

Desain Prototipe Sistem Alat Peraga Pendidikan Hologram 3D Portabel dan Interaktif dengan Kendali Gestur Tangan

Benedictus Herry Suharto¹, Agung Priyanto²

Program Studi Informatika, Fakultas Teknik dan Teknologi Informasi, Universitas Jenderal Achmad Yani Yogyakarta.

Jl. Siliwangi, Sleman 55293, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia

Email: ¹bherrys@mti.gadjahmada.edu, ²agungpriyanto@hotmail.com,

Abstract. *The use of three-dimensional (3D) hologram technology as a learning medium has several challenges to be used in classrooms interactively, portable, and can be seen directly without visual aids for 3D hologram objects. This study designs a prototype of an educational teaching aid system that utilizes 3D Hologram Fan LED display technology and hand gesture sensors to answer the challenges of system design so that it can be used learning medium. The research method includes the stages of technology review, tool design, software development, tool testing, and evaluation of all research stages. The results show that this prototype has a portable design and can be used in an interactive classroom with the average response time of 3D holographic object display on hand gesture control of 1.2 seconds. The 3D hologram object displayed by the prototype of this teaching aid system can be seen directly and clearly at a distance of 0.5 to 7.7 meters.*

Keywords: *Object 3D Hologram, Hand Gesture, Educational Teaching Aid Prototype, Interactive, Portable.*

Abstrak. *Pemanfaatan teknologi hologram tiga dimensi (3D) sebagai media pembelajaran memiliki beberapa tantangan agar dapat digunakan di ruang kelas secara interaktif, portabel, dan dapat dilihat secara langsung dengan jelas tanpa alat bantu penglihatan objek hologram 3D. Penelitian ini mendesain prototipe sistem alat peraga pendidikan yang memanfaatkan teknologi penampil Fan LED Hologram 3D dan sensor gestur tangan untuk menjawab tantangan desain sistem agar dapat digunakan sebagai media pembelajaran. Metode penelitian meliputi tahapan kajian teknologi, desain alat, pengembangan perangkat lunak, dan pengujian alat serta evaluasi dari seluruh tahapan penelitian. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa prototipe sistem alat peraga pendidikan memiliki desain yang portabel dan dapat digunakan di ruang kelas secara interaktif dengan waktu tanggap tampilan objek hologram 3D terhadap kendali gestur tangan rata-rata sebesar 1,2 detik. Objek hologram 3D yang ditampilkan oleh prototipe sistem alat peraga ini dapat dilihat secara langsung dengan jelas pada jarak antara 0,5 sampai dengan 7,7 meter.*

Kata Kunci: *Objek Hologram 3D, Gestur Tangan, Prototipe Alat Peraga Pendidikan, Interaktif, Portabel.*

1. Pendahuluan

Di era kemajuan teknologi dan industri ke-4, para ahli pendidikan percaya bahwa sudah waktunya membawa konsep-konsep baru berbasis teknologi dalam pembelajaran yang akan mendorong inovasi dan kreatifitas [1]. Hal ini akan mengubah pendidikan dari ruang kelas yang berpusat pada guru menjadi kelas yang berpusat pada peserta didik menggunakan fasilitator teknologi untuk mendorong pemecahan masalah dan pembelajaran eksperimental [2][3].

Penelitian dan implementasi teknologi hologram 3D telah dilakukan dengan metodologi dan pendekatan teknik pada beberapa satuan pendidikan, yaitu simulasi laboratorium kedokteran, pembelajaran tatap muka di kelas, pelatihan bisnis, farmasi, teknik instrumentasi, arkelogi, astronomi, pendidikan dasar dan pendidikan anak usia dini [4]. Pendekatan implementasi dimungkinkan karena teknologi penampil ini dapat menyajikan salinan suatu objek fisik ke dalam bentuk rekonstruksi tampilan tiga dimensi dengan posisi dan orientasi

tampilan objek yang dinamis. Teknologi ini juga memungkinkan pengguna untuk berinteraksi dengan objek-objek tersebut secara virtual [5]. Hal ini akan membentuk perasaan kehadiran objek 3D secara langsung untuk diamati dan dipelajari. Sehingga transfer pengetahuan dan keterampilan yang dipelajari di lingkungan kelas atau laboratorium dapat dibawa ke situasi lingkungan nyata [6].

Teknologi hologram 3D memiliki potensi pemanfaatan sebagai alat peraga pendidikan pada mata pelajaran tertentu untuk merekonstruksi dan menyimulasi objek dunia nyata. Meskipun bermanfaat, hambatan utama dalam implementasi teknologi tersebut adalah kompleksitas teknologi dan biaya perangkat keras yang relatif mahal. Selain itu portabilitas perangkat keras menjadi hambatan lain dalam menempatkan penampil hologram 3D di depan ruang kelas.

Beberapa peneliti telah merencanakan inovasi alat penampil proyeksi hologram 3D yang dapat digunakan sebagai alat bantu pemahaman materi pada proses pembelajaran di kelas. Inovasi ini menerapkan beberapa teknologi hologram 3D sebagai penampil objek 3D yang relatif murah dan mudah, seperti *Pyramid Glass Reflection* [6], *Hexagonal Pyramid* [7], *Pyramid Projector* [8], *Passive Stereocopy* [9], *Virtual Reality* [10], *Augmented Reality* [11], dan *LED Fan Projector* [8][12]. Kekurangan dari inovasi tersebut adalah ukuran objek hologram 3D yang kecil (*Pyramid Glass Reflection*), membutuhkan alat bantu penglihatan (*Passive Stereocopy*, *Virtual Reality*), tidak portabel (*Hexagonal Pyramid*, *Pyramid Projector*) dan kurang interaktif (*Augmented Reality*, *LED Fan Projector*).

