

## **BAB V**

### **PEMBAHASAN**

Pada bab ini dipaparkan pembahasan atas semua jawaban dari pertanyaan penelitian serta makna yang terkandung dalam data hasil implementasi produk media *Bi-Visuals* yang telah dikembangkan pada Perkuliahan Fisika Dasar menggunakan model CUPs. Selain itu, bagian ini juga menyajikan kesesuaian hasil penelitian dengan teori atau penelitian relevan sebelumnya.

#### **A. Karakteristik Produk Media *Bi-Visuals* untuk Perkuliahan Fisika Dasar**

Karakteristik produk media *Bi-Visuals* untuk perkuliahan Fisika Dasar dibangun pada tahap mengidentifikasi masalah, merumuskan tujuan, dan mendesain produk. Produk media *Bi-Visuals* dikembangkan dalam rangka mengatasi masalah yang ditemukan dalam CPMK Fisika Dasar yaitu rendahnya kemampuan penalaran ilmiah, level pemahaman, dan model pemahaman mahasiswa tentang materi perpindahan kalor dan perubahan fase. Oleh karena itu, pengembangan produk media *Bi-Visuals* ditujukan sebagai pendukung proses perkuliahan Fisika Dasar berorientasi pada peningkatan penalaran ilmiah dan level pemahaman serta optimalisasi model pemahaman mahasiswa. Tujuan ini merupakan ciri khas dari media visual yang dikembangkan dibandingkan dengan media visual lain yang umumnya digunakan pada perkuliahan Fisika Dasar.

Untuk mencapai tujuan tersebut, maka konten media visual yang digunakan dalam perkuliahan Fisika harus sesuai dan memenuhi kecukupan dalam pencapaian tujuan tersebut. Konten media visual yang dikembangkan mencakup tuntutan karakteristik materi ajar Fisika yang meliputi integrasi fenomena makroskopik dengan fenomena mikroskopis secara simultan.

Produk media *Bi-Visuals* yang dikembangkan ditujukan untuk meningkatkan penalaran ilmiah peserta didik dalam hal sebagai berikut:

1. Mendukung representasi ganda untuk menalar fenomena. Produk media *Bi-Visuals* menggabungkan representasi makroskopis (fenomena nyata) dengan animasi mikroskopis (perilaku partikel), yang membantu mahasiswa menghubungkan observasi nyata dengan mekanisme ilmiah yang tak kasat

mata. Ini sejalan dengan ciri penalaran ilmiah, yakni kemampuan menjelaskan fenomena fisis dengan dasar teoritis yang mendalam.

2. Memicu proses inferensial. Dengan menyajikan dua representasi yang saling terhubung, mahasiswa didorong untuk menyusun inferensi: misalnya, dari melihat es mencair (makro) lalu menyimpulkan bahwa partikel penyusunnya mulai bergerak lebih cepat (mikro). Proses ini melatih keterampilan berpikir ilmiah seperti menyusun dugaan, menjelaskan sebab-akibat, dan membangun argumen berbasis bukti.
3. Mengaktifkan konflik kognitif. Produk media *Bi-Visuals* juga dapat menunjukkan proses-proses yang bertentangan dengan intuisi atau konsepsi awal mahasiswa (misalnya, "es mencair bukan karena suhu berubah drastis, tetapi karena penyerapan kalor secara bertahap ke partikel"). Ketika mahasiswa menyadari perbedaan ini, mereka terdorong untuk menyusun ulang penalarannya agar sesuai dengan prinsip ilmiah.
4. Memperkuat model mental dinamis. Penalaran ilmiah memerlukan model mental yang bukan hanya verbal atau simbolik, tetapi juga dinamis dan berbasis visualisasi proses. Produk media *Bi-Visuals* memfasilitasi pembentukan model semacam ini, sehingga mahasiswa dapat menalar proses fisis secara lebih menyeluruh, logis, dan berbasis mekanisme.

Produk media *Bi-Visuals* yang menggabungkan animasi mikroskopis dengan fenomena riil menawarkan pendekatan yang kuat dalam memfasilitasi pemahaman mahasiswa tentang materi perpindahan kalor dan perubahan fase. Dengan menyematkan visualisasi dua level representasi secara berdampingan — makroskopis dan mikroskopis — media ini memanfaatkan prinsip Gestalt tentang *proximity* atau *contiguity*, yakni kedekatan spasial dan temporal antara elemen informasi. Prinsip ini membantu mahasiswa dalam mengintegrasikan informasi yang semula terpisah menjadi satu kesatuan makna yang utuh. Dalam konteks pembelajaran fisika, kedekatan antara animasi mikroskopis (seperti pergerakan partikel) dan fenomena makroskopis (seperti mencairnya es) memungkinkan peserta didik untuk melihat hubungan sebab-akibat secara lebih konkret dan simultan. Hal ini dapat mengurangi beban kognitif yang timbul dari tuntutan translasi dua representasi yang berbeda secara mental serta mendukung konstruksi

model pemahaman yang lebih akurat terhadap proses fisis yang abstrak. Dengan demikian, media *Bi-Visuals* berpotensi meningkatkan kualitas pemahaman konseptual mahasiswa melalui pengalaman belajar yang lebih terintegrasi dan bermakna.

Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa penyajian dua representasi secara bersamaan—seperti representasi makroskopis yang menampilkan fenomena nyata dan representasi mikroskopis yang memvisualisasikan partikel atau proses tak kasatmata—dalam satu kesatuan media visual terintegrasi, seperti pada pendekatan *Media Bi-Visuals*, dapat secara signifikan mengurangi beban kognitif peserta didik. Hal ini terjadi karena *Media Bi-Visuals* memungkinkan terjadinya pemetaan langsung antara pengalaman inderawi dan penalaran berbasis model ilmiah, sehingga meminimalkan kebutuhan berpindah antar format representasi yang selama ini menjadi sumber kesulitan dalam memahami konsep abstrak, seperti gaya antar partikel, aliran elektron, atau perubahan energi.

Penelitian terbaru oleh Ainsworth dan Van Labeke (2023) menunjukkan bahwa integrasi dua representasi seperti visual makroskopis dan mikroskopis dalam satu media interaktif dapat meningkatkan keterhubungan antarrepresentasi dan secara signifikan menurunkan beban kognitif siswa saat mempelajari konsep-konsep ilmiah kompleks. Temuan ini diperkuat oleh studi oleh Cheng dkk (2022), yang melaporkan bahwa mahasiswa yang belajar dengan media yang menggabungkan animasi partikel dan visual fenomena nyata mampu menunjukkan pemahaman konseptual yang lebih dalam dan stabil dibanding kelompok kontrol yang hanya menggunakan satu jenis representasi. Dalam konteks media *Bi-Visuals*, penjelasan sebelumnya relevan karena memungkinkan mahasiswa mengaitkan fenomena yang diamati secara langsung (makroskopis) dengan penjelasan berbasis model partikel (mikroskopis) secara simultan, sehingga mendukung integrasi pengetahuan dan meningkatkan kualitas penalaran ilmiah. Mayer dan Moreno (2003) menyatakan bahwa penyajian multimodal yang terintegrasi membantu peserta didik mengelola beban kerja memori kerja dengan lebih efisien, karena mereka tidak perlu secara mental mencari dan menghubungkan informasi dari dua sumber terpisah. Penelitian oleh Seufert (2003) juga menunjukkan bahwa koherensi spasial antara representasi yang saling melengkapi mendorong integrasi informasi yang lebih baik

dan memfasilitasi konstruksi pemahaman yang lebih utuh. Dalam konteks sains, Cook (2006) menemukan bahwa ketika representasi mikroskopis dan makroskopis disajikan secara berdekatan dalam satu *frame* visual, peserta didik lebih mudah membuat hubungan antara fenomena yang diamati dan mekanisme partikel yang mendasarinya, dibandingkan jika kedua representasi tersebut disajikan terpisah. Temuan-temuan ini memperkuat bahwa penyajian visual yang mengikuti prinsip kedekatan (*contiguity*) tidak hanya meningkatkan pemahaman, tetapi juga mencegah kelebihan beban kognitif yang dapat menghambat proses belajar.

Meskipun media *Bi-Visuals* menawarkan potensi besar dalam membantu mahasiswa memahami konsep-konsep abstrak melalui penggabungan representasi makroskopis dan mikroskopis, sejatinya media *Bi-Visuals* merupakan media pembelajaran yang berfungsi sebagai pendukung, bukan pengganti proses pengajaran. Performa media *Bi-Visuals* sangat bergantung pada bagaimana media tersebut diintegrasikan dalam model pembelajaran yang tepat. Tanpa *setting* pembelajaran yang sesuai, mahasiswa mungkin hanya mengamati visual tanpa mampu mengonstruksi makna yang mendalam. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan instruksional yang secara sengaja mendorong siswa untuk mengamati, menafsirkan, dan merefleksikan hubungan antar representasi yang disajikan. Strategi pengajaran seperti diskusi berbasis pertanyaan, *scaffolding* konseptual, serta eksplorasi berbasis tugas dapat memaksimalkan fungsi media *Bi-Visuals* dalam menumbuhkan penalaran ilmiah mahasiswa secara lebih terarah serta memfasilitasi beragam level dan model pemahaman.

