

## PENGEMBANGAN MODUL PRAKTIKUM TEMA ALAT PENGENDALI PENCEMAR UDARA BERBASIS AUGMENTED REALITY

Yudith Vega Paramitadevi<sup>1</sup>, Faldiena Marcelita<sup>2</sup>, Ana Turyanti<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Prodi D3 Teknik dan Manajemen Lingkungan Sekolah Vokasi IPB, <sup>2</sup>Prodi D3 Teknik Komputer Sekolah Vokasi IPB, <sup>3</sup>Prodi S1 Meteorologi Terapan IPB

<sup>1</sup>yudith.vega@apps.ipb.ac.id, <sup>2</sup>faldiena.m@apps.ipb.ac.id, <sup>3</sup>ana@apps.ipb.ac.id

**Abstrak:** Penciptaan dan pengembangan material pembelajaran dalam situasi ketidakpastian saat ini merupakan tantangan yang dihadapi pendidik. Tantangan tersebut terjawab seiring teknologi Augmented dan Virtual Reality (AR dan VR) mulai diterapkan di kelas praktikum. Pengembangan modul praktikum mata kuliah Kualitas Udara dan penilaian keberterimaan modul bagi mahasiswa Prodi D3 Teknik dan Manajemen Lingkungan merupakan tujuan dalam penelitian ini. Modul terdiri dari buku panduan, marker AR, aplikasi KU-AR dan kuisioner formatif yang diisi oleh responden 28 mahasiswa. Analisis formatif menunjukkan mayoritas mahasiswa dapat menerima modul dan menjadi termotivasi untuk mempelajari desain alat pengendali pencemar udara lanjutan. Pengenalan alat pengendali pencemar udara melalui modul AR dapat memberikan pengalaman yang berguna bagi mahasiswa, khususnya vokasi.

**Kata Kunci:** alat pengendali, aplikasi KU-AR, modul praktikum, pengembangan

**Abstract:** The creation and development of learning materials in today's uncertainty is a challenge for educators. Augmented and Virtual Reality (AR and VR) technologies responded to this challenge since they began to be applied in practicum classes. The development of the practicum module for the Air Quality course and the assessment of module acceptance for D3 Engineering and Environmental Management Study Program students are the objectives of this research. The module consists of a guidebook, AR markers, the KU-AR application, and a formative questionnaire filled out by 28 student respondents. The constructive analysis shows that most students can receive the module and become motivated to study advanced air pollutant control design. The introduction of air pollutant controllers through the AR module can provide a useful experience for students, especially vocational students.

**Keywords:** air pollutant controller, development, KU-AR application, practicum module

### PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang begitu pesat mengubah cara pendidik mengajar dan membimbing mahasiswa. Mahasiswa diperlengkapi dengan berbagai sumber ilmu yang dapat diakses lebih mudah jika dibandingkan beberapa dasawarsa silam (Cabero Almenara & Barroso Osuna, 2016:2; Kamarainen et al., 2018:259). Pengkayaan sumber ilmu tersebut juga diperoleh dari praktikum komputer yang dilaksanakan di laboratorium (Kamarainen et al., 2018:260). Gawai seperti laptop, tablet, telepon pintar mudah diperoleh secara terjangkau dan mudah dalam pengoperasiannya sehingga dapat dipergunakan dalam pembelajaran (Bakri et al., 2019:113; Nur & Masykuri:306, 2019). Pada lingkup universitas, pembelajaran yang melibatkan teknologi dibedakan menjadi dua bagian. Pertama, pemanfaatan sistem manajemen pembelajaran terintegrasi seperti *massive open online courses* (MOOCs) yang terbuka bagi mahasiswa. Sistem pembelajaran

tersebut digunakan untuk penyampaian materi pembelajaran, penugasan dan kontrol administrasi (Ambarwulan & Muliwati, 2016:73; Kusumaningrum et al., 2019:40). Kedua, teknologi simulasi seperti *augmented/ virtual reality* (selanjutnya disebut AR/ VR) untuk masing-masing mahasiswa sesuai bidang ilmu yang diambil (Guo, 2018:234).