Penelitian ini memberikan usulan alternatif untuk memanfaatkan teknologi *3D Hologram LED Fan Display* sebagai penampil objek hologram 3D yang dihasilkan dari pemrosesan komputer (*Computer Generated Hologram* atau CGH) dan teknologi sensor gestur sebagai antarmuka interaksi dengan objek hologram 3D. Pemanfaatan kedua teknologi ini menghasilkan sebuah inovasi alat peraga pendidikan interaktif yang dapat menampilkan objek hologram 3D sesuai dengan materi pembelajaran. Selain itu, pengguna alat peraga dapat secara langsung berinteraksi untuk mengendalikan tampilan objek hologram 3D. Sehingga pengguna dapat merasakan sensasi yang mirip seperti ketika berinteraksi langsung dengan objek aslinya. Selain itu, sistem alat peraga pendidikan ini dapat diduplikasi secara cepat dan murah seperti halnya perangkat lunak komputer. Sehingga sangat tepat diimplementasikan di sekolah-sekolah dengan kurikulum yang fleksibel, terutama kurikulum di Era Revolusi Industri 4.0.

Tujuan penelitian adalah mendesain sistem alat peraga pendidikan berbasis teknologi hologram 3D dan sensor gestur tangan yang interaktif, portabel, tampilan objek hologram 3D cukup besar dan tanpa alat bantu penglihatan untuk mendukung proses pembelajaran yang dinamis di Era Revolusi Industri 4.0. Implementasi alat peraga ini diharapkan dapat menumbuhkan konsep-konsep baru yang mendorong inovasi dan kreativitas dalam proses pembelajaran berbasis teknologi informasi.

Urgensi penelitian adalah mewujudkan alat peraga pendidikan interaktif dengan kemampuan lebih baik dari inovasi sebelumnya, seperti ukuran tampilan objek hologram 3D lebih besar dan jelas, tanpa alat bantu penglihatan, portabel, dan interaktif untuk membantu meningkatkan efektifitas transfer pengetahuan selama proses pembelajaran yang fleksibel dan dinamis. Pada masa pandemi Covid-19, alat peraga ini dapat membantu pemahaman materi pembelajaran jarak jauh (PJJ) yang berhubungan dengan objek nyata dan simulasi objek. Data objek hologram 3D yang sedang dipelajari dikirim melalui jaringan internet dan ditampilkan oleh alat peraga secara luring di hadapan peserta didik.

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Teknologi Alat Peraga

Alat peraga merupakan media yang digunakan untuk membantu pemahaman siswa yang masih abstrak. Penggunaan alat peraga bertujuan agar pembelajaran menjadi aktif, kreatif dan mempercepat pemahaman materi [13]. Media pembelajaran diklasifikasikan berdasarkan sifat (media audio, visual dan audiovisual) dan jangkauannya (diproyeksikan: film, transparansi,

film setrip, dan *slide* presentasi; tidak diproyeksikan: gambar, foto, lukisan) [14]. Beberapa jenis media pengajaran yang umum digunakan dalam proses pengajaran adalah:

- Media grafis seperti gambar, foto, grafik, bagan atau diagram, poster, kartun, komik, sketsa, peta, *flanel board*, *buletin board*, dan lain-lain.
- Media tiga dimensi yaitu dalam bentuk model seperti model padat (*solid model*), model penampang, model susun, model kerja, *mockup*, diorama dan lain-lain.
- Media proyeksi seperti *slide* presentasi, film strips, film, penggunaan OHP (*Overhead Projector*) dan lain-lain.
- Media yang menggunakan lingkungan sebagai media pengajaran.

Penggunaan media di atas tidak dinilai dari segi kecanggihan medianya, tetapi lebih penting dilihat dari fungsi dan peranannya dalam membantu mempertinggi proses pengajaran [15]. Media pembelajaran meliputi alat yang secara fisik digunakan untuk menyampaikan isi materi pengajaran yang terdiri dari: buku, *tape recorder*, kaset, video, televisi dan komputer. Dengan kata lain, media adalah komponen sumber belajar atau wahana fisik yang mengandung materi instruksional di lingkungan peserta didik untuk belajar. Oleh karenanya alat peraga pendidikan adalah bagian yang tidak terpisahkan dari proses belajar-mengajar demi tercapainya tujuan pendidikan pada umumnya dan tujuan pembelajaran di sekolah.

2.2. Teknologi Hologram 3 Dimensi

Secara konseptual, hologram 3D merupakan visualisasi struktur fisik dalam ruang 3D dengan memanipulasi cahaya menjadi gambar [16]. Hologram menampilkan objek dalam sebuah ruang yang tampak di semua sisi, sehingga pengamat dapat mengamati objek hologram di sekeliling ruang dan tampak realistis mirip dengan objek aslinya.

CGH adalah teknologi untuk penampilan objek hologram menggunakan komputer untuk menghindari langkah perekaman interferometrik dalam pembentukan hologram konvensional. Komputer digunakan untuk menghitung pola *holographic fringe* yang kemudian digunakan untuk mengatur sifat *optik spatial light modulator* (SLM), seperti penampil mikro LCD. SLM kemudian mendifraksi data pembacaan visual dari gelombang cahaya untuk menghasilkan *wavefront* optik yang diinginkan [17][18].

2.3. Teknologi Sensor Gestur

Teknologi sensor gestur didasarkan pada pengenalan gerakan tubuh manusia untuk memberikan perintah ke komputer. Teknologi ini menyediakan informasi perintah yang lebih kompleks antara komputer dan manusia. Berikut ini teknologi sensor gestur yang saat ini populer digunakan [19]:

- Kombinasi sensor kamera RGB dan sensor kedalaman sebagai pendeteksi gerak 3D tubuh.
- Kombinasi dua kamera inframerah monokromatik dan tiga LED inframerah (IM) sebagai pendeteksi gerakan jari (*Leap Motion*).
- Kombinasi sensor EMG, *three-axis gyroscope*, *three-axis accelerometer*, dan *three-axis magnetometer* sebagai pendeteksi sinyal listrik otot lengan untuk pemetaan gerakan tangan.

