeadilan (Syahyuti et al., 2016). Indonesia sejatinya memiliki kekayaan sumber daya alam hayati yang melimpah, seperti keanekaragaman hayati pada hutan tropis (Walujo, 2011).

SDGs membawa 5 prinsip-prinsip mendasar yang menyeimbangkan dimensi ekonomi, sosial, dan lingkungan, yaitu 1) *People* (manusia), 2) *Planet* (bumi), 3) *Prosperity* (kemakmuran), 4) *Peace* (perdamaian), dan 5) *Partnership* (kerjasama). Kelima prinsip dasar ini dikenal dengan istilah 5 P dan menaungi 17 Tujuan dan 169 Sasaran yang tidak dapat dipisahkan, saling terhubung, dan terintegrasi satu sama lain guna mencapai kehidupan manusia yang lebih baik (Panuluh & Fitri, 2016). Dalam SDGs dinyatakan *no poverty* (tanpa kemiskinan) sebagai poin pertama prioritas pengentasan dan merupakan bagian dari

fokus pembangunan sosial. Hal ini berarti dunia bersepakat untuk meniadakan kemiskinan dalam bentuk apapun di seluruh penjuru dunia, tidak terkecuali Indonesia (Ishartono & Raharjo, 2016).

Oleh karenanya, kita perlu bekerjasama dengan pemerintah untuk membangun gagasan strategis dalam mengatasi permasalahan tersebut. Sektor pertanian/ hortikultura menjadi fokus utama dalam situasi ini, inovasi-inovasi pertanian diharapkan dapat menjawab segala tantangan yang sedang dihadapi, salah satunya melalui metode kultur jaringan (Nasution, 2022). Gerakan sadar akan ketahanan pangan perlu ditanamkan sejak dini, agar setiap komponen masyarakat memiliki rasa peduli dan tanggungjawab terhadap kebutuhan tersebut. Pendidikan menjadi bagian penting dalam menanamkan nilai-nilai tersebut, yaitu dengan melakukan perubahan paradigma dalam pembelajaran. Maka, pembelajaran sains khususnya biologi harus diorientasikan pada pembekalan *lifelong learning* bagi generasi masa depan, khususnya integrasi kemajuan biologi dan teknologi yang dapat melahirkan inovasi bermanfaat dan memberikan pengaruh nyata bagi kehidupan (Hayat dan Rustaman, 2017). Pembelajaran sains yang lebih menekankan penguasaan konsep tanpa pembekalan *lifelong learning* turut memperparah kondisi yang tidak menjanjikan meski memiliki ijazah pada pelbagai level pendidikan, sehingga menantang para pendidik calon guru dan praktisi pendidikan untuk mencari solusinya (Rustaman, 2016). Hal tersebut selaras dengan pernyataan Cummins & Kunkel (2015), bahwa kebutuhan akan pengembangan keterampilan yang berkelanjutan akan terus dirasakan oleh setiap orang dari segala usia karena banyak pekerjaan di masa depan yang tidak ada saat ini.

Lifelong learning telah menjadi kata kunci di hampir semua negara karena pengaruhnya yang semakin besar pada kebijakan pendidikan di dunia global (Regmi, 2015), bahkan saat ini telah menjadi agenda pembangunan internasional (Preece, 2013). Sebagai contoh, di Singapura *lifelong learning* menjadi topik besar dalam wacana sumber daya manusia, pekerjaan, wirausaha dan pendidikan nasional. Bahkan pemerintah telah menerapkan *lifelong learning* dalam pendidikan sebagai strategi untuk bertahan hidup di negara ini (Ng, 2013). Di negara lain seperti China, *lifelong learning* telah menjadi fenomena global yang secara signifikan mengubah bentuk dasar sistem pendidikan nasional secara konvensional. *Lifelong learning* di China berpotensi untuk menawarkan perubahan nyata pada tujuan sosial yang dipertahankan sampai tingkat tertentu (Wang & Weidlich, 2017). Sementara di Eropa, *lifelong learning* adalah prioritas Uni Eropa yang sudah berlangsung lama, dengan penekanan pada kebutuhan utama yang dikejar semua orang (Ingham, et al. 2016).

Lifelong learning harus memiliki tujuan untuk pembelajaran yang bermakna dan menyenangkan. Hal tersebut sebagaimana dikemukakan oleh Li (2016) dalam laporan penelitiannya bahwa pembelajaran transformatif mahasiswa adalah hasil dari kebahagiaan, kegembiraan, kesuksesan, dan disposisi transformatif untuk *lifelong learning* serta berbagai tantangan, penderitaan dan kesulitannya. Penelitian lain yang dilakukan oleh Shan (2017) di China mengemukakan bahwa *lifelong learning* telah diposisikan secara pragmatis untuk mendukung proyek pembangunan modernis negara tersebut, yang berpuncak pada proklamasi untuk beralih dari "made in China," yaitu ekonomi berbasis manufaktur, menjadi "created in China", yaitu ekonomi berbasis pengetahuan.

Dalam implementasinya, agar seluruh tujuan dari *lifelong learning* ini dapat tercapai dengan baik, maka perlu dirumuskan dalam kurikulum pendidikan formal. Hal ini telah dilakukan di negara Ghana yang mengintegrasikan *lifelong learning* pada kerangka kerja kualifikasi nasional. Penerapan kerangka kerja kualifikasi nasional (NQF) di Ghana didasari oleh hasil laporan dari beberapa negara di dunia yang telah menunjukkan keberhasilan penerapan *lifelong learning* di bidang pembelajaran formal (Owusu-Agyeman, 2017). Perumusan kurikulum tentang *lifelong learning* bukan hanya tentang strategi implementasinya saja, akan tetapi asesmennya juga harus disiapkan dengan baik. Sebagaimana hasil

penelitian Nguyen & Walker (2014), bahwa asesmen *lifelong learning* secara berkelanjutan dapat mengembangkan kemampuan dan pengetahuan siswa secara ekspansif.

Menjawab tantangan tersebut, salah satu program pembelajaran yang strategis untuk menyiapkan SDM yang bervisi pada *life-long learning* adalah program pembelajaran inkuiri berorientasi entrepreneurship. Program pembelajaran tersebut merupakan integrasi dari sintaks model inkuiri 5E (Engagement, Exploration, Explain, Elaboration, and Evaluation) yang diadaptasi dari framework Bybee (2009) dengan nilai-nilai entrepreneurship yang dirancang oleh CEE (2004), sehingga diberi nama inkuiri 5E+e. Pada akhirnya, ketika peserta didik mempelajari konsep sains dengan program pembelajaran inkuiri 5E+e, diharapkan dapat membekalkan *lifelong learning* pada dirinya. Mereka menjadi lebih terampil untuk berpikir kompleks, selalu memproses terlebih dahulu setiap memperoleh informasi, terampil dalam berkomunikasi, mampu berkolaborasi dengan baik bersama tim, dan menjadikan *habits of mind* sebagai *best practice* pada setiap pembelajaran (Marzano et al., 1994). Penjelasan mengenai paradigma penelitian ini diilustrasikan pada.

Kajian tentang *Life-long Learning*

Life-long learning adalah sebuah paradigma pendidikan yang mengarahkan pembelajaran pada pembekalan keterampilan dan kecakapan hidup bagi peserta didik secara berkelanjutan. *Life-long learning* dicetuskan oleh UNESCO yang terdiri dari empat pilar pendidikan yang berorientasi terhadap kehidupan, yaitu *learning to know*, *learning to do*, *learning to live together*, dan *learning to be* (Delors, 1996; Cummins & Kunkel, 2015). Nilai-nilai yang tertuang dalam empat pilar pendidikan tersebut sangat relevan dengan prinsip dari program yang dikembangkan (inkuiri 5E+e), yaitu belajar untuk menguasai pengetahuan, belajar dengan melakukan tindakan sebagai bentuk implementasi dari konsep yang dipelajari, belajar bersama-sama dengan teman sejawat dalam kolaboratif *learning* secara produktif, dan belajar untuk orientasi masa depan dengan menerapkan konsep pada kehidupan nyata secara berkelanjutan.