Penelitian ini mengadaptasi *Conceptual Understanding Procedures* (CUPs) oleh Carpendale dan Cooper (2021) sebagai model perkuliahan Fisika Dasar materi perpindahan kalor dan perubahan fase dengan berbantuan media *Bi-Visuals*. CUPs pada penelitian ini terdiri atas tiga aktivitas utama, yaitu 1) *Personal Reasoning Phase*, 2) *Shared Reasoning Phase*, dan 3) *Whole-Class Consensus Building* dengan rincian kegiatan yang telah disampaikan pada Bab sebelumnya. Kemampuan penalaran ilmiah dilatihkan kepada peserta didik pada *Personal Reasoning Phase* dan *Shared Reasoning Phase*. Sedangkan pengembangan pemahaman mahasiswa dilakukan pada tahapan *Whole-Class Consensus Building*.

Produk media *Bi-Visuals* berbasis AR digunakan pada kegiatan penguatan konsep, yaitu salah satu aktivitas pada tahapan *Whole-Class Consensus Building*.

Media *Bi-Visuals* berbasis AR yang dikembangkan telah berhasil mengintegrasikan representasi makroskopis dan mikroskopis untuk memfasilitasi pemahaman konsep perpindahan kalor dan perubahan fase, namun media ini masih memiliki keterbatasan, khususnya dalam hal cakupan representasi yang disediakan. Salah satu aspek yang belum secara eksplisit dilekatkan adalah representasi simbolik, seperti rumus, grafik suhu-waktu, atau diagram energi, yang berperan penting dalam mendorong pemahaman yang lebih abstrak dan kemampuan berpikir ilmiah tingkat lanjut. Ketiadaan level simbolik ini dapat membatasi media *Bi-Visuals* berbasis AR dalam menjangkau mahasiswa yang sudah berada pada tahap pemahaman lebih tinggi dan membutuhkan jembatan antara visualisasi fenomena dan formalitas konseptual. Hal ini relevan dengan beberapa catatan salah seorang validator ketika melakukan telaah produk media *Bi-Visuals* berbasis AR yang memberi saran untuk melibatkan grafik atau kurva. Oleh karena itu, penelitian lanjutan perlu mengeksplorasi bagaimana integrasi representasi simbolik ke dalam media *Bi-Visuals* berbasis AR dapat meningkatkan kualitas pemahaman dan kemampuan penalaran ilmiah mahasiswa secara lebih menyeluruh. Hal ini juga membuka peluang untuk mengkaji interaksi antar representasi (*triplet representation*: makro, mikro, simbolik) dalam membangun model mental yang utuh serta peran *scaffolding* dalam memfasilitasi transisi antar level representasi tersebut.

Berdasarkan penjabaran di atas, maka dapat dirangkum karakteristik produk media *Bi-Visuals* berbasis AR adalah sebagai berikut.

1. Mengintegrasikan representasi makroskopis dan mikroskopis secara simultan. media *Bi-Visuals* berbasis AR menampilkan fenomena riil (makroskopis) seperti mencair, menguap, dan mengembun secara berdampingan dengan animasi mikroskopis yang merepresentasikan gerak dan interaksi partikel. Integrasi ini dirancang untuk membantu mahasiswa membangun hubungan antara pengamatan nyata dan mekanisme ilmiah di baliknya.
2. Berbasis Prinsip Gestalt: *Proximity* (Contiguity). Penempatan visual makro dan mikro secara berdekatan dalam satu layar mengikuti prinsip Gestalt tentang

kedekatan spasial dan temporal. Hal ini bertujuan untuk memudahkan integrasi informasi, menurunkan beban kognitif, dan memperkuat konstruksi makna konseptual.

3. Menstimulasi kemampuan penalaran ilmiah. Produk ini dirancang untuk memacu mahasiswa dalam menyusun inferensi: misalnya, dari melihat es mencair (makro) lalu menyaksikan bahwa partikel penyusunnya mulai bergerak lebih cepat (mikro) hingga berada dalam struktur yang tidak beraturan (amorf). Proses ini melatih kemampuan berpikir ilmiah seperti menyusun dugaan, menjelaskan sebab-akibat, dan membangun argumen berbasis bukti.
4. Memfasilitasi pemahaman mahasiswa untuk menjangkau objek-objek abstrak melalui visualisasi dinamis. Produk ini dirancang untuk menjembatani kesenjangan antara realitas fisis dan konsep ilmiah abstrak seperti energi partikel, kalor laten, dan perubahan wujud tanpa perubahan suhu. Dengan animasi yang dinamis, media *Bi-Visuals* berbasis AR membantu mahasiswa membangun model mental berbasis visual.
5. Didesain sebagai media pendukung strategi pengajaran aktif. Meskipun kuat secara visual, media *Bi-Visuals* berbasis AR tidak bersifat instruksional pasif. Media ini dirancang untuk digunakan dalam konteks pembelajaran aktif seperti diskusi, eksplorasi, atau tugas reflektif. Keberhasilannya sangat tergantung pada model perkuliahan yang mewadahnya.
6. Adaptif terhadap pengembangan berbasis representasi triplet. Dengan kerangka kerja representasi makro–mikro–simbolik (Johnstone, 1991), Media *Bi-Visuals* berbasis AR memiliki potensi untuk diperluas agar mampu menyatukan tiga level representasi sains dalam satu pengalaman visual terintegrasi.

## **B. Kelayakan Produk Media *Bi-Visuals* Berbasis AR untuk Perkuliahan Fisika Dasae**

Kelayakan produk media *Bi-Visuals* berbasis AR untuk perkuliahan Fisika Dasar diperoleh dari hasil validasi ahli menggunakan lembar reuiu media dan hasil uji coba terbatas. Data hasil validasi berupa penilaian para ahli terhadap kesesuaian antara aspek penilaian dengan produk media visual yang dikembangkan dan

saran/masukan para ahli terhadap penyempurnaan media visual. Produk media visual dikatakan valid apabila para ahli mengisi kolom 'Ya' pada item-item penilaian yang meliputi empat aspek, yaitu substansi ilmiah, visualisasi, relevansi, dan pedagogis.

Hasil data validasi ahli terhadap media visual berupa skor penilaian dianalisis dengan menghitung koefisien V Aiken pada tiap aspek penilaian. Media visual dinyatakan layak apabila nilai V Aiken berada di atas nilai kevalidan minimum yaitu 0,71 (Aiken, 1985). Hasil validasi berupa masukan yang diberikan para ahli digunakan sebagai bahan evaluasi dalam memperbaiki produk media visual.

Berdasarkan hasil revidu yang dilakukan para ahli pada setiap aspek penilaian, secara umum menunjukkan bahwa produk media *Bi-Visuals* berbasis AR yang dikembangkan layak digunakan dalam penelitian ini. Artinya, setiap komponen produk media *Bi-Visuals* berbasis AR memiliki keterkaitan satu sama lain dalam mendukung pencapaian tujuannya, yakni alat bantu perkuliahan Fisika Dasar berorientasi peningkatan penalaran ilmiah dan level pemahaman serta perubahan model pemahaman mahasiswa. Hal ini sejalan dengan pendapat Sadiman dkk (2011) yang menyatakan bahwa suatu media pembelajaran dapat dinyatakan valid apabila memenuhi aspek kesesuaian dengan tujuan pembelajaran, kebenaran isi atau materi, serta konsistensi antar elemen visual dan pesan yang disampaikan. Media visual yang valid harus menunjukkan hubungan yang erat antara tampilan visual, isi pesan, dan fungsi edukatifnya, sehingga mampu mendukung pencapaian kompetensi secara efektif. Dengan kata lain, kelayakan media visual yang dikembangkan harus memenuhi empat aspek, yaitu substansi ilmiah, visualisasi, relevansi, dan pedagogis.

Aspek substansi ilmiah merupakan fondasi utama dalam penilaian kelayakan media *Bi-Visuals*, karena media ini digunakan untuk membantu mahasiswa memahami konsep-konsep fisika yang bersifat abstrak dan kompleks. Berdasarkan hasil penilaian dari lima validator ahli, media *Bi-Visuals* dinilai layak secara substansi ilmiah karena telah memenuhi prinsip-prinsip keakuratan konsep dan kesesuaian representasi dengan pengetahuan ilmiah yang berlaku.

Validator memberikan penilaian positif terhadap item pertama, yaitu bahwa fenomena perpindahan kalor dan perubahan fase yang disajikan dalam *Media Bi-*

*Visuals* dinilai sesuai dengan prinsip-prinsip ilmiah yang berlaku dalam literatur fisika. Hal ini menunjukkan bahwa visualisasi yang digunakan telah merujuk pada definisi, mekanisme, dan karakteristik perpindahan kalor dan perubahan fase yang sesuai dengan teori fisika termal yang berlaku.

Selain itu, *Media Bi-Visuals* dinilai telah berhasil mengaitkan fenomena makroskopis dengan mikroskopis secara tepat. Validator menilai bahwa setiap peristiwa makroskopis—seperti pengembunan uap—disertai dengan animasi mikroskopis partikel yang menjelaskan penurunan energi kinetik, mendekatnya antarpartikel, dan pembentukan ikatan, yang semuanya disusun secara logis dan sesuai model ilmiah terkini. Kedekatan spasial dan temporal antara dua representasi ini dianggap mendukung pemahaman konseptual yang utuh dan menyeluruh, sekaligus memfasilitasi integrasi antar level representasi yang menjadi kunci dalam pembelajaran sains (Johnstone, 1991).

