

## Pengembangan Aplikasi *Augmented Reality* untuk Pembelajaran Molekul Kimia di Sekolah Inklusi

Fajar Ramadhani<sup>1</sup>, Bagus Satria<sup>2</sup>, Imron<sup>3</sup>, Eko Junirianto<sup>4</sup> dan Eny Maria<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Sistem Informasi Akuntansi, Politeknik Pertanian Negeri Samarinda

<sup>2,3,4,5</sup>Teknologi Rekayasa Perangkat Lunak, Politeknik Pertanian Negeri Samarinda

<sup>1,2,3,4,5</sup>Sungai Keledang, Kec. Samarinda Seberang, Kota Samarinda, Kalimantan Timur 75242

E-mail: fajar.ramadhani@politanisamarinda.ac.id<sup>1</sup>, bagussatria@politanisamarinda.ac.id<sup>2</sup>, imron@politanisamarinda.ac.id<sup>3</sup>, eko@politanisamarinda.ac.id<sup>4</sup>, enymaria@politanisamarinda.ac.id<sup>5</sup>

### ABSTRAK

Pendidikan bagi Anak Berkebutuhan Khusus (ABK), khususnya mereka yang berada dalam spektrum autisme, memerlukan metode pengajaran yang unik dan disesuaikan. Hal ini disebabkan oleh perbedaan signifikan dalam cara belajar mereka dibandingkan dengan anak-anak pada umumnya. Oleh karena itu, pemanfaatan alat dan media pengajaran yang tepat menjadi sangat penting untuk membantu anak-anak dengan autisme lebih mudah memahami materi pelajaran, termasuk pelajaran Kimia di sekolah inklusi. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan adalah pengembangan pembelajaran berbasis teknologi *computer vision*. Teknologi ini dirancang untuk membantu siswa ABK serta guru dalam mengajarkan konsep molekul kimia melalui objek tiga dimensi. Dengan demikian, diharapkan proses belajar mengajar menjadi lebih efektif dan menarik bagi siswa ABK, khususnya dalam mempelajari Kimia. Penelitian ini bertujuan untuk mengintegrasikan objek nyata dengan elemen virtual dalam lingkungan pembelajaran kimia di sekolah inklusi melalui penggunaan teknologi *augmented reality* (AR) dan image tracking. Pembelajaran akan berlangsung secara real-time, memberikan kesempatan bagi siswa berkebutuhan khusus untuk berinteraksi lebih intensif dengan materi pelajaran. Tujuan jangka panjang dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi dampak positif AR terhadap peningkatan hasil belajar siswa berkebutuhan khusus dalam pelajaran Kimia. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi baru dalam penerapan teknologi AR untuk pembelajaran Kimia di sekolah inklusi, menjadikan proses belajar lebih inklusif dan efektif.

**Kata Kunci:** Anak Berkebutuhan Khusus, *Computer Vision*, Pembelajaran Kimia, Teknologi *Augmented Reality*

## *Development of an Augmented Reality Application for Chemistry Molecule Learning in Inclusive Schools*

### ABSTRACT

Education for Special Needs Children (SNC), particularly those on the autism spectrum, requires unique and tailored teaching methods due to significant differences in their learning processes compared to typical children. The use of appropriate teaching tools and media is essential to help children with autism better understand learning materials, including Chemistry lessons in inclusive schools. One promising approach is the development of learning tools based on computer vision technology. This technology can assist SNC students and teachers in teaching chemical concepts through three-dimensional objects, making the teaching and learning process more effective and engaging. This research aims to integrate real objects with virtual elements in Chemistry learning environments at inclusive schools using augmented reality (AR) and image-tracking technology. The learning process will occur in real-time, enabling students with special needs to interact more intensively with the subject matter. The long-term goal of this research is to evaluate the positive impact of AR on improving SNC students' learning outcomes in Chemistry. The results of this research are expected to contribute to the application of AR technology in Chemistry education at inclusive schools, enhancing inclusivity and effectiveness in the learning process.