Life-long learning telah menjadi fenomena global yang secara signifikan mengubah bentuk dasar sistem pendidikan nasional secara konvensional dan telah menjadi kata kunci di hampir semua negara karena pengaruhnya yang semakin besar pada kebijakan pendidikan di dunia global, bahkan saat ini telah menjadi agenda pembangunan internasional (Preece, 2013; Regmi, 2015; Wang *et al.*, 2017). *Life-long learning* saat ini menjadi topik besar dalam wacana sumber daya manusia, pekerjaan, wirausaha dan pendidikan nasional, dan prioritas Uni Eropa yang sudah berlangsung lama, dengan penekanan pada kebutuhan utama yang dikejar semua orang (Ng, 2013; Ingham *et al.*, 2016). *Life-long learning* di negara China telah diposisikan secara pragmatis untuk mendukung proyek pembangunan modernis negara tersebut, yang berpuncak pada proklamasi untuk beralih dari "*made in China*," yaitu ekonomi berbasis manufaktur, menjadi "*created in China*," yaitu ekonomi berbasis pengetahuan (Shan, 2017). Sejalan dengan pemikiran para ahli sebelumnya, Hanemann (2015) memberikan pandangan bahwa dunia terus mengalami perubahan sangat cepat dan *life-long learning* menjadi semakin penting, tidak hanya sebagai prinsip pengorganisasian kunci untuk semua bentuk pendidikan dan pembelajaran, tetapi juga sebagai kebutuhan mutlak bagi setiap orang.

Pembelajaran merupakan transformasi dari kebahagiaan, kegembiraan dan kesuksesan mahasiswa yang didisposisikan untuk *life-long learning* serta berbagai tantangan, penderitaan dan kesulitannya (Li, 2016). Pembelajaran sains khususnya Biologi harus diorientasikan pada pembekalan *life-long learning* bagi generasi masa depan, khususnya integrasi kemajuan Biologi dan teknologi yang dapat melahirkan inovasi bermanfaat dan memberikan pengaruh nyata bagi kehidupan (Hayat dan Rustaman, 2017).

Pembelajaran sains yang lebih menekankan penguasaan konsep tanpa pembekalan *life-long learning* turut memperparah kondisi yang tidak menjanjikan meski memiliki ijazah pada pelbagai level pendidikan, sehingga menantang para pendidik calon guru dan praktisi pendidikan untuk mencari solusinya (Rustaman, 2016). Hal tersebut selaras dengan pernyataan Cummins (2015), bahwa kebutuhan akan pengembangan keterampilan yang berkelanjutan akan terus dirasakan oleh setiap orang dari segala usia karena banyak pekerjaan di masa depan yang tidak ada saat ini.

Life-long learning didefinisikan sebagai atribut yang melibatkan serangkaian kegiatan yang diprakarsai sendiri dan keterampilan mencari informasi dengan motivasi yang berkelanjutan untuk belajar dan kemampuan untuk mengenali kebutuhan belajar sendiri dan dipengaruhi oleh *self efficacy* (Hojat *et al.*, 2003; Bandura, 1986). *Self-efficacy* mempengaruhi bagaimana orang berpikir, merasakan, memotivasi diri, dan bertindak. Bandura (1986) menjelaskan bahwa *self-efficacy* sebagai kepercayaan orang pada kemampuan mereka untuk berhasil melakukan perilaku atau tugas yang diberikan atau kemampuan mereka untuk mengatur dan melaksanakan tindakan yang diperlukan untuk mencapai tujuan.

Demirel & Akkoyunlu (2017) memaparkan bahwa sebagai pembelajar seumur hidup, para siswa harus memiliki keterampilan berikut dalam kehidupan mereka: 1) keterampilan beralasan dan analitis; 2) kemampuan untuk mengintegrasikan informasi dari berbagai disiplin ilmu untuk mensintesis konsep-konsep baru untuk menggambar dan melaksanakan rencana tindakan yang wajar; 3) komunikasi yang efektif, cocok dengan pesan dan audiens; 4) kemampuan untuk menggunakan komputer dan bahkan perangkat lain masih harus diciptakan; dan 5) keterampilan sosial untuk berkomunikasi dan bekerja dengan orang-orang dari beragam budaya dan keahlian.

Candy *et al.* (1994) mengembangkan profil untuk orang yang belajar seumur hidup di pendidikan tinggi, sebagai berikut: 1) memiliki pikiran ingin tahu dengan motivasi untuk belajar, penasaran dan mengikuti pembelajarannya sendiri; 2) melek informasi, memperoleh informasi dari berbagai sumber yang evaluasi dan gunakan; 3) mempelajari informasi secara mendalam tetapi tidak secara dangkal; 4) memiliki sikap positif terhadap pembelajaran dan keterampilan berorganisasi. Individu yang hidup dalam masyarakat informasi akan terus belajar seumur hidup dengan memperoleh keterampilan "belajar cara belajar". Seperti yang disebutkan sebelumnya, belajar bagaimana belajar adalah dasar bagi keberhasilan ekonomi dan pribadi di era informasi ini dan cara terbaik untuk menghadapi tantangan adalah perubahan (Doyle, 1994).

Marzano *et al.* (1994) merumuskan *life-long learning* ke dalam lima standar, yaitu: *Complex thinking, information processing, communication, collaboration, dan habits of mind.*

a. *Complex thinking standards* (Standar *complex thinking*)

Standar ini mengandung dua indikator, yaitu: 1) efektif menggunakan berbagai strategi penalaran yang kompleks; serta 2) efektif menerjemahkan masalah dan situasi ke dalam tugas yang dapat diatur yang memiliki tujuan yang jelas. Ada banyak upaya untuk mengidentifikasi berbagai proses penalaran yang kompleks yang dilakukan orang. Meskipun para peneliti yang berbeda telah memberikan berbagai macam proses ini, mereka pada umumnya mengenal komponen kognitif yang sama. Berikut adalah tiga belas proses *complex thinking* yang dapat diidentifikasi: membandingkan, mengklasifikasi, induksi, deduksi, menganalisis kesalahan, membangun dukungan, abstraksi, perspektif analisis, pengambilan keputusan, penyelidikan, inkuiri eksperimental, penyelesaian masalah, dan penemuan.

b. *Information processing standards* (Standar *information processing*)

Pada standar kedua ini terdapat empat indikator, yaitu:

- 1) efektif menggunakan berbagai teknik pengumpulan dan sumber informasi,
 - 2) efektif menafsirkan dan mensintesis informasi,
 - 3) secara akurat mengases nilai informasi, serta
 - 4) mengenali di mana dan bagaimana proyek akan mendapatkan keuntungan dari informasi tambahan.
- c. *Effective communication standards* (Standar berkomunikasi yang efektif)
Setelah menyelesaikan tugas melalui proses informasi, peserta didik biasanya harus berkomunikasi dengan orang lain tentang apa yang telah mereka pelajari, seperti dalam menciptakan produk. Pada standar ini dikembangkan lima indikator mengenai komunikasi dan produksi yang efektif.
- 1) mengungkapkan gagasan dengan jelas,
 - 2) berkomunikasi secara efektif dengan khalayak yang beragam,
 - 3) berkomunikasi secara efektif dengan berbagai cara,
 - 4) berkomunikasi secara efektif untuk berbagai tujuan,
 - 5) menciptakan produk berkualitas
- d. *Cooperation/ collaboration standards* (Standar berkolaborasi/ kooperatif)
Salah satu realisasi pendidikan utama dalam dekade terakhir adalah bahwa peserta didik lebih banyak diajak bekerja dalam kelompok, bukan secara mandiri untuk menyelesaikan tugasnya. Pada standar ini dikembangkan empat indikator mengenai kolaborasi dan kerja sama yang efektif, yaitu:
- 1) bekerja menuju pencapaian tujuan kelompok,
 - 2) efektif menggunakan keterampilan interpretasi,
 - 3) berkontribusi pada pemeliharaan kelompok,
 - 4) efektif melakukan berbagai peran.
- e. *Effective habits of mind standards* (Standar kebiasaan berpikir yang efektif)
Manusia memiliki kemampuan untuk mengendalikan perilaku mereka sendiri, bahkan proses pemikiran mereka sendiri, dengan menggunakan kebiasaan berpikir yang efektif. Pada standar ini diidentifikasi menjadi tiga indikator, yaitu:
- 1) *Self-regulation* (pengendalian diri)
 - 2) *Critical thinking* (berpikir kritis)
 - 3) *Creative thinking* (berpikir kreatif)

Kajian tentang Pembelajaran sains

Sains (*science*) berasal dari bahasa latin, yaitu "*scientia*" yang berarti pengetahuan (*knowlegde*), pengertian, faham yang benar dan mendalam (Fisher, 1975). Lebih lanjut Fisher (1975) menjelaskan bahwa sains merupakan tubuh dari pengetahuan (*body of knowledge*) yang dibentuk melalui proses inkuiri secara terus menerus. Menurut Mariana & Praginda (2009) sains adalah ilmu pengetahuan atau kumpulan konsep, prinsip, hukum, dan teori yang dibentuk melalui proses kreatif yang sistematis melalui inkuiri dengan proses observasi (empiris) secara terus-menerus yang melibatkan operasi mental, dengan dilandasi sikap ingin tahu, keteguhan hati, ketekunan, dan dapat diuji kembali kebenarannya untuk mengungkapkan rahasia alam semesta.