2.4. Teknologi Hologram 3D sebagai Alat Visualisasi Pengajaran

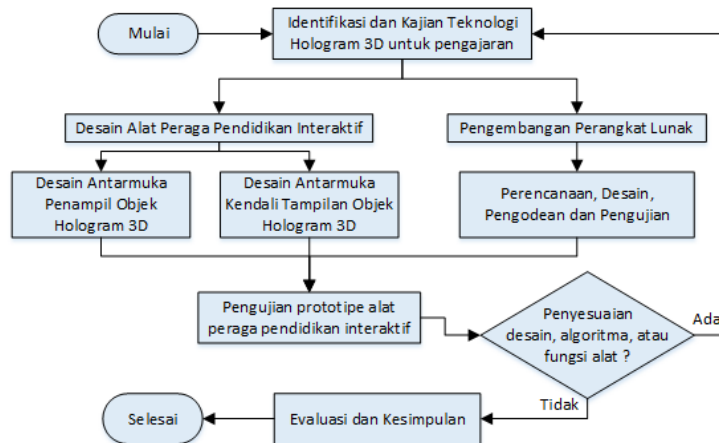
Teknologi hologram 3D dapat digunakan sebagai alat visualisasi objek 3D dengan teknik fotografi yang merekam cahaya koheren dari berkas cahaya dan kemudian merepresentasikan gambar secara 3D. Tidak seperti video konvensional pada layar datar, hologram 3D menampilkan produk, objek, dan urutan animasi tiga dimensi secara nyata dan tampak melayang bebas dalam ruang [16].

Teknologi hologram 3D diakui sebagai alat visualisasi yang efektif dan penerapannya memiliki potensi besar di bidang pendidikan. Dimitris [9] menyatakan bahwa teknologi hologram 3D berpotensi sebagai alat pengajaran yang efektif yang dapat memperkuat proses pembelajaran di masa depan. Menurut temuan Lara, Christina, dan Alberto [20], penerapan teknologi hologram 3D di sekolah dapat secara efektif meningkatkan kemampuan belajar dan

kognisi pada anak-anak. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa teknologi hologram 3D memungkinkan untuk memperkuat motivasi siswa dalam belajar melalui penggunaan pembelajaran berbasis model dan efek visual. Araiza dkk. [21] menunjukkan bahwa aplikasi teknologi hologram 3D dapat menciptakan ilusi pencitraan 3D yang memungkinkan siswa untuk melihat objek dari berbagai sudut. Ini sangat dibutuhkan dalam hal merangsang imajinasi untuk memberi siswa pemahaman yang lebih baik dan meningkatkan motivasi mereka. Loh Ngiik Hoon dan Siti Shukhaila [8] mengkonfirmasi bahwa teknologi hologram 3D secara efektif meningkatkan hasil belajar siswa dan tingkat prestasi mereka. Mereka juga menunjukkan bahwa teknologi tersebut membantu mencapai rasa realitas yang memotivasi anak.

3. Metodologi Penelitian

Penelitian dilaksanakan melalui serangkaian tahapan yang meliputi: identifikasi dan kajian teknologi hologram 3D untuk pengajaran, desain alat peraga pendidikan interaktif, pengembangan perangkat lunak, pengujian prototipe alat peraga pendidikan interaktif serta evaluasi dan kesimpulan. Tahapan desain alat dan pengembangan perangkat lunak dilakukan secara paralel untuk mempercepat langkah rekayasa sistem alat peraga pendidikan yang berbasis pada metode *Extreme Programming* (XP) [22][23]. Bagan alur tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan Alur Tahapan Penelitian

3.1. Identifikasi dan kajian teknologi hologram 3D untuk pengajaran.

Tahap ini berupa metaanalisis dokumen ilmiah terkait teknologi hologram 3D untuk pengajaran dan teknologi sensor gestur tangan. Selain itu, dilaksanakan pula pertemuan dan forum diskusi yang melibatkan pakar teknologi informasi serta praktisi bidang pendidikan. *Focus Group Discussion* (FGD) dengan pakar dan praktisi teknologi informasi dan pendidikan dibutuhkan untuk mendapatkan pemahaman dan solusi implementasi alat peraga pendidikan berbasis hologram 3D yang ideal.

3.2. Desain Alat Peraga Pendidikan Interaktif

Tahap desain berisi langkah-langkah perancangan arsitektur sistem, desain antarmuka dan kendali tampilan objek hologram 3D dari alat peraga pendidikan. Fitur-fitur kunci dikembangkan dengan memperhatikan portabilitas dan kemudahan pemakaian di ruang kelas selama proses pembelajaran.

3.3. Pengembangan Perangkat Lunak

Pengembangan perangkat lunak menggunakan metode XP dengan siklus pengembangan yang selalu ditingkatkan dari tahapan perencanaan, desain, pengodean, dan pengujian. Metode XP dipilih untuk mengakomodasi perubahan kebutuhan sistem yang sangat cepat dari hasil

forum diskusi, tahap penyempurnaan desain, dan tahap pengujian prototipe alat peraga pendidikan interaktif.

3.4. Pengujian Prototipe Alat Peraga Pendidikan Interaktif

Pengujian alat peraga pendidikan interaktif dilaksanakan pada skala laboratorium yang meliputi pengujian fungsi dan pengujian pengguna, Pengujian ini diperlukan untuk mengetahui kesalahan yang timbul saat sistem prototipe alat peraga pendidikan interaktif sedang berjalan serta untuk mengetahui apakah prototipe yang didesain sudah sesuai dengan kebutuhan pengajaran. Jika ditemukan adanya kesalahan desain, algoritma program, ataupun penyesuaian fungsi alat peraga pendidikan, maka tahapan identifikasi dan kajian teknologi dapat ditinjau kembali.

3.5. Evaluasi dan Kesimpulan

Tahapan evaluasi digunakan untuk menilai apakah prototipe alat peraga interaktif telah sesuai dengan desain dan kebutuhan pengajaran. Evaluasi juga digunakan untuk mengidentifikasi kekurangan desain dan prototipe alat pada pengembangan penelitian berikutnya. Sedangkan tahapan kesimpulan merupakan ringkasan hasil dan analisis penelitian yang merupakan sintesis dari proses keseluruhan penelitian.

