



## **Penguatan Pembelajaran Jarak Jauh Praktikum Mikrobiologi Lingkungan Berbasis *Augmented Reality* dan *Virtual Reality***

Wegig Murwonugroho<sup>a</sup>  Virginia Suryani<sup>b</sup>  Akkapurlaura<sup>c</sup>   
Leonardus Aryo<sup>d</sup>  dan Astri Rinanti\*<sup>e</sup> 

<sup>a</sup> Program Studi Magister Desain, Fakultas Seni Rupa dan Desain Universitas Trisakti,

<sup>b,c,d</sup> Program Studi Desain Komunikasi Visual, Fakultas Seni Rupa dan Desain Universitas Trisakti

<sup>e</sup> Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Arsitektur Lansekap dan Teknik Lingkungan Universitas Trisakti

Received: 13 August 2021; Revised: 02 October 2021; Accepted: 28 December 2021

DOI: <http://dx.doi.org/10.37905/aksara.8.1.677-686.2022>

### **Abstrak**

Untuk membantu menurunkan efek gas rumah kaca (GRK), tim pengabdian masyarakat Universitas Trisakti mengembangkan perangkat AR dan VR sebagai media edukasi digital bagi pengunjung dan masyarakat sekitar Taman Menteng, Jakarta Pusat. Pengabdian ini dilaksanakan dalam skema penyuluhan dan pelatihan pada November 2021 di Taman Menteng. Hasil kegiatan pengabdian ini meliputi: (1) terciptanya produk inovasi berupa perangkat AR dan VR yang terintegrasi dengan internet sehingga penggunaannya bisa dimonitor secara online, (2) peningkatan pemahaman dan kesadaran pengunjung dan masyarakat sekitar Taman Menteng tentang peran microalgae dalam biomitigasi GRK melalui reduksi gas CO<sub>2</sub>, dan (3) diperolehnya pengalaman empiris bagi mahasiswa FSRD dan FALTL Universitas Trisakti untuk mengembangkan keilmuan secara praktis untuk kepentingan masyarakat. Berdasarkan analisis atas data yang dihimpun selama pengabdian, dapat disimpulkan beberapa hal. Pertama, perangkat AR dan VR yang dikembangkan efektif untuk memahami pengunjung dan masyarakat sekitar Taman Menteng tentang peran microalgae dalam mitigasi GRK. Kedua, mahasiswa mampu mengaplikasikan ilmunya untuk kepentingan masyarakat melalui kolaborasi terpimpin. Ketiga, perangkat AR dan VR perlu dikembangkan ke tingkat lanjut, terutama pada kualitas grafis agar visualisasi objek yang digambarkan oleh perangkat AR dan VR menjadi lebih nyata.

### **Keywords**

Mikrobiologi lingkungan; praktikum jarak jauh; *microalgae*; *Augmented Reality*; *Virtual Reality*

### **PENDAHULUAN**

Salah satu masalah lingkungan yang dihadapi masyarakat Jakarta adalah polusi udara. Menurut data dari Unit Pengelola Statistik DKI Jakarta (2019), indeks kualitas udara DKI Jakarta termasuk ke dalam kategori “sangat tidak sehat” (meningkat dari tahun



2017). Ini menandakan bahwa kualitas udara bukan hanya bersifat merugikan manusia, hewan, dan tumbuhan yang sensitif, melainkan juga dapat merugikan kesehatan pada sejumlah segmen populasi yang terpapar (Nisa, 2019), dan menyumbang laju pemanasan global melalui efek gas rumah kaca (GRK). Masalah polusi ini berasal dari berbagai senyawa pencemar, baik yang berasal dari lingkungan alami maupun yang berasal dari aktivitas penduduk dan fabrikasi.

Pada periode wabah Covid-19, GRK memang mengalami penurunan signifikan seiring penurunan aktivitas kendaraan bermotor dan fabrikasi (CNBC, 2020; Tambunan, 2020). Namun kini ketika wabah Covid-19 telah mereda, GRK berpotensi meningkat karena ada usaha memulihkan perekonomian masyarakat pasca pandemi, yang mana harus menggunakan sektor-sektor yang menurut penelitian Rizi et al. (2019) merupakan penyumbang emisi CO<sub>2</sub> terbesar, yaitu transportasi, industri, dan pembangkit listrik.