Sains lebih dikenal dengan Ilmu Pengetahuan Alam, memiliki sifat dan karakteristik yang unik yang membedakannya dari ilmu lainnya (Toharudin *et al.*, 2011). Wonoraharjo (2010) menguatkan bahwa ilmu pengetahuan alam (IPA) adalah sekumpulan pengetahuan yang diperoleh melalui metode tertentu. Proses pencariannya telah diuji kebenarannya secara bersama-sama oleh beberapa ahli sains

dan pengikutnya. Samatowa (2010) menjelaskan bahwa sains dalam arti sempit sebagai disiplin ilmu yang meliputi *physical sciences* dan *life sciences*. *Physical sciences* adalah ilmu-ilmu astronomi, kimia, geologi, mineralogi, meteorologi, dan fisika; sedangkan *life sciences* meliputi ilmu Biologi, seperti anatomi, fisiologi, zoologi, citologi, dan sebagainya.

Khalick *et al.*, (1997) menyatakan bahwa hakikat sains atau *Nature of Science* (NoS) merupakan pengetahuan tentang epistemologi (metode) dari sains, proses terjadinya sains, atau nilai dan keyakinan yang melekat untuk mengembangkan sains. Pendapat tersebut diperkuat oleh Carin & Sund (1997) yang menyatakan bahwa hakikat sains meliputi *scientific product*, *scientific processes*, dan *scientific attitudes*. Produk sains yang meliputi fakta, konsep, prinsip diperoleh melalui serangkaian proses penemuan ilmiah dengan metode ilmiah dan didasari oleh sikap ilmiah.

Sains atau IPA bagi banyak mahasiswa calon guru adalah *body of knowledge* yang berisi kumpulan hasil observasi dan penelitian yang menjelaskan apa, mengapa, dan bagaimana suatu fenomena terjadi (Aguirre & Haggerty, 1995; Gustafon & Rowell, 1995). Pembelajaran sains bertujuan untuk membantu siswa mengembangkan keterampilan berpikir kritis dan kreatif, kebebasan dalam berpikir, membangun penguasaan konsep esensial, serta bentuk-bentuk dasar berpikir saintifik, membangun kepercayaan diri dalam mengajukan masalah atau pertanyaan serta menyelesaikannya atau mencari pemecahannya (Lawson, 1995).

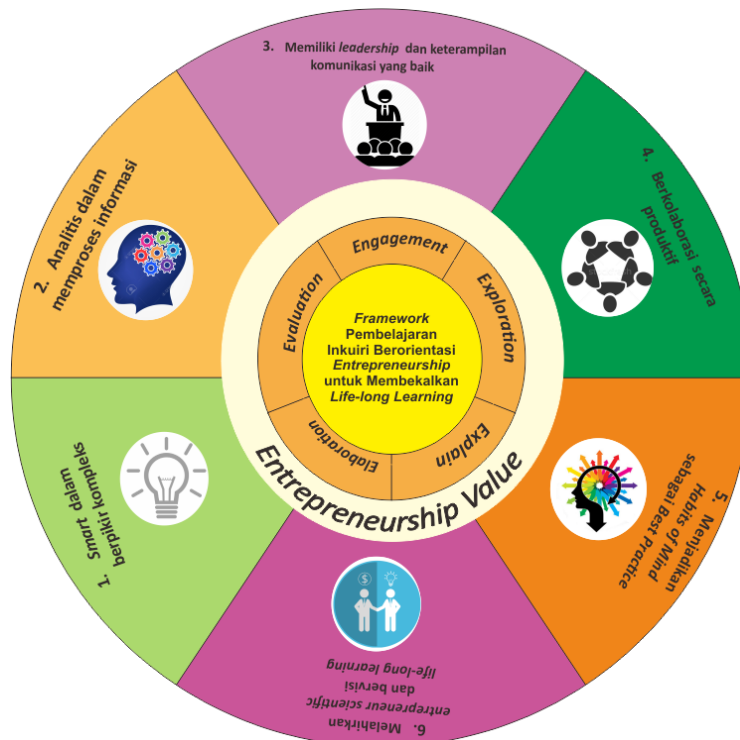
Menurut De Boer (1991), kurikulum pendidikan sains harus sesuai dengan tujuan pendidikan sains. Adapun tujuan pendidikan sains yang diharapkan adalah 1) meningkatkan kesejahteraan masyarakat melalui pendidikan; 2) mengembangkan hubungan sains dan keindahan alam; 3) menarik minat peserta didik untuk melakukan studi lanjut pada bidang sains; 4) mengembangkan kemampuan peserta didik untuk mengobservasi, membuat pengukuran yang teliti terhadap suatu fenomena, mengklasifikasikan pengamatan dan membuat penalaran secara jelas terhadap hasil pengamatan; 5) pemahaman yang jelas tentang prinsip-prinsip masing-masing cabang sains (fisika, kimia dan Biologi).

Hakikat pendidikan sains dipandang berfaedah bagi suatu bangsa. Kesejahteraan materil suatu bangsa banyak sekali tergantung kepada kemampuan bangsa itu dalam bidang sains, sebab sains merupakan dasar teknologi. Sedangkan teknologi disebut-sebut sebagai tulang punggung pembangunan. Suatu teknologi tidak akan berkembang pesat jika tidak didasari pengetahuan dasar yang memadai. Sedangkan pengetahuan dasar untuk teknologi adalah IPA (Sumatowa, 2010). Rustaman (2005) memaparkan bahwa keterampilan proses sains memiliki pengaruh dalam pendidikan sains karena membantu siswa untuk mengembangkan keterampilan intelektual, keterampilan manual dan keterampilan sosial. Akinbobola dan Afo-labi (2010) menambahkan bahwa keterampilan proses sains berfungsi sebagai kompetensi yang efektif untuk mempelajari ilmu pengetahuan dan teknologi, pemecahan masalah, pengembangan individu dan sosial.

Paradigma pembelajaran sains telah mengalami perubahan dari sebelumnya dan memerlukan adanya masalah yang terintegrasi dengan lingkungan, tujuan belajar dimulai dengan yang ingin diketahui oleh siswa (Ramsey, 1995). Dalam pelaksanaan pembelajaran sains, siswa dituntut untuk mengembangkan keterampilan proses sains, berpikir induktif, sikap ilmiah, keterampilan manipulasi alat, keterampilan komunikasi yang semuanya terintegrasi dalam keterampilan dasar kerja ilmiah (Rustaman, 2003a). Dewasa ini, pembelajaran sains diadaptasikan dengan tuntutan kompetensi abad 21. Perubahan tersebut dilakukan untuk mempersiapkan Sumber Daya Manusia (SDM) yang handal, survive dan mampu bersaing dengan tantangan global.