Item ketiga yang menilai tidak adanya miskonsepsi atau kekeliruan dalam konsep fisis juga memperoleh skor tinggi. Hal ini penting untuk mencegah munculnya kesalahpahaman konseptual baru selama proses belajar, terutama dalam konsep-konsep yang lazim menimbulkan miskonsepsi seperti "kalor sebagai zat" atau "partikel berubah wujud". Hal ini penting karena media visual yang tidak dikembangkan dengan ketat secara ilmiah dapat memperkuat *alternative conceptions* yang sudah ada pada mahasiswa (Chi, 2008). Validasi ini menunjukkan bahwa media *Bi-Visuals* berbasis AR telah disusun dengan mempertimbangkan aspek epistemologis.

Validator juga memberikan penilaian positif pada kesesuaian representasi partikel mikroskopis dengan model ilmiah yang umum digunakan dalam fisika dan kimia. Animasi partikel disajikan dengan ukuran, arah gerak, dan kepadatan yang realistis dan konsisten dengan skema ilmiah. Ini menunjukkan bahwa media telah mempertimbangkan presisi representasi yang dapat diterima secara akademik dan tidak hanya bersifat ilustratif artistik.

Secara keseluruhan, aspek substansi ilmiah dari *Media Bi-Visuals* dinilai sangat layak dan telah memenuhi standar validitas isi untuk digunakan dalam konteks pembelajaran perubahan fase dan perpindahan kalor di tingkat pendidikan tinggi. Hal ini mendukung pernyataan Van den Berg dkk (2021) bahwa kualitas

representasi visual dalam sains sangat bergantung pada akurasi ilmiah dan keterpaduannya dengan prinsip-prinsip yang diajarkan.

Dalam aspek relevansi, *Media Bi-Visuals* dinilai layak oleh kelima validator ahli karena berhasil memenuhi indikator kesesuaian dengan capaian pembelajaran mata kuliah Fisika Dasar. Berdasarkan hasil validasi, media ini mencakup konten yang sesuai dengan indikator pembelajaran materi perpindahan kalor dan perubahan fase yang telah ditetapkan, yang merupakan bagian penting dalam topik termodinamika tingkat dasar. Kesesuaian ini menjadikan *Media Bi-Visuals* tidak hanya sebagai media bantu yang menarik secara visual, tetapi juga memiliki kekuatan instruksional yang mendalam karena terintegrasi langsung dengan target pembelajaran yang ditetapkan dalam RPS.

Lebih jauh, isi dari *Media Bi-Visuals* dinilai mampu mendukung peningkatan pemahaman mahasiswa. Hal ini ditunjukkan melalui visualisasi partikel yang menggambarkan fenomena secara dinamis. Visualisasi tersebut tidak hanya membantu mahasiswa melihat apa yang terjadi secara makroskopik (seperti es mencair atau air mendidih), tetapi juga menyajikan proses mikroskopik seperti pergerakan partikel, perubahan energi kinetik, dan interaksi antarmolekul secara runtut dan bermakna. Validasi ini mendukung temuan-temuan dalam literatur bahwa visualisasi yang dikembangkan dengan pendekatan *representational coherence* dapat meningkatkan pemahaman konseptual dan mengurangi miskonsepsi (Ainsworth, 2006; Treagust dkk, 2010).

Hubungan antar bagian dalam media—terutama antara representasi makroskopis dan mikroskopis—dianggap logis dan konsisten oleh para validator. Setiap elemen visual diatur secara kronologis dan kohesif, sehingga mahasiswa dapat menghubungkan perubahan yang terjadi secara kasat mata dengan penjelasan teoritis yang tidak terlihat. Konsistensi visual ini sejalan dengan prinsip *cognitive load theory* (Sweller, 2011), di mana integrasi antar-representasi yang harmonis akan memudahkan pemrosesan informasi dan memperkuat integrasi skematik dalam memori jangka panjang.

Terakhir, *Media Bi-Visuals* mampu menggambarkan dinamika perpindahan kalor dan perubahan fase secara berkesinambungan, tidak dalam potongan-potongan terpisah. Transisi antar fase (misalnya dari padat ke cair atau dari cair ke

gas) disajikan secara bertahap dan menyatu, memperlihatkan perubahan gerak partikel dan struktur hasil ikatan partikel penyusun zat. Pendekatan ini penting karena mahasiswa sering kesulitan memahami hubungan kontinu antar proses jika materi disampaikan secara diskrit (Chi, 2005). Oleh karena itu, keberlanjutan visual ini memberikan kontribusi signifikan terhadap kohesi pemahaman mahasiswa dalam menjelaskan proses fisis secara utuh.

Dengan demikian, aspek relevansi dari *Media Bi-Visuals* telah dinyatakan sangat layak sebagai bagian dari instrumen pembelajaran Fisika Dasar. Penilaian positif pada keempat butir indikator menunjukkan bahwa media ini tidak hanya tepat sasaran secara kurikuler, tetapi juga efektif secara pedagogis untuk mendukung pembelajaran berbasis pemahaman dan representasi ilmiah.

Aspek visualisasi dalam *Media Bi-Visuals* menunjukkan tingkat kelayakan yang tinggi berdasarkan hasil validasi dari lima pakar. Seluruh validator sepakat bahwa fenomena makroskopis disajikan secara jelas dan mudah dikenali, baik dari segi bentuk visual maupun konteks peristiwanya. Representasi seperti perubahan bentuk es, penguapan air, atau pembentukan embun divisualisasikan dengan cukup detail sehingga mahasiswa dapat langsung mengaitkan apa yang mereka lihat dengan pengalaman empirisnya. Visualisasi ini memperkuat peran persepsi visual dalam membangun skemata awal mahasiswa (Mayer, 2009).

Selanjutnya, animasi mikroskopis dirancang secara informatif dan tidak membingungkan. Representasi partikel, gerak molekul, dan interaksi antarmolekul digambarkan dengan cara yang konsisten dengan model ilmiah yang umum, seperti model kinetik partikel. Warna, ukuran, dan kecepatan gerak dipilih secara tepat agar tidak menimbulkan interpretasi keliru atau miskonsepsi. Desain ini sejalan dengan prinsip *dual coding theory* (Paivio, 1990), yang menyatakan bahwa informasi visual yang representatif dapat memperkuat pengolahan informasi verbal dan meningkatkan pemahaman peserta didik.

Penilaian positif juga diberikan pada transisi antar representasi makroskopis dan mikroskopis, yang dianggap berjalan halus dan mendukung pemahaman. Alih-alih terkesan terputus atau tiba-tiba, perpindahan antar level representasi dirancang dengan gradual, sehingga membantu mahasiswa menjaga kontinuitas mental terhadap fenomena yang sedang diamati. Hal ini penting karena banyak studi

menunjukkan bahwa ketidaksesuaian atau ketidakjelasan dalam transisi representasi dapat membebani kognisi mahasiswa (Ainsworth, 2006; Seufert, 2003).

Secara desain visual, warna, bentuk, dan gerakan dalam media Bi-Visuals dirancang sesuai dengan prinsip desain pembelajaran, khususnya prinsip kohesi, signalisasi, dan segmentasi dalam *multimedia learning* (Mayer, 2009). Warna digunakan bukan sekadar estetika, melainkan untuk membedakan entitas dan menunjukkan perubahan energi. Bentuk dan arah gerak partikel diatur konsisten untuk menunjukkan peningkatan suhu, perpindahan kalor, atau perubahan wujud. Kombinasi ini membuat visualisasi bukan hanya menarik secara estetika, tetapi juga bermakna secara instruksional.

Terakhir, sinkronisasi waktu antara fenomena makroskopis dan mikroskopis dinilai tepat oleh seluruh validator. Misalnya, es mulai mencair secara visual di tingkat makroskopis, maka secara simultan ditampilkan peningkatan gerak partikel dan pelemahan gaya antar molekul di tingkat mikroskopis. Sinkronisasi ini penting karena mendorong integrasi lintas representasi dan memperkaya pemahaman multilevel terhadap konsep-konsep fisis (Cheng & Gilbert, 2009). Ketepatan waktu ini juga menghindari *split-attention effect*, yang sering terjadi ketika informasi disajikan tidak sinkron.

Secara keseluruhan, aspek visualisasi dari *Media Bi-Visuals* telah menunjukkan kelayakan yang tinggi dalam menunjang pemahaman mahasiswa tentang materi perpindahan kalor dan perubahan fase. Validasi terhadap lima butir penilaian ini menegaskan bahwa kualitas visual bukan hanya berfungsi sebagai pemikat perhatian, melainkan sebagai alat epistemik yang memperkuat proses konstruksi makna dan integrasi representasi dalam pembelajaran sains.

Aspek pedagogis merupakan dimensi penting dalam menilai kelayakan suatu media pembelajaran, karena berkenaan langsung dengan cara media tersebut memfasilitasi proses belajar yang aktif, reflektif, dan bermakna. Berdasarkan hasil validasi lima orang ahli, *Media Bi-Visuals* yang dikembangkan dalam penelitian ini dinyatakan layak secara pedagogis. Hal ini tercermin dari nilai V terhadap butir-butir penilaian seperti kemampuannya dalam menstimulasi rasa ingin tahu dan daya nalar mahasiswa. Visualisasi yang menggabungkan representasi makroskopis dan

mikroskopis secara dinamis mampu memicu mahasiswa untuk bertanya, membuat prediksi, dan menafsirkan fenomena yang diamati, sebagaimana juga dilaporkan oleh Zhang dan Linn (2011) bahwa visualisasi konseptual yang interaktif dapat meningkatkan *reasoning* dan *curiosity* dalam sains.