**Keywords:** *Special Needs Children (SNC), Computer Vision, Chemistry Lessons, Augmented Reality Technology*

### 1. PENDAHULUAN

Autisme, atau gangguan spektrum autisme (ASD), adalah gangguan perkembangan pada anak yang menyebabkan kesulitan dalam kemampuan komunikasi dan interaksi sosial (American Psychiatric Association,

2013; Lord et al., 2018). Kondisi ini mengarah pada kebutuhan bagi anak autisme untuk bersekolah di lingkungan pendidikan inklusif yang dirancang khusus untuk Anak Berkebutuhan Khusus (ABK) (Astarini, 2020; Nurfadhillah et al., 2021). Sekolah inklusi adalah tempat

di mana siswa ABK belajar bersama teman-teman sekelas mereka yang tidak memiliki kebutuhan khusus (F. K. Fitriyah, 2019). Namun demikian, anak-anak dengan kebutuhan khusus tetap mendapatkan bimbingan dari guru selama proses pembelajaran (Kasirah, 2011). Di kelas inklusi, siswa diajarkan nilai-nilai seperti penghargaan, rasa hormat, dan penerimaan terhadap satu sama lain dengan penuh empati, menjadikan pembelajaran di sekolah inklusi lebih mendalam dibandingkan dengan model Sekolah Luar Biasa (SLB) (Chotimah, 2021; Pertiwi et al., 2021; Wardah, 2019). Dalam pembelajaran Kimia di sekolah inklusi, penggunaan alat dan media pengajaran sangat penting agar anak-anak dengan autisme dapat memfokuskan perhatian mereka pada materi pelajaran (Tamansa et al., 2023). Gambar 1 memperlihatkan contoh sekolah inklusi yang memberikan perhatian khusus pada pendidikan dan terapi bagi anak-anak autis.

Bentuk molekul adalah susunan atom-atom dalam ruang yang dipengaruhi oleh pasangan elektron, baik yang bebas maupun yang terlibat dalam ikatan (Brown et al., 2017). Konsep ini merupakan bagian penting dalam pembelajaran kimia, terutama dalam topik seperti gaya antar molekul, teori domain elektron, dan ikatan senyawa karbon. Biasanya, materi ini diajarkan di tingkat SMA dan sekolah inklusi setara.

Pembelajaran bentuk dan struktur molekul seringkali mengandalkan papan tulis, namun metode ini kurang efektif dalam memvisualisasikan senyawa organik. Penggunaan alat peraga fisik seperti *molymod*, meski membantu sebagian siswa, dapat menjadi tantangan bagi siswa autis yang membutuhkan pendekatan pembelajaran yang lebih fokus dan terstruktur.

*Molymod* adalah alat peraga yang membantu memvisualisasikan bentuk molekul dengan bulatan-bulatan plastik berwarna berbeda untuk membedakan atom pusat dan atom-atom lainnya (Kelly & Hansen, 2017). Namun, alat ini memiliki keterbatasan, seperti harga yang mahal sehingga tidak semua sekolah dapat memilikinya, dan penggunaannya yang cenderung terbatas pada penjelasan domain elektron 4 dalam kimia karbon.

Untuk memenuhi tuntutan ini, seiring dengan kemajuan dalam penerapan teknologi informasi dan komunikasi, khususnya dalam mendukung proses pembelajaran bagi Anak Berkebutuhan Khusus (ABK), teknologi augmented reality (AR) muncul sebagai alternatif yang efektif untuk menggantikan alat peraga tradisional. Integrasi AR dengan konten pendidikan menghasilkan aplikasi inovatif yang dirancang untuk meningkatkan efektivitas dan daya tarik pembelajaran bagi siswa autis dalam konteks kehidupan nyata (Jdaitawi & Kan'an, 2022). Teknologi augmented reality menjadi alat pembelajaran yang dapat dimanfaatkan oleh guru untuk menyampaikan materi pelajaran, dengan keunggulan utama berupa kemudahan akses melalui perangkat mobile berbasis Android, seperti smartphone dan tablet (Bacca et al., 2014).