Framework Pembelajaran Inkuiri 5E+e untuk Membekalkan *Life-long learning*

Dari seluruh rangkaian penelitian yang telah dilakukan dihasilkan luaran dalam bentuk *framework* pembelajaran inkuiri berorientasi *entrepreneurship* (inkuiri 5E+e) untuk membekalkan *life-long learning*. *Framework* tersebut sudah teruji secara logis maupun secara empiris, karena *framework* ini dikembangkan berdasarkan studi pendahuluan, validasi *expert*, uji coba keterbacaan dan keterlaksanaan, uji coba efisiensi program dan implementasi program pada dua mata kuliah, yaitu Keanekaragaman Tumbuhan dan Hortikultura. Seluruh tahapan penelitian tersebut cukup kuat untuk menjadi dasar bahwa program pembelajaran inkuiri 5E+e yang dikembangkan adalah kredibel. Ilustrasi *framework* pembelajaran inkuiri 5E+e untuk membekalkan *life-long learning* disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. *Framework* Pembelajaran Inkuiri 5E+e untuk Membekalkan *Life-long learning* mahasiswa

Deskripsi dari *framework* program pembelajaran inkuiri 5E+e untuk membekalkan *life-long learning* dijelaskan sebagai berikut.

- 1) Program ini didasari oleh model pembelajaran inkuiri yang diadaptasi dari *framework* inkuiri Bybee (2009). Model pembelajaran inkuiri tersebut terdiri dari sintaks 5E, yaitu *Engagement*, *Exploration*, *Explain*, *Elaboration*, dan *Evaluation*. Kelima tahap tersebut diterapkan dalam pembelajaran Biologi (Keanekaragaman Tumbuhan dan Hortikultura) yang diintegrasikan dengan nilai-nilai *entrepreneurship*. Kelima tahap 5E ditambah dengan nilai-nilai *entrepreneurship* diterapkan pada setiap tahap program, yaitu tahap dasar, pengembangan, penguatan dan mahir.
- 2) Nilai-nilai *entrepreneurship* yang diintegrasikan dengan model pembelajaran inkuiri 5E diadaptasi dari *framework Consortium for Entrepreneurship Education* (CEE, 2004), sehingga menjadi sebuah program pembelajaran inkuiri berorientasi *entrepreneurship*, atau disebut dengan nama inkuiri 5E+e. Dari sejumlah indikator keterampilan *entrepreneurship* yang dirumuskan oleh CEE (2004), diambil delapan yang digunakan dalam penelitian ini. Dasar pertimbangan diambilnya delapan indikator

tersebut adalah ditinjau dari relevansinya dengan tahapan program pembelajaran yang dikembangkan, yaitu: 1) tahap program dasar, keterampilan *entrepreneurship* yang dilatihkan: sikap/perilaku wirausaha dan penemuan konsep wirausaha; 2) tahap pengembangan: pengembangan konsep wirausaha dan penyiapan sumber daya; 3) tahap penguatan: literasi ekonomi dan keuangan serta manajemen usaha; 4) tahap mahir: manajemen pemasaran dan keterampilan digital. Kedelapan indikator *entrepreneurship* tersebut ditanamkan pada empat tahap program yang dirancang, sehingga masing-masing tahap terdapat dua indikator *entrepreneurship* yang dilatihkan.

- 3) Program pembelajaran inkuiri 5E+e memiliki enam *outcomes* yang dapat dicapai. Artinya, mahasiswa yang telah berhasil mengikuti program pembelajaran ini akan memiliki sekurang-kurangnya enam keterampilan dan kecakapan bagi dirinya, antara lain:
 - a) *Smart* dalam berpikir kompleks
Mahasiswa memiliki keterampilan membandingkan, mengklasifikasikan, menganalisis kesalahan, memecahkan masalah, dan keterampilan berpikir kompleks lainnya dengan cerdas. Keterampilan ini seringkali digunakan dalam memikirkan konsep yang sedang dipelajari. Mahasiswa yang terlatih dalam menggunakan keterampilan berpikir kompleks akan lebih baik dalam penguasaan konsepnya.
 - b) Analitis dalam memproses informasi
Mahasiswa memiliki kemampuan dalam menginterpretasi dan mensintesis informasi secara efektif, menggunakan berbagai teknik pengumpulan informasi dan sumber informasi secara efektif, dan akurat dalam mengases informasi yang kredibel. Keterampilan ini digunakan dalam mencari dan menilai informasi penting untuk mendukung terhadap tugas atau permasalahan yang sedang dihadapi. Mahasiswa yang memiliki keterampilan ini cenderung lebih teliti dan analitis. Selain itu, keterampilan memproses informasi sangat mendukung terhadap kemampuan interpretasi dan komunikasi mahasiswa.
 - c) Memiliki *leadership* dan keterampilan komunikasi yang baik
Mahasiswa terlatih untuk memiliki kemampuan memimpin, karena selama mengikuti program pembelajaran inkuiri 5E+e mahasiswa selalu belajar bersama tim dan diberi tugas yang menuntut mereka untuk saling memberikan kontribusi. Situasi tersebut dengan sendirinya melatih mereka untuk berkoordinasi, saling berbagai peran dan diperlukan sikap *leadership* dari setiap anggota untuk mencapai hasil terbaik bagi timnya. Dalam pembelajaran, mahasiswa dilatih untuk berani mengungkapkan gagasan dengan jelas, berkomunikasi dengan khalayak yang beragam secara efektif, dan pada akhirnya mampu menciptakan produk berkualitas secara bersama-sama.
 - d) Berkolaborasi secara produktif
Selama mengikuti program pembelajaran inkuiri 5E+e mahasiswa diajak untuk bekerja bersama tim untuk melakukan suatu proyek. Dengan demikian, mahasiswa mampu menunjukkan prestasi kerja untuk tujuan bersama, menunjukkan keterampilan interpersonal secara efektif, dan dapat melakukan berbagai peran dalam kelompok secara efektif. Kolaborasi yang dilakukan oleh mahasiswa dalam timnya tentu harus diimbangi dengan *scaffolding* yang baik dari dosen, agar kerjasama yang mereka lakukan berjalan secara efisien dan produktif.
 - e) Menjadikan *habits of mind* sebagai *best practice*
Setelah mahasiswa mengikuti seluruh rangkaian program pembelajaran inkuiri 5E+e dengan baik, mereka menjadi terbiasa untuk selalu berpikir kritis dalam menghadapi situasi, kreatif dalam melahirkan gagasan dan solusi, serta selalu menyadari setiap kelebihan dan kekurangan dari pekerjaannya. Ketika mahasiswa sudah terbiasa menggunakan keterampilan-keterampilan

tersebut dalam setiap tindakan, itu artinya mereka telah menerapkan *habits of mind* sebagai *best practice* dalam hidupnya.

- f) Melahirkan *entrepreneurs scientific* dan bervisi *life-long learning*
Outcome ini merupakan parameter keberhasilan mahasiswa paling tinggi dari hasil keikutsertaannya dalam program pembelajaran inkuiri 5E+e. Artinya, mahasiswa sudah memiliki keterampilan yang lengkap dari seluruh aspek yang dibekalkan dalam program ini, karena mahasiswa telah berhasil mencapai indikator-indikator *entrepreneur* yang memperhatikan nilai-nilai sains di dalam konteks wirausahanya. Selain itu, jiwa *entrepreneur* yang dibangun bukan berorientasi pada pencapaian kesuksesan usaha semata, melainkan juga memperhatikan kesinambungan dalam kehidupan sepanjang hayat, salah satunya adalah dengan menjaga pelestarian sumber daya alam hayati. Oleh karenanya, hasil akhir dari program pembelajaran inkuiri 5E+e adalah melahirkan *entrepreneurs scientific* dan bervisi *life-long learning*.

Kajian tentang Sustainable Development Goals (SDGs)

Pembangunan berkelanjutan adalah konsep yang sulit untuk didefinisikan; itu juga terus berkembang, yang membuatnya sangat sulit untuk didefinisikan. Salah satu deskripsi asli pembangunan berkelanjutan dikreditkan ke Komisi Brundtland: “Pembangunan berkelanjutan adalah pembangunan yang memenuhi kebutuhan saat ini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhan mereka sendiri” (Komisi Dunia untuk Lingkungan dan Pembangunan, 1987, hal 43). Pembangunan berkelanjutan umumnya dianggap memiliki tiga komponen: lingkungan, masyarakat, dan ekonomi. Kesejahteraan ketiga bidang ini saling terkait, tidak terpisah. Misalnya, masyarakat yang sehat dan sejahtera bergantung pada lingkungan yang sehat untuk menyediakan makanan dan sumber daya, air minum yang aman, dan udara bersih bagi warganya. Paradigma keberlanjutan menolak anggapan bahwa korban di bidang lingkungan dan sosial adalah konsekuensi yang tak terhindarkan dan dapat diterima dari pembangunan ekonomi.