Penyajian media juga memungkinkan terjadinya *active observation* karena mahasiswa dapat memperhatikan perubahan partikel pada level mikroskopis seiring dengan perubahan fase pada level makroskopis dalam satu rangkaian yang berkesinambungan. Hal ini sejalan dengan temuan Wu dkk (2001) yang menyatakan bahwa media yang dirancang dengan pendekatan *multiple representations* memungkinkan penguatan proses observasi dan keterlibatan kognitif. Selain itu, ruang untuk interpretasi dan refleksi terbuka karena media tidak menyajikan informasi secara dogmatis, melainkan dengan pendekatan eksploratif, memungkinkan mahasiswa menyusun penafsiran sendiri atas hubungan antarfenomena. Model ini sejalan dengan prinsip *constructivist learning* yang menekankan peran aktif mahasiswa dalam membangun makna (Jonassen, 1999).

Dari sisi kesesuaian dengan level kognitif mahasiswa, penyajian *Media Bi-Visuals* berada dalam zona perkembangan proksimal yang tepat bagi mahasiswa jenjang sarjana. Artinya, visualisasi tidak terlalu sederhana sehingga membosankan, namun juga tidak terlalu kompleks sehingga membingungkan. Konsep-konsep seperti gerakan partikel, energi, dan perubahan fasa disajikan melalui animasi yang kaya namun tetap dapat dijangkau oleh kemampuan berpikir formal mahasiswa. Ini sesuai dengan temuan Tsui dan Treagust (2007) yang menyatakan bahwa visualisasi mikro-makro yang tepat dapat menjembatani pemahaman peserta didik tingkat universitas jika disesuaikan dengan kemampuan berpikir abstrak mahasiswa.

Selain itu, *Media Bi-Visuals* juga dinilai cocok sebagai alat bantu dosen untuk menjelaskan konsep-konsep fisis yang bersifat abstrak, seperti perpindahan kalor dalam konteks mikroskopis. Hal ini menguatkan hasil penelitian Gilbert (2005) yang menyatakan bahwa representasi visual berperan penting dalam membantu dosen mengatasi keterbatasan bahasa verbal dalam menjelaskan konsep yang tidak dapat diamati secara langsung. Dengan demikian, secara pedagogis, media ini tidak

hanya efektif dalam mendukung pemahaman mahasiswa, tetapi juga memperkuat strategi pengajaran dosen dalam konteks perkuliahan Fisika Dasar.

### **C. Peningkatan Penalaran Ilmiah Mahasiswa tentang Materi Perpindahan Kalor dan Perubahan Fase**

Hasil analisis data menunjukkan bahwa terjadi peningkatan penalaran ilmiah mahasiswa pada kelompok eksperimen dan kelompok kontrol dengan mayoritas nilai *n-gain* kategori tinggi pada materi perpindahan kalor dan perubahan fase. Penalaran ilmiah pada mahasiswa dilatih pada fase *personal reasoning phase* dan *shared reasoning phase*. Pada kedua tahapan ini, mahasiswa diminta untuk menganalisis fenomena dan berdiskusi atau bertukar jawaban dengan teman kelompoknya. Diskusi kelompok melibatkan pengajuan bukti-bukti (*evidences*) dan alasan ilmiah (*reasoning*) agar dapat diterima sebagai jawaban representatif kelompok tersebut. Pada awal tahap *whole-class consensus building*, peneliti memandu diskusi kelas dengan mengajukan pertanyaan-pertanyaan berbasis kerangka CER kepada seluruh mahasiswa guna mengaktifkan penalaran ilmiah mahasiswa. Dengan perlakuan yang sama pada aktivitas-aktivitas tersebut pada kedua kelompok penelitian, maka sangat wajar jika mayoritas peroleh *n-gain* pada penalaran ilmiah mahasiswa relatif sama.

Salah satu kegiatan kunci yang dapat mengembangkan penalaran ilmiah mahasiswa adalah analisis fenomena atau studi kasus ilmiah. Dalam kegiatan ini, mahasiswa tidak hanya diminta mengamati atau membaca deskripsi suatu kejadian, tetapi juga ditantang untuk mengidentifikasi konsep-konsep ilmiah yang relevan dan mengajukan penjelasan berbasis prinsip fisika lainnya. Pendekatan ini menstimulasi penalaran kausal karena mahasiswa dituntut memahami hubungan sebab-akibat dari suatu peristiwa nyata, bukan sekadar menghafal teori. Misalnya, saat dihadapkan pada fenomena perubahan fase air dalam sistem tertutup, mahasiswa harus menelaah peran tekanan, energi kalor, dan sifat molekul dalam menjelaskan dinamika sistem. Penelitian oleh Keser, Yilmaz, & Akdeniz (2011) menunjukkan bahwa analisis fenomena berbasis masalah kontekstual mendorong mahasiswa untuk menggunakan konsep ilmiah secara aktif dalam menjelaskan

peristiwa sehari-hari, yang pada gilirannya meningkatkan kualitas penalaran ilmiah mereka.

Lebih jauh, diskusi ilmiah atau debat terstruktur juga menjadi wahana yang sangat kuat dalam membentuk argumentasi ilmiah mahasiswa. Ketika mahasiswa didorong untuk menyampaikan pendapat, mempertahankan argumen, dan menanggapi pandangan orang lain, mereka terlatih menyusun klaim yang logis dan mendasarkannya pada bukti empiris atau prinsip ilmiah. Diskusi ini dapat dikaitkan langsung dengan pengamatan visual terhadap fenomena atau representasi yang ditampilkan, sehingga mahasiswa tidak sekadar berbicara berdasarkan intuisi atau pengalaman sehari-hari, melainkan berdasarkan penalaran konseptual yang terasah. Penelitian oleh Osborne, Erduran, & Simon (2004) mengemukakan bahwa keterlibatan siswa dalam argumentasi ilmiah secara kolaboratif memperkuat kemampuan mereka dalam menyusun dan mengevaluasi argumen yang didasarkan pada bukti ilmiah.

Selanjutnya, pembuatan model atau visualisasi ilmiah, terutama yang bersifat dinamis seperti animasi, memberikan kontribusi penting dalam mengembangkan penalaran ilmiah. Aktivitas ini tidak hanya mengaktifkan aspek kognitif dalam mengolah informasi, tetapi juga menuntut mahasiswa untuk berpikir secara representasional — menghubungkan realitas makroskopik, simbolik, dan mikroskopik. Ketika mahasiswa menyusun sketsa perubahan susunan partikel selama proses mencair atau menguap, mereka tidak hanya melatih keterampilan menggambar, tetapi juga harus memahami konsep di balik perubahan energi, gaya antarpartikel, dan transformasi wujud zat. Studi oleh Kozma & Russell (2005) menunjukkan bahwa mahasiswa yang diminta untuk membuat atau menginterpretasi representasi visual menunjukkan pemahaman konseptual yang lebih dalam, khususnya dalam konteks materi kimia dan fisika.

Visualisasi ilmiah juga berfungsi sebagai alat bantu berpikir (*cognitive tool*) yang sangat efektif ketika digunakan secara aktif oleh mahasiswa. Ketika mahasiswa diminta membuat visualisasi sendiri atau menjelaskan visualisasi yang diberikan dalam bentuk animasi, mereka harus merekonstruksi proses ilmiah secara logis — misalnya, memahami urutan kejadian, transisi energi, atau interaksi molekul. Proses ini mendorong aktivitas berpikir tingkat tinggi (*higher-order*

thinking) yang esensial dalam penalaran ilmiah, seperti menjelaskan, membandingkan, mengevaluasi, dan merevisi pemahaman. Menurut Ainsworth (2006), integrasi berbagai bentuk representasi visual (multiple representations) membantu pembelajar mengkonstruksi hubungan antara konsep, serta memperkuat transfer pengetahuan lintas konteks.

Ketiga jenis kegiatan ini — analisis fenomena, diskusi terstruktur, dan visualisasi — saling melengkapi dalam membangun kemampuan penalaran ilmiah mahasiswa. Dalam konteks perkuliahan, kombinasi dari ketiganya memberikan ruang bagi mahasiswa untuk berpikir secara kritis, menyusun penjelasan ilmiah, dan membangun pemahaman berbasis logika dan bukti. Terlebih lagi, kegiatan-kegiatan ini dapat didesain sedemikian rupa agar mendorong mahasiswa berpindah dari pemahaman intuitif menuju pemahaman berbasis teori yang lebih dalam. Zimmerman (2007) menyatakan bahwa pembelajaran yang menekankan pada kegiatan penyelidikan dan penalaran terbuka memberikan kontribusi signifikan terhadap perkembangan *scientific reasoning* di kalangan mahasiswa. Dengan demikian, intervensi pembelajaran berbasis analisis fenomena dan visualisasi tidak hanya meningkatkan capaian kognitif, tetapi juga membentuk pola pikir ilmiah yang berkelanjutan.

Hasil analisis data pada Bab 4 menunjukkan bahwa peningkatan penalaran ilmiah mahasiswa antara kelas eksperimen dan kelas kontrol pada topik perpindahan kalor dan perubahan fase cenderung relatif setara, meskipun terdapat perbedaan perlakuan pada tahap akhir intervensi. Kedua kelas mengikuti perkuliahan Fisika Dasar menggunakan model *Conceptual Understanding Procedures (CUPs)*, yang terdiri atas tiga tahapan utama: *personal reasoning*, *shared reasoning*, dan *whole-class consensus building*. Pada tahap ketiga, baik kelas kontrol maupun eksperimen sama-sama menerima penguatan materi melalui presentasi *slide PowerPoint* yang memuat berbagai media visual, baik statis (gambar, diagram, tabel) maupun dinamis (video dan animasi). Penggunaan visualisasi yang variatif ini pada dasarnya telah memberikan stimulus kognitif yang cukup kuat untuk memfasilitasi aktivasi penalaran ilmiah, termasuk dalam menghubungkan representasi fenomena, menjelaskan mekanisme partikel, serta memahami hubungan antar variabel fisika secara ilmiah.

