

**VALIDITAS DAN PRAKTIKALITAS MODUL BENTUK MOLEKUL BERBASIS
PROJECT BASED LEARNING TERINTEGRASI AUGMENTED REALITY UNTUK
FASE F SMA**

SALSABILLA MARCHELINA, YERIMADESI

Universitas Negeri Padang, Indonesia

e-mail: yeri@fmipa.unp.ac.id

ABSTRAK

Bentuk molekul termasuk dalam kategori sulit karena konten materi yang abstrak dan memerlukan penggambaran bentuk tiga dimensi molekul. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan modul *Project Based Learning* (PjBL) yang terintegrasi dengan *Augmented Reality* (AR) untuk Fase F SMA. Metode penelitian yang digunakan adalah *Research and Development* (R&D) dengan model pengembangan *four-D* (4D) hingga memperoleh hasil yang valid dan praktis. Uji validitas dilakukan oleh tiga orang dosen kimia FMIPA UNP dan dua orang guru kimia SMAN 10 Padang. Uji praktikalitas dilakukan oleh dua orang guru kimia dan 31 orang siswa fase F SMAN 10 Padang. Instrumen yang digunakan berupa angket validitas dan praktikalitas. Uji validitas dianalisis menggunakan formula Aikens'V dan uji praktikalitas dianalisis menggunakan persentase skor capaian kepraktisan produk. Dari hasil penelitian diperoleh nilai rata-rata Aikens'V sebesar 0,897 dengan kategori valid dan nilai praktikalitas oleh guru dan siswa sebesar 90% dan 96% dengan kategori sangat praktis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa modul PjBL terintegrasi dengan AR untuk fase F SMA valid dan praktis. **Kata Kunci:** *Augmented Reality*, Bentuk Molekul, Modul, *Project Based Learning*

ABSTRACT

Understanding molecular shapes can be challenging due to their abstract material and requires teaching approaches that can communicate the molecule's three-dimensional form. This study aims to improve the student experience by designing a Project-Based Learning (PjBL) module that was combined with Augmented Reality (AR) for SMA phase F. In order to provide valid and practical results, the research method is Research and Development (R&D) using a four-D (4D) development model. The validity test was carried out by three FMIPA UNP chemistry lecturers and two SMAN 10 Padang chemistry teachers. The practicality test was done by two chemistry teachers and 31 SMAN 10 Padang phase F students. The instruments used were validity and practicality questionnaires. The Aikens' V formula was used to evaluate the validity test, and the percentage of product practicality accomplishment scores was used to assess the practicality test. Based on the research results, the average Aiken V value was 0.897 with a valid category, while the practicality by teachers and students obtained values of 90% and 96% respectively with a very practical category. The study's results show that an AR-integrated PjBL-based molecular shape module for SMA F phase is both valid and practical.

Keywords: Augmented Reality, Molecular Shapes, Module, Project Based Learning

PENDAHULUAN

Pembelajaran kimia di SMA seringkali dirasa kurang menarik dan sulit dipahami, khususnya materi bentuk molekul. Materi ini dikategorikan sebagai salah satu materi sulit karena konsep materi yang abstrak (Sholehah & Azhar, 2019) dan memiliki karakteristik yang memerlukan penggambaran dalam ruang tiga dimensi dari molekul yang ditentukan oleh jumlah ikatan dan besar sudut ikatan di sekitar atom pusat.

Pada analisis kebutuhan yang dilakukan kepada guru dan peserta didik di SMAN 10 Padang dan SMA Laboratorium Pembangunan UNP ditemukan bahwa: (1) Materi bentuk

molekul termasuk kategori sulit karena konsep materi yang abstrak, (2) Penggunaan bahan ajar yang kurang kreatif dan monoton serta belum memanfaatkan teknologi dengan maksimal menyebabkan pembelajaran kimia terasa membosankan, (3) Metode pembelajaran yang hanya berpusat pada penjelasan guru serta visualisasi nyata dari bentuk molekul yang belum pernah ditunjukkan kepada peserta didik menyebabkan proses pembelajaran belum mampu mengkonkretkan materi dengan konsep abstrak, (4) Terdapat miskonsepsi terkait gaya tolak-menolak antar pasangan elektron yang mempengaruhi besar sudut ikatan. Serta (5) Peserta didik mengharapkan pembelajaran kimia mudah dimengerti dan memanfaatkan teknologi.

Kesulitan pembelajaran kimia yang didapatkan tersebut dapat diatasi dengan menerapkan dua pendekatan pembelajaran inovatif, Project Based Learning (PjBL) dan Augmented Reality (AR) ke dalam bahan ajar seperti modul. Penggunaan modul dapat mempengaruhi proses pembelajaran menjadi lebih terarah karena dapat menyesuaikan kecepatan belajar masing-masing peserta didik (Jusuf & Sobari, 2021). Modul dirancang berdasarkan model pembelajaran tertentu. Salah satu model pembelajaran yang dapat diterapkan dalam pembelajaran kimia dan juga memberikan pengaruh yang positif yaitu PjBL.