Deklarasi Rio tentang Lingkungan dan Perkembangan menyempurnakan definisi dengan mendaftarkan 18 prinsip keberlanjutan.

1. Masyarakat berhak atas kehidupan yang sehat dan produktif yang selaras dengan alam.
2. Pembangunan saat ini tidak boleh merusak kebutuhan pembangunan dan lingkungan generasi sekarang dan mendatang.
3. Bangsa memiliki hak berdaulat untuk mengeksploitasi sumber daya mereka sendiri, tetapi tanpa menyebabkan kerusakan lingkungan di luar perbatasan mereka.
4. Negara-negara harus mengembangkan hukum internasional untuk memberikan kompensasi atas kerusakan yang disebabkan oleh kegiatan-kegiatan di bawah kendali mereka ke daerah-daerah di luar perbatasan mereka.
5. Bangsa harus menggunakan pendekatan kehati-hatian untuk melindungi lingkungan. Di mana ada ancaman kerusakan serius atau tidak dapat diubah, ketidakpastian ilmiah tidak boleh digunakan untuk menunda tindakan hemat biaya untuk mencegah degradasi lingkungan.
6. Untuk mencapai pembangunan berkelanjutan, perlindungan lingkungan harus merupakan bagian integral dari proses pembangunan, dan tidak dapat dianggap terpisah darinya. Memberantas kemiskinan dan mengurangi kesenjangan dalam standar hidup di berbagai belahan dunia sangat penting untuk mencapai pembangunan berkelanjutan dan memenuhi kebutuhan sebagian besar orang.
7. Bangsa-bangsa harus bekerja sama untuk melestarikan, melindungi dan memulihkan kesehatan dan integritas ekosistem Bumi. Negara-negara maju mengakui tanggung jawab yang mereka

emban dalam upaya internasional untuk pembangunan berkelanjutan mengingat tekanan yang diberikan masyarakat mereka terhadap lingkungan global dan teknologi serta sumber daya keuangan yang mereka kuasai.

8. Negara-negara harus mengurangi dan menghilangkan pola produksi dan konsumsi yang tidak berkelanjutan, dan mempromosikan kebijakan demografi yang sesuai.
9. Masalah lingkungan paling baik ditangani dengan partisipasi semua warga yang peduli. Bangsa-bangsa harus memfasilitasi dan mendorong kesadaran dan partisipasi publik dengan membuat informasi lingkungan tersedia secara luas.
10. Negara-negara harus memberlakukan undang-undang lingkungan yang efektif, dan mengembangkan undang-undang nasional mengenai tanggung jawab bagi para korban pencemaran dan kerusakan lingkungan lainnya. Di mana mereka memiliki wewenang, negara-negara harus menilai dampak lingkungan dari kegiatan yang diusulkan yang mungkin memiliki dampak merugikan yang signifikan.
11. Bangsa-bangsa harus bekerja sama untuk mempromosikan sistem ekonomi internasional terbuka yang akan mengarah pada pertumbuhan ekonomi dan pembangunan berkelanjutan di semua negara. Kebijakan lingkungan tidak boleh digunakan sebagai cara yang tidak dapat dibenarkan untuk membatasi perdagangan internasional.
12. Pencemar pada prinsipnya harus menanggung biaya pencemaran.
13. Bangsa-bangsa harus saling memperingatkan tentang bencana alam atau kegiatan yang mungkin merugikan dampak lintas batas.
14. Pembangunan berkelanjutan membutuhkan pemahaman ilmiah yang lebih baik tentang masalah-masalah tersebut. Bangsa harus berbagi pengetahuan dan teknologi inovatif untuk mencapai tujuan keberlanjutan.
15. Partisipasi penuh perempuan sangat penting untuk mencapai pembangunan berkelanjutan. Kreativitas, cita-cita dan keberanian pemuda serta pengetahuan masyarakat adat juga dibutuhkan. Bangsa-bangsa harus mengakui dan mendukung identitas, budaya dan kepentingan masyarakat adat.
16. Peperangan secara inheren merusak pembangunan berkelanjutan, dan Bangsa-bangsa harus menghormati hukum internasional yang melindungi lingkungan pada saat konflik bersenjata, dan harus bekerja sama dalam pembentukannya lebih lanjut.
17. Perdamaian, pembangunan dan perlindungan lingkungan saling bergantung dan tak terpisahkan. “Prinsip Rio” memberi kita parameter untuk membayangkan pembangunan berkelanjutan yang relevan secara lokal dan sesuai secara budaya untuk negara, wilayah, dan komunitas kita sendiri. Prinsip-prinsip ini membantu kita untuk memahami konsep abstrak pembangunan berkelanjutan dan mulai menerapkannya.

Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (*Sustainable Development Goals /SDGs*)

Unesco mengelompokkan tujuan pembangunan berkelanjutan atau *Sustainable Development Goals (SDGs)* ke dalam empat pilar pembangunan, yaitu:

a. **Pilar Pembangunan Sosial**

- 1) Tujuan 1 - Tanpa kemiskinan (*No poverty*): Pengentasan segala bentuk kemiskinan di semua tempat.

- 2) Tujuan 2 - Tanpa kelaparan (*Zero hunger*): Mengakhiri kelaparan, mencapai ketahanan pangan dan perbaikan nutrisi, serta menggalakkan pertanian yang berkelanjutan.
- 3) Tujuan 3 - Kehidupan sehat dan sejahtera (*Good health and well-being*): Menggalakkan hidup sehat dan mendukung kesejahteraan untuk semua usia.
- 4) Tujuan 4 - Pendidikan berkualitas (*Quality education*): Memastikan pendidikan berkualitas yang layak dan inklusif serta mendorong kesempatan belajar seumur hidup bagi semua orang.
- 5) Tujuan 5 - Kesetaraan gender (*Gender equality*): Mencapai kesetaraan gender dan memberdayakan semua perempuan.

b. Pilar Pembangunan Ekonomi

- 1) Tujuan 7 - Energi bersih dan terjangkau (*Affordable and clean energy*): Memastikan akses pada energi yang terjangkau, bisa diandalkan, berkelanjutan dan modern untuk semua.
- 2) Tujuan 8 - Pekerjaan layak dan pertumbuhan ekonomi (*Decent work and economic growth*): Mempromosikan pertumbuhan ekonomi berkelanjutan dan inklusif, lapangan pekerjaan dan pekerjaan yang layak untuk semua.
- 3) Tujuan 9 - Industri, inovasi dan infrastruktur (*Industry, innovation, and infrastructure*): Membangun infrastruktur kuat, mempromosikan industrialisasi berkelanjutan dan mendorong inovasi.
- 4) Tujuan 10 - Berkurangnya kesenjangan (*Reduced inequalities*): Mengurangi kesenjangan di dalam dan di antara negara-negara.
- 5) Tujuan 17 - Kemitraan untuk mencapai tujuan (*Partnerships for the goals*): Menghidupkan kembali kemitraan global demi pembangunan berkelanjutan.

c. Pilar Pembangunan Lingkungan

- 1) Tujuan 6 - Air bersih dan sanitasi layak (*Clean water and sanitation*): Menjamin akses atas air dan sanitasi untuk semua.
- 2) Tujuan 11 - Kota dan komunitas berkelanjutan (*Sustainable cities and communities*): Membuat perkotaan menjadi inklusif, aman, kuat, dan berkelanjutan.
- 3) Tujuan 12 - Konsumsi dan produksi yang bertanggung jawab (*Responsible consumption and production*): Memastikan pola konsumsi dan produksi yang berkelanjutan
- 4) Tujuan 13 - Penanganan perubahan iklim (*Climate action*): Mengambil langkah penting untuk melawan perubahan iklim dan dampaknya.
- 5) Tujuan 14 - Ekosistem laut (*Life below water*): Pelindungan dan penggunaan samudera, laut dan sumber daya kelautan secara berkelanjutan
- 6) Tujuan 15 - Ekosistem daratan (*Life on land*): Mengelola hutan secara berkelanjutan, melawan perubahan lahan menjadi gurun, menghentikan dan merehabilitasi kerusakan lahan, menghentikan kepunahan keanekaragaman hayati.