4. Hasil dan Diskusi

4.1. Teknologi Hologram 3D untuk Pengajaran

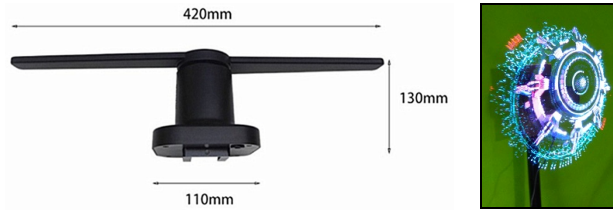
Hasil metaanalisis dokumen ilmiah yang terkait dengan pemanfaatan teknologi hologram 3D berbasis CGH untuk pengajaran dan teknologi sensor gestur berbasis gerakan tangan diperlihatkan pada Tabel 1 dan Tabel 2. Dokumen ilmiah ini dipublikasikan dalam rentang tahun 2011 hingga 2021.

Tabel 1. Pemanfaatan Teknologi Hologram 3D untuk Pengajaran.

Kajian	Teknologi Hologram 3D		
	Penggunaan	Teknologi	Manfaat
Awad (2018) [6]	Alat peraga	Kaca Piramida Hologram dan Kontrol Gerakan Tangan.	Proses pembelajaran menjadi lebih atraktif.
Sudeep (2013) [7]	Alat peraga	Proyeksi piramida heksagonal dengan bidang pandang isometrik.	Meningkatkan efektifitas pemahaman dalam pembelajaran.
Hoon (2019) [8]	Media pembelajaran	Animasi hologram 3D dengan proyektor piramida hologram 3D.	Meningkatkan efektifitas pemahaman dalam pembelajaran.
Mavrikios (2019) [9]	Media pembelajaran	Monitor Penampil Hologram 3D dengan kacamata 3D pasif dan Kontrol Gerakan Tangan.	Simulasi dan prototipe objek untuk pembelajaran.
Hu Au (2017) [10]	Media pembelajaran	Penampil Hologram 3D dengan Virtual Reality.	Meningkatkan keterlibatan dan partisipasi siswa dalam pembelajaran.
Wyss (2021) [11]	Media pembelajaran	Penampil Hologram 3D dengan Augmented Reality.	Meningkatkan partisipasi siswa dalam pembelajaran.
Prado (2020) [12]	Media pembelajaran	Proyektor hologram 3D LED Fan.	Meningkatkan motivasi siswa dalam pembelajaran.

Kajian metaanalisis Tabel 1 menunjukkan adanya peran penting teknologi hologram 3D dalam memproyeksikan objek kompleks pembelajaran ke bentuk visual 3D yang dapat dipahami. Kajian tersebut juga menyatakan bahwa hologram 3D memberikan manfaat di semua bidang pendidikan.

FGD memunculkan beberapa kendala teknologi hologram 3D (Tabel 1) yang kurang sesuai diimplementasikan di depan ruang kelas saat proses pembelajaran berlangsung, yaitu ukuran kecil, tidak portabel, membutuhkan alat bantu penglihatan, menutup indra penglihatan, relatif mahal, dan tidak interaktif. Berdasarkan pertimbangan tersebut, maka dipilih penampil hologram 3D berbasis CGH dengan teknologi *3D Hologram LED Fan Display* (Gambar 2).



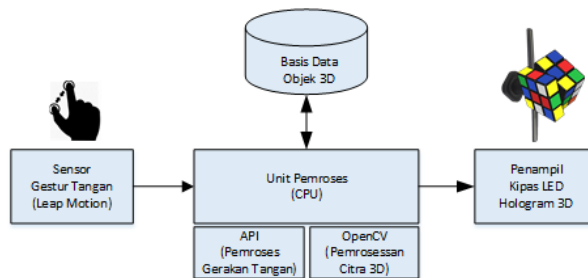
Gambar 2. 3D Hologram LED Fan Display

Kajian metaanalisis Tabel 2 memperlihatkan jenis teknologi sensor gestur berbasis gerakan tubuh. *Leap Motion* memiliki beberapa keuntungan dibandingkan teknologi lainnya, yaitu sensitivitas tinggi, harga relatif paling murah dan memiliki pustaka API (*Application Programming Interface*) serta dokumentasi pemrograman yang lengkap.

Tabel 2. Teknologi Kendali Berbasis Gestur Tangan

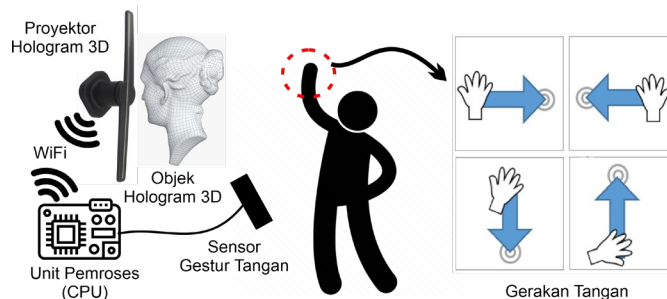
Kajian	Produk	Teknologi Gestur Tangan	
		Teknologi	API
Zhang (2012) [24]	Microsoft Kinect	Deteksi gerak 3D tubuh dengan kamera RGB dan sensor kedalaman.	Windows SDK.
Rehman (2020) [25]	Leap Motion	Deteksi gerak jari dengan dua kamera inframerah monokromatik dan tiga LED IM.	Java, C#, C++, JavaScript, dan Python SDK.
Rawat (2016) [26]	Myo Armband	Deteksi gerak tangan melalui sensor EMG, gyroscope, accelerometer, dan magnetometer.	C, Windows, iOS SDK.