Teknologi augmented reality (AR) yang menggunakan metode pengenalan marker (marker-based tracking) dan analisis pola marker ini adalah sebuah inovasi yang memungkinkan penambahan objek virtual ke dalam lingkungan nyata (Coimbra et al., 2015; Schmalstieg & Hollerer, 2016). Dengan kemajuan teknologi modern, konsep visualisasi image-based tracking dapat diterapkan pada platform Android. Ini memudahkan penggunaan augmented reality dalam pembelajaran bentuk rangkaian molekul kimia tanpa memerlukan alat peraga tradisional seperti *molymod*.

Seperti buku ajaib, buku ini akan menggunakan marker pada halamannya untuk menampilkan objek tiga dimensi secara real-time ketika diarahkan oleh smartphone. Buku ini tidak hanya menampilkan bentuk senyawa organik tetapi juga memberikan informasi lengkap mengenai nama bentuk molekul serta rumus struktur kimianya. Ini adalah keunggulan dari metode image-based tracking yang mampu menambahkan dimensi baru dalam proses pembelajaran.

Dengan penerapan teknologi augmented reality, penelitian ini dapat memberikan kontribusi signifikan dalam menciptakan inovasi dan pengalaman belajar baru bagi siswa berkebutuhan khusus dalam memahami dan mempelajari bentuk rangkaian molekul senyawa kimia (Midak et al., 2021; Uselton, 2020). Dengan demikian, penelitian ini dapat memberikan dukungan tambahan bagi pendidikan di sekolah inklusi, terutama dalam meningkatkan kontribusi teknologi pendidikan untuk siswa dengan kebutuhan khusus.

## 2. RUANG LINGKUP

Penelitian ini mengembangkan media pembelajaran interaktif berbasis augmented reality (AR) untuk mendukung pengajaran kimia bagi anak-anak dengan autisme di sekolah inklusi. Fokus utama penelitian adalah menciptakan buku ajar kimia yang menggunakan metode image-based tracking untuk menampilkan model molekul kimia secara interaktif. Berikut adalah ruang lingkup yang mencakup cakupan permasalahan, batasan-batasan penelitian, dan rencana hasil yang didapatkan:

### 1. Cakupan permasalahan.

Penelitian ini berfokus pada pengembangan dan implementasi teknologi AR sebagai alternatif alat peraga tradisional dalam pembelajaran kimia untuk siswa berkebutuhan khusus (ABK), khususnya anak dengan autisme. Cakupan utama mencakup identifikasi kebutuhan pembelajaran khusus bagi siswa ABK, pengembangan buku ajar berbasis AR yang mampu menampilkan model molekul tiga dimensi secara interaktif, serta pengujian efektivitas buku ajar ini dalam meningkatkan pemahaman dan minat belajar siswa terhadap materi kimia di sekolah inklusi.

### 2. Batasan-batasan penelitian.

Batasan penelitian ini mencakup aspek teknologi dan implementasi. Pengembangan media pembelajaran terbatas pada penggunaan teknologi image-based tracking yang kompatibel dengan perangkat mobile Android

seperti smartphone dan tablet. Penelitian hanya mencakup pengembangan dan pengujian buku ajar berbasis AR untuk konsep kimia dasar seperti struktur molekul dan ikatan kimia, tanpa memperluas ke konsep kimia yang lebih kompleks. Selain itu, penelitian ini dilakukan dalam konteks sekolah inklusi dan hanya menguji dampak terhadap siswa autis, sehingga hasil penelitian mungkin tidak sepenuhnya dapat digeneralisasi ke jenis disabilitas lainnya atau ke lingkungan pendidikan non-inklusi.

### 3. Rencana hasil yang didapatkan.

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan beberapa output utama. Sebuah buku ajar kimia berbasis augmented reality yang dapat digunakan oleh siswa ABK untuk memahami konsep molekul secara lebih interaktif dan menarik. Hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi signifikan dalam meningkatkan aksesibilitas dan kualitas pendidikan kimia di sekolah inklusi, serta menunjukkan potensi AR sebagai alat pembelajaran inovatif yang mendukung pembelajaran yang lebih inklusif dan efektif.