Model pembelajaran berbasis proyek dapat menjelaskan konsep yang abstrak dengan pembuatan suatu model/proyek (Herron et al., 1977). Model pembelajaran ini juga membantu peserta didik dalam pengembangan keterampilan praktis siswa melalui kegiatan kelompok atau individu (Daryanto, 2009; Mulya, 2023). Hal ini dibuktikan dalam beberapa penelitian yang melaporkan bahwa pembelajaran berbasis proyek terbukti meningkatkan hasil belajar pada materi kimia hijau (Ratnawati & Praptomo, 2023), bentuk molekul (Siregar & Harahap, 2020), struktur atom dan nanoteknologi (Santoso et al., 2024). Penelitian lainnya juga melaporkan terjadi peningkatan kemampuan berpikir kritis dan kepercayaan diri peserta didik pada materi elektrolit dan non elektrolit (Rusmansyah et al., 2023), serta kreativitas pada materi hidrolisis garam (Simarmata et al., 2024).

Selain itu, Integrasi teknologi AR dalam proses belajar terbukti efektif dalam meningkatkan pemahaman konsep, membangkitkan minat belajar, mendorong peningkatan nilai, dan mengembangkan kemampuan berpikir kritis peserta didik (Yasmin & Yoto, 2023). Pada penelitian yang dilakukan oleh Mufit & Dhanil, (2024) juga dilaporkan bahwa bahan ajar yang dikolaborasikan dengan multimedia interaktif seperti AR dapat meningkatkan kemampuan berpikir kritis, kreativitas, komunikasi, dan kolaborasi peserta didik. Penggunaan teknologi AR dalam sumber belajar dapat diterapkan pada bidang studi kimia yaitu pada materi redoks (Audina & Muchtar, 2024), bentuk molekul (Aulia et al., 2023; Hurrahman et al., 2022), larutan elektrolit dan non elektrolit (Mooli et al., 2023), serta materi turunan alkana (Permana et al., 2023).

Hasil penelitian Hurrahman et al., (2022) menunjukkan bahwa penerapan AR dalam e-modul dapat membantu menggambarkan konsep bentuk molekul yang abstrak menjadi lebih konkret. Namun, visualisasi model 3D dari bentuk molekul seperti tidak terdapat perbedaan warna antara ikatan yang terbentuk sehingga dapat memicu miskonsepsi pada peserta didik. Penelitian lainnya dilakukan oleh Aulia et al., (2023) menunjukkan bahwa e-modul yang dikembangkan terbukti mampu meningkatkan literasi sains peserta didik. Namun, terdapat kesulitan dalam pemindaian QR Code AR dikarenakan bahan ajar yang dikembangkan berupa e-modul sehingga untuk melihat visualisasi 3D peserta didik memerlukan smartphone lain.

Oleh karena itu diperlukan pengembangan modul yang dapat mengkonkretkan konsep abstrak dari materi bentuk molekul agar lebih mudah untuk dipelajari dan dipahami peserta didik. Sehingga penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan suatu Modul Bentuk Molekul Berbasis PjBL Terintegrasi AR untuk Fase F SMA yang valid dan praktis.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini termasuk jenis *Research and Development* (R&D) dengan model pengembangan *four-D* (4D) yang terdiri dari empat tahapan, yaitu *Define*, *Design*, *Develop* dan *Disseminate* (Thiagarajan et al., 1974). Penelitian pengembangan modul ini dibatasi hingga tahap *Develop*. Modul yang dihasilkan telah melalui proses validasi dan mendapat tanggapan dari guru kimia dan peserta didik fase F SMAN 10 Padang.

Define (Pendefinisian)

Tahap ini dilakukan untuk mengetahui permasalahan mendasar yang terjadi di sekolah melalui lima langkah analisis yaitu: (1) *Front-end Analysis*, dilakukan dengan penyebaran angket analisis kebutuhan kepada guru dan peserta didik dari dua sekolah, yaitu SMAN 10 Padang dan SMA Laboratorium Pembangunan UNP. Langkah ini memperoleh hasil berupa jawaban angket analisis kebutuhan guru dan peserta didik. (2) *Learner Analysis*, dilakukan dengan penyebaran angket kepada peserta didik untuk melihat karakteristik dan permasalahan yang dialami dalam pembelajaran bentuk molekul. (3) *Task Analysis*, dilakukan dengan menganalisis capaian pembelajaran pada materi bentuk molekul. (4) *Concepts Analysis*, dilakukan dengan mengidentifikasi konsep-konsep yang terdapat dalam materi bentuk molekul dan menyusun ke dalam sebuah peta konsep. Serta, (5) *Specifying Instructional Objectives*, dilakukan untuk merumuskan tujuan pembelajaran berdasarkan capaian pembelajaran.