Adapun perbedaan utama di kelas eksperimen, yaitu penambahan media *Bi-Visuals* berbasis AR pada tahap ketiga, belum menghasilkan dampak peningkatan yang jauh lebih signifikan dibanding kelas kontrol. Hal ini kemungkinan disebabkan karena peran media visual (baik statis maupun dinamis) dalam *slide PowerPoint* pada kelas kontrol sudah cukup kuat dalam memicu konflik kognitif dan mendorong proses argumentasi ilmiah. Dengan kata lain, media *Bi-Visuals* berbasis AR tidak bekerja dalam kekosongan, melainkan masuk dalam konteks pembelajaran yang sudah kaya secara visual dan interaktif. Selain itu, karena kedua kelas sama-sama mengikuti tahapan CUPs yang menekankan pada *reasoning* secara personal, kolaboratif, dan kolektif, maka aspek kognitif dan sosial dari penalaran ilmiah telah difasilitasi dengan setara. Oleh karena itu, tambahan media *Bi-Visuals* berbasis AR lebih berdampak pada aspek pemahaman konseptual dan keterkaitan representasi (sebagaimana hasil dan pembahasan pada variabel sebelumnya), tetapi tidak secara langsung atau signifikan memperkuat penalaran ilmiah lebih lanjut, terutama jika intensitas penggunaan dan eksplorasi media *Bi-Visuals* berbasis AR masih terbatas pada fase penguatan akhir.

#### **D. Peningkatan Level Pemahaman dan Optimalisasi Model Pemahaman Mahasiswa tentang Materi Perpindahan Kalor dan Perubahan Fase**

Performa *Media Bi-Visuals* pada perkuliahan Fisika Dasar menggunakan model CUPs telah berhasil memfasilitasi peningkatan level dan model pemahaman konsep mahasiswa tentang konsep perubahan fase dan transfer kalor. Peningkatan level pemahaman konsep mahasiswa diukur dengan perolehan *n-gain* dengan kategori tinggi untuk enam konsep uji dan kategori sedang untuk tiga konsep uji sebagaimana yang telah dipaparkan pada Bab 4. Akan tetapi, jika dibandingkan dengan hasil yang diperoleh pada kelompok kontrol yang menerapkan model CUPs tanpa bantuan *Media Bi-Visuals*, terdapat perolehan *n-gain* kelompok kontrol pada enam konsep uji yang memiliki kriteria yang sama dengan kelompok eksperimen. Adapun model pemahaman konsep mahasiswa pada kedua kelompok mahasiswa mengalami peningkatan, yakni dari model tidak tepat menjadi model optimum, model tak kreatif, dan model teoritis. Oleh karena itu, bagian ini akan membahas

peran dan pengaruh *Media Bi-Visuals* beserta tantangannya dalam meningkatkan level dan model pemahaman konsep mahasiswa.

Indikator kemampuan pemahaman konsep yang kemudian akan dikategori menjadi level dan model pemahaman konsep pada penelitian ini dilatihkan selama perkuliahan Fisika menggunakan model CUPs pada kedua kelompok mahasiswa. Aktivitas mahasiswa selama perkuliahan juga dipandu dengan mengisi *worksheet* dengan tiga pertanyaan utama dengan contoh sebagai berikut.

1. *Lantai yang basah setelah dipel lama kelamaan akan kering. Konsep fisika apa yang dapat menjelaskan fenomena ini? Bagaimana proses lantai basah setelah dipel dapat menjadi kering? Jelaskan.*



2. *Lukiskan penjelasan Anda terkait pertanyaan nomor 4 dalam representasi gambar (makro-mikro) pada kotak di bawah ini !*
3. *Tuliskan dua contoh fenomena lain yang melibatkan konsep fisika yang sama dengan fenomena pada pertanyaan nomor 4!*

Pertanyaan di atas merupakan kombinasi pertanyaan instrumen level dan model pemahaman konsep yang ingin dilatihkan selama penelitian. Pada *personal reasoning phase*, mahasiswa secara individu mencoba menjawab pertanyaan tersebut dalam durasi 15 menit. Aktivitas ini ditujukan untuk mengetahui kondisi awal kemampuan pemahaman konsep mahasiswa yang menjadi bekal awal dalam mengikuti perkuliahan konsep perubahan fase dan transfer kalor. Selanjutnya pada *shared personal phase*, mahasiswa secara berkelompok yang terdiri dari empat hingga lima orang berdiskusi dan bertukar jawaban atas pertanyaan pada *worksheet* hingga akhirnya diperoleh pemahaman kolektif masing-masing kelompok. Aktivitas ini berlangsung selama 30 menit. Aktivitas selanjutnya adalah *whole-class consensus building*. Pada tahapan ini, peneliti mamandu diskusi kelas dan meminta perwakilan kelompok untuk menyampaikan jawabannya beserta menyajikan representasi gambar di depan kelas sebagaimana disajikan dalam Gambar 5.1.



**Gambar 5.1.** Salah Satu Aktivitas pada *Whole-Class Consensus Building*

Jawaban seluruh mahasiswa, baik pada *personal reasoning phase* maupun *shared reasoning phase* adalah jawaban yang tidak cukup atau bahkan tidak diterima secara ilmiah untuk memahami konsep perubahan fase dan transfer kalor. Berikut disajikan contoh jawaban mahasiswa pada *personal reasoning phase* dan *shared reasoning phase* pada Gambar 5.2 dan Gambar 5.3

Worksheet

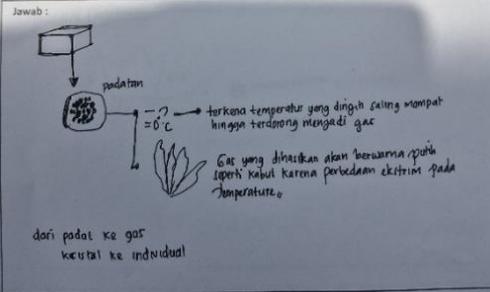
1. Es kering sering dimanfaatkan dalam dekorasi panggung pertunjukan karena menghasilkan kabut seperti pada gambar di bawah ini. Konsep fisika apa yang dapat menjelaskan fenomena ini? Bagaimana proses es kering sehingga dapat menghasilkan kabut? Jelaskan.



Jawab : ~~Deforisi~~ <sup>Deforisi</sup> - menyublimasi <sup>menyublimasi</sup>  
 Es kering, yang dimana berupa padatan, lalu menyublimasi dari padatan menjadi gas. Temperatur di dalamnya berubah menjadi lebih dingin dari biasanya, padatan yang ada di dalamnya itu lalu meleleh menjadi molekul yang tidak saling berikatan, lalu padatan tadi terdorong hingga menghasilkan gas yang seperti kabut.

2. Lukiskan penjelasan Anda terkait pertanyaan nomor 1 dalam representasi gambar (makro-mikro) pada kotak di bawah ini.

Jawab :



3. Tuliskan dua contoh fenomena lain yang melibatkan konsep fisika yang sama dengan fenomena pada pertanyaan nomor 1!

Jawab : ① Terjadinya es kapuk, yang dimana fungsi bagasi snack yang tidak cair namun banyak beresap / berleleh.  
 ② Kapur barus, dimana pada fenomena ini sebelum menjadi gas ~~terdorong~~ ~~padatan~~ ~~menyublimasi~~.

**Gambar 5.2.** Contoh Jawaban Mahasiswa pada *Personal Reasoning Phase*

Worksheet

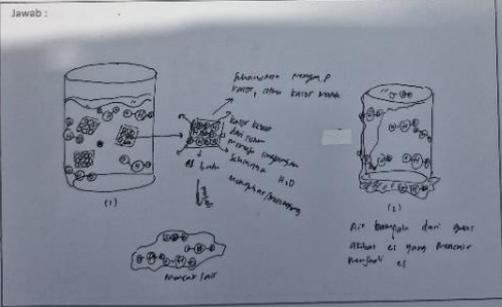
1. Sebuah gelas berisi penuh dengan air dan batu es yang menyulup seperti gambar berikut. Ketika seluruh es mencair, apakah akan ada air yang tumpah dari gelas tersebut? Mengapa?



Jawab : Ya, akan ada air yang tumpah dan gelas tumpah. Dikarenakan adanya pemuaian zat atau molekul yang terjadi akibat dan perubahan zat es dan pada saat itu zat tersebut akan es mencair ia ikut menjadi air sehingga mata atau zat air tersebut bertambah dan air akan mengisi dan gelas dan akan di tambah dari air yang akan tumpah karena gelas air dan zat pada gelas tersebut.