Perihal usaha antisipasi GRK di Jakarta, sebenarnya telah diterapkan beberapa solusi. Salah satu usaha terbaru adalah penyusunan roadmap low carbon initiative oleh SKK Migas (2021). Namun usaha reduksi GRK yang paling populer dan bisa mendapat partisipasi masyarakat secara masif adalah pembukaan ruang terbuka hijau, seperti taman kota, alun-alun, lapangan olah raga, dan ruang publik outdoor lainnya (Hayati & Purnomo, 2020). Usaha ini juga bisa dikatakan solusi paling bertanggung jawab karena langsung menunjuk kota sebagai produsen CO<sub>2</sub> terbesar untuk menetralsir pencemaran udara (Karyadi, 2020). Di Jakarta Pusat saja, sedikitnya ada 15 taman kota yang dibangun dengan maksud ikut membantu reduksi GRK, di mana Taman Menteng digadang-gadang menjadi ruang terbuka favorit masyarakat (Nursanto, 2011). Dikatakan demikian karena Taman Menteng mempunyai fasilitas rekreasi publik paling lengkap daripada taman kota lain di Jakarta Pusat.

Meski demikian, desain komposisi Taman Menteng sebagai media untuk mereduksi GRK ternyata kurang proposional. Pemetaan dan inventarisasi secara kasar menyimpulkan bahwa jumlah pohon/tanaman yang digunakan untuk mengatasi GRK melalui penyerapan CO<sub>2</sub> rupanya tidak lebih banyak daripada fasilitas publik. Beberapa fasilitas seperti tempat bersantai, olah raga, dan taman bermain masih lebih dominan daripada unsur vegetasi yang bermanfaat untuk mengurangi GRK. Demikian juga dengan jumlah dan kualitas kolam yang kurang memadai. Padahal menurut penelitian Fachrul et al. (2019), ekosistem akuatik seperti kolam dan danau harus ada dan dijaga di sumber-sumber CO<sub>2</sub> karena menjadi tempat hidup microalgae, yang dapat secara efektif menyerap CO<sub>2</sub> lebih efektif daripada pohon-pohon tertentu khas perkotaan. Artinya, kualitas ekosistem akuatik dapat menjadi indikator yang baik untuk daya serap CO<sub>2</sub> oleh lingkungan (Salsabil et al., 2018). Penyerapan CO<sub>2</sub> oleh microalgae inipun juga pernah dibuktikan dalam penelitian Rusly et al. (2018) di Danau Sunter Barat. Kualitas, kuantitas, dan distribusi kolam di ruang terbuka hijau oleh karenanya perlu diperhatikan.

Problem desain komposisi Taman Menteng di atas menunjukkan bahwa Taman Menteng kini hanya menjalankan fungsi estetika lanskap dan fungsi praktis. Ia belum menjalankan fungsi ekologis secara baik sebagai salah satu unsur biomitigasi GRK. Namun desain tersebut jelas tidak mudah diubah meski hanya dengan menambahkan kolam vertikal. Sejauh apa yang bisa dilakukan adalah memaksimalkan fungsi ekosistem kolam di sana agar penyerapan CO<sub>2</sub> oleh microalgae tidak terganggu. Usaha ini bisa dilakukan dengan mengedukasi manusia yang beraktivitas di sekitar Taman Menteng.



Di sisi lain, ketika masalah lingkungan di atas belum teratasi, di kampus Universitas Trisakti terdapat masalah lain yang bersifat komplementer. Dalam mata kuliah praktikum mikrobiologi lingkungan di Fakultas Arsitektur, Lansekap dan Teknik Lingkungan (FALTL), capaian pembelajaran tidak bisa diraih karena selama pandemi harus Belajar dari Rumah (BDR), sedangkan praktikum harus dilakukan secara tatap muka di laboratorium menggunakan lingkungan terkondisi dengan rasio unsur karbon, nitrogen, dan fosfor yang tepat, serta bebas dari mikro pengganggu lainnya. Mempertimbangkan kewajiban untuk mengajar dan mempelajari objek praktikum, pengampu bersama-sama mahasiswa harus mengadopsi akselerasi teknologi 4.0 yang bisa memvisualisasikan subjek praktikum se-nyata mungkin. Teknologi paling sesuai untuk memfasilitasi pembelajaran praktikum secara jarak jauh selama BDR adalah *Augmented Reality* (AR) dan *Virtual Reality* (VR). Dua teknologi ini dianggap paling sesuai karena AR mampu menambahkan objek maya ke dalam objek nyata secara bersamaan. Sedangkan VR mampu menambahkan objek nyata pada suatu objek nyata secara immersive (Verhulst et al., 2021). Keduanya termasuk media yang efektif memodelling objek secara sederhana.