Design (Perancangan)

Tahap ini dilakukan untuk merancang modul bentuk molekul berbasis PjBL dengan sintaks pembelajaran, yaitu: (1) penentuan pertanyaan mendasar, (2) membuat rancangan proyek, (3) menyusun jadwal, (4) pelaksanaan proyek dan monitoring, (5) presentasi hasil, dan (6) evaluasi (Anggraini & Wulandari, 2020; Mulya, 2023). Selain itu modul disusun berdasarkan komponen-komponen modul, meliputi: (1) Cover, (2) Rumusan tujuan pembelajaran yang akan dicapai, (3) Pendoman atau petunjuk penggunaan, (4) Deskripsi materi pembelajaran secara menyeluruh dan lengkap, (5) Lembar kegiatan atau latihan peserta didik beserta kunci jawaban, (6) Refleksi dan umpan balik (Suryosubroto, 1983).

Develop (Pengembangan)

Tahap ini bertujuan untuk memperoleh produk yang valid dan praktis melalui dua langkah yaitu: (1) *Expert Appraisal*, dilakukan oleh validator untuk menilai produk yang dikembangkan meliputi aspek isi, bahasa, ilustrasi dan gambar (Mesra, 2023). Penilaian yang diberikan validator akan diuji menggunakan formula Aikens'V dengan ketentuan $V < 0,8$ Tidak Valid dan $V \geq 0,8$ Valid. (2) *Developmental Testing*, bertujuan untuk mengetahui tingkat kepraktisan modul yang dikembangkan menggunakan persentase skor pencapaian kepraktisan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

1. *Define* (Pendefinisian)

Front-end Analysis (Analisis ujung depan) yang telah dilakukan memperoleh hasil bahwa: (1) dua orang guru kimia dan 55,4% dari 60% peserta didik yang mengatakan bentuk molekul termasuk kategori sulit karena konsep materi yang abstrak. (2) Sebanyak 23,3% peserta didik menyatakan bahan ajar yang digunakan kurang kreatif dan monoton, serta 82,8% menyatakan proses pembelajaran belum memanfaatkan teknologi dengan maksimal sehingga pembelajaran menjadi membosankan. Hal serupa juga disampaikan oleh dua orang guru kimia bahwa bahan ajar yang biasanya digunakan hanya berupa buku paket, powerpoint, atau LKPD. (3) Sebanyak 63,5% peserta didik mengatakan belum pernah diperlihatkan ilustrasi tiga dimensi dari bentuk molekul dan 28,6% menyatakan proses pembelajaran hanya berpusat pada penjelasan guru sehingga belum mampu mengkonkretkan materi bentuk molekul yang abstrak dan memicu terjadinya miskonsepsi.

Learner Analysis (Analisis peserta didik) memperoleh hasil bahwa: (1) Kecenderungan proses pembelajaran yang berpusat pada penjelasan guru sehingga peserta didik kurang terlibat secara aktif dalam kegiatan pembelajaran, (2) 53% peserta didik mengalami miskonsepsi dalam penentuan besar gaya tolak-menolak antar pasangan elektron yang mempengaruhi bentuk suatu molekul, (3) 78,8% peserta didik menginginkan kegiatan pembelajaran yang mudah dimengerti dan memanfaatkan teknologi, serta 41,5% peserta didik juga menginginkan pembelajaran yang meningkatkan kreatifitas dengan menghasilkan sebuah produk/karya dalam proses pembelajaran materi bentuk molekul.

Task Analysis (Analisis tugas) memperoleh hasil bahwa berdasarkan capaian pembelajaran pada materi bentuk molekul yaitu “Memahami ikatan kimia dalam kaitannya dengan interaksi antarpartikel materi dan sifat fisik materi”, terdapat beberapa hal yang harus dicapai peserta didik yaitu: (1) meramalkan bentuk molekul menggunakan teori VSEPR dan Teori Hibridisasi, (2) menentukan sifat kepolaran molekul dan senyawa, (3) menganalisis interaksi antarmolekul dan pengaruh terhadap sifat-sifat fisik senyawa.

Concept Analysis (Analisis konsep) yang telah dilakukan diketahui bahwa pada materi bentuk molekul dan interaksi antarmolekul banyak mengandung konsep abstrak, seperti macam-macam bentuk molekul, orbital hibrida, interaksi antarmolekul, gaya London, gaya dipol-dipol, gaya ion-dipol, dan ikatan hidrogen. Konsep abstrak merupakan salah satu konsep yang sulit untuk diajarkan dan memerlukan strategi pengajaran menggunakan model atau ilustrasi sehingga atribut kritis dan variabel dari konsep tersebut dapat dijelaskan, diajarkan, atau dianalisis (Herron et al., 1977).

Specifying Instructional Objectives (Perumusan Tujuan Pembelajaran) memperoleh rumusan tujuan pembelajaran pada materi bentuk molekul sebagai berikut: (1) Menerapkan Teori VSEPR/Domain Elektron dalam meramalkan bentuk molekul, (2) Mengaplikasikan Teori Hibridisasi dalam menentukan orbital hibrida suatu molekul, (3) Menentukan kepolaran suatu senyawa, (4) Menganalisis Interaksi antar molekul dan pengaruhnya terhadap sifat-sifat senyawa, dan (5) Mendesain model bentuk molekul menggunakan bahan dan alat sederhana.