d. Pilar Pembangunan Hukum dan tata Kelola

Tujuan 16 - Perdamaian, keadilan dan kelembagaan yang tangguh (*Peace, justice, and strong institutions*): Mendorong masyarakat adil, damai, dan inklusif

Education for Sustainable Development (ESD) lebih dari sekadar basis pengetahuan yang terkait dengan lingkungan, ekonomi, dan masyarakat. Ini juga membahas keterampilan belajar, perspektif, dan nilai-nilai yang membimbing dan memotivasi orang untuk mencari penghidupan yang berkelanjutan, berpartisipasi dalam masyarakat yang demokratis, dan hidup secara berkelanjutan. ESD juga melibatkan mempelajari isu-isu lokal dan, bila perlu, global. Oleh karena itu, kelima (yaitu, pengetahuan, keterampilan, perspektif, nilai-nilai, dan isu-isu) semua harus ditangani dalam kurikulum formal yang telah direorientasikan untuk mengatasi keberlanjutan. Hanya menambahkan lebih banyak ke kurikulum tidak akan layak di sebagian besar sekolah; mereka sudah memiliki kurikulum lengkap. Memutuskan apa yang harus ditinggalkan - apa yang tidak berkontribusi pada keberlanjutan atau sudah usang - merupakan bagian integral dari proses reorientasi.

Mari kita lihat lebih dekat kelima komponen pendidikan yang direorientasikan untuk mengatasi keberlanjutan. Pengetahuan dalam pembangunan berkelanjutan meliputi lingkungan, ekonomi, dan masyarakat. Oleh karena itu, manusia membutuhkan pengetahuan dasar dari ilmu-ilmu alam, ilmu-ilmu sosial, dan humaniora untuk memahami prinsip-prinsip pembangunan berkelanjutan, bagaimana penerapannya, nilai-nilai yang terkandung di dalamnya, dan konsekuensi dari implementasinya. Pengetahuan berdasarkan disiplin tradisional mendukung ESD. Tantangan bagi masyarakat dalam proses pembuatan kurikulum ESD adalah memilih pengetahuan yang akan mendukung tujuan keberlanjutan mereka. Tantangan yang menyertainya adalah mengganti topik-topik yang telah berhasil diajarkan selama bertahun-tahun tetapi tidak lagi relevan.

a. Pengetahuan

Pembangunan berkelanjutan meliputi lingkungan, ekonomi, dan masyarakat. Oleh karena itu, masyarakat membutuhkan pengetahuan dasar dari ilmu alam, ilmu sosial, dan humaniora untuk memahami prinsip-prinsip pembangunan berkelanjutan, bagaimana penerapannya, nilai-nilai yang terkandung, dan konsekuensi implementasinya. Pengetahuan berdasarkan disiplin tradisional mendukung ESD.

Tantangan bagi masyarakat dalam proses pembuatan kurikulum ESD adalah memilih pengetahuan yang akan mendukung tujuan keberlanjutan mereka. Tantangan yang menyertainya adalah melepaskan topik-topik yang telah berhasil diajarkan selama bertahun-tahun tetapi tidak lagi relevan. Jika komunitas Anda belum menentukan tujuan keberlanjutan, Anda dapat mengganti prinsip dan pedoman untuk keberlanjutan. Bagian XII: Latihan untuk Menciptakan Tujuan Keberlanjutan melalui Partisipasi Publik dari Toolkit ini mencakup latihan yang akan membantu masyarakat dalam mengidentifikasi tujuan keberlanjutan masyarakat.

b. Masalah

ESD sebagian besar berfokus pada masalah sosial, ekonomi, dan lingkungan utama yang mengancam kelestarian planet ini. Banyak dari isu-isu kunci ini diidentifikasi pada KTT Bumi di Rio de Janeiro dan ditemukan dalam Agenda 21. Memahami dan menangani isu-isu ini adalah inti dari ESD, dan isu-isu yang relevan secara lokal harus dimasukkan dalam setiap program yang berkaitan dengan pendidikan untuk keberlanjutan.

Sementara Agenda 21 dengan jelas mengidentifikasi banyak isu kritis yang disetujui oleh pemerintah di seluruh dunia untuk ditangani, isu-isu tambahan dibahas yang tidak dapat dicapai kesepakatan atau rencana aksi internasional formal. Selain itu, isu-isu yang penting untuk meningkatkan pemahaman tentang keberlanjutan (misalnya, globalisasi) terus muncul sejak konferensi Rio de Janeiro. Isu tambahan ini, yang tidak termasuk dalam Agenda 21, merupakan

bagian dari diskusi internasional tentang keberlanjutan dan termasuk, namun tidak terbatas pada, topik seperti perang dan militerisme, pemerintahan, diskriminasi dan nasionalisme, sumber energi terbarukan, perusahaan multinasional, pengungsi, nuklir, perlucutan senjata, hak asasi manusia, dan media yang mempengaruhi perubahan pandangan dunia yang cepat. Isu-isu ini berkaitan dengan reorientasi pendidikan untuk mengatasi keberlanjutan dan harus dimasukkan bila relevan. Memasukkan isu-isu lokal akan mendorong solusi inovatif dan mengembangkan kemauan politik untuk menyelesaikannya.

Area konten utama terakhir dalam mendidik untuk keberlanjutan berasal dari konferensi besar PBB pada 1990-an dan milenium baru yang memperluas pemahaman kita tentang pembangunan berkelanjutan. Contoh-contoh utama dari isu-isu yang dieksplorasi adalah Lingkungan dan Pembangunan (Rio de Janeiro, 1992), Konferensi Global PBB tentang Pembangunan Berkelanjutan Negara-negara Berkembang Pulau Kecil (Barbados, 1993), Konferensi Internasional tentang Kependudukan dan Pembangunan (Kairo, 1994), KTT Dunia untuk Pembangunan Sosial (Kopenhagen, 1995), Konferensi Dunia Keempat tentang Perempuan (Beijing, 1996), Konferensi PBB Kedua tentang Pemukiman Manusia (Istanbul, 1996) dan KTT Pangan Dunia (Roma, 1996). Setiap konferensi memajukan pemahaman tentang isu-isu yang menyebabkan banyak penderitaan dan mengancam keberlanjutan global.

Komunitas yang membuat kurikulum ESD tidak dapat mengajarkan semua masalah yang terkait dengan Agenda 21, pernyataan prinsip dan konvensi, dan konferensi besar PBB ini. Kuantitas studi akan sangat banyak. Masyarakat harus, bagaimanapun, memilih beberapa isu di masing-masing dari tiga bidang - lingkungan, ekonomi, dan masyarakat. Isu yang dipilih harus relevan secara lokal. Misalnya, negara yang terkurung daratan dapat mempelajari pembangunan gunung yang berkelanjutan dan mengabaikan atau mengabaikan perlindungan dan pengelolaan lautan secara ringan. Beberapa topik, seperti perempuan dalam pembangunan berkelanjutan atau memerangi kemiskinan, memiliki relevansi dengan setiap negara.

c. Keterampilan

Agar berhasil, ESD harus melampaui pengajaran tentang isu-isu global ini. ESD harus memberi orang keterampilan praktis yang akan memungkinkan mereka untuk terus belajar setelah mereka meninggalkan sekolah, untuk memiliki mata pencaharian yang berkelanjutan, dan untuk menjalani kehidupan yang berkelanjutan. Keterampilan ini akan berbeda dengan kondisi masyarakat. Daftar berikut menunjukkan jenis keterampilan yang dibutuhkan siswa sebagai orang dewasa. Perhatikan bahwa keterampilan termasuk dalam satu atau lebih dari tiga bidang pembangunan berkelanjutan - lingkungan, ekonomi, dan sosial.