Simulasi memanfaatkan teknologi komputer yang dapat menghadirkan dunia nyata kepada mahasiswa (Mathews et al., 2020:2; Veas et al., 2013:1516), contohnya simulator menerbangkan pesawat atau simulator interaksi dengan pasien penyakit menular. Keunggulan simulasi AR antara lain mahasiswa dapat mengeksplorasi suatu obyek pembelajaran tanpa kehilangan keaslian lingkungan sekitarnya (Kamarainen et al., 2018:260). Dalam perjalanannya, simulasi VR lebih masif dikembangkan dibanding simulasi AR meskipun simulasi AR lebih dikenal dibandingkan VR (Bakri et al., 2019:114). Pembelajaran reflektif dan repetitif oleh simulasi AR juga merupakan

keunggulan AR (Bakri et al., 2020:114). Berdasarkan penelitian (Bakri et al., 2020:232; Bazarov et al., 2017:3; Sumarna, 2019:94; Theodorou & Botzori, 2018:8), mahasiswa tidak mengalami kesulitan dalam menjalankan aplikasi AR, umpan balik mereka positif karena AR tersebut berbasis aplikasi yang dapat diunduh tanpa memberatkan kinerja gawai mereka.

Di bidang lingkungan khususnya ekologi, teknologi AR memperkaya pengalaman mahasiswa melalui praktik telusur mikroorganisme di alam (Kamarainen et al., 2018:267). Mahasiswa dapat mengobservasi obyek, pola, fenomena yang belum terbayangkan seperti pengamatan sarang burung, jalur lapisan lumpur setelah banjir terjadi, jalan setapak yang dibuat seekor rusa untuk menembus semak belukar dan sebagainya. Pengalaman tersebut tidak langsung ditemui di dunia nyata namun dapat dirancang dengan AR. Selain ekologi, bidang lingkungan lain terkait keinsinyuran merupakan obyek simulasi AR seperti yang dikembangkan oleh Mathews et al. (2020). Aplikasi AiR memperlihatkan polutan partikulat yang divisualisasikan dalam memantau kualitas udara di luar ruangan. Bidang keinsinyuran yang melibatkan pengenalan alat pengendali pencemar udara di industri selama ini dijumpai dengan pelaksanaan kunjungan lapang dan magang. Pelaksanaan kunjungan lapang dan magang tersebut tidak optimal ketika jumlah mahasiswa yang diterima hanya sebatas kuota industri dan diperburuk dengan kondisi pandemi. Optimalisasi pengalaman mahasiswa untuk mendesain alat pengendali pencemar udara akhirnya dilakukan dengan simulasi visual AR.

Pengembangan bahan ajar bidang alat pengendali kualitas udara masih jarang sehingga Peneliti mengambil topik tersebut. Bahan diambil berdasarkan pengalaman Peneliti sebagai perancang alat pengendali yang disesuaikan dengan standar *United States Environmental Protecting Agency* (US EPA). Luaran bahan ajar tersebut berupa program komputer yang dapat diunduh oleh mahasiswa menggunakan gawai masing-masing. Harapannya, mahasiswa memperoleh ilmu dan pengalaman sebagai bekal dalam mendesain alat pengendali pencemar udara. Tujuan penelitian

ini adalah mengembangkan modul AR penunjang praktikum dan menilai keberterimaan serta motivasi mahasiswa selama pembelajaran menggunakan AR. Penelitian ini memperoleh pembiayaan dari hibah Direktorat Jendral Vokasi Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia dengan nomor kontrak 090/D.D3/PPK-PTVP/SPK/IX/2020.

## METODE

Konsep penelitian ini mengikuti model Kemp dengan pertimbangan dari (Patricia Aguilera-Hermida, 2020:3; Theodorou & Botzori, 2018:5) yang menyebutkan bahwa penelitian pengembangan model pembelajaran daring berbasis *student centered learning* (SCL) lebih efektif menggunakan model Kemp. Tahapan dalam model linear tersebut meliputi (Morrison et al., 2012:16) penetapan tujuan pembelajaran, penyusunan analisis instruksional, analisis peserta didik dan konteks pembelajaran, pengukuran kinerja pembelajaran, pengembangan material penilaian, pengembangan strategi instruksional, pengembangan dan pemilihan materi instruksional, perancangan penilaian formatif dan perancangan penilaian sumatif. Penelitian ini terbatas pada tahapan ke-8 disebabkan penilaian sumatif belum dilakukan saat semester penelitian berjalan. Penelitian dilakukan di semester Ganjil 2020-2021 sedangkan kelas praktikum baru dilakukan di semester Genap 2020-2021. Jumlah mahasiswa yang mengikuti penelitian adalah satu kelas praktikum (n=28) dari total empat kelas praktikum. Pengembangan modul dilakukan di laboratorium divisi Digital Terapan Sekolah Vokasi, Institut Pertanian Bogor selama bulan Agustus-November 2020. Mahasiswa diperkenalkan modul AR-KU ini melalui buku modul panduan praktikum berupa *softcopy*. Saat memasuki pertemuan ke-9, mereka diminta mengunduh KU-AR.apk melalui gawai masing-masing. Setelah menyelesaikan modul AR-KU, mahasiswa mengisi kuisioner evaluasi terkait kemudahan penggunaan dan keberterimaan modul melalui *google formulir* di awal Desember 2020. Analisis statistik hasil kuisioner dilakukan dengan pengolah statistik R Studio x64 4.0.3.