Berdasarkan rangkaian langkah analisis yang telah dilakukan diperoleh bahwa permasalahan dan kesulitan dalam proses pembelajaran kimia, khususnya materi bentuk molekul dapat diatasi dengan menerapkan dua pendekatan pembelajaran inovatif, yaitu PjBL dan integrasi teknologi AR.

2. *Design (Perancangan)*

Modul bentuk molekul yang dikembangkan ini dilengkapi dengan sintaks pembelajaran PjBL, dengan deskripsi kegiatan pada masing-masing sintaks sebagai berikut: (1) Penentuan pertanyaan mendasar, peserta didik diminta untuk memahami wacana dan menjawab pertanyaan terkait wacana yang relevan dengan materi. (2) Penyusunan rancangan proyek, peserta didik membuat rancangan proyek secara berkelompok. (3) Penyusunan jadwal pelaksanaan proyek, peserta didik menentukan jadwal pengerjaan proyek dan meminta persetujuan guru. (4) Pengerjaan dan monitoring proyek, peserta didik mengerjakan proyek dan monitoring pada jadwal yang telah disetujui. (5) Presentasi hasil proyek, peserta didik menyajikan hasil proyek kepada guru dan teman sekelas. (6) Evaluasi, peserta didik dan guru melakukan evaluasi terhadap proses pembelajaran (Anggraini & Wulandari, 2020; Mulya, 2023). Selain itu, modul yang dikembangkan juga diintegrasikan dengan penggunaan teknologi AR yang dalam pemanfaatannya bertujuan agar peserta didik dapat melihat visualisasi tiga dimensi dari masing-masing bentuk molekul dan interaksi antarmolekul secara real time sehingga membantu peserta didik dalam memahami materi yang dipelajari.

3. *Develop (Pengembangan)*

Expert appraisal (Validasi Ahli) dilakukan oleh lima orang validator yang terdiri dari tiga orang dosen kimia FMIPA UNP dan dua orang guru bidang studi kimia di SMAN 10 Padang. Hasil analisis uji validitas modul yang dikembangkan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Analisis Uji Validitas Modul Bentuk Molekul Berbasis PjBL Terintegrasi AR untuk Fase F SMA

No.	Aspek yang dinilai	Nilai V	Kategori Kevalidan
1.	Kelayakan Isi	0,933	Valid
2.	Kebahasaan	0,875	Valid
3.	Penyajian	0,879	Valid
4.	Kegrafikaan	0,9	Valid
Rata-rata		0,897	Valid

Developmental testing (uji praktikalitas) dilakukan oleh dua orang guru kimia dan 31 orang peserta didik kelas XI F-2 di SMAN 10 Padang. Hasil analisis uji praktikalitas modul bentuk molekul berbasis PjBL terintegrasi AR dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Analisis Uji Praktikalitas Modul Bentuk Molekul Berbasis PjBL Terintegrasi AR oleh Guru dan Peserta Didik

No.	Aspek yang dinilai	Nilai P		Kategori Kepraktisan
		Guru	Peserta Didik	
1.	Kemudahan Penggunaan	93%	97%	Sangat Praktis
2.	Efisiensi Waktu Pembelajaran	90%	96%	Sangat Praktis
3.	Manfaat dan Kegunaan	89%	96%	Sangat Praktis
Rata-rata		90%	96%	Sangat Praktis

Pembahasan

Pada Tabel 1, terlihat rata-rata penilaian validasi pada ketiga aspek memperoleh kategori valid. Kevalidan yang diperoleh tersebut diikuti dengan perbaikan berdasarkan saran dan masukan dari validator. Perbaikan yang dilakukan pada modul meliputi: (1) melengkapi gambar orbital s, p, dan d, (2) menambahkan keterangan pada setiap tabel dan gambar, (3) memperbaiki peta konsep, (4) memperbaiki AR beserta keterangannya menjadi lebih sederhana, (5) memperbaiki gambar molekul pada bagian cover modul, dan (6) memperbaiki kesalahan penulisan, singkatan, penggunaan huruf kapital, dan penggunaan spasi.

Perolehan nilai rata-rata validasi pada aspek kelayakan isi memperoleh kategori valid yang berarti modul yang dikembangkan telah sesuai dengan kurikulum, capaian dan tujuan pembelajaran. Hal ini sesuai dengan salah satu standar pengembangan modul yang baik yaitu modul berisikan uraian yang sesuai dengan kurikulum, kepaduan dan kejelasan konsep, dan bersumber dari peristiwa-peristiwa secara nyata (Kosasih, 2020).

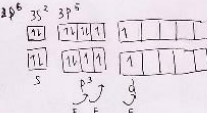
Pada aspek kebahasaan diperoleh kategori valid. Hal ini berarti modul yang dikembangkan menggunakan bahasa Indonesia yang sesuai dengan pedoman umum ejaan bahasa Indonesia. Kalimat yang digunakan di dalam modul efektif dan efisien sehingga dapat dimengerti dan tidak ambigu serta meminimalisir terjadinya kesalahpahaman oleh pengguna terutama peserta didik fase F SMA. Pada aspek penyajian diperoleh kategori valid yang berarti modul telah disusun secara sistematis dan penyusunan kegiatan pembelajaran juga sesuai

dengan langkah-langkah model pembelajaran PjBL. Hal ini berarti produk yang dikembangkan telah disusun sedemikian rupa dan sesuai dengan pedoman penyusunan modul (Silvanny & Yerimadesi, 2023).