4.2. Desain Alat Peraga Pendidikan Interaktif.



Gambar 3. Arsitektur Alat Peraga

Sensor gestur tangan berfungsi mengubah gerakan tangan menjadi perintah ke unit pemroses untuk mengendalikan tampilan objek hologram 3D sesuai arahan pengguna. Mekanisme sensor gestur tangan terdiri dari dua bagian, yaitu bagian deteksi gerakan tangan dan bagian penerjemah gerakan tangan menjadi perintah.



Gambar 4. Desain Prototipe Alat Peraga

Gambar 3 dan 4 menunjukkan diagram arsitektur dan desain prototipe alat peraga pendidikan interaktif. Sensor gestur akan mendeteksi gerakan tangan sebagai aktifitas interaksi dengan objek hologram 3D [27]. Gestur tangan ini (Tabel 3) berupa gerakan membuka atau

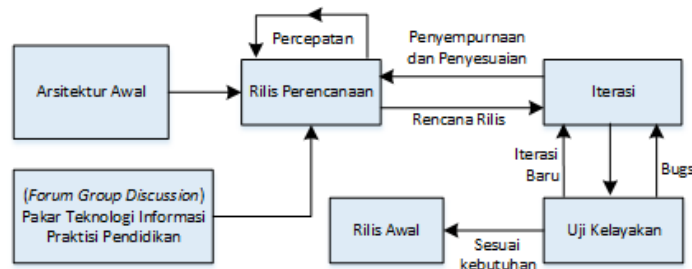
menutup telapak tangan untuk menjalankan (*play*) dan menghentikan animasi (*pause*) objek hologram 3D. Gerakan menggeser telapak tangan untuk memutar objek hologram 3D ke arah kanan (geser tangan ke kanan) atau ke arah kiri (geser tangan ke kiri). Kemudian gerakan tangan menggeser ke bawah atau ke atas untuk melakukan proses rotasi dengan memutar animasi 3D yang sesuai untuk putaran objek hologram 3D ke bawah atau ke atas.

Tabel 3. Fitur Antarmuka Alat Peraga

Gesture Tangan Kanan	Kontrol Objek Hologram 3D
Angkat tangan	Alat peraga aktif dan membaca data objek hologram 3D.
Turunkan tangan	Alat peraga masuk dalam mode siaga.
Buka telapak tangan	Objek dijalankan (<i>play</i>)
Tutup telapak tangan	Objek dihentikan (<i>stop</i>)
Tangan geser kanan	Objek di putar ke kanan satu langkah.
Tangan geser kiri	Objek di putar ke kiri satu langkah.
Tangan geser atas	Objek di putar ke atas satu langkah.
Tangan geser bawah	Objek di putar ke bawah satu langkah.

4.3. Pengembangan perangkat lunak.

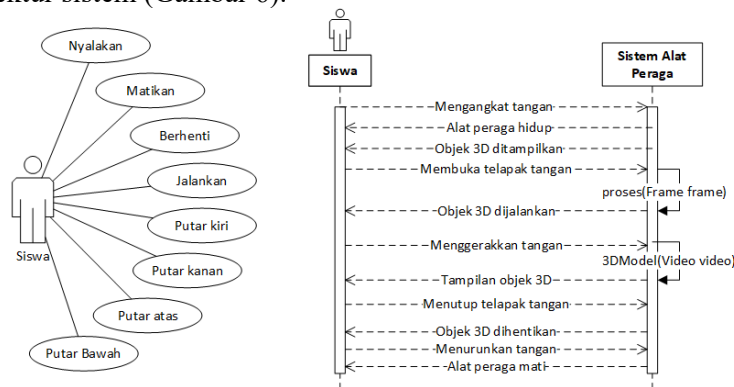
Siklus pengembangan perangkat lunak prototipe alat peraga pendidikan menggunakan metode XP (Gambar 5) dimulai dari perancangan arsitektur awal. Arsitektur ini dirancang berdasarkan hasil metaanalisis kebutuhan alat peraga pendidikan. Rancangan arsitektur kemudian disempurnakan lewat diskusi dengan pakar teknologi informasi dan praktisi pendidikan. Pembuatan kode program dilakukan secara berulang berdasarkan penyesuaian dan penyempurnaan rancangan dari hasil uji kelayakan. Rilis awal perangkat lunak terjadi ketika seluruh fitur yang dibutuhkan telah sesuai dengan rancangan yang telah disempurnakan.



Gambar 5. Siklus Hidup (XP) Pengembangan Perangkat Lunak Alat Peraga

Berikut ini tahapan detail pengembangan perangkat lunak:

- Tahap rilis perencanaan berupa arsitektur awal perangkat lunak yang telah disempurnakan melalui FGD. Arsitektur ini berupa pemodelan *use case* dan *sequence diagram* arsitektur sistem (Gambar 6).



Gambar 6. Pemodelan Antarmuka Alat Peraga

- Tahap pengkodean dilaksanakan dengan merealisasikan pemodelan sistem ke dalam algoritma kode bahasa pemrograman Java. Lingkungan bahasa pemrograman Java dipilih karena telah memiliki beberapa *class object* untuk pengolahan hologram berbasis CGH [21][25][28]. Tabel 4 memperlihatkan daftar *method* utama yang dipakai pada program alat peraga.

Tabel 4. Daftar Method Antarmuka Alat Peraga

<i>Method</i>	<i>Operasi</i>
onConnect(gesture)	Menguji semua gestur yang di tersedia pada perangkat.
proses(Frame frame)	Ekstraksi data tangan, jadi dan gestur dari sebuah object frame.
examineHand()	Informasi detil mengenai posisi telapak tangan dan arah tangan.
calcScreenNorm()	Memetakan koordinat tangan terhadap layar atau objek hologram 3D.
3DModel(Video video)	Menampilkan video hologram 3D ke proyektor.
modelStop()	Menghentikan (pause) tampilan hologram 3D.
modelPlay()	Menjalankan (play) tampilan hologram 3D.
modelFwd()	Menjalankan tampilan hologram 3D, maju satu langkah.
modelRwd()	Menjalankan tampilan hologram 3D, mundur satu langkah.
modelUp()	Menjalankan tampilan hologram 3D, putar ke atas satu langkah.
modelDown()	Menjalankan tampilan hologram 3D, putar ke bawah satu langkah.