## HASIL DAN PEMBAHASAN Pengembangan modul Kualitas Udara- *Augmented Reality* (KU-AR)

Modul KU-AR dikembangkan dan dimasukkan tidak terpisah ke dalam mata kuliah Kualitas Udara. Kualitas udara merupakan mata kuliah kompetensi wajib penciri bagi Program Studi D3 Teknik dan Manajemen Lingkungan. Luaran kompetensi bagi mata kuliah ini antara lain mahasiswa dapat menguraikan sumber pencemar, melakukan kuantifikasi pencemar udara dan menguraikan upaya pengendalian terhadap pencemar udara. Mata kuliah ini diajarkan setiap semester genap untuk mahasiswa tingkat dua atau semester empat.


Berdasarkan hasil evaluasi umpan balik mahasiswa di semester Genap Tahun Ajaran 2019/2020, dari total empat belas kali pertemuan, terdapat dua pertemuan mengenai pengenalan alat dan desain alat pengendali pencemar udara yang perlu penggambaran 3D. Populasi mahasiswa pengisi kuisioner sebesar 110 orang, 73% diantaranya menantikan pengembangan modul ke arah visualisasi 3D. Alat pengendali pencemar udara merupakan opsi teknologi dalam menyisihkan emisi berupa pencemar gas dan partikulat di industri (Wang, Lawrence K; Pereira, Norman C; Hung, 2004:50). Tipe dan pemilihan teknologinya tergantung pada masing-masing peruntukkan, alat pengendali yang difokuskan untuk menyisihkan partikulat kering atau untuk menyisihkan partikulat basah dan gas (Wang, Lawrence K; Pereira, Norman C; Hung, 2004:52). Pengembangan modul KU-AR terbagi menjadi dua bagian. Bagian pertama mencakup pengembangan materi KU-AR, bagian kedua mencakup pengembangan menu dalam modul.

### 1. Pengembangan materi KU-AR

Alat pengendali pencemar udara yang diambil dalam material KU-AR antara lain *multicyclone*, *electrostatic precipitator* (ESP), *bag house*, *scrubber* dan *thermal incinerator*. Deskripsi materi diperoleh dari *EPA-CICA Fact Sheet* untuk masing-masing alat, dimensi masing-masing alat pengendali disesuaikan dengan data dan pengalaman Peneliti. Penggambaran peralatan secara 3D dilakukan

menggunakan aplikasi 3Ds Max© untuk Windows 10© (Tabel 1). Obyek 3D yang telah siap diekspor dalam format .fbx sebagai obyek beranimasi, kemudian Peneliti mengunggah tujuh obyek ke dalam *software development kit* (disingkat SDK). SDK merupakan teknologi *computer vision* yang fungsinya mengenali dan melacak gambar planar serta obyek sederhana 3D secara langsung sehingga dapat disesuaikan dengan gawai dalam pembuatan aplikasi AR (Costa et al., 2018:2). VUFORIA© merupakan SDK (*Qualcomm*) yang dapat diterapkan pada basis Android (Ambarwulan & Mulyati, 2016:74).

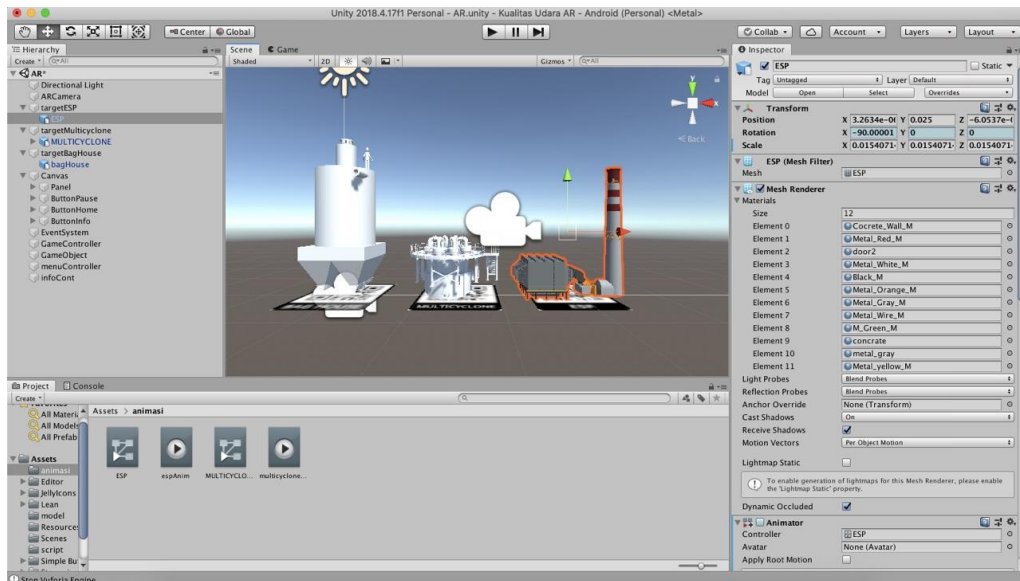
**Tabel 1** Contoh tampilan alat pengendali dan deskripsinya