1. Kemampuan berkomunikasi secara efektif (baik lisan maupun tulisan).
2. Kemampuan berpikir tentang sistem (baik ilmu alam maupun ilmu sosial).
3. Kemampuan untuk berpikir tepat waktu - untuk meramalkan, berpikir ke depan, dan merencanakan.
4. Kemampuan untuk berpikir kritis tentang masalah nilai.
5. Kemampuan untuk memisahkan jumlah, kuantitas, kualitas, dan nilai.
6. Kapasitas untuk berpindah dari kesadaran ke pengetahuan ke tindakan.
7. Kemampuan untuk bekerja sama dengan orang lain.
8. Kapasitas untuk menggunakan proses-proses ini: mengetahui, bertanya, bertindak, menilai, membayangkan, menghubungkan, menilai, dan memilih.
9. Kapasitas untuk mengembangkan respons estetis terhadap lingkungan (McClaren, 1989).

d. Perspektif

ESD membawa serta perspektif yang penting untuk memahami isu-isu global serta isu-isu lokal dalam konteks global. Setiap masalah memiliki sejarah dan masa depan. Melihat akar masalah dan memperkirakan kemungkinan masa depan berdasarkan skenario yang berbeda adalah bagian dari ESD, seperti pemahaman bahwa banyak masalah global terkait. Misalnya, konsumsi berlebihan barang-barang konsumsi seperti kertas menyebabkan deforestasi, yang dianggap terkait dengan perubahan iklim global.

Kemampuan untuk mempertimbangkan suatu masalah dari pandangan pemangku kepentingan yang berbeda sangat penting untuk ESD. Mempertimbangkan suatu masalah dari sudut pandang lain selain Anda sendiri mengarah pada pemahaman intra-nasional dan internasional. Pemahaman ini penting untuk menciptakan suasana kerja sama yang akan mendukung pembangunan berkelanjutan.

Berikut ini adalah sebagian daftar perspektif yang terkait dengan ESD. Siswa memahami bahwa:

1. Masalah sosial dan lingkungan berubah seiring waktu dan memiliki sejarah dan masa depan.
2. Isu-isu lingkungan global kontemporer terkait dan saling terkait antara dan di antara mereka sendiri.
3. Manusia memiliki atribut universal (misalnya, mereka mencintai anak-anak mereka).
4. Melihat komunitas mereka serta melihat melampaui batas-batas lokal dan nasional diperlukan untuk memahami isu-isu lokal dalam konteks global.
5. Mempertimbangkan pandangan yang berbeda sebelum mencapai keputusan atau penilaian diperlukan.
6. Nilai-nilai ekonomi, nilai-nilai agama, dan nilai-nilai sosial bersaing untuk mendapatkan kepentingan ketika orang-orang dari berbagai kepentingan dan latar belakang berinteraksi.
7. Teknologi dan sains saja tidak dapat menyelesaikan semua masalah kita.
8. Individu adalah warga global di samping warga komunitas lokal.
9. Keputusan konsumen individu dan tindakan lain mempengaruhi ekstraksi sumber daya dan manufaktur di tempat yang jauh.
10. Menerapkan prinsip kehati-hatian dengan mengambil tindakan untuk menghindari kemungkinan kerusakan lingkungan atau sosial yang serius atau tidak dapat diubah bahkan ketika pengetahuan ilmiah tidak lengkap atau tidak meyakinkan diperlukan untuk kesejahteraan jangka panjang komunitas dan planet mereka.

Ketika diajarkan kepada satu generasi murid, perspektif seperti itu akan dimasukkan ke dalam pandangan dunia lokal.

e. Nilai

Nilai juga merupakan bagian integral dari ESD. Dalam beberapa budaya, nilai-nilai diajarkan secara terbuka di sekolah. Namun, dalam budaya lain, bahkan jika nilai-nilai tidak diajarkan secara terbuka, nilai-nilai itu dimodelkan, dijelaskan, dianalisis, atau didiskusikan. Dalam kedua situasi tersebut, memahami nilai-nilai adalah bagian penting dari memahami pandangan dunia Anda sendiri dan sudut pandang orang lain.

Memahami nilai-nilai Anda sendiri, nilai-nilai masyarakat tempat Anda tinggal, dan nilai-nilai orang lain di seluruh dunia adalah bagian utama dari pendidikan untuk masa depan yang berkelanjutan. Dua umum teknik - klarifikasi nilai dan analisis nilai - berguna untuk komponen nilai ESD.

Dalam ESD, nilai memiliki peran yang berbeda dalam kurikulum. Dalam beberapa upaya ESD, siswa mengadopsi nilai-nilai tertentu sebagai hasil langsung dari instruksi atau pemodelan nilai-nilai yang diterima. Dalam budaya lain, mempelajari hubungan antara masyarakat dan lingkungan mengarahkan siswa untuk mengadopsi nilai-nilai yang berasal dari studi mereka. Dalam budaya di mana rasa ingin tahu didorong, siswa menghargai rasa ingin tahu dan bertanya. Dalam masyarakat demokratis, siswa juga mengembangkan nilai-nilai berserta seputar konsep proses demokrasi, partisipasi masyarakat dalam pengambilan keputusan, kesukarelaan, dan keadilan sosial. Masing-masing pendekatan ini berkontribusi pada tujuan keberlanjutan secara keseluruhan.

Keadilan sosial adalah bidang studi lain yang melibatkan nilai-nilai. Keadilan sosial, yang dianggap sebagai bagian sentral dari ESD di sebagian besar negara, mencakup pemenuhan kebutuhan dasar manusia dan kepedulian terhadap hak, martabat, dan kesejahteraan semua orang. Ini mencakup penghormatan terhadap tradisi dan agama dari masyarakat dan budaya lain, dan menumbuhkan empati terhadap kondisi kehidupan orang lain. Keberlanjutan ekologi dan konservasi sumber daya dianggap sebagai bagian dari keadilan sosial. Melestarikan dan melestarikan basis sumber daya orang lain mencegah orang hidup dalam keadaan yang kurang beruntung. Kekhawatiran keadilan sosial yang berkaitan dengan pelestarian sumber daya (misalnya, bahan bakar fosil, hutan tua, dan keanekaragaman spesies) meluas ke generasi mendatang; ini disebut keadilan antar generasi. Nilai-nilai yang diajarkan di sekolah perlu mencerminkan nilai-nilai yang lebih besar dari masyarakat di sekitar sekolah. Jika perlu, pendapat anggota masyarakat dapat diminta. Kemudian, berbagai nilai yang dipengaruhi oleh tradisi lokal, kelompok aborigin, populasi etnis, imigran, agama, media, dan budaya pop akan terungkap, diinventarisasi, dan dipertimbangkan untuk dikaitkan dan dimasukkan ke dalam ESD. Selain itu, pembuat keputusan kurikulum akan memutuskan apakah nilai-nilai baru, yang akan membantu masyarakat mencapai tujuan keberlanjutan mereka, perlu dimasukkan ke dalam kurikulum.

Untuk membuat kurikulum ESD, komunitas pendidikan perlu mengidentifikasi pengetahuan, masalah, perspektif, keterampilan, dan nilai-nilai yang penting bagi pembangunan berkelanjutan di masing-masing dari tiga komponen - lingkungan, ekonomi, dan masyarakat. Namun, ada banyak kemungkinan kombinasi pengetahuan, masalah, keterampilan, perspektif, dan nilai untuk kurikulum ESD. Program harus disesuaikan dengan situasi dan kebutuhan masyarakat. Dengan adanya integrasi nilai-nilai ESD atau tujuan SDGs dalam pendidikan, khususnya pada konsep-konsep sains, diharapkan kita dapat siap untuk menghadapi tantangan global dengan menyiapkan implementasi SDGs di Indonesia pada tahun 2030.