Berdasarkan analisis permasalahan dan kebutuhan di atas, akademisi Universitas Trisakti mengembangkan perangkat AR dan VR untuk mengedukasi pengunjung dan masyarakat sekitar Taman Menteng. Perangkat AR dan VR dipilih atas dasar beberapa pertimbangan berikut. Kegiatan pengabdian ini pada akhirnya dilakukan dengan tujuan sebagai berikut:

1. mengembangkan inovasi perangkat AR dan VR untuk keperluan edukasi digital kepada masyarakat tentang peran microalgae dalam biomitigasi gas CO<sub>2</sub>.
2. meningkatkan pemahaman dan kesadaran masyarakat dan pengunjung Taman Menteng tentang biomitigasi gas karbon oleh microalgae.
3. melaksanakan praktikum mikrobiologi lingkungan bagi mahasiswa FALTL, dan meraih capaian pembelajaran sesuai kurikulum Universitas Trisakti.
4. mendukung MBKM melalui melibatkan mahasiswa dalam kegiatan praktik di luar kampus untuk menambah pengalaman mereka.

Tercapainya tujuan-tujuan di atas berkontribusi terhadap beberapa hal. Selain terciptanya perangkat AR dan VR yang sebelumnya belum pernah dikembangkan untuk keperluan edukasi digital masyarakat perkotaan, kegiatan pengabdian ini meningkatkan kesadaran masyarakat kota untuk melestarikan microalgae sebagai upaya untuk biomitigasi gas CO<sub>2</sub> di Jakarta Pusat. Sebagai manfaat tambahan, mahasiswa menjadi aktif terlibat dalam industri kreatif penciptaan solusi berbasis teknologi dan memperoleh capaian pembelajaran dalam mata kuliah Praktikum Mikrobiologi Lingkungan.

## **METODE DAN PENDEKATAN**

Kegiatan ini dilakukan dalam bentuk penyuluhan dan pelatihan kepada pengunjung dan masyarakat sekitar Taman Menteng, Jakarta Pusat. Penyuluhan dan pelatihan dilakukan menggunakan bantuan teknologi AR dan VR agar lebih komunikatif, informatif, dan efektif untuk meningkatkan kesadaran pengetahuan masyarakat tentang peran microalgae bagi lingkungan, seperti apa habitatnya, dan apa yang harus dilakukan agar microalgae tetap lestari dalam memperbaiki kualitas udara di lingkungan perkotaan. Kegiatan ini dilakukan dalam tiga fase pokok, yaitu persiapan, pelaksanaan, dan evaluasi.

Pertama, pada tahap persiapan, kegiatan utama yang dilakukan adalah koordinasi internal untuk membagi tugas dan pengembangan rancangan sistem. Tahap pertama ini menghasilkan beberapa luaran seperti perizinan dengan stakeholder terkait, desain media AR dan VR (Gambar 1 dan Gambar 2), dan pemetaan titik-titik lokasi yang dianggap strategis untuk difasilitasi dengan AR dan VR. Perizinan untuk kegiatan ini dilakukan oleh dosen Universitas Trisakti. Desain media AR dan VR dilakukan oleh 80 mahasiswa FSRD Universitas Trisakti di bawah supervisi dosen. Sedangkan pemetaan titik-titik lokasi dilakukan oleh 30 mahasiswa FALTL Universitas Trisakti di bawah supervisi dosen.



Gambar 1. Rancang bangun fungsional AR

Sumber: dokumentasi pribadi



Gambar 2. Rancang bangun fungsional VR

Sumber: dokumentasi pribadi

Pada tahap kedua, kegiatan utama yang dilakukan adalah pengembangan media, penyuluhan, dan pelatihan penggunaan teknologi AR dan VR untuk memfasilitasi edukasi digital kepada pengunjung dan masyarakat sekitar Taman Menteng. Selama pelaksanaan kegiatan, dilakukan pula pengumpulan data melalui interview untuk mengukur ketercapaian program pengabdian. Aspek kemampuan untuk menentukan ketercapaian program adalah kemampuan subjek untuk menafsirkan dan mengkomunikasikan pemahaman mereka tentang peran microalgae dan habitatnya, serta usaha yang bisa dilakukan untuk melestarikan peran microalgae bagi lingkungan.