Visualisasi <i>Baghouse</i>	Uraian
	<i>Bag filter/ bag house</i> memiliki efektifitas tinggi yakni 95-99,9%. Konsentrasi pencemar yang disisihkan dalam bentuk <i>particulate matters</i> lebih kurang 1 µm dan <i>hazardous air particulate</i> (kecuali merkuri). Efisiensinya <i>bag house</i> dipengaruhi oleh <i>fabric filter/</i> kain penyaring yang digantungkan pada kompartemen langit-langit <i>bag house</i> tersebut. Apabila pembersihan <i>bag house</i> dilakukan secara rutin, efisiensinya dapat dipertahankan. Pembersihan yang paling rutin menggunakan metode <i>pulse jet</i> . Polutan masuk ke dalam <i>bag house</i> melalui proses penyaringan, polutan yang bermassa lebih berat akan jatuh ke <i>hopper</i> . Polutan bermassa ringan akan naik dan keluar dari <i>outlet</i> .

### 2. Pengembangan menu dalam modul

Semua materi yang telah dibuat pada VUFORIA© berupa *license key*, *database*, dan gambar marker digabungkan agar dapat digunakan pada program UNITY© (Gambar 1). Semua bagian yang telah disiapkan dimasukkan ke dalam satu aplikasi .APK menggunakan fitur *scene in build*. Aplikasi bernama KU-AR telah siap dipindahkan ke gawai untuk proses instalasi. Aplikasi KU-AR menggunakan metode visual *marker based AR*, gawai akan mengenali letak dan orientasi *marker* serta menciptakan benda

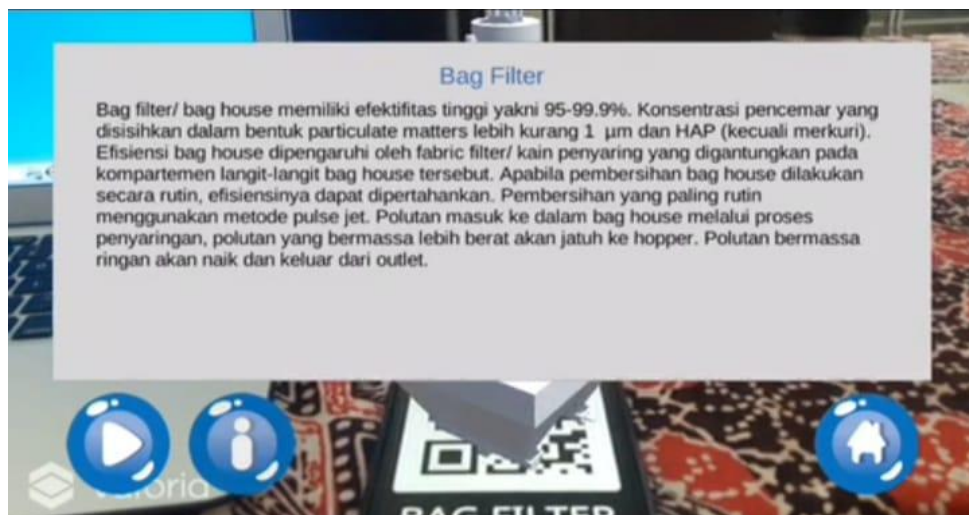
virtual 3D sesuai koordinat yang ditunjukkan *marker*.



**Gambar 1** Materi obyek 3D dalam UNITY©

Di dalam *marker* aplikasi KU-AR terdapat rekaman suara sebagai tambahan deskripsi penjelasan masing-masing peralatan. Penyimpanan file rekaman suara dilakukan dalam format mp3, pengecekan akhir *marker* dilakukan berulang-ulang hingga diperoleh hasil yang memuaskan menurut Peneliti. Menu *navigasi marker* terdiri dari *user interface* yang

dapat dibuka setelah KU-AR.apk diunduh, *play-AR* yang setelah dipilih akan menampilkan rekaman suara penjelasan peralatan dan peralatan yang dapat diputar 360°, *device info* yang berfungsi menampilkan deskripsi peralatan, serta menu *home* yang akan mengembalikan pengguna ke *user interface* awal (Gambar 2).