2. Lukiskan penjelasan Anda terkait pertanyaan nomor 1 dalam representasi gambar (makro-mikro) pada kotak di bawah ini!

Jawab :

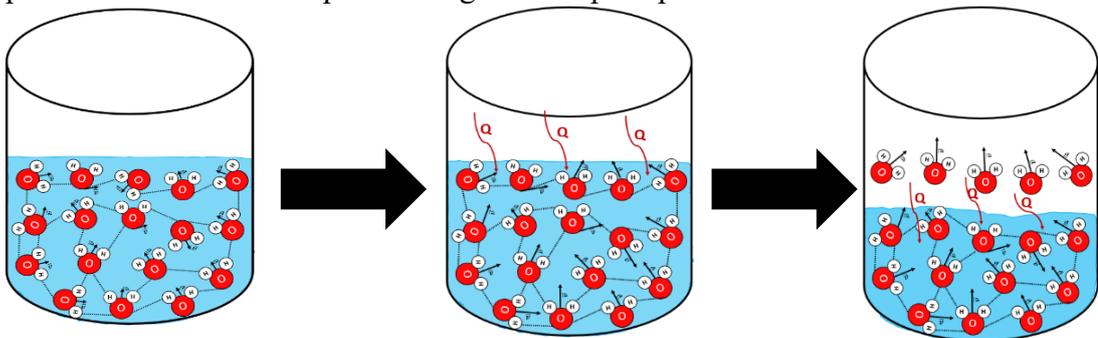


3. Tuliskan dua contoh fenomena lain yang melibatkan konsep fisika yang sama dengan fenomena pada pertanyaan nomor 1!

Jawab : Contoh lain dari konsep tumpah adalah air yang pecah saat sedang berlari. Air akan juga tumpah yang disebabkan air tersebut yang akan di tambah di jalan yang akan jadi tumpah atau pecah.

**Gambar 5.3.** Contoh Jawaban Mahasiswa pada *Shared Reasoning Phase*

Untuk mendapatkan ukuran *consensus* bahwa mahasiswa menerima dan memahami konsep yang benar selama perkuliahan, masing-masing mahasiswa diminta untuk memperbaiki jawaban pada *worksheet* individu selama mengikuti aktivitas *whole-class consensus building*. Aktivitas utama pada tahapan ini adalah *concept building*, yakni peneliti memaparkan penjelasan konsep secara runut dan sistematis dengan bantuan *slide PowerPoint* yang dilengkapi dengan ragam media visual baik statis maupun dinamis (pada kelas kontrol) dan ditambah dengan *Media Bi-Visuals* (pada kelas eksperimen). Salah satu media visual statis yang dimuat pada slide PPT adalah representasi gambar seperti pada Gambar 5.4.



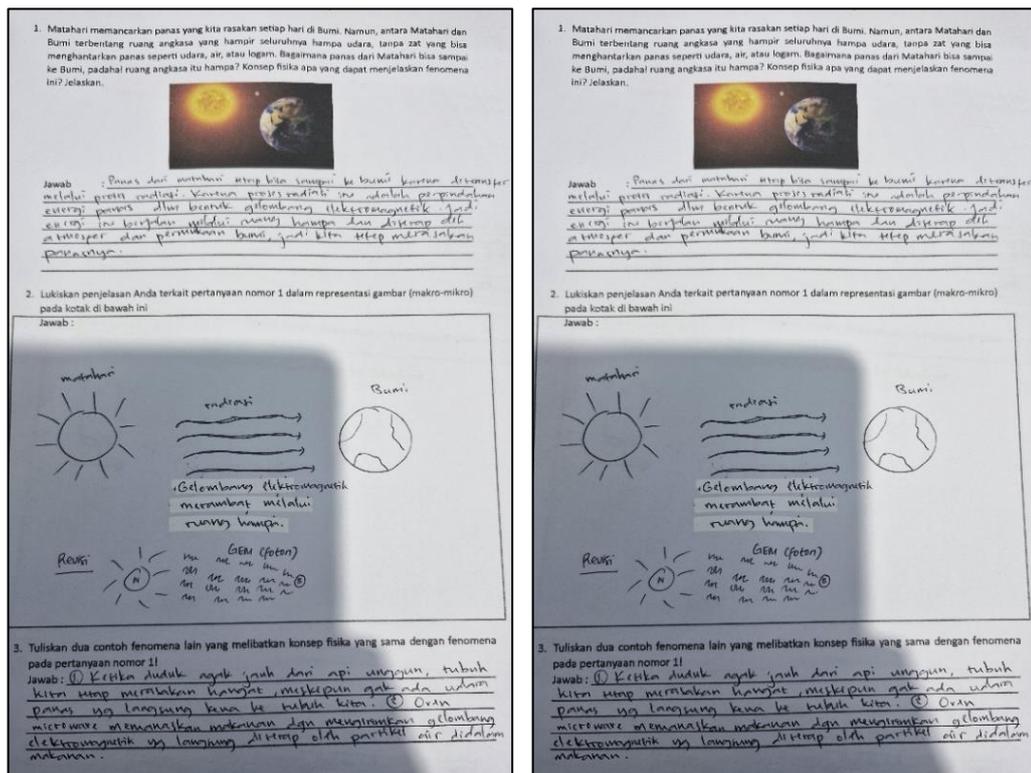
Ananda Hafizhah Putri, 2025

PENGEMBANGAN MEDIA BI-VISUALS BERBASIS AUGMENTED REALITY UNTUK PERKULIAHAN FISIKA DASAR BERORIENTASI PENINGKATAN PENALARAN ILMIAH DAN LEVEL PEMAHAMAN SERTA OPTIMALISASI MODEL PEMAHAMAN MAHASISWA

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

**Gambar 5.4.** Perubahan Struktur Molekul Air saat Menguap

Diharapkan selama proses pembelajaran, mahasiswa pada kedua kelompok mampu menginternalisasi konsep-konsep esensial pada perubahan fase dan transfer kalor pada representasi gambar tersebut dan menggambarkannya pada *worksheet* dengan baik. Di akhir tahapan ini, perwakilan mahasiswa diminta untuk menyampaikan kesimpulan tentang konsep yang dibahas meliputi pemaknaan akan definisi konsep dan mekanisme fisis pada level mikroskopis. Pemahaman lengkap seluruh mahasiswa direkam pada *worksheet* yang telah diperbaiki selama tahapan *whole-class consensus building*, termasuk pengembangan kemampuan mahasiswa dalam menyajikan representasi gambar perubahan struktur molekul saat perubahan fase dan mekanisme pada level mikroskopis transfer kalor. Berikut disajikan salah satu *worksheet* mahasiswa yang telah mengikuti seluruh tahapan perkuliahan menggunakan model CUPs pada kedua kelompok mahasiswa pada Gambar 5.5.



**Gambar 5.5.** Contoh Jawaban Mahasiswa pada *Worksheet* di Akhir Perkuliahan:

(a)Kelompok Eksperimen dan (b)Kelompok Kontrol

Visualisasi merupakan salah satu pendekatan penting dalam pembelajaran IPA, khususnya untuk menjembatani konsep-konsep abstrak seperti perubahan fase

dan transfer kalor. Media visual statis, seperti gambar ilustratif, diagram suhu–waktu, dan model partikel dalam berbagai fase, dapat membantu mahasiswa membangun representasi mental awal terhadap struktur dan proses yang tidak dapat diamati secara langsung. Misalnya, diagram perubahan fase dapat memperlihatkan urutan perubahan dari padat ke cair hingga gas dalam konteks energi yang diserap atau dilepaskan, sementara model partikel memperlihatkan susunan dan jarak antar partikel pada tiap fase. Representasi ini memberikan dasar visual yang penting bagi mahasiswa untuk memahami bahwa perubahan wujud bukan hanya fenomena makroskopik, tetapi juga berkaitan erat dengan perubahan tingkat mikroskopik dan energi.

Namun demikian, keterbatasan media visual statis terletak pada ketidakmampuannya merepresentasikan proses dinamis. Perubahan fase dan perpindahan kalor merupakan proses yang terjadi secara bertahap dan berkesinambungan, sehingga untuk memahami mekanismenya secara utuh, mahasiswa membutuhkan representasi visual yang memperlihatkan transformasi secara waktu nyata. Di sinilah peran media visual dinamis seperti animasi dan simulasi menjadi sangat krusial. Animasi mikroskopis, misalnya, memungkinkan mahasiswa mengamati bagaimana partikel menyerap kalor, bergerak lebih cepat, dan akhirnya melepaskan diri dari ikatan antar partikel dalam proses menguap. Dengan menyaksikan perubahan partikel seiring waktu, mahasiswa dapat mengaitkan energi, gerakan partikel, dan perubahan fisis secara langsung, yang seringkali sulit dijelaskan hanya dengan teks atau gambar statis.

Lebih lanjut, penggabungan media visual statis dan dinamis dalam suatu pembelajaran yang terstruktur memberikan keuntungan pedagogis yang signifikan. Media statis dapat digunakan sebagai referensi atau penguatan struktur konseptual, sementara media dinamis digunakan untuk eksplorasi dan klarifikasi proses. Ketika keduanya digunakan secara saling melengkapi, mahasiswa tidak hanya memahami fakta bahwa zat menguap atau mengembun, tetapi juga mengapa dan bagaimana proses tersebut terjadi dalam kerangka mikroskopik dan energetik. Hal ini sangat penting dalam pembelajaran sains berbasis representasi multipel, di mana pemahaman konseptual dibangun dari keterkaitan antara berbagai bentuk representasi — makroskopis, mikroskopis, simbolik, dan visual.

Dengan demikian, ragam media visual, baik statis maupun dinamis, memiliki peran saling melengkapi dalam meningkatkan pemahaman konsep mahasiswa. Penggunaan yang tepat dan terintegrasi dari kedua jenis media ini dapat membantu mengatasi kesenjangan antara pengamatan fenomena dan pemahaman teoritisnya, serta mendorong mahasiswa membentuk pemahaman konseptual yang mendalam, terstruktur, dan ilmiah terhadap perubahan fase dan transfer kalor.