Pada tahap terakhir, dilakukan evaluasi menggunakan menu *evaluasi* yang ada di dalam perangkat. Data evaluasi dianalisis secara kualitatif untuk menemukan respon subjek atas kehadiran perangkat AR dan VR di Taman Menteng, dan mengetahui apa-apa saja yang perlu disempurnakan dalam AR dan VR, terutama dalam aspek user interface (UI) dan user experience (EX).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini dimulai pada bulan Oktober 2021. Pengabdian dimulai dengan menganalisis kebutuhan subjek dan menginventarisir sumber daya yang dimiliki tim pengabdian. Hasilnya adalah: (a) masyarakat subjek membutuhkan edukasi tentang peran microalgae dalam biomitigasi GRK di Jakarta, khususnya di Taman Menteng, dan (b) mahasiswa membutuhkan wahana virtual untuk melaksanakan praktikum mikrobiologi lingkungan secara jarak jauh namun tetap dapat



melihat objek visual yang lebih real, dan (c) pemetaan kasar denah komposisi Taman Menteng (Gambar 3).



Gambar 3. denah komposisi Taman Menteng

Sumber: dokumentasi pribadi

Pemenuhan kebutuhan atau penyelesaian masalah tersebut kemudian dimulai dengan merancang arsitektur sistem untuk pengembangan AR dan VR. Arsitektur AR dan VR digambarkan dalam use case diagram, activity diagram, dan sequence diagram. Termasuk dalam tahap perancangan ini adalah penentuan perangkat keras dan perangkat lunak yang diperlukan untuk pengembangan dan pemanfaatan perangkat AR dan VR. Identifikasi perangkat keras dibagi ke dalam identifikasi perangkat keras komputer dan perangkat keras smartphone. Sedangkan hasil identifikasi perangkat lunak yang diperlukan dalam pengembangan perangkat AR dan VR meliputi Unity 3D, Vuforia SDK, Java JDK, Corel Draw X7, Adobe Photoshop CC2015, Format Factory, dan StarUML.

Kegiatan perancangan dilanjutkan dengan perancangan komponen sistem dan desain UI. Rancangan komponen sistem dibuat ke dalam storyboard, yang menggambarkan secara visual tampilan media pembelajaran dalam bentuk sketsa. Perancangan komponen sistem dan desain UI dilakukan untuk meningkatkan UX agar pelaksanaan edukasi digital bagi masyarakat lebih efektif dan memahami masyarakat tentang peran microalgae dalam biomitigasi GRK. Oleh karena itu, dilakukan pula pengisian audio untuk menceritakan narasi tentang microalgae dan habitat idelanya di Taman Menteng (Gambar 4).

Sedangkan UI dibangun berdasarkan storyboard yang telah dibuat pada tahap perancangan desain antar muka. Pada tahap ini software desain grafis digunakan dalam pembuatan desain antar muka. Software yang digunakan adalah Corel Draw X7 dari Corel Corporation dipadukan dengan Adobe Photoshop CC2015 dari Adobe. Corel Draw digunakan untuk membuat desain tampilan pada media yang meliputi background, tombol, soal, halaman kompetensi dasar, halaman *Augmented Reality*, halaman materi, halaman evaluasi, dan halaman profil. Adobe Photoshop digunakan untuk membuat icon lalu mengkonversi menjadi format portable network graphic (.png)