**Gambar 2** Tampilan *device info* pada alat pengendali pencemar udara

### HASIL EVALUASI FORMATIF

Evaluasi formatif yang diisi oleh 28 mahasiswa atau satu kelas praktikum mata kuliah

memiliki karakteristik perbandingan pria : wanita = 30 : 70, hal ini disebabkan mayoritas mahasiswa pada Prodi Teknik dan Manajemen Lingkungan didominasi oleh wanita. Tidak ada

mahasiswa asing dalam kelas tersebut, 100% responden menyatakan terbiasa menggunakan aplikasi berbasis android/ iOS dalam kehidupan sehari-hari. 69% diantara mereka yakin bahwa aplikasi AR-KU ini dapat membantu pelaksanaan praktikum, 9% menjawab ragu-ragu dan sisanya menjawab tidak yakin.

Tingkat keberterimaan modul oleh mahasiswa diukur menggunakan skala *likert* 1-5 dimana angka 1 menunjukkan sangat tidak sesuai, angka 3 menunjukkan cukup dan angka 5

menunjukkan sangat sesuai (Tabel 2). Terkait aspek fisik panduan modul (poin 1 hingga poin 5), mahasiswa menganggap *layout* modul sudah sesuai dan sangat sesuai (85.7%, n=24), demikian juga untuk pemilihan ukuran huruf dan angka (85.7%, n=24). Judul modul sudah jelas dan sangat jelas (100%) kemudian pemilihan jenis huruf dan angka telah sesuai dan sangat sesuai (92.9%, n=26). Mahasiswa menginginkan kesetimbangan warna di dalam modul yang lebih menarik, karena warna huruf dan angka berupa warna monokrom (78.6%, n=22).

**Tabel 2** Keberterimaan dan hasil ujicoba modul oleh mahasiswa

		% Sangat sesuai	% Sesuai	% Cukup	% Tidak sesuai	% Sangat tidak sesuai	median	IQR*
		5	4	3	2	1		
P1	<i>Layout</i> modul	46.4	39.3	14.3	0.0	0.0	4	0
P2	Kesetimbangan warna modul	35.7	42.9	21.4	0.0	0.0	4	0
P3	Kesesuaian pemilihan jenis huruf dan angka	32.1	60.7	7.1	0.0	0.0	4	0
P4	Judul modul yang jelas	64.3	35.7	0.0	0.0	0.0	4	4-5
P5	Kesesuaian pemilihan ukuran huruf dan angka	35.7	50.0	14.3	7.1	0.0	4	0
P6	Kejelasan petunjuk penggunaan AR	39.3	46.4	14.3	0.0	0.0	4	0
P7	Kemudahan dalam persiapan pembelajaran	42.9	35.7	21.4	0.0	0.0	4	0
P8	Ketepatan penerapan strategi belajar	42.9	46.4	10.7	0.0	0.0	4	0
P9	Keterkaitan dengan modul di mata kuliah lain	0.0	46.4	53.6	0.0	0.0	3	0
P10	Kelengkapan komponen pendahuluan	0.0	42.9	57.1	0.0	0.0	3	0
P11	Ketercapaian tujuan kompetensi	46.4	39.3	14.3	0.0	0.0	4	4-5
P12	Kedalaman materi	46.4	39.3	14.3	0.0	0.0	4	0
P13	Kejelasan materi yang disampaikan	42.9	46.4	10.7	0.0	0.0	4	0
P14	Struktur isi materi yang runtut	50.0	35.7	14.3	0.0	0.0	4	0
P15	Kecukupan contoh alat pengendali	39.3	42.9	17.9	0.0	0.0	4	0
P16	Kejelasan bahasa yang digunakan	46.4	32.1	21.4	0.0	0.0	4	0
P17	Isi materi yang menarik minat	42.9	35.7	21.4	0.0	0.0	4	0
P18	Ilustrasi modul	60.7	21.4	14.3	0.0	3.6	4	0

\*IQR = Inter-Quartile Range

Berdasarkan Tabel 2, poin 6 hingga 11 menyatakan aspek pendahuluan modul. Kejelasan petunjuk penggunaan AR sudah sangat sesuai dan sesuai (85.7%, n=24) diikuti dengan ketercapaian tujuan kompetensi (85.7%, n=24). Mahasiswa menyatakan strategi belajar yang diterapkan untuk modul telah sesuai dan sangat sesuai (89.3%, n=22), mereka menantikan modul kualitas udara untuk mempermudah perhitungan efisiensi alat pengendali pada pertemuan berikutnya. Prasyarat spesifikasi gawai minimal adalah android *jellybean* 4.1

menyebabkan mahasiswa yang memiliki gawai tipe lain atau dibawahnya harus mengupayakan cara lain, sehingga kemudahan dalam persiapan pembelajaran bernilai 78.6%