## 3. BAHAN DAN METODE

Pembelajaran molekul kimia dengan teknologi augmented reality merupakan upaya inovatif untuk meningkatkan pemahaman siswa berkebutuhan khusus terhadap konsep molekuler yang kompleks melalui visualisasi 3D interaktif yang memungkinkan manipulasi struktur dan interaksi molekul secara lebih baik.

Pengembangan aplikasi ini melibatkan sejumlah tahapan sebagai berikut:

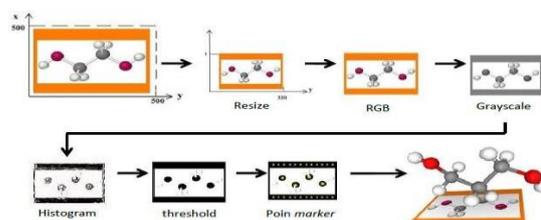
1. Studi Literatur: Tahap awal pengembangan aplikasi ini melibatkan penelusuran literatur dan referensi, seperti buku, jurnal ilmiah, serta penelitian terdahulu yang terkait dengan metode pelacakan augmented reality berbasis marker. Tujuannya adalah untuk memahami dasar teoritis dan konsep yang diperlukan sebelum memulai pengembangan aplikasi.
2. Observasi Materi: Melakukan observasi untuk menentukan materi apa yang akan ditampilkan dalam aplikasi pembelajaran molekul kimia menggunakan metode pelacakan augmented reality berbasis marker. Ini melibatkan penentuan elemen-elemen visual atau konten yang akan diintegrasikan ke dalam pengalaman pengguna.
3. Proses Pendekatan Pengembangan Media Pembelajaran: Penulis menggunakan metode pengembangan sistem multimedia untuk merancang dan mengembangkan aplikasi ini. Prosesnya akan dimulai dari perancangan konsep aplikasi hingga pengumpulan materi yang akan digunakan dalam aplikasi ini. Pada tahap ini, penulis merencanakan setiap aspek dari aplikasi, termasuk antarmuka pengguna dan pengalaman pembelajaran.
4. Tahap Material Collecting: Dalam tahap ini, penulis mengumpulkan semua materi yang dibutuhkan untuk aplikasi, termasuk gambar-gambar marker, model 3D molekul kimia, dan konten multimedia lainnya yang akan digunakan dalam aplikasi.

5. Tahap Assembly Aplikasi: Setelah merancang aplikasi, tahap berikutnya adalah pengembangan aktual aplikasi pembelajaran molekul kimia berbasis augmented reality dengan metode pelacakan marker. Penulis menggabungkan semua elemen yang telah dirancang sebelumnya, seperti gambar marker, model 3D molekul, dan elemen interaktif ke dalam aplikasi.
6. Pengujian Aplikasi: Aplikasi akan diuji menggunakan berbagai kondisi, termasuk variasi sudut pandang, jarak antara perangkat dan marker. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa aplikasi berkinerja baik dalam berbagai situasi.

## 4. PEMBAHASAN

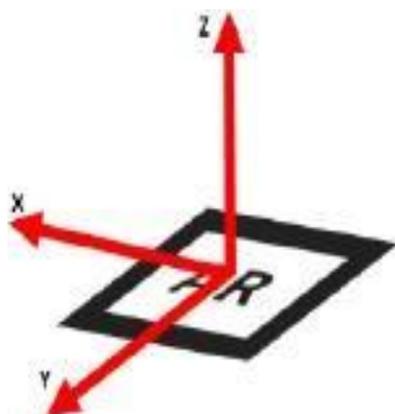
Augmented reality memadukan informasi digital dengan dunia nyata dengan cara mengetahui posisi pengguna dan objek yang sedang dilihat. Pengguna melihat lingkungan melalui layar yang menampilkan gambar dari kamera yang dilengkapi informasi tambahan. Sistem augmented reality harus menentukan lokasi dan orientasi kamera agar objek virtual dapat ditempatkan dengan benar. Proses ini disebut tracking, yaitu perhitungan pose relatif kamera secara real-time, dan merupakan komponen fundamental dalam augmented reality. Salah satu metode tracking yang umum digunakan adalah marker-based tracking, yang menggunakan gambar atau pola tertentu sebagai acuan untuk menentukan posisi dan orientasi kamera. Dalam marker-based tracking, kamera mengenali marker yang telah ditentukan sebelumnya, yang kemudian digunakan untuk menghitung transformasi geometris antara marker dan kamera. Proses ini melibatkan deteksi dan pengenalan marker, ekstraksi fitur-fitur penting, serta perhitungan transformasi yang memungkinkan objek virtual untuk ditempatkan dan berinteraksi secara akurat dengan lingkungan nyata. Dengan demikian, marker-based tracking menjadi metode yang efektif dan andal dalam menggabungkan dunia digital dan dunia nyata, memungkinkan pengalaman augmented reality yang imersif dan realistis bagi pengguna.