Gambar 4. Proses input audio AR dan VR

Sumber: dokumen pribadi

Ada tiga unsur dasar yang dibangun dalam tahap perancangan komponen dan arsitektur sistem, yaitu icon, splash screen, dan main menu page. Icon adalah gambar kecil yang biasanya ada di menu utama, yang mana fungsinya adalah untuk mewakili aplikasi media pembelajaran dalam menu utama. Sedangkan splash screen adalah halaman muka yang pertama kali muncul. Halaman ini muncul ketika aplikasi dijalankan untuk menandakan aplikasi mulai bekerja. Adapun main page menu adalah halaman menu utama dalam media pembelajaran yang dapat diakses oleh pengguna. Menu yang terdapat dalam halaman ini adalah kompetensi dasar, AR, materi, dan evaluasi. Menu kompetensi dasar untuk menunjukkan kompetensi yang harus dicapai setelah menggunakan media pembelajaran ini. Menu AR, menu yang merupakan hasil penggabungan dari benda maya dengan benda nyata dalam satu waktu yang bersamaan. Menu materi, untuk mendukung menu *Augmented Reality* agar peserta didik lebih mudah memahami materi yang disajikan. Menu evaluasi, sebagai evaluasi mandiri yang dilakukan oleh peserta didik, untuk mengetahui sejauh mana keterserapan materi yang disampaikan melalui media yang digunakan.

Pada tahap akhir pengembangan perangkat, dilakukan penyatuan dari tahap pembuatan disain antar muka dengan berbagai aplikasi dalam bahasa pemrograman. Hasil akhir dari tahap ini adalah sistem yang mempunyai fungsionalitas sesuai dengan yang diharapkan. Langkah yang perlu dilakukan pada tahap ini adalah : 1) persiapan asset, yaitu memasang Unity 3D sebagai software utama pada komputer, 2) pembuatan marker sebagai penanda obyek maya yang akan dipasang, 3) mengunggah marker yang dibuat ke Vuforia untuk dilakukan verifikasi, dan 4) membuat proyek baru di Unity 3D.

Tahap terakhir dari fase pengembangan perangkat adalah pengujian aplikasi yang telah dilakukan pemrograman. Pengujian dilakukan dengan cara debugging aplikasi kedalam smartphone, untuk mengetahui tingkat keberhasilan aplikasi saat digunakan. Aplikasi diuji coba pada berapa tipe smartphone yang berbeda. Hal ini dilakukan untuk menguji keandalan aplikasi saat dipergunakan diberbagai tipe smartphone yang berbeda (Gambar 5 dan Gambar 6).



Gambar 5. Uji coba penggunaan AR  
Sumber: dokumentasi pribadi



Gambar 6. Uji coba penggunaan AR  
Sumber: dokumentasi pribadi



Gambar 7. Uji coba penggunaan AR  
Sumber: dokumentasi pribadi



Gambar 8. Uji coba penggunaan AR  
Sumber: dokumentasi pribadi

Kegiatan ini menghasilkan aplikasi AR dan VR untuk melakukan edukasi digital kepada masyarakat tentang peran microalgae untuk keperluan biomitigasi gas CO<sub>2</sub>. Sebagai rangkaian pengabdian kepada masyarakat. Kegiatan dilanjutkan dengan melakukan penyuluhan dan pelatihan penggunaan aplikasi untuk mempromosikan peran microalgae bagi usaha biomitigasi GRK di Taman Menteng (Gambar 9 dan Gambar 10). Sepanjang kegiatan menggunakan aplikasi, perangkat dimonitor penggunaannya secara online untuk keperluan penghimpunan data. Pada akhir kegiatan, data ini dianalisis untuk menyimpulkan apakah nilai guna yang dihadirkan aplikasi telah sesuai dengan kebutuhan masyarakat subjek atau belum.



Gambar 9. Penyuluhan penggunaan aplikasi  
Sumber: dokumentasi pribadi



Gambar 10. Pelatihan penggunaan aplikasi  
Sumber: dokumentasi pribadi

Pada aktivitas sebagaimana ditunjukkan Gambar 7, pengunjung mendapatkan sosialisasi prosedur penggunaan aplikasi dan di bagian titik mana saja dari Taman Menteng yang telah diberi marker sehingga bisa memunculkan objek maya dan informasi



tentang microalgae. Sedangkan pada aktivitas yang ditunjukkan pada Gambar 8, pengguna menggunakan VR untuk mengamati objek nyata sehingga muncul sosok bocah virtual yang hadir secara imersif. Sesuai dengan desain pengembangan perangkat, dalam Gambar 8 bocah virtual bercerita tentang kegembiraan hatinya manakala udara di sekitar Taman Menteng bersih dan bebas dari polutan gas CO<sub>2</sub>.