(n=22). Modul ini tidak beririsan dengan modul di mata kuliah lain sehingga responden yang menjawab sesuai hanya 46.4% (n=13). Mata kuliah Kualitas Udara merupakan satu-satunya *core competency* bidang pengelolaan lingkungan udara, mata kuliah lainnya seperti Kimia Dasar dan Lingkungan, AMDAL dan Gambar Teknik

Desain Instalasi Ruangan berfungsi sebagai pelengkap. Penjelasan bagian pendahuluan modul masih perlu direvisi karena belum dilengkapi rencana pembelajaran semester (RPS), rencana pembelajaran daring (RPD) dan komposisi penilaian. Hal ini terlihat dari prosentase nilai kelengkapan komponen pendahuluan yang sesuai hanya 42.9% (n=12).

Keterkaitan dengan aspek materi modul ditunjukkan pula dalam Tabel 2 (poin 12 hingga 18). Kejelasan isi materi dalam taraf sangat sesuai dan sesuai mencapai 89.3% (n=22), hal yang sama juga berlaku untuk kedalaman materi (85.7%, n=24) dan struktur isi materi yang runtut (85.7%, n=24). Mahasiswa tertarik dengan penambahan contoh alat-alat pengendali lainnya sehingga nilai untuk kecukupan contoh alat pengendali 82.1% (n=23). Mereka juga menginginkan ilustrasi materi alat pengendali dibuat sedekat mungkin dengan kondisi nyata, hal ini disebabkan alat pengendali yang ditampilkan masih monokrom. Nilai ilustrasi modul untuk sangat sesuai dan sesuai sebesar 82.1% (n=23). Modul juga perlu dilengkapi glosarium agar mahasiswa mengerti istilah-istilah dalam modul, maka nilai kejelasan bahasa yang digunakan untuk sangat sesuai dan sesuai sebesar 78.6% (n=22). Secara keseluruhan sebesar 22 orang mahasiswa (78.6%) menyatakan sangat sesuai dan sesuai dengan isi materi karena dapat meningkatkan motivasi mereka untuk belajar alat pengendali pencemar udara.

Tabel 2 juga menunjukkan nilai median didominasi angka 4, meskipun ada 2 poin yang bernilai 3. Hasil perhitungan dilakukan untuk variabel gender namun secara statistik hasilnya tidak jauh berbeda, dengan demikian diperoleh hasil analisis faktor terhadap seluruh kriteria untuk keberterimaan modul,  $\mu=22.4$ ,  $sd=3.83$ . Hasil uji reliabilitas menunjukkan nilai yang tinggi ( $cronbach's\ alpha=0.96$ ). Mahasiswa juga diminta mengisi pertanyaan *open-ended*, diperoleh 26 mahasiswa dari total 28 mahasiswa yang menuliskan pendapat/ masukan untuk modul. Mahasiswa yang menyampaikan kepuasan mereka dalam menjalankan modul AR sebagai pengalaman pembelajaran sebesar 46.15%. Mereka memberikan pernyataan sebagai berikut :

“AR yang ditampilkan bagus sekali” (n=6)

“Keren” (n=2)

“Semoga adik tingkat yang menerima modul ini lebih baik lagi dalam memahami materi dan semoga pembelajaran-nya lebih kepada praktikum supaya membantu ke dunia kerja.”

(n=2)

“Terimakasih para pengampu yang telah menyusun modul dengan baik” (n=2)

Pernyataan-pernyataan tersebut sesuai dengan penelitian sebelumnya (Bazarov et al., 2017:6; Kamarainen et al., 2018:273), teknologi pembelajaran berbasis AR dapat meningkatkan motivasi mahasiswa sehingga meningkatkan pemahaman mereka. Penelitian Khan et al. (2019:11) terkait AR anatomi tubuh manusia dalam pembelajaran biologi 4D secara signifikan meningkatkan motivasi siswa menengah, dari angka 3.05 menjadi 3.49 pada skala likert 1-5. Kelas matematika yang dibangun oleh Chen (2019:22) mengalami penurunan tingkat ketakutan siswa karena pembelajaran kalkulus disajikan dalam visualisasi yang menarik, demikian juga kelas seni yang diterapkan oleh Di Serio et al. (2013:9). Mahasiswa dapat mengerjakan tugas praktikum lebih cepat dengan pemahaman yang lebih tinggi (Bakri et al., 2020:238). Dalam bidang teknik dan pengelolaan lingkungan, aplikasi AiR (Mathews et al., 2020:11) dapat digunakan untuk mengukur *Air Quality Index* (AQI) di suatu tempat secara *real-time* dengan visualisasi yang menarik sehingga pengguna dapat mengambil keputusan terhadap kesehatan pribadinya. AR tidak hanya memberikan motivasi namun dapat memberikan pengalaman kepada masing-masing pengguna. Adapun pendapat yang berupa masukan untuk perbaikan ke depan sebesar 53.85% yaitu :