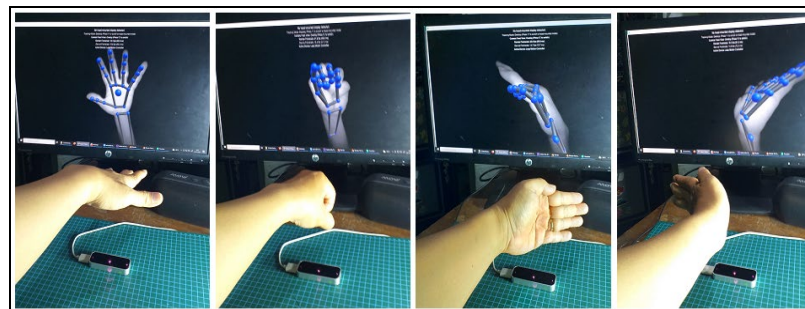
Kode 1 berikut ini adalah potongan kode program untuk gestur tangan kanan.

Kode 1. Kode program Java untuk deteksi gestur tangan kanan

```

if (frame.hands().count() == 1) {
    Hand hand = frame.hands().get(0);
    //tangan kanan
    if (hand.isValid() && hand.isRight()
        && hand.id() != processedHandId) {
        if (hand.fingers().extended().count() <= 1
            && previousExtendedFingersCount == 5) {
            performAction();
            processedHandId = hand.id();
            previousExtendedFingersCount = 0;
        } else {
            previousExtendedFingersCount =
                hand.fingers().extended().count();
        }
    }
}
}
    
```

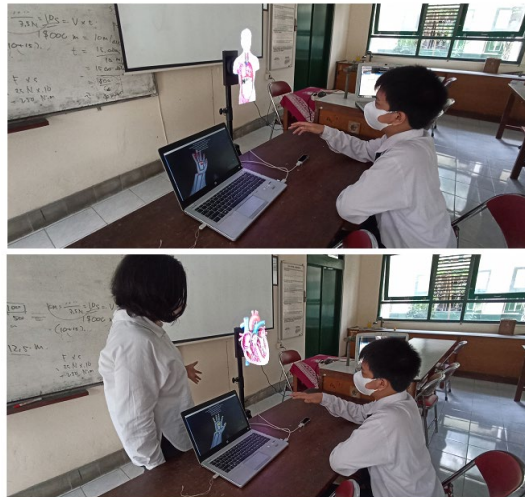
- Tahap pengujian dilakukan setelah iterasi XP tahap pengkodean selesai. Tahap ini merupakan uji kelayakan untuk mengetahui kesalahan yang timbul ketika aplikasi dijalankan serta mengetahui apakah sistem telah dibangun sesuai kebutuhan. Ketika uji kelayakan telah lolos, maka rilis awal dari perangkat lunak dibuat dan tahapan XP selesai dilakukan.



Gambar 7. Pengujian (XP) Antarmuka Alat Peraga

4.4. Pengujian prototipe alat peraga pendidikan interaktif.

Pengujian prototipe alat peraga pendidikan interaktif melibatkan pengguna siswa, praktisi guru, pakar teknologi informasi, dan mahasiswa. Gambar 8 memperlihatkan sesi pengujian langsung oleh siswa kelas VIII SMP yang didampingi oleh guru mata pelajaran (mapel) Ilmu Pengetahuan Alam (IPA). Materi pelajaran yang diberikan adalah Sistem Peredaran Darah Manusia. Setelah mencoba alat peraga, siswa dan guru sepakat bahwa alat peraga ini dapat meningkatkan dan mempercepat pemahaman mapel yang disampaikan. Lebih lanjut, interaksi langsung dengan objek hologram 3D Jantung dan Sistem Peredaran Darah Manusia (putar kiri, kanan, atas dan bawah) memotivasi siswa untuk mendapatkan informasi yang lebih detail mengenai struktur Jantung dan Sistem Peredaran Darah Manusia.



Gambar 8. Pengujian Prototipe Alat Peraga Pendidikan Interaktif

Tabel 5 memperlihatkan hasil pengujian fungsi utama dari alat peraga pendidikan interaktif. Hasil ini menunjukkan bahwa pengguna (guru dan siswa) dapat berinteraksi langsung dengan alat peraga ketika sebuah objek diproyeksikan oleh penampil hologram 3D. Pengguna secara *real time* menggunakan gestur tangan membuka atau menutup telapak tangan, menggeser ke kiri, kanan, atas atau bawah, dan mengangkat atau menurunkan tangan untuk mengendalikan tampilan objek hologram 3D. Hasil Tabel 5 juga menunjukkan bahwa alat peraga memiliki keterbatasan dalam memproses ukuran dan resolusi video hologram 3D. Batas resolusi yang masih dapat diterima oleh pengguna 450 x 224 pixel.

Tabel 5. Pengujian Prototipe Alat Peraga Pendidikan Interaktif.

Kode	Pengujian		
	Pengujian	Nama	Data
AG-01	Uji sensor gestur tangan	Menggerakkan tangan, membuka dan menutup telapak tangan.	Sesuai desain dan spesifikasi.
AG-02	Uji sensor gestur tangan	Menggerakkan tangan kiri dan kanan.	Dapat mendeteksi tangan kanan atau tangan kiri.
AG-03	Uji sensor gestur tangan	Menggerakkan tangan kanan lebih dari satu (dua siswa atau lebih).	Sesuai desain, tidak menjalankan perintah.
AG-04	Uji sensor gestur tangan	Menggerakkan tangan kanan dan menutup tangan (dua tangan).	Mengikuti gestur tangan pertama atau yang paling dekat.
AG-05	Uji sensor gestur tangan	Menggerakkan tangan dengan cepat.	Tidak menjalankan perintah.
AV-01	Uji penampil hologram 3D	Mengirimkan data video format mp4 ukuran kecil.	Dapat dijalankan (<i>play</i>), dihentikan (<i>stop</i>), maju (<i>forward</i>), mundur.
AV-02	Uji penampil hologram 3D	Mengirimkan data video format mp4 ukuran besar.	Respon kendali video lambat. Tidak dapat diterima pengguna.
AV-03	Uji penampil hologram 3D	Mengirimkan data video format mp4 resolusi berbeda-beda.	Respon kendali video tidak stabil. Tidak dapat diterima pengguna.