Pada aspek kegrafikaan diperoleh kategori valid. Hal ini berarti dalam segi tampilan, tata letak dan design dari modul yang dikembangkan sudah disajikan secara menarik. Jenis huruf, warna, dan ukuran yang digunakan juga jelas dan tidak mengganggu keterbacaan tulisan. Pada modul yang dikembangkan juga terdapat ilustrasi 3D yang ternilai dapat meningkatkan minat peserta didik dalam proses pembelajaran dan memberikan pembelajaran yang bermakna. Hal serupa juga disampaikan dalam penelitian Yasmin & Yoto, (2023) yang menyatakan bahwa integrasi AR dalam proses pembelajaran terbukti efektif membangkitkan minat belajar peserta didik.

Pada Tabel 2, diketahui kepraktisan modul pada aspek kemudahan penggunaan memperoleh kategori sangat praktis. Hal ini menunjukkan modul yang dikembangkan mudah digunakan oleh guru dan peserta didik. Penerapan model pembelajaran berbasis proyek pada modul membantu guru dalam menjelaskan konsep materi bentuk molekul yang abstrak menjadi lebih konkret sehingga mudah diterima oleh peserta didik. Hal serupa juga dijelaskan oleh Nola et al., (2023) pada penelitiannya bahwa materi bentuk molekul yang abstrak akan lebih mudah diterima oleh peserta didik ketika dimodelkan wujud konkretnya melalui pembelajaran berbasis proyek.

Kepraktisan modul ini juga terlihat dari rancangan proyek pembuatan model bentuk molekul oleh peserta didik, yang dilengkapi pertanyaan penentuan bentuk molekul menggunakan teori VSEPR dan teori hibridisasi (Gambar 1(a)). Penentuan bentuk molekul menggunakan teori VSEPR didasarkan pada tolak-menolak antara pasangan elektron di sekitar atom pusat. Hal ini mengharuskan peserta didik untuk memahami terlebih dahulu Pasangan Elektron Ikatan (PEI), Pasangan Elektron Bebas (PEB), dan urutan besar pengaruh gaya tolak-menolak antar pasangan elektron dalam membentuk sudut ikatan (Chang & Overby, 2011). Berdasarkan rancangan proyek tersebut, terlihat peserta didik sudah berhasil meramalkan bentuk suatu molekul menggunakan teori VSEPR dan menentukan orbital hibrida menggunakan teori hibridisasi (Gambar 1(b)).

Tabel 2. Rancangan Proyek Bentuk Molekul		
Judul Proyek	Pembuatan Model Bentuk Molekul.....	
Tujuan Pembuatan Proyek	1. 2. 3.	
Alat dan Bahan yang dibutuhkan	Alat yang dibutuhkan: 1. 2. 3. 4. 5. 6.	Bahan yang dibutuhkan: 1. 2. 3. 4. 5. 6.
Ramalkanlah bentuk dari molekul yang akan kamu buat menggunakan Teori VSEPR	Bentuk T Molekul : ClF_3 Dengan ci sebagai atom pusat terikat dengan 3 atom F (Flour) kepalut : polar $E : \frac{7-3 \cdot 1}{2} = \frac{7-3}{2} = \frac{4}{2} = 2$ $A \times 3 E_2$ (bentuk T) PEI : 3 PEB : 2	
Ramalkanlah bentuk dari molekul yang akan kamu buat menggunakan Teori Hibridisasi	ClF_3 $17Cl : 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$ 	

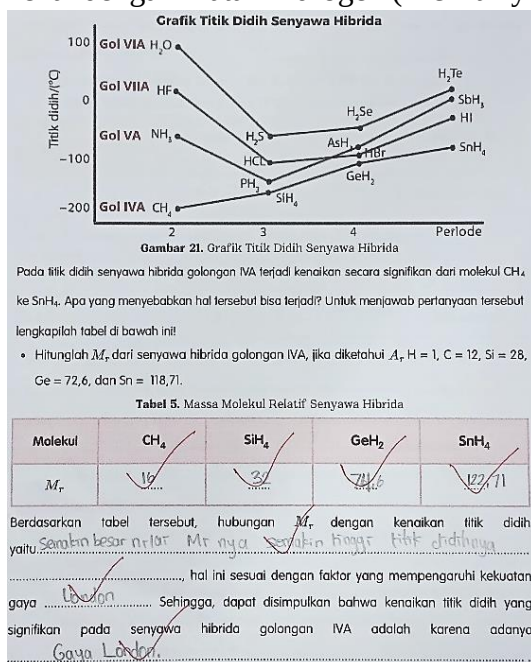
(a)

(b)