- Pengembangan aplikasi untuk pengguna di luar IPB (n=4)
- Pemilihan ukuran dan jenis huruf yang tepat pada modul (n=3)
- Penambahan fitur video pengantar alat pengendali pencemar sesuai kondisi lapang (n=3)
- Penambahan penjelasan mengenai komponen di dalam alat pengendali (n=2)
- Ilustrasi warna pada alat pengendali pencemar yang lebih menarik (n=2)

Modul AR-KU memberikan manfaat bagi mahasiswa berupa materi yang dapat diakses terus-menerus meskipun praktikum sudah selesai

dilakukan, dimana hal ini tidak berlaku pada sistem konvensional. Demikian juga bagi mahasiswa yang belum berhasil diterima magang pada pembangkitan listrik, pertambangan batubara, atau perusahaan penghasil emisi lainnya namun tertarik dengan topik alat pengendali pencemar udara, pengalaman pembelajaran AR dapat menambah motivasi mereka.

Minoritas mahasiswa yang menyatakan tidak familiar dalam penggunaan aplikasi berbasis android/ iOS dalam kehidupan sehari-hari ada 6 mahasiswa atau 22% dari kuisioner yang dibagikan. Hal ini sesuai dengan rata-rata mahasiswa yang menyatakan tidak sesuai dan sangat tidak sesuai terhadap poin-poin pertanyaan menurut Tabel 2 yakni 6 mahasiswa. Meskipun demikian, masukan yang mereka sampaikan pada pertanyaan *open-ended* berupa masukan yang membangun. Kelemahan dalam penelitian ini adalah jumlah sampel kelas yang kecil jika dibandingkan keseluruhan populasi. *Pilot study* ini melibatkan mahasiswa yang berdomisili khusus di Kota Bogor dan dilaksanakan melalui aplikasi *moodle* khusus Sekolah Vokasi IPB University bernama *E-learning for Vocational Education and Training Acceleration* (EVIETA). Aksesibilitas AR yang dibuat menggunakan VUFORIA© sebatas gawai berbasis android, jika merambah gawai berbasis iOS maka harus menggunakan SDK lainnya. Pengembangan aplikasi sedang dilakukan pada tahap pendaftaran aplikasi ke *google playstore*. Pengujian kelayakan secara formatif kepada ahli media, ahli pembelajaran daring dan ahli bidang kualitas udara agar keseluruhan tahapan validasi terpenuhi belum dilakukan. Dengan demikian keterkaitan antara teori dan hasil penelitian yang relevan terhadap kelayakan modul belum diketahui.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Alat pengendali pencemar udara merupakan salah satu topik dalam mata kuliah Kualitas Udara di Prodi Teknik dan Manajemen Lingkungan Sekolah Vokasi IPB. Sebelum memutuskan untuk menyebarluaskan modul AR-KU, pengampu menganalisis kesiapan mahasiswa dalam menerima modul tersebut. Hal ini berguna dalam kesuksesan pengembangan modul sekaligus menilai motivasi mahasiswa dalam pembelajaran modul tersebut. Berdasarkan hasil penilaian formatif, beberapa