Dalam metode marker-based tracking, marker yang digunakan dirancang terlebih dahulu menggunakan aplikasi Adobe Photoshop. Selanjutnya, gambar marker dikonversi oleh sistem Vuforia menjadi format file .unitypackage. File ini kemudian diintegrasikan ke dalam Engine Unity3D untuk melakukan deteksi gambar marker. Gambar 1 merupakan alur pembuatan marker berdasarkan metode based tracking.



**Gambar 1. Alur Proses Tampil Marker**  
*Figure 1. Marker Display Process Flow*

*Marker Based Tracking* adalah metode *augmented reality* yang memanfaatkan marker berbentuk persegi hitam putih dengan pola khusus di tengahnya untuk mengenali dan menambahkan objek virtual ke dunia nyata. Titik koordinat virtual pada marker menjadi acuan penting dalam menentukan posisi objek virtual yang ditambahkan. Objek virtual akan ditempatkan sejajar dengan marker, tegak lurus sumbu Z, dan sejajar dengan sumbu X (kanan atau kiri) serta sumbu Y (depan atau belakang) dari koordinat virtual marker. Ilustrasi titik koordinat virtual marker dapat dilihat pada Gambar 2.



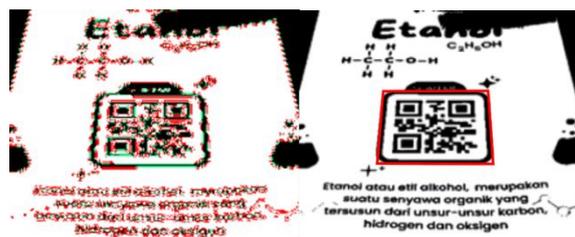
**Gambar 2. Titik koordinat virtual pada marker**  
 Figure 2. Virtual Coordinate Points on the Marker

Proses tracking dimulai dengan tahap input gambar, di mana setiap frame video diproses secara real-time untuk mengenali bentuk segi empat dan pola marker. Langkah selanjutnya adalah *thresholding image*, yaitu mengubah setiap frame video menjadi gambar hitam-putih. Proses pelacakan marker ini melibatkan empat langkah utama: ekstraksi kontur, deteksi sudut, normalisasi pola, dan pencocokan template (Jdaitawi & Kan'an, 2022). Gambar 3 merupakan ilustrasi proses ekstraksi kontur dan deteksi sudut.



**Gambar 3. Contours Extraction dan Corner Detection**  
 Figure 3. Contour Extraction and Corner Detection

Proses ekstraksi kontur dan deteksi sudut menggunakan gambar hitam-putih yang diperoleh sebelumnya untuk mendapatkan koordinat dari empat sisi dan empat titik sudut *marker*, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4 (Fernandes et al., 2021).



**Gambar 4. Dua Garis Paralel Pada Marker**  
 Figure 4. Two Parallel Lines on the Marker

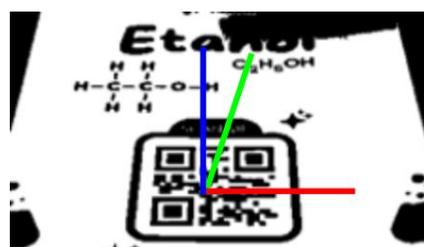
Dua langkah selanjutnya dalam tahap deteksi marker adalah normalisasi pola dan pencocokan template terlihat pada gambar 5. Normalisasi pola bertujuan untuk mengubah bentuk marker agar pencocokan template dapat dilakukan dengan tepat.