Gambar 1. (a) Contoh Tabel Rancangan Proyek pada Modul, (b) Contoh Rancangan Proyek Bentuk Molekul Peserta Didik

Selain itu, pada Gambar 2, juga terlihat jawaban peserta didik terkait interaksi antarmolekul dan pengaruhnya terhadap sifat-sifat senyawa. Dari jawaban tersebut, peserta

didik sudah mampu menentukan interaksi antarmolekul dan menganalisis hubungan antara massa molekul relatif (M_r) dengan kenaikan titik didih. M_r menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi kekuatan gaya London, yaitu seiring dengan peningkatan M_r maka kekuatan gaya London akan semakin meningkat karena memiliki lebih banyak elektron yang tersebar (Nivaldo, 2011). Selain itu, peserta didik juga diminta untuk menganalisis tingginya titik didih molekul NH_3 , HF , dan H_2O daripada molekul segolongan lainnya. Hal ini dipengaruhi oleh keberadaan interaksi yang terjadi antara atom H dengan atom elektronegatif seperti F, O, dan N yang dikenal dengan ikatan hidrogen (McMurry & Fay, 2014).



Perhatikan kembali grafik kenaikan titik didih senyawa hibrida. Pada senyawa hibrida golongan IVA terlihat kenaikan yang signifikan dari CH_4 ke SnH_4 , akan tetapi pada golongan VA, VIA, dan VIIA titik didih paling tinggi terdapat pada molekul HF , H_2O , dan NH_3 kemudian senyawa hibrida golongan lainnya cenderung mengalami kenaikan titik didih. Hal ini dikarenakan adanya Ikatan Hidrogen.

- Lengkapi tabel berikut ini, jika diketahui A_r , H = 1, I = 127, O = 16, Cl = 35,5.

Tabel 6. Massa Molekul Relatif, Titik Didih, Kepolaran, dan Gaya Antarmolekul

No.	Molekul	Titik Didih (°C)	M_r	Kepolaran Molekul	Gaya antar molekul
1	HI	-35,2	128	Polar	Gaya Dipol-dipol, Gaya London
2	HCl	-84,9	36,5	Polar	Gaya Dipol-dipol
3	H_2O	100	18	Polar	Ikatan Hidrogen
4	H_2	-252,8	2	Non polar	Gaya London
5	O_2	-183	32	Non polar	Gaya London

Berdasarkan tabel di atas, dapat diketahui urutan kekuatan gaya antar molekul tersebut dari yang terkuat ke yang terlemah yaitu Ikatan Hidrogen, Gaya Dipol-dipol, dan Gaya London. Alasan yaitu karena:

- Pada molekul Polar HI dan HCl, massa molekul relatif (M_r) HI lebih Besar daripada HCl sehingga titik didihnya lebih tinggi.
- Pada molekul non polar H_2 dan O_2 , massa molekul relatif (M_r) O_2 lebih Besar daripada H_2 .
- Pada molekul polar H_2O terdapat ikatan hidrogen, sehingga titik didihnya paling tinggi karena ikatan tersebut merupakan ikatan yang sangat kuat dan memerlukan energi yang besar untuk memusulkannya.

Gambar 2. Contoh Jawaban Peserta Didik pada Lembar Kegiatan Interaksi Antarmolekul

Berdasarkan Tabel 2, kepraktisan modul pada aspek efisiensi waktu pembelajaran memperoleh kategori sangat praktis yang berarti modul ini dapat memudahkan peserta didik untuk belajar sesuai dengan kemampuan dan kecepatan dirinya masing-masing. Penelitian yang dilakukan oleh Rahyuni et al., (2024) melaporkan bahwa penerapan PjBL memungkinkan peserta didik lebih leluasa dalam bertukar pikiran untuk menghasilkan gagasan konsep.

Aspek manfaat dan kegunaan dari modul yang dikembangkan juga memperoleh kategori sangat praktis yang berarti setiap bagian yang terdapat dalam modul memberikan manfaat dan kegunaan yang baik. Tampilan yang menarik, ketersediaan gambar, tabel, dan bacaan yang mudah dimengerti dan tidak membosankan. Lembar kerja, aktivitas, dan latihan-latihan yang dapat membantu peserta didik dalam aplikasi dan pemantapan konsep. Ketersediaan kunci jawaban juga membantu peserta didik untuk mengukur kemampuan masing-masing.

Kepraktisan modul yang dikembangkan juga terlihat pada penyajian materi yang dilengkapi dengan integrasi AR untuk melihat visualisasi bentuk molekul yang abstrak secara nyata. Pada gambar 3(a), terdapat deskripsi pada modul terkait bentuk V atau bengkok yang terbentuk karena adanya 2 PEI dan 1 PEB serta besar sudut ikatan yang lebih kecil dari 120° (Chang & Overby, 2011). Peserta didik dapat memastikan bentuk molekul tersebut dengan melihat ilustrasi 3D yang ditampilkan pada layar *smartphone* masing-masing dengan memindai QR Code yang tersedia pada modul menggunakan *Google Lens* atau *Camera* (Gambar 3(b)). Pada AR tersebut juga terlihat jenis ikatan kovalen yang terbentuk, diketahui bahwa salah satu

dari 2 PEI pada bentuk V adalah ikatan kovalen rangkap 2 (Gambar 3(c)). Sehingga pada saat melihat ilustrasi 3D tersebut peserta didik dapat mengetahui bagian yang merupakan PEI dan PEB serta meminimalisir terjadinya miskonsepsi terkait penentuan PEI pada ikatan rangkap. Sebagaimana yang diketahui bahwa, Ikatan rangkap tetap dihitung sebagai 1 PEI seperti ikatan tunggal (Chang & Overby, 2011; Petrucci et al., 2017).