AV-04	Uji penampil hologram 3D	Mengirimkan konten object hologram 3D sederhana.	Respon kendali video cepat. Dapat diterima pengguna.
AV-05	Uji penampil hologram 3D	Mengirimkan konten object hologram 3D kompleks.	Respon kendali video lambat. Tidak dapat diterima pengguna.

4.5. Evaluasi.

Tahapan penelitian telah dilaksanakan dan menghasilkan desain prototipe sistem alat peraga pendidikan interaktif yang diharapkan dapat menumbuhkan konsep-konsep baru dan kreativitas dalam proses pembelajaran berbasis teknologi informasi. Evaluasi dari penelitian ini adalah:

- Prototipe alat peraga masih memerlukan pengembangan lebih lanjut agar dapat diimplementasikan pada mata pelajaran yang lebih luas.
- Desain awal (pabrik) alat penampil hologram 3D LED Fan tidak dilengkapi dengan fitur pengendalian tampilan objek hologram 3D, sehingga memerlukan teknik *blackbox analysis* pada koneksi WiFi untuk mendapatkan antarmuka kendali video objek hologram 3D. Teknik ini tidak dapat mengontrol tampilan objek hologram 3D secara maksimal, mengakibatkan waktu tunda tanggapan rata-rata sebesar 1,2 detik.
- Kelemahan utama dari alat peraga ini adalah dalam hal penyediaan data konten objek hologram 3D yang sesuai dengan materi mata pelajaran. Guru sebagai pembuat materi ajar harus memiliki kemampuan mengoperasikan aplikasi untuk pembuatan objek hologram 3D.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Penelitian ini telah menghasilkan desain prototipe sistem alat peraga pendidikan yang interaktif dan portabel berbasis teknologi hologram 3D dengan sensor gestur tangan sebagai antarmuka interaksi dengan objek hologram 3D. Objek hologram 3D yang diproyeksikan cukup besar dengan diameter 420 milimeter dan dapat dilihat secara langsung dengan jelas tanpa menggunakan alat bantu penglihatan proyeksi objek 3D pada jarak antara 0,5 – 7,7 meter. Data objek hologram 3D pada sistem alat peraga pendidikan dapat disesuaikan dengan materi pembelajaran yang diberikan guna mendukung inovasi dan kreativitas konten serta proses pembelajaran yang bermutu dan dinamis di Era Revolusi Industri 4.0.

Peserta didik dan guru dapat melakukan interaksi langsung dengan objek hologram 3D menggunakan gestur tangan untuk mencapai pemahaman yang mendalam pada materi belajar yang sedang diberikan. Selain itu, penggunaan alat peraga ini dapat menumbuhkan konsep-konsep baru dalam proses pembelajaran berbasis teknologi informasi.

5.2. Saran

Saran bagi penelitian selanjutnya adalah pengembangan portabilitas alat peraga pendidikan dengan menggunakan unit pemroses yang lebih ringkas, seperti mini PC atau *Raspberry Pi*. Selain itu, antarmuka kendali pada perangkat *hologram 3D LED Fan display* dapat direkayasa ulang untuk mendapatkan kualitas tanggapan tampilan objek hologram 3D yang lebih baik.

6. Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih diberikan kepada Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia atas dukungan yang diberikan berupa bantuan dana penelitian dalam skema Penelitian Dosen Pemula (PDP) tahun pelaksanaan 2021.

Ucapan terimakasih diberikan pula kepada ibu Maria Faeka Christiani selaku guru mata pelajaran IPA di SMP Negeri 5 Yogyakarta dan para siswa yang telah membantu pelaksanaan penelitian ini.