Sesuai storyboard yang dibuat, ia juga bercerita tentang bagaimana microalgae berkontribusi kepada lingkungan melalui biomitigasi GRK, di mana habitat microalgae, seperti apa habitat yang sehat bagi microalgae, dan bagaimana manusia bisa ikut membantu microalgae dalam menjalani kehidupan dan tugasnya untuk menyerap CO<sub>2</sub>. Contoh rekomendasi yang diusulkan bocah virtual adalah manusia tidak menyebabkan pencemaran air dalam ekosistema akuatik seperti sungai, kolam, danau, waduk, dan lain sebagainya.

Pada tahap paling akhir dari rangkaian kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini, dilakukan evaluasi untuk mengetahui ketercapaian tujuan-tujuan pengabdian. Hasil evaluasi dengan mempertimbangkan penilaian dari tim pengabdian kepada masyarakat menunjukkan adanya kelemahan dalam visualisasi objek yang ditampilkan dalam aplikasi. Kelemahan yang dimaksud adalah variasi objek yang seharusnya dibuat lebih beragam, realistis, dan lengkap (turut menghadirkan visualisasi mahluk microalagae secara virtual di hadapan user/pengguna). Sedangkan dalam hal efektivitas perangkat sebagai media edukasi digital bagi masyarakat, perangkat yang digunakan termasuk dalam kategori baik. Ini dibuktikan dengan hasil asesmen dan monitoring yang dilakukan secara online. Demikian juga dengan kelayakan sarana praktikum mikrobiologi lingkungan bagi mahasiswa FALTL, yang menunjukkan bahwa kegiatan pengabdian ini termasuk dalam kategori “sangat baik” untuk membantu mahasiswa mencapai capaian pembelajaran yang telah dirumuskan dalam kurikulum Universitas Trisakti.

Khusus pada kelemahan dari pengabdian ini yang merujuk kepada desain arsitektur sistem dan respon masyarakat, bisa jadi disebabkan oleh beberapa hal, seperti jenjang usia masyarakat subjek, skema pengabdian, dan kompetensi pengembang perangkat yang masih menjalani studi sebagai mahasiswa. Jenjang usia masyarakat subjek perlu diperhatikan karena menurut penelitian Murwonugroho & Ardianto (2019) dan pengalaman pengabdian masyarakat Alfares & Murwonugroho (2021), fitur AR dan VR untuk anak-anak dan orang dewasa punya perbedaan spesifikasi dan visualisasi yang jauh berbeda. AR dan VR untuk anak biasanya membutuhkan interaktivitas yang lebih komunikatif. Sedangkan dalam hal skema pengabdian yang berbentuk pelatihan dan penyuluhan, hambatan berupa respon yang kurang sesuai ekspektasi memang kerap terjadi jika pengembangan perangkat tidak disesuaikan dengan tingkat preferensi dari masyarakat subjek (Miftakhuddin, 2018). Adapun kompetensi mahasiswa yang bisa jadi dianggap kurang mumpuni, harus dimaklumi sebagai individu yang sedang dalam masa belajar dan penyelesaian studi. Justru, pengabdian ini menjadi sarana pengembangan diri dan pemberian sumbangsih kepada masyarakat.

## **SIMPULAN DAN SARAN**

Berdasarkan analisis secara kualitatif terhadap pemahaman subjek masyarakat tentang peran microalgae bagi lingkungan perkotaan, penilaian kelayakan AR dan VR





dari segi UI dan UX, dan perolehan capaian pembelajaran oleh mahasiswa FALTL, kegiatan ini menyimpulkan beberapa hal. Pertama, desain aplikasi AR dan VR mampu meningkatkan pemahaman dasar dan kesadaran masyarakat dan pengunjung Taman Menteng tentang peran microalgae bagi biomitigasi GRK di Jakarta. Kedua, aplikasi AR dan VR layak yang dikembangkan layak untuk dipergunakan secara berkelanjutan di Taman Menteng dengan beberapa penyempurnaan dalam hal kualitas visualisasi objek. Ketiga, kegiatan praktis berupa pengabdian kepada masyarakat dapat menjadi substitusi kegiatan praktikum tatap muka di laboratorium menjadi kegiatan pembelajaran jarak jauh atau BDR.