Gambar 3. (a) Contoh deskripsi materi bentuk molekul pada modul, (b) Tampilan pada saat memindai QR Code, (c) Tampilan 3D AR pada *smartphone*

Berdasarkan Tabel 1, Tabel 2, dan pembahasan yang telah dijabarkan, rata-rata penilaian kevalidan memperoleh kategori valid dan persentase kepraktisan dari modul bentuk molekul berbasis PjBL terintegrasi AR untuk Fase F SMA memperoleh kategori sangat praktis. Hal ini menunjukkan bahwa modul yang dikembangkan dapat membantu peserta didik dalam mencapai tujuan pembelajaran pada materi bentuk molekul. Kegiatan proyek juga dapat mempermudah guru dalam mengkonkretkan materi yang abstrak. Modul juga memiliki kemudahan dalam penggunaan, efisien dengan waktu pembelajaran dan memberikan manfaat serta kegunaan pada guru dan peserta didik.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data yang telah dijelaskan, maka dapat disimpulkan bahwa telah berhasil dikembangkan sebuah Modul Bentuk Molekul Berbasis PjBL Terintegrasi AR untuk Fase F SMA menggunakan model pengembangan 4D. Modul yang dikembangkan ini dinyatakan valid dan dinilai sangat praktis. Agar modul bentuk molekul berbasis PjBL terintegrasi AR dapat digunakan dalam pembelajaran yang sesungguhnya, maka peneliti menyarankan agar dilakukan uji efektivitas modul pada penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini, P. D., & Wulandari, S. S. (2020). Analisis Penggunaan Model Pembelajaran Project Based Learning Dalam Peningkatan Keaktifan Siswa. *Jurnal Pendidikan Administrasi Perkantoran (JPAP)*, 9(2), 292–299. <https://doi.org/10.26740/jpap.v9n2.p292-299>
- Audina, A., & Muchtar, Z. (2024). Development of Interactive Learning Media Based Augmented Reality Android Technology Application on Redox Reaction Materials. *Jurnal Teknologi Pendidikan : Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Pembelajaran*, 9(1), 35. <https://doi.org/10.33394/jtp.v9i1.10467>
- Aulia, S., S, L. A., & Linda, R. (2023). Development of Multiple Representation-Based E-Modules Utilizing Augmented Reality in the Material of Molecular Shapes and Inter-Molecular Interactions. *AL-ISHLAH: Jurnal Pendidikan*, 15(4), 6249–6261. <https://doi.org/10.35445/alishlah.v15i4.3668>
- Chang, R., & Overby, J. (2011). General Chemistry: The Essential Concepts. In Copyright (c) 2024 SCIENCE : Jurnal Inovasi Pendidikan Matematika dan IPA