Beberapa studi empiris juga telah melaporkan efektivitas media visual dalam meningkatkan pemahaman konsep fisika. Misalnya, Cook (2006) menemukan bahwa mahasiswa yang belajar menggunakan representasi visual dinamis tentang proses termodinamika menunjukkan kemampuan penalaran yang lebih tinggi dan pemahaman yang lebih akurat dibandingkan kelompok yang hanya menggunakan teks dan gambar. Sementara itu, Sanger dkk (2001) melaporkan bahwa penyajian animasi partikel dalam perubahan fase membantu mahasiswa mengoreksi miskonsepsi tentang hubungan antara energi dan gerak partikel dalam proses meleleh dan mendidih. Hal ini menunjukkan bahwa media visual bukan hanya alat bantu komunikasi, tetapi juga alat bantu berpikir yang memungkinkan mahasiswa melakukan transformasi mental dari apa yang mereka lihat ke dalam pemahaman ilmiah.

Berdasarkan penjabaran di atas, maka mahasiswa pada kelas kontrol yang telah terpapar dengan ragam media visual (statis maupun dinamis) sangat memungkinkan terfasilitasi dalam mengembangkan level dan model pemahaman konsep sebagaimana pada kelas eksperimen. Meskipun jika dianalisis secara detail, peningkatan kuantitas dan kualitas jawaban mahasiswa pada kelas eksperimen lebih baik daripada kelas kontrol, akan tetapi perbedaan tersebut tidak signifikan pada beberapa konsep yang diuji. Perbedaan signifikan dari pemahaman konsep pada kedua kelompok mahasiswa adalah dari aspek penyajian representasi gambar pada level mikroskopik perubahan fase dan transfer kalor. Sebagian besar mahasiswa pada kelas eksperimen mampu menyajikan representasi mikroskopis dalam konteks sebuah proses yang melibatkan konsep-konsep esensial yang cukup untuk menjelaskan perubahan fase dan transfer kalor. Sedangkan sebagian besar mahasiswa pada kelas kontrol hanya mampu menampilkan kondisi awal dan akhir molekul pada perubahan fase dan transfer kalor dan/atau menampilkan beberapa

simbol konsep esensial yang terlibat pada perubahan fase dan transfer kalor. *Media Bi-Visuals* berperan dalam perbedaan signifikan

#### **E. Pengaruh *Media Bi-Visuals* terhadap Peningkatan Kemampuan Penalaran Ilmiah dan Level Pemahaman Mahasiswa pada Perkuliahan Fisika Dasar**

Salah satu temuan penting dalam penelitian ini adalah bahwa meskipun media *Media Bi-Visuals* telah diterapkan pada kelas eksperimen dalam perkuliahan Fisika Dasar dengan model CUPs, pengaruhnya terhadap peningkatan penalaran ilmiah mahasiswa ternyata berada pada kategori **sedang dan bahkan rendah** berdasarkan perhitungan *effect size*. Hal ini menjadi indikasi bahwa kehadiran media visual inovatif tidak serta-merta menjamin peningkatan signifikan dalam kemampuan penalaran ilmiah mahasiswa. Terdapat sejumlah faktor yang dapat menjelaskan fenomena ini.

Pertama, **karakteristik penalaran ilmiah yang kompleks**, khususnya dalam kerangka *claim-evidence-reasoning (CER)* tidak hanya bergantung pada kualitas media visual, tetapi juga pada sejauh mana mahasiswa mampu menginternalisasi informasi, membuat inferensi, serta mengonstruksi hubungan logis antara klaim, bukti, dan alasan. Produk *Media Bi-Visuals* memang dapat membantu menjembatani representasi makroskopis dan mikroskopis, namun tidak secara langsung melatih mahasiswa untuk menyusun argumen ilmiah yang terstruktur. Ini menunjukkan bahwa meskipun visualisasi mendukung aspek kognitif, aspek metakognitif dan epistemik dalam penalaran ilmiah masih memerlukan intervensi pedagogis tambahan (Gilbert, 2005).

Kedua, **implementasi *Media Bi-Visuals* dilakukan pada fase ketiga CUPs**, yaitu pada tahap *whole-class consensus building*, di mana mahasiswa mungkin sudah terfokus pada menyatukan pemahaman dan bukan pada eksplorasi atau perdebatan konsep. Ini menyebabkan potensi *Media Bi-Visuals* dalam merangsang disonansi kognitif atau eksplorasi lebih lanjut menjadi kurang optimal. Dengan kata lain, meskipun visualisasi mikroskopis ditampilkan untuk memperkuat pemahaman, waktu dan konteks penyajiannya belum tentu mendorong aktivitas berpikir ilmiah tingkat tinggi secara signifikan. Hasil ini relevan dengan temuan

Thees dkk (2020) yang melaporkan bahwa eksposur visual pada tahap akhir pembelajaran dapat memperkuat persepsi tanpa meningkatkan eksplorasi atau refleksi kritis.

Ketiga, **kemungkinan terjadinya visual overload** juga perlu dipertimbangkan. Sebagian mahasiswa mungkin justru mengalami beban kognitif ketika harus memproses simultan dua representasi (makro dan mikro) yang digabungkan dalam satu *frame*. Dalam konteks penalaran ilmiah, beban ini bisa mengalihkan perhatian mahasiswa dari proses berpikir analitis ke proses *decoding visual*, sehingga meskipun pemahaman konsep meningkat, kemampuan menyusun CER tidak serta-merta berkembang optimal. Hal ini sejalan dengan teori *Cognitive Load* yang menyarankan pentingnya keseimbangan antara kompleksitas media dan kapasitas pemrosesan mahasiswa (Sweller, 1994).

Keempat, **tingkat kesiapan mahasiswa dalam menghadapi model visualisasi baru** juga dapat memengaruhi hasil. Mahasiswa mungkin belum terbiasa dengan representasi mikroskopis yang disandingkan langsung dengan fenomena riil, sehingga membutuhkan waktu untuk menyesuaikan cara berpikir mereka. Ketidakterbiasaan ini bisa menjadi faktor yang menurunkan performa *Media Bi-Visuals* dalam mendorong konstruksi penalaran ilmiah. Artinya, meskipun media tersebut didesain untuk membantu, penggunaannya memerlukan literasi visual ilmiah yang belum tentu dimiliki oleh semua mahasiswa. Schönborn & Anderson (2006) menekankan bahwa *visual literacy*—kemampuan membaca dan menulis representasi visual ilmiah—tidak berkembang secara otomatis hanya melalui paparan terhadap media visual. Banyak mahasiswa pemula mengalami kesulitan dalam menginterpretasikan diagram, animasi, atau simbol yang dianggap sederhana oleh para ahli

Kelima, **faktor-faktor individual seperti kemampuan awal, motivasi, dan gaya belajar mahasiswa** juga turut memengaruhi hasil. Meskipun angket menunjukkan respon positif terhadap media *Media Bi-Visuals*, efek terhadap penalaran ilmiah tetap dipengaruhi oleh sejauh mana mahasiswa aktif merefleksikan, menganalisis, dan mengintegrasikan informasi visual ke dalam argumen ilmiah mereka. Mahasiswa dengan kecenderungan belajar verbal atau reflektif mungkin membutuhkan dukungan tambahan dalam memanfaatkan media

visual untuk membangun penalaran berbasis bukti. Budin, Abu Othman & Ismail (2014) menemukan bahwa preferensi gaya belajar berpengaruh terhadap performa akademik mahasiswa. Mahasiswa dengan gaya belajar cenderung merespon lebih baik terhadap penjelasan verbal daripada visual kompleks tanpa konteks verbal tambahan. Studi oleh Kraemer dkk (2009) juga mengungkap bahwa mahasiswa yang mengidentifikasi diri sebagai *verbal learners* cenderung mengubah informasi visual ke dalam bentuk verbal. Artinya, mahasiswa dengan gaya belajar verbal kemungkinan kurang efektif dalam memahami media visual jika tidak disertai penerjemahan eksplisit representasi visual ke dalam *reasoning* berbasis bukti.

Akhirnya, hasil *effect size* yang sedang dan rendah ini justru memberikan kontribusi berharga bagi penelitian lanjutan. Ini menunjukkan bahwa untuk mengembangkan penalaran ilmiah, **media visual seperti *Media Bi-Visuals* perlu diintegrasikan lebih awal dalam proses pembelajaran dan dikombinasikan dengan latihan eksplisit untuk membangun CER.** Penalaran ilmiah tidak hanya memerlukan bantuan visualisasi konseptual, tetapi juga latihan argumentatif, diskusi berbasis bukti, dan refleksi logis yang sistematis. Maka, ke depan, perlu dirancang skenario pembelajaran yang lebih integratif, di mana *Media Bi-Visuals* bukan hanya sebagai alat bantu visualisasi konsep, tetapi juga sebagai pemicu eksplorasi dan konstruksi argumen ilmiah sejak tahap awal pembelajaran.

Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa media *Media Bi-Visuals* memberikan pengaruh yang sangat kuat (nilai *effect size* besar) terhadap peningkatan pemahaman mahasiswa pada konsep membeku, konveksi, dan radiasi. Mahasiswa menunjukkan peningkatan signifikan dalam menjelaskan makna konsep secara verbal, menggambarkan proses yang terjadi pada tingkat mikroskopis (misalnya pengaturan ulang partikel selama pembekuan atau pergerakan fluida dalam konveksi), serta menyusun representasi visual yang akurat. Keberhasilan ini dapat dikaitkan dengan *keterhubungan langsung antara pengalaman sehari-hari mahasiswa dan fenomena yang divisualkan*, seperti air yang membeku atau panas yang dirasakan dari sinar matahari. Representasi simultan antara level makro (fenomena fisik yang tampak) dan mikro (perilaku partikel atau medan energi) dalam *Media Bi-Visuals* memberi dukungan kuat dalam membangun *mental model konseptual* (Ainsworth, 2006; Paivio, 1986). Prinsip

*dual coding* juga memperkuat memori semantik dan visual mahasiswa dalam memahami hubungan sebab-akibat pada tiap konsep tersebut (Mayer, 2009).