Atas dasar simpulan diatas, disampaikan beberapa saran berikut: (a) peningkatan kesadaran masyarakat tentang kelestarian lingkungan sebaiknya dilakukan dengan pendekatan participatory approach dan menggunakan teknologi yang bisa terintegrasi dengan smartphone, (b) pelibatan mahasiswa dalam kegiatan praktis di lingkungan nyata sebaiknya dimulai sejak mereka masih dalam masa studi, dan (c) pembelajaran jarak jauh atau BDR sebaiknya dilakukan dengan metode pembelajaran Project-Based Learning, agar selain mahasiswa meraih capaian pembelajaran, mereka juga mempunyai peningkatan kompetensi menciptakan solusi inovatif pemecahan masalah.

## SINTA

Wegig Murwonugroho  5984630 [ID Sinta](#)

Virginia Suryani  6198211 [ID Sinta](#)

Akkapurlaura  6682758 [ID Sinta](#)

Leonardus Aryo  6756763 [ID Sinta](#)

dan Astri Rinanti  6091465 [ID Sinta](#)

## DAFTAR PUSTAKA

- Alfares, Y. J., & Murwonugroho, W. (2021). Penerapan teknologi *Augmented Reality* untuk media pembelajaran interaktif pada anak. *Jurnal Penelitian dan Karya Ilmiah Lembaga Penelitian Universitas Trisakti*, 6(2), 202-212.
- CNBC. (2020). *Hikmah corona, polusi udara DKI Jakarta turun signifikan*. CNBC Indonesia. <https://www.cnbcindonesia.com/news/20200501190241-4-155748/hikmah-corona-polusi-udara-dki-jakarta-turun-signifikan>
- Fachrul, M. F., Rinanti, A., & Hendrawan, D. I. (2019). The carbon sequestration by phytoplankton in tropical lake and reservoir. *International Journal of GEOMATE*, 16(55), 40–45. <https://doi.org/10.21660/2019.55.4613>
- Hayati, & Purnomo, E. P. (2020). Kebijakan ruang terbuka hijau dalam menanggulangi polusi udara di Kabupaten Bantul, Yogyakarta. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Dan Lingkungan Hidup*, 34–37.
- Karyadi, H. (2020). *Pengukuran daya serap karbondioksida lima jenis tanaman hutan kota* [IPB University]. <https://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/11461>
- Miftakhuddin, M. (2019). Dedication of Unej Mengajar to Improve the Human Resources' Quality in the Retarded Areas of Jember through a Participatory Approach. *Proceeding of Community Development*, 2, 454-466. <https://doi.org/10.30874/comdev.2018.1463>



- Murwonugroho, W., & Ardianto, D. T. (2019). Visual Fantasy In Children's Learning Through Virtual & Augmented Reality. *Int. J. Sci. Technol. Res*, 8, 2789-1795.
- Nisa, K. (2019). *Kualitas udara di provinsi DKI Jakarta*. Unit Pengelola Statistik DKI Jakarta.
- Nursanto, A. (2011). Analisa Taman Menteng sebagai taman kota berdasarkan kriteria kualitas taman Jakarta Pusat. *Jurnal Planesa*, 2(1), 10–16.
- Rizi, U. F., Suradi, Sunaryo, & Agus, A. (2019). Analisis dampak diterapkannya kebijakan working from home saat pandemi Covid-19 terhadap kondisi kualitas udara di Jakarta. *Jurnal Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika*, 6(3), 6–14.
- Rusly, C. M., Hendrawan, D., & Rinanti, A. (2018). Study of water quality and carbon absorbtion in West Sunter Lake using phytoplankton. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 106(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/106/1/012017>
- Salsabil, M. A., Rinanti, A., & Fachrul, M. F. (2018). Analysis of water quality in Maninjau Lake, West Sumatera, Indonesia using phytoplankton. *MATEC Web of Conferences*, 197, 1–4. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201819713007>
- Skkmigas.go.id. (2021). *SKK migas susun roadmap low carbon initiative*. SKK Migas. <https://www.skkmigas.go.id/berita/skk-migas-susun-roadmap-low-carbon-inisiatif>
- Tambunan, L. (2020). *Kualitas udara Jakarta selama PSBB membaik, namun "tingkat polutan berbahaya PM 2.5 tetap konsisten."* BBC News Indonesia. <https://www.bbc.com/indonesia/indonesia-52755813>
- Verhulst, I., Woods, A., Whittaker, L., Bennett, J., & Dalton, P. (2021). Do VR and AR versions of an immersive cultural experience engender different user experiences? *Computers in Human Behavior*, 125, 106951. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2021.106951>