- Electrochemistry* (Sixth Edit, Vol. 73, Issue 11). McGraw-Hill Education.
- Daryanto. (2009). *Panduan Proses Pembelajaran Kreatif & Inovatif*. AV Publisher.
- Herron, J. D., Cantu, L. L., Ward, R., & Srinivasan, V. (1977). Problems associated with concept analysis. *Science Education*, 61(2), 185–199. <https://doi.org/10.1002/sce.3730610210>
- Hurrahman, M., Erlina, Melati, H. A., Enawaty, E., & Sartika, R. P. (2022). Pengembangan E-Modul Berbasis Multipel Representasi Dengan Bantuan Teknologi Augmented Reality untuk Pembelajaran Materi Bentuk Molekul. *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia*, 10(1), 89–114. <https://doi.org/10.24815/jpsi.v10i1.22579>
- Jusuf, H., & Sobari, A. (2021). Pelatihan Pembuatan Modul Pembelajaran untuk Mendukung Pembelajaran Online. *Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 2(1), 33–37.
- Kosasih, E. (2020). *Pengembangan Bahan Ajar*. Bumi Aksara.
- McMurry, J. E., & Fay, R. C. (2014). General Chemistry: Atoms First. In *Soil Science* (Vol. 77, Issue 1). Pearson Education, Inc. <https://doi.org/10.1097/00010694-195401000-00016>
- Mesra, R. (2023). Research & Development Dalam Pendidikan. In <https://doi.org/10.31219/Osf.Io/D6Wck>. PT. Mifandi Mandiri Digital.
- Mooli, A., Raharjo, S. B., & Hastuti, B. (2023). *The Need Analysis of Augmented Reality-Based Chemistry Module Development on Electrolyte and Non Electrolyte Solutions at SMA Kristen 3 Kalabahi* (Vol. 1). Atlantis Press SARL. https://doi.org/10.2991/978-2-38476-088-6_17
- Mufit, F., & Dhanil, M. (2024). Effectiveness of Augmented Reality with Cognitive Conflict Model to Improve Scientific Literacy of Static Fluid Material. *International Journal of Information and Education Technology*, 14(9), 1199–1207. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2024.14.9.2149>
- Mulya, R. (2023). Model Pembelajaran Project Based Learning. In *Model-model Pembelajaran*. Lakeisha.
- Nivaldo. (2011). *Chemistry: A Molecular Approach* (Second Edi). Dan Kaveney.
- Nola, S., Windarwatie, U., & Shalikhawati, A. (2023). Peningkatan Hasil Belajar Meramalkan Bentuk Molekul Berdasarkan Domain Elektron Melalui Project Based Learning. *Winaya: Jurnal Pendidikan*, 1(1), 9–15.
- Permana, I., Nuraeni*, E., Pursitasari, I. D., & Yulianti, Y. (2023). Application of Augmented Reality Module for Alkane Derivatives to Improve Students' Spatial Ability and Mastery of Concepts. *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia*, 11(4), 784–793. <https://doi.org/10.24815/jpsi.v11i4.31854>
- Petrucchi, R. H., Herring, F. G., Madura, J. D., & Bissonnette, C. (2017). *General chemistry: Principles and Modern Applications* (Eleventh E). Cenveo Publisher. <https://doi.org/10.2307/3468263>
- Rahyuni, Muliana, & Hidayat, A. T. (2024). Model Project Based Learning Terhadap Kemandirian Matematis Siswa pada Materi Bangun Ruang. *Jurnal Pendidikan Matematika Malikussaleh*, 4(1), 1–8.
- Ratnawati, E., & Praptomo, S. (2023). Penerapan Pembelajaran Materi Kimia Hijau Melalui Project Based Learning (PjBL). *UNESA Journal of Chemical Education*, 12(2), 141–147. <https://doi.org/10.26740/ujced.v12n2.p141-147>
- Rusmansyah, R., Rahmah, S. A., Syahmani, S., Hamid, A., Isnawati, I., & Kusuma, A. E. (2023). Implementasi Model PjBL-STEAM konteks lahan basah untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis dan self-efficacy peserta didik. *JINoP (Jurnal Inovasi Pembelajaran)*, 9(1), 44–57. <https://doi.org/10.22219/jinop.v9i1.23493>

- Santoso, A., Nurkhotimah, A. N., & Harintosasi, R. (2024). Meningkatkan keaktifan dan hasil belajar pada materi struktur atom dan nanoteknologi dengan menerapkan model pembelajaran project-based learning (PjBL). *Jurnal Kajian Pendidikan Indonesia (JKPI)*, 1(1), 17–22.
- Sholehah, P. S., & Azhar, M. (2019). Pengembangan Modul Bentuk Molekul Berbasis Inkuiri Terstruktur Dengan Penekanan Pada Level Submikroskopik Menggunakan Pemodelan Untuk Kelas X SMA. *EduKimia*, 1(1), 60–69. <https://doi.org/10.24036/ekj.v1i1.104088>
- Silvanny, & Yerimadesi. (2023). Pengembangan E-Modul Kimia Berbasis PjBL-STEM pada Materi Reaksi Kimia untuk Fase E SMA. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 7(2), 11720–11730.
- Simarmata, M. D. D., Asrial, A., Lestari, I., & Rahma, R. (2024). Analisis Penerapan Model PjBL Terintegrasi Chemoenterpreneurship (CEP) terhadap Kemampuan Berpikir Kreatif Peserta Didik pada Materi Hidrolisis Garam di SMA Negeri 9 Tebo. *JIIIP - Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan*, 7(2), 2096–2104. <https://doi.org/10.54371/jiip.v7i2.3960>
- Siregar, A. D., & Harahap, L. K. (2020). Pengembangan E-Modul Berbasis Project Based Learning Terintegrasi Media Komputasi Hyperchem Pada Materi Bentuk Molekul. *JPPS (Jurnal Penelitian Pendidikan Sains)*, 10(1), 1925. <https://doi.org/10.26740/jpps.v10n1.p1925-1931>
- Suryosubroto, B. (1983). Sistem Pengajaran Modul. In *Jakarta: Bina Aksara*. Bina Aksara.
- Thiagarajan, S., Semmel, D. S., & Semmel, M. I. (1974). *Instructional Development for Training Teachers of Exceptional Children: A Sourcebook*. Indiana University. <https://vdocuments.net/4d-models-thiagarajan.html>
- Yasmin, A. D., & Yoto, Y. (2023). AR-Learning: Media pembelajaran berbasis Mobile dengan Visualisasi 3 Dimensi Sebagai Upaya untuk Meningkatkan Critical Thinking Siswa. *Didaktika: Jurnal Kependidikan*, 12(4), 751–760. <https://jurnaldidaktika.org>