Referensi

- [1] R. M. Elsayed and D. H. M. Sajjad, "Designing information by Using the hologram technique in educational signs," *J. Islam. Relig. Stud.*, vol. 4, no. 1, pp. 11–13, 2019.
- [2] R. A. Walker, "Holograms as teaching agents," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 415, no. 1, 2013, doi: 10.1088/1742-6596/415/1/012076.
- [3] F. Salvetti and B. Bertagni, "Interactive Tutorials and Live Holograms in Continuing Medical Education : Case Studies from the e-REAL ® Experience," in *The International Conference on E-Learning in the Workplace 2016*, 2016, pp. 1–8.
- [4] N. M. M. Barkhaya and N. D. A. Halim, "A review of application of 3D hologram in education: A metaanalysis," *2016 IEEE 8th Int. Conf. Eng. Educ. Enhancing Eng. Educ. Through Acad. Collab. ICEED 2016*, pp. 257–260, 2017, doi: 10.1109/ICEED.2016.7856083.
- [5] I. Tawaqqal, I. Purwanti Ningrum, and M. Yamin, "Hologram holographic pyramid 3 dimensi," *semantik*, vol. 3, no. 1, pp. 181–188, 2017, [Online]. Available: <http://ojs.uho.ac.id/index.php/semantik/article/view/3288>
- [6] A. H. Awad and F. F. Kharbat, "The first design of a smart hologram for teaching," *2018 Adv. Sci. Eng. Technol. Int. Conf. ASET 2018*, pp. 1–4, 2018, doi: 10.1109/ICASET.2018.8376931.
- [7] U. Sudeep, "Use of 3D Hologram Technology in Engineering Education," SICETE. [Online]. Available: www.iosrjournals.org
- [8] L. N. Hoon and S. S. Shaharuddin, "Learning Effectiveness of 3D Hologram Animation on Primary School Learners," *J. Vis. Art Des.*, vol. 11, no. 2, pp. 93–104, Dec. 2019, doi: 10.5614/j.vad.2019.11.2.2.
- [9] D. Mavrikios, K. Alexopoulos, K. Georgoulas, S. Makris, G. Michalos, and G. Chryssolouris, "Using Holograms for visualizing and interacting with educational content in a Teaching Factory," in *Procedia Manufacturing*, 2019, vol. 31, pp. 404–410. doi: 10.1016/j.promfg.2019.03.063.
- [10] E. Hu Au and J. J. Lee, "Virtual reality in education: a tool for learning in the experience age," *Int. J. Innov. Educ.*, vol. 4, no. 4, p. 215, 2017, doi: 10.1504/ijiie.2017.10012691.
- [11] C. Wyss, W. Bühner, F. Furrer, A. Degonda, and J. A. Hiss, "Innovative teacher education with the augmented reality device microsoft hololens—results of an exploratory study and pedagogical considerations," *Multimodal Technol. Interact.*, vol. 5, no. 8, Aug. 2021, doi: 10.3390/mti5080045.
- [12] M. X. Prado Ortega, J. C. Delgado Ramírez, J. W. Valarezo Castro, J. L. Armijos Carrión, A. A. Ávila Carvajal, and A. N. González Segarra, "Application of the technical - pedagogical resource 3D holographic LED-fan display in the classroom," *Smart Learn. Environ.*, vol. 7, no. 1, Dec. 2020, doi: 10.1186/s40561-020-00136-5.
- [13] M. J. Hidayat, "Kajian Desain Alat Peraga Pendidikan Untuk Siswa Playgroup," in *Proceeding Seminar Kajian Budaya Visual*, 2008, no. August 2008, p. 74.
- [14] F. T. Nomleni and T. S. N. Manu, "Pengembangan Media Audio Visual dan Alat Peraga dalam Meningkatkan Pemahaman Konsep dan Pemecahan Masalah," *Sch. J. Pendidik. dan Kebud.*, vol. 8, no. 3, pp. 219–230, 2018, doi: 10.24246/j.js.2018.v8.i3.p219-230.
- [15] Yunita Wildaniati; Adesia Afriana, "Penggunaan Alat Peraga untuk Meningkatkan Hasil Belajar Siswa Kelas V SD N 2 Gunung Katun Kecamatan Baradatu," *Dewantara*, vol. VII, pp. 56–72, 2019.
- [16] G. Matteucci, "Holography: origin, basic principle and applications of a revolutionary communication method in art and science," *Rev. la Acad. Colomb. Ciencias Exactas, Físicas y Nat.*, vol. 39, no. 0, p. 11, 2015, doi: 10.18257/raccefy.251.
- [17] C. Slinger, C. Cameron, and M. Stanley, "Computer-generated holography as a generic display technology," *Computer (Long. Beach. Calif.)*, vol. 38, no. 8, pp. 46–53, 2005, doi: 10.1109/MC.2005.260.

- [18] F. Yaraş, H. Kang, and L. Onural, “State of the art in holographic displays: A survey,” *IEEE/OSA J. Disp. Technol.*, vol. 6, no. 10, pp. 443–454, 2010, doi: 10.1109/JDT.2010.2045734.
- [19] L. Vokorokos, “Leap Motion , Myo Armband and Kinect v2 Low-Cost Motion Sensors in the Internet of Things , Controlled by Raspberry Pi 3 and Arduino UNO,” *Int. J. Innov. Sci. Res. Technol.*, vol. 3, no. 7, pp. 733–737, 2018.
- [20] L. Orcos, C. Jordán, and A. Magreñán, “3D visualization through the hologram for the learning of area and volume concepts,” *Mathematics*, vol. 7, no. 3, pp. 1–20, 2019, doi: 10.3390/math7030247.
- [21] M. Araiza-Esquivel, P. C. Godina, A. López-Martínez, C. Olvera, S. V. Barraza, and D. Ortiz-Daz, “Teaching digital holography through an interface in Java,” *Opt. InfoBase Conf. Pap.*, vol. Part F130-, no. July 2019, 2019, doi: 10.1117/12.2520784.
- [22] L. Lindstrom and R. Jeffries, “Extreme programming and agile software development methodologies,” *Inf. Syst. Manag.*, vol. 21, no. 3, pp. 41–52, 2004, doi: 10.1201/1078/44432.21.3.20040601/82476.7.
- [23] R. Fojtik, “Extreme programming in development of specific software,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 3, pp. 1464–1468, 2011, doi: 10.1016/j.procs.2011.01.032.
- [24] Z. Zhang, “Microsoft kinect sensor and its effect,” *IEEE Multimedia*, vol. 19, no. 2. pp. 4–10, 2012. doi: 10.1109/MMUL.2012.24.
- [25] I. U. Rehman, S. Ullah, D. Khan, S. Khalid, A. Alam, G. Jabeen, I. Rabbi, H. U. Rahman, N. Ali, M. Azher, S. Nabi, and S. Khan, “Fingertip gestures recognition using leap motion and camera for interaction with virtual environment,” *Electron.*, vol. 9, no. 12, pp. 1–20, Nov. 2020, doi: 10.3390/electronics9121986.
- [26] Rawat Seema, Vats Somya, and Kumar Praveen, “Evaluating and Exploring the MYO ARMBAND,” in *Proceedings of the SMART-2016 : 5th International Conference on System Modeling & Advancement in Research Trends.*, 2016, pp. 115–120.
- [27] S. Yamada, T. Kakue, T. Shimobaba, and T. Ito, “Interactive Holographic Display Based on Finger Gestures,” *Sci. Rep.*, vol. 8, no. 1, pp. 1–7, 2018, doi: 10.1038/s41598-018-20454-6.
- [28] M. Araiza-Esquivel, P. C. Godina, A. López-Martínez, C. Olvera, S. V. Barraza, and D. Ortiz-Daz, “Teaching digital holography through an interface in Java,” in *Optics InfoBase Conference Papers*, 2019, vol. Part F130-ETOP 2019. doi: 10.1117/12.2520784.