Pada konsep mencair, menguap, mengembun, menyublim, dan konduksi, pengaruh *Media Bi-Visuals* berada dalam kategori sedang. Mahasiswa menunjukkan pemahaman yang cukup baik terhadap makna konsep dan mekanisme mikroskopis, tetapi belum sepenuhnya mampu menghasilkan representasi visual yang akurat atau konsisten. Misalnya, pada konsep menyublim, mahasiswa memahami adanya penyerapan energi kalor, tetapi kesulitan menggambarkan perubahan struktur antarmolekul CO<sub>2</sub> pada es kering secara eksplisit. Demikian pula, dalam mekanisme konduksi, banyak mahasiswa belum menampilkan dengan jelas perambatan energi antar partikel padat secara mikroskopis. Keterbatasan ini sejalan dengan temuan Zhang dkk (2021) dan Chiu & Lin (2020), yang menunjukkan bahwa visualisasi animatif hanya efektif bila mahasiswa memiliki *visual literacy* yang cukup dan kemampuan untuk menafsirkan simbol ilmiah. Efek ini juga dapat dijelaskan oleh *split-attention effect* (Sweller dkk, 2011), di mana perhatian mahasiswa terbagi saat memproses simultan dua level representasi tanpa bimbingan eksplisit atau *scaffolding* naratif.

Sementara itu, pada konsep deposisi, *Media Bi-Visuals* hanya memberikan pengaruh kecil terhadap peningkatan level pemahaman mahasiswa. Hal ini terlihat dari rendahnya skor pada semua indikator, terutama dalam kemampuan menggambarkan proses secara mikroskopis. Banyak mahasiswa tidak mampu menjelaskan bahwa proses deposisi melibatkan pelepasan energi besar yang menyebabkan partikel gas langsung tersusun menjadi padatan secara teratur. Rendahnya familiaritas mahasiswa terhadap fenomena deposisi dalam konteks nyata diduga berperan besar dalam lemahnya konstruksi mental model (Chi, 2005). Tidak adanya jangkar pengalaman makroskopis yang kuat menjadikan visualisasi yang disajikan kurang bermakna dan sulit untuk diasosiasikan. Penelitian Kozma & Russell (2005) juga menekankan bahwa kemampuan mahasiswa untuk merepresentasikan ulang konsep melalui gambar merupakan indikator kedalaman pemahaman yang sangat tergantung pada interaksi antara representasi visual dan aktivitas reflektif mahasiswa.

Dengan demikian, hasil ini menunjukkan bahwa performa *Media Bi-Visuals* sangat dipengaruhi oleh keadaan konsep yang divisualisasikan, khususnya sejauh mana konsep tersebut dapat dijangkau dalam pengalaman konkret mahasiswa dan kompleksitas mekanismenya di level mikroskopis. Konsep-konsep yang bersifat familiar dan mudah diamati secara makroskopis—seperti membeku atau radiasi—cenderung menghasilkan peningkatan pemahaman yang tinggi. Sebaliknya, konsep yang abstrak atau jarang ditemui—seperti deposisi—menuntut intervensi tambahan dalam bentuk penjelasan verbal, *scaffolding*, atau aktivitas reflektif untuk mengoptimalkan pemanfaatan media visual tersebut. Oleh karena itu, pengembangan lebih lanjut terhadap *Media Bi-Visuals* perlu memperhatikan jenis konsep dan *cognitive load* yang mungkin ditimbulkan bagi mahasiswa, termasuk kemungkinan integrasi narasi instruksional dan latihan elaboratif untuk memaksimalkan capaian level pemahaman.

#### **F. Tanggapan Mahasiswa terhadap Implementasi Media *Bi-Visuals* Berbasis AR pada Perkuliahan Fisika Dasar**

Hasil tanggapan mahasiswa terhadap penggunaan media *Bi-Visuals* berbasis AR dalam perkuliahan Fisika Dasar menunjukkan respons yang sangat positif secara menyeluruh. Tidak satu pun mahasiswa yang menyatakan bahwa media ini menurunkan motivasi belajar (item 1) dan mayoritas mahasiswa merasa bahwa media ini justru membuat perkuliahan menjadi menarik dan tidak membosankan (item 10). Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Dunleavy & Dede (2014), yang menunjukkan bahwa *Augmented Reality* (AR) mampu meningkatkan *engagement* dan motivasi belajar melalui pengalaman yang interaktif dan mendalam. Keunikan visualisasi spasial dan integratif yang dihadirkan oleh media ini mampu menjaga keterlibatan mahasiswa sepanjang proses pembelajaran (Ibáñez & Delgado-Kloos, 2018). Selain itu, mahasiswa menyampaikan bahwa penggunaan media ini merupakan pengalaman baru dalam perkuliahan fisika mereka (item 4), mengindikasikan bahwa *Media Bi-Visuals* memberikan nuansa inovatif dibanding metode konvensional (Akçayır & Akçayır, 2017), yang sering kali bersifat verbal-tekstual dan kurang visual.

Lebih lanjut, tanggapan mahasiswa menunjukkan bahwa *Media Bi-Visuals* berkontribusi besar dalam memfasilitasi pemahaman utuh tentang perpindahan kalor dan perubahan fase (item 2). Sebagian besar mahasiswa menyatakan bahwa objek-objek abstrak menjadi lebih konkret setelah ditayangkan oleh media ini (item 3), terutama karena mereka dapat mengamati keterkaitan antara representasi makroskopis dan mikroskopis secara simultan dalam satu tampilan visual yang terpadu (item 8). Temuan ini konsisten dengan teori *multiple representations* (Ainsworth, 2006) dan *dual coding theory* (Paivio, 1986), yang menekankan pentingnya penyajian informasi dalam format visual dan verbal secara bersamaan untuk memperkuat proses konstruksi makna. Dalam konteks media ini, integrasi spasial dan temporal antara dunia nyata (makroskopik) dan model partikel (mikroskopik) memungkinkan mahasiswa memahami konsep tidak hanya secara fenomenologis, tetapi juga secara mekanistik (Seufert, 2003; Mayer, 2021).

Tidak hanya mendukung pemahaman konseptual, *Media Bi-Visuals* juga memicu aktivitas penalaran ilmiah mahasiswa. Ini tercermin dalam item 6 dan 7, di mana mahasiswa merasa terpacu untuk menghubungkan observasi dengan penjelasan teoritis dan termotivasi untuk bertanya lebih lanjut setelah menyaksikan visualisasi. Visualisasi yang disertai representasi mikroskopik memberi peluang untuk menjawab pertanyaan "mengapa" suatu fenomena terjadi, bukan sekadar "apa" yang tampak (Liu dkk, 2020). Ini menunjukkan bahwa media telah berhasil memfasilitasi transisi dari *descriptive reasoning* menuju *explanatory reasoning*, yang merupakan bagian penting dari penalaran ilmiah (Zohar & Barzilai, 2013). Menurut Zhang dan Linn (2011), penggunaan visualisasi interaktif yang menghubungkan data observasi dengan model ilmiah secara eksplisit merupakan strategi yang efektif untuk meningkatkan keterampilan argumentasi ilmiah mahasiswa.

Secara keseluruhan, mahasiswa menanggapi bahwa *Media Bi-Visuals* mudah dipahami (item 5), mendorong berpikir mendalam (item 9), serta menghadirkan pengalaman belajar yang imersif dan reflektif. Kemampuan media ini untuk menstimulasi *epistemic engagement* didukung oleh riset Cheng & Tsai (2019), yang menemukan bahwa AR dalam pendidikan sains dapat memperkuat dimensi refleksi dan eksplorasi konseptual. Kombinasi antara visualisasi partikel dinamis,

keterkaitan antar level representasi, serta integrasi dengan model pembelajaran berbasis *reasoning* seperti *Conceptual Understanding Procedures* (CUPs), menjadikan media ini bukan sekadar alat bantu visual, tetapi sebagai komponen utama dalam proses pembelajaran yang bersifat *evidence-based*.

Berdasarkan skala sikap mahasiswa yang secara konsisten memberikan penilaian positif, serta temuan bahwa media ini mendukung pemahaman utuh dan penalaran ilmiah, maka direkomendasikan agar *Media Bi-Visuals* digunakan secara lebih luas dalam perkuliahan fisika jenjang sarjana. Performa *Media Bi-Visuals* dalam menjembatani entitas abstrak melalui integrasi makro-mikro yang sinergis secara spasial dan temporal menjadikannya sebagai *learning innovation* yang signifikan. Sesuai dengan saran dari Wu & Puntambekar (2012), visualisasi ilmiah yang kontekstual dan interaktif perlu dipadukan dengan pendekatan pedagogis berbasis konstruksi pengetahuan. Dengan pengembangan lebih lanjut, termasuk kemungkinan integrasi representasi simbolik (Chi dkk, 2012), *Media Bi-Visuals* berpotensi besar untuk menjadi media pembelajaran berbasis visualisasi konseptual yang mendukung capaian kompetensi sains tingkat tinggi dalam pendidikan tinggi.