**Gambar 5. Pattern Normalization dan Template Matching**

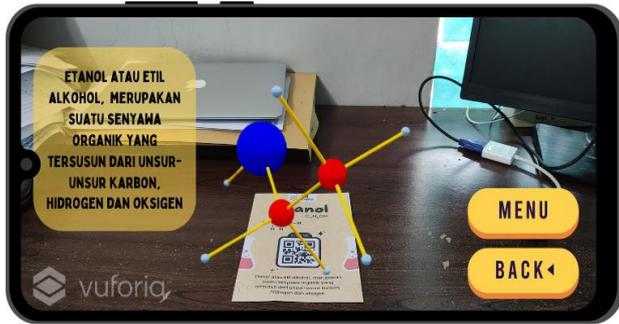
Figure 5. Pattern Normalization and Template Matching

Tahap akhir dari proses ini adalah estimasi pose dan posisi, yang bertujuan untuk menempatkan objek virtual di atas marker. Tahap ini melibatkan tiga koordinat utama: koordinat layar yang diamati dapat dilihat pada gambar 6 (I. J. Fitriyah et al., 2021). Melalui serangkaian transformasi, posisi kamera relatif terhadap marker dalam koordinat hasil tangkapan video ditentukan.



**Gambar 6. Sistem Koordinat**  
 Figure 6. Coordinate System

Penerapan *image based tracking* ini juga akan diterapkan pada buku ajar kimia. Buku ajar akan menampilkan model molekul 3D di layar *smartphone*. Saat kamera diarahkan ke buku Kimia yang memiliki gambar molekul, objek 3D tersebut akan muncul secara otomatis di atas gambar pada buku. Pengguna dapat mengakses informasi tentang senyawa pembentuk molekul dan berinteraksi langsung dengan objek 3D, seperti memutar, memperbesar, atau memperkecil tampilan. Contoh tampilannya terlihat pada gambar 7 dibawah ini



**Gambar 7. Objek 3D pada buku ajar kimia**  
*Figure 7. 3D Object on Chemistry Textbook*

#### 4.1 Evaluasi Sistem

Setelah melakukan beberapa pengujian, ditemukan bahwa aplikasi ini memiliki beberapa keterbatasan dalam penggunaannya yang dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu:

1. Hambatan

Objek virtual hanya akan muncul ketika marker pada buku tertangkap sepenuhnya oleh kamera. Hal ini juga membatasi ukuran atau pergerakan objek virtual. Artinya, jika pengguna menutupi pola pada marker dengan tangan atau benda lain, objek virtual akan menghilang.

2. Jarak

Jarak menjadi masalah dalam melacak optik objek karena ketika marker bergerak menjauh dari kamera, piksel yang terdeteksi di layar kamera menjadi lebih sedikit, sehingga tidak ada detail yang cukup untuk mengenali pola pada penanda dengan tepat. Pada buku teks kimia yang di buat berbasis *Augmented Reality*, salah satu marker diuji untuk melihat bagaimana jarak kamera memengaruhi tampilan objek 3D. Terlihat pada Tabel 3, dengan menggerakkan kamera menjauh dari buku yang berpenanda, hingga jarak tertentu, objek virtual 3D yang ditampilkan di atas penanda tersebut akan menghilang.

**Tabel 1. Jarak maksimum kamera dan Marker**  
*Table 1. Maximum Camera Distance and Marker*

Marker Size (cm)	Camera Distance (cm)
4 × 4	45
6 × 6	60
8 × 8	80
12 × 12	120
16 × 16	160

Dari Tabel 1, dapat disimpulkan bahwa semakin besar ukuran *marker* pada buku, semakin jauh jarak maksimum dari kamera yang dapat mengenali *marker* tersebut.