KESIMPULAN

Krisis pangan merupakan isu krusial yang menjadi tanggung jawab bersama. Kita tidak bisa memasrahkan begitu saja permasalahan ini hanya pada pemerintah, atau pada aspek-aspek tertentu seperti bidang pertanian/ hortikultura saja. Oleh karena, krisis pangan yang pada akhirnya berdampak terhadap kedaulatan pangan suatu negara menjadi tanggung jawab semua pihak, tidak terkecuali sektor pendidikan. *Sustainable Development Goals (SDGs)* yang dicetuskan oleh Unesco memiliki visi besar dalam menjaga stabilitas bumi, berbagai disiplin ilmu diintegrasikan untuk saling bahu membahu mengatasi permasalahan global, seperti lahirnya pilar pembangunan sosial yang di dalamnya terdapat andil besar dari sektor pendidikan. Sumber Daya Manusia unggul diharapkan lahir dari dunia pendidikan atas desain yang berorientasi pada SDGs, salah satunya dalam bidang sains. Pembelajaran

yang berorientasi pada life-long learning diharapkan dapat memiliki orientasi hidup yang visioner, yang lebih memikirkan kepentingan dunia secara menyeluruh. Pada akhirnya tercipta masyarakat dunia yang literate dan peduli terhadap lingkungan, ekonomi dan kesejahteraan secara komprehensif. Hal demikian yang saat ini perlu kita persiapkan agar Indonesia siap menghadapi tantangan SDGs 2030.

DAFTAR PUSTAKA

- Arwan, J. F. A. (2021). The Urgency of Climate Change-Based Education For Sustainable Development. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Lingkungan dan Pembangunan*, 22(02), 23-38.
- Bandura, A. (1986). The Explanatory and Predictive Scope of Self-efficacy Theory. *Journal of Clinical and Social Psychology*, 4, 359-373.
- Bybee, R.W. (2009). *The BSCS 5E Instructional Model And 21st Century Skills: A Commissioned Paper Prepared For A Workshop on Exploring The Intersection of Science Education and The Development of 21st Century Skills*. The National Academies Board on Science Education.
- Carin, A. and Sund R.B. (1997). *Teaching Science Through Discovery*. Columbus, Ohio : Merrill Publishing Company.
- Consortium for *Entrepreneurship* Education. (2004). *The National Content Standards for Entrepreneurship Education*. [online]. Tersedia: http://www.entreed.org/Standards_Toolkit/Helpful%20Downloads/NCSEE%20Website.pdf . [11 April 2017].
- Cummins, P. & Kunkel, S. (2015). A Global Examination of Policies and Practices for *Life-long learning*. *New Horizons in Adult Education & Human Resource Development*, 27(3), 3-17.
- Deboer, G.E. (2004). Historical perspectives on inquiry teaching in schools. In L. B. Flick & N. G. Lederman (Eds.), *Scientific inquiry and nature of science: Implications for teaching, learning, and teacher education*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Delors, J. (1996). *Learning: The treasure within*. Paris: UNESCO. Retrieved from www.unesco.org/delors.
- Demirel, M., & Akkoyunlu, B. (2017). Prospective teachers' *life-long learning* tendencies and information literacy self-efficacy. *Educational Research and Reviews*, 12(6), 329–337. <https://doi.org/10.5897/ERR2016.3119>.
- Fisher, R. B. (1975). *Science, Man and Society*. Toronto: Sanders Company.
- Hadi, A., Rusli, B., & Alexandri, M. B. (2019). Dampak undang-undang nomor 12 tentang pangan terhadap ketahanan pangan Indonesia. *Responsive: Jurnal Pemikiran Dan Penelitian Administrasi, Sosial, Humaniora Dan Kebijakan Publik*, 2(4), 173-181.
- Hanemann, U. (2015). Life-long literacy: Some trends and issues in conceptualising and operationalising literacy from a *life-long learning* perspective. *Int Rev Educ*, 61, 295-326.
- Hayat, M.S. dan Rustaman, N.Y. (2017). How is the Inquiry Skills of Biology Preservice Teachers in Biotechnology Lecture?. *J. Phys.: Conf. Ser.* 895 012135, pp 1-6.
- Ingham, H., Ingham, M. & Afonso, J.A. (2016). Participation in *life-long learning* in Portugal and the UK. *Education Economics*.

- Ishatono, I., & Raharjo, S. T. (2016). Sustainable development goals (SDGs) dan pengentasan kemiskinan. *Share: Social Work Journal*, 6(2), 159.
- Khalick, A., Bell, R. L., & Lederman, N. G. (1997). The nature of science and instructional practice: Making the unnatural natural. *Science education*, 82(4), 417-436.
- Li, M. (2016). Developing Skills and Disposition for *Life-long learning*: Acculturative Issues Surrounding Supervising International Doctoral Students in New Zealand Universities. *Journal of International Students*, 6 (3), 740-761
- Mariana, I.A. & Praginda, W. (2009). *Hakikat IPA dan Pendidikan IPA*. Bandung: PPPPTK IPA
- Marzano, R. J., Pickering, D. and McTighe, J. (1994). *Assessing Student Outcomes: Performance Assessment Using the Dimension of Learning Model*. Alexandria Virginia: Association for Supervision and Curriculum *Development*.
- Mudrieq, S. S. H. (2014). Problematika krisis pangan dunia dan dampaknya bagi Indonesia. *Academica*, 6(2).
- Nasution, W. N. (2018). The Effects of Inquiry-based Learning Approach and Emotional Intelligence on Students ' Science Achievement Levels. *Journal of Turkish Science Education*, 15(4), 104–115. <https://doi.org/10.12973/tused.10249a>
- Ng, P. T. (2013). An examination of *life-long learning* policy rhetoric and practice in Singapore. *Int. J. of Life-long Education*, 32(3), 318–334.
- Owusu-Agyeman, Y. (2017). Expanding the frontiers of national qualifications frameworks through *life-long learning*. *International Review of Education*, 63(5), 657.
- Panuluh, S., & Fitri, M. R. (2016). Perkembangan pelaksanaan sustainable development goals (SDGs) di Indonesia. *Biefing Paper*, 2, 1-25.
- Pasandaran, E., Syam, M., & Las, I. (2011). Degradasi sumber daya alam: Ancaman bagi kemandirian pangan nasional. *Dalam Konversi dan Fragmentasi Laban Ancaman terhadap Kemandirian Pangan. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Jakarta*.
- Preece, J. (2013). Africa and international policy making for *life-long learning*: Textual revelations. *International Journal of Educational Development*, 33, 98-105.
- Regmi, K.D. (2015). *Life-long learning*: Foundational Models, Underlying Assumptions and Critiques. *Int Rev Educ*.
- Rustaman, N. Y. (2016). Pemberdayaan *Entrepreneurship*: Implementasi Teori-U dalam Bioteknologi Praktis Berorientasi Stem. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Entrepreneurship III Tabun 2016*. Program Studi Pendidikan Biologi FPMIPATI Universitas PGRI Semarang.
- Rustaman, N.Y. (2005). *Perkembangan penelitian pembelajaran berbasis inkuiri dalam pendidikan sains*. Prosiding Seminar Nasional II. Himpunan Ikatan Sarjana dan Pemerhati Pendidikan IPA Indonesia bekerjasama dengan FPMIPA Universitas Pendidikan Indonesia.
- Shan, H. (2017). Lifelong education and *life-long learning* with Chinese characteristics: a critical policy discourse analysis. *Asia Pacific Education Review*, 18(2), 189–201.
- Sumatowa, U.2010.*Pembelajaran IPA di Sekolah Dasar*.Jakarta:Indeks.

- Syahyuti, S. (2016). Paradigma Kedaulatan Pangan dan Keterlibatan Swasta: Ancaman terhadap Pendekatan Ketahanan Pangan (?). *Analisis Kebijakan Pertanian*, 9(1), 1-18.
- Toharudin, U., Hendrawati, S. & Rustaman, A. (2011). *Membangun Literasi Sains Peserta Didik*. Bandung: Humaniora.
- Walujo, E. B. (2011). Keanekaragaman hayati untuk pangan. *KIPNAS X. LIPI*, 1-9.
- Wang, M., Yuan, D. & Weidlich, M. (2017). Do The Demands of The Global Forces Shape Local Agenda? An Analysis of *Life-long learning* Policies and Practice in China. *Asia Pacific Educ. Rev.*, 18.
- Wonorahardjo, S. 2010. *Dasar-dasar Sains*. Jakarta: Indeks.