mahasiswa yang kurang familiar dan kurang tertarik dengan aplikasi AR membutuhkan strategi pendekatan pembelajaran tertentu. Sebagian besar mahasiswa memberikan tanggapan positif dan masukan membangun karena modul AR-KU ini dapat meningkatkan motivasi mereka dalam praktikum. Sebagai poin penting, modul AR-KU mampu memberikan gambaran awal bagi mahasiswa yang tertarik untuk menyusun desain alat pengendali pencemar udara. Atas dasar tersebut, pengampu terus berupaya memperbaiki modul AR-KU agar keseluruhan tahapan Kemp terpenuhi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ambarwulan, D., & Mulyati, D. (2016). The Design of Augmented Reality Application as Learning Media Marker-Based for Android Smartphone. *Jurnal Penelitian & Pengembangan Pendidikan Fisika P-ISSN: 2461-0933 e-ISSN:2461-1433*, 2(1), 73–80.
- Bakri, F., Oktaviani Marsal, & Mulyati, D. (2019). Textbooks Equipped with Augmented Reality Technology for Physics Topic in High-School. *Jurnal Penelitian & Pengembangan Pendidikan Fisika*, 5(2), 113–122. <https://doi.org/10.21009/1.05206>
- Bakri, F., Permana, H., Wulandari, S., & Mulyati, D. (2020). Student worksheet with ar videos: Physics learning media in laboratory for senior high school students. *Journal of Technology and Science Education*, 10(2), 231–240. <https://doi.org/10.3926/JOTSE.891>
- Bazarov, S. E., Kholodilin, I. Y., Nesterov, A. S., & Sokhina, A. V. (2017). Applying Augmented Reality in practical classes for engineering students. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 87(3). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/87/3/032004>
- Cabero Almenara, J., & Barroso Osuna, J. (2016). Posibilidades educativas de la Realidad Aumentada. *Journal of New Approaches in Educational Research*, 6(1), 44–50. <https://doi.org/10.7821/naer.2016.1.140>
- Chen, Y. C. (2019). Effect of Mobile Augmented Reality on Learning Performance,

- Motivation, and Math Anxiety in a Math Course. *Journal of Educational Computing Research*, 57(7), 1695–1722. <https://doi.org/10.1177/0735633119854036>
- Costa, M. C., Patricio, J. M., Carranca, J. A., & Farropo, B. (2018). Augmented reality technologies to promote STEM learning. *Iberian Conference on Information Systems and Technologies, CISTI, 2018-June*(June), 1–4. <https://doi.org/10.23919/CISTI.2018.8399267>
- Di Serio, Á., Ibáñez, M. B., & Kloos, C. D. (2013). Impact of an augmented reality system on students' motivation for a visual art course. *Computers and Education*, 68, 586–596. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.03.002>
- Guo, W. (2018). Improving engineering education using augmented reality environment. In *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics): Vol. 10924 LNCS*. Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-91743-6\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-319-91743-6_18)
- Kamarainen, A., Reilly, J., Metcalf, S., Grotzer, T., & Dede, C. (2018). Using Mobile Location-Based Augmented Reality to Support Outdoor Learning in Undergraduate Ecology and Environmental Science Courses. *The Bulletin of the Ecological Society of America*, 99(2), 259–276. <https://doi.org/10.1002/bes2.1396>
- Khan, T., Johnston, K., & Ophoff, J. (2019). The Impact of an Augmented Reality Application on Learning Motivation of Students. *Advances in Human-Computer Interaction*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/7208494>
- Kusumaningrum, A., Ayuningtyas, A., Lopes, J. B., Engineering, I., Program, S., & Yogyakarta, L. A. (2019). *Utilization of augmented reality technology in 3d visualization of high school of adisutjipto technology based on android. 1*(2).
- Mathews, N. S., Chimalakonda, S., & Jain, S. (2020). AiR - An Augmented Reality Application for Visualizing Air Pollution. *ArXiv*, 1–18.
- Morrison, G. R., Ross, S. M., & Kalman, H. K. (2012). *Designing Effective Instruction, 7th Edition*. John Wiley & Sons, Incorporated. <https://books.google.co.id/books?id=HSwC AAAAQBAJ>
- Nur, F., & Masykuri, M. (2019). *JPBI ( Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia ) Augmented Reality for teaching science : Students ' problem solving skill , motivation , and learning outcomes. 5*(2), 305–312.
- Patricia Aguilera-Hermida, A. (2020). College students' use and acceptance of emergency online learning due to COVID-19. *International Journal of Educational Research Open*, 1(July), 100011. <https://doi.org/10.1016/j.ijedro.2020.100011>
- Sumarna, K. (2019). Pengaplikasian Augmented Reality Pada Modul Pembelajaran Menggambar Teknik 2 dan CAD di Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta. *Jurnal PenSil*, 8(2), 89–96. <https://doi.org/10.21009/jpensil.v8i2.11956>
- Theodorou, P., & Botzori, M. (2018). *Augmented Reality Proves To Be a Breakthrough. July*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.24330.98241>
- Veas, E., Grasset, R., Ferencik, I., Grünewald, T., & Schmalstieg, D. (2013). Mobile augmented reality for environmental monitoring. *Personal and Ubiquitous Computing*, 17(7), 1515–1531. <https://doi.org/10.1007/s00779-012-0597-z>
- Wang, Lawrence K; Pereira, Norman C; Hung, Y.-T. (2004). Air Pollution Control Engineering. In *Air Pollution Control Engineering* (Volume 1). Humana Press, Inc. <https://doi.org/10.1007/978-1-59259-778-9>