3. Sudut Deteksi

Sudut deteksi menjadi salah satu faktor berhasil atau tidaknya aplikasi mengenali marker. Pengujian dilakukan dalam ruangan dengan jendela terbuka,

menggunakan pencahayaan alami dari sinar matahari dengan tingkat pencahayaan 95 lux, dan mengatur jarak 20 cm dari marker topeng hudoq. Hasil pengujian dapat dilihat dalam Tabel 2.

**Tabel 2. Sudut deteksi kamera dan Marker**  
*Table 2. Camera Detection Angle and Marker*

Marker Size (cm)	Detection Angle (°)
4 × 4	30°-90°
6 × 6	30°-90°
8 × 8	30°-90°
12 × 12	30°-90°
16 × 16	30°-90°

4. Cahaya

Kondisi cahaya yang diterima oleh lensa kamera memainkan peran penting dalam pengenalan *marker*. Jika *marker* diperlihatkan kepada kamera dalam kondisi pencahayaan yang tidak memadai atau sangat terang, kamera akan mengalami kesulitan untuk mengenali penanda tersebut, sehingga objek *virtual* tidak akan tampil.

#### 5. KESIMPULAN

Teknologi augmented reality merupakan solusi yang tepat sebagai pengganti alat bantu pengajaran guru (*molymod*) untuk penguasaan molekul kimia di sekolah dasar. Pelacakan menggunakan *marker* adalah metode yang diterapkan pada augmented reality berbasis buku untuk menampilkan objek virtual *molymod* tiga dimensi pada buku teks. Aplikasi augmented reality pembelajaran molekul Kimia dapat digunakan oleh guru dan siswa di mana saja dan kapan saja melalui media *smartphone*. Aplikasi ini dapat berjalan dengan baik pada kondisi tertentu yaitu untuk jarak deteksi maksimal 160cm, sudut deteksi 30°-90°, serta kondisi cahaya yang memadai.

#### 6. SARAN

Untuk mengoptimalkan penggunaan teknologi augmented reality, dapat dilakukan pengembangan metode pelacakan tanpa marker, studi perbandingan efektivitas pembelajaran, pengembangan konten interaktif yang lebih mendalam, penelitian tentang pengaruh lingkungan cahaya terhadap performa teknologi, serta pengembangan platform augmented reality terintegrasi dalam sistem pembelajaran digital sekolah. Upaya ini diharapkan dapat memberikan dampak positif dalam pengembangan masa depan aplikasi augmented reality dalam pendidikan kimia.

#### 7. REFERENSI

American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders*. American Psychiatric Association. <https://doi.org/10.1176/appi.books.9780890425596>  
 Astarini, D. D. (2020). Peran Aktif Orangtua Dan Guru Sekolah Inklusi Dalam Meningkatkan Kemampuan Komunikasi Dan Interaksi Sosial Anak Penderita

- Autisme. *Psikodidaktika: Jurnal Ilmu Pendidikan, Psikologi, Bimbingan Dan Konseling*, 5(1), 93. <https://doi.org/10.32663/psikodidaktika.v5i1.1158>
- Bacca, J., Baldiris, S., Fabregat, R., Graf, S., & Kinshuk. (2014). Augmented Reality Trends in Education: A Systematic Review of Research and Applications. *Journal of Educational Technology & Society*, 17(4), 133–149. <http://www.jstor.org/stable/jeductechsoci.17.4.133>
- Brown, T. L., LeMay, H. E., Bursten, B. E., Murphy, C. J., Woodward, P. M., Stoltzfus, M. W., & Lufaso, M. W. (2017). *Chemistry: The Central Science*. Pearson Education, Limited. <https://books.google.co.id/books?id=IMtNtAEACAAJ>
- Chotimah, M. (2021). Peran Guru Pendamping Dalam Meningkatkan Kemampuan Bersosialisasi Peserta Didik Berkebutuhan Khusus di Madrasah Ibtidaiyah Terpadu Ar Roihan Lawang. *Turatsuna: Jurnal Keislaman Dan Pendidikan*, 3(1), 84–100.
- Coimbra, MMath. T., Cardoso, T., & Mateus, A. (2015). Augmented Reality: An Enhancer for Higher Education Students in Math's Learning? *Procedia Computer Science*, 67, 332–339. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.09.277>
- Fernandes, H. S., Cerqueira, N. M. F. S. A., & Sousa, S. F. (2021). Developing and Using BioSIM<sup>AR</sup>, an Augmented Reality Program to Visualize and Learn about Chemical Structures in a Virtual Environment on Any Internet-Connected Device. *Journal of Chemical Education*, 98(5), 1789–1794. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c01317>
- Fitriyah, F. K. (2019). Pengaruh Permainan Tradisional Gobak Sodor Dalam Bimbingan Kelompok Terhadap Peningkatan Interaksi Sosial Anak Autis. *Education and Human Development Journal*, 4(2), 13–20. <https://doi.org/10.33086/ehdj.v4i2.1293>
- Fitriyah, I. J., Setiawan, A. M., Marsuki, M. F., & Hamimi, E. (2021). *Development of augmented reality teaching materials of chemical bonding*. 020043. <https://doi.org/10.1063/5.0043235>
- Jdaitawi, M. T., & Kan'an, A. F. (2022). A Decade of Research on the Effectiveness of Augmented Reality on Students with Special Disability in Higher Education. In *Contemporary Educational Technology* (Vol. 14, Issue 1). Anadolu University, Faculty of Communication Sciences. <https://doi.org/10.30935/cedtech/11369>
- Kasirah, I. (2011). Kompetensi Pedagogis Guru Plb Dalam Meningkatkan Prestasi Belajar Anak Berkebutuhan Khusus. *Perspektif Ilmu Pendidikan*, 24(XV), 163–173. <https://doi.org/10.21009/PIP.242.6>
- Kelly, R., & Hansen, S. J. R. (2017). Exploring the Design and Use of Molecular Animations that Conflict for Understanding Chemical Reactions. *Química Nova*. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170043>
- Lord, C., Elsabbagh, M., Baird, G., & Veenstra-Vanderweele, J. (2018). Autism spectrum disorder. *The Lancet*, 392(10146), 508–520. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31129-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31129-2)
- Midak, L. Y., Kravets, I. V., Kuzyshyn, O. V., Baziuk, L. V., & Buzhdyhan, K. V. (2021). Specifics of using image visualization within education of the upcoming chemistry teachers with augmented reality technology. *Journal of Physics: Conference Series*, 1840(1), 012013. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1840/1/012013>
- Nurfadhillah, S., Nurrohman, N., Prasasti, D., Uswatun, U., Maulida, F., As-Sikah, S., Agustina, N., & El-Abida, S. F. (2021). Peran Guru dalam Mengembangkan Interaksi Sosial Anak Autis di SDN Kunciran 07. *ANWARUL*, 1(1), 196–203. <https://doi.org/10.58578/anwarul.v1i1.71>
- Pertiwi, M., Andriany, A. R., Pratiwi, A., & Mulamukti, A. (2021). Gambaran Peran Orang Tua dalam Efektivitas Model Pembelajaran Daring pada Siswa Berkebutuhan Khusus. *Syntax Literate; Jurnal Ilmiah Indonesia*, 6(10), 5118.
- Pham, H. (2023). *Springer handbook of engineering statistics*. Springer Nature.
- Schmalstieg, D., & Hollerer, T. (2016). *Augmented Reality: Principles and Practice*. Pearson Education. <https://books.google.co.id/books?id=qPU2DAAAQBAJ>
- Tamansa, S. A., Peronika, R. Y., Harefa, I. J., & Harefa, N. (2023). Studi Kelayakan Bentuk Komunikasi Modul Kimia untuk ABK (Anak Berkebutuhan Khusus) Tunawicara pada Materi Bentuk Molekul. *Proceedings of Life and Applied Sciences*, 1.
- Uselton, M. R. (2020). *Molecular Geometry: Chemical Visualizations in Augmented Reality*.
- Wardah, E. Y. (2019). Peranan guru pembimbing khusus lulusan non-pendidikan luar biasa (PLB) terhadap pelayanan anak berkebutuhan khusus di sekolah inklusi kabupaten Lumajang. *JPI (Jurnal Pendidikan Inklusi)*, 2(2), 93–108.