

# Pengembangan Multimedia Pembelajaran Interaktif Topik Gaya Antarmolekul pada Matakuliah Ikatan Kimia

Muhammad Muchson

Pendidikan Kimia-Universitas Negeri Malang  
Jl. Semarang No. 5 Malang. Email: jps.pascaum@gmail.com

**Abstrak:** Salah satu topik dalam matakuliah ikatan kimia di perguruan tinggi adalah gaya antarmolekul (*intermolecular forces*). Gaya antarmolekul akan lebih mudah dipahami oleh pebelajar jika divisualisasikan menggunakan representasi mikroskopik dinamis. Representasi tersebut dapat dikemas dalam bentuk multimedia interaktif berbasis komputer. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan multimedia pembelajaran interaktif berbasis komputer topik gaya antarmolekul pada matakuliah ikatan kimia. Pengembangan multimedia mengadopsi model 4D yang dikembangkan oleh Thiagarajan, Semmel, dan Semmel yang terdiri atas 4 tahap, yaitu (1) *front-end analysis* dan *task analysis*, (2) desain multimedia, (3) pengembangan multimedia, serta (4) distribusi multimedia. Multimedia hasil pengembangan terdiri atas petunjuk penggunaan multimedia, pendahuluan, pemaparan topik, dan soal. Penilaian dosen kimia menunjukkan bahwa tingkat kelayakan multimedia hasil pengembangan sebesar 95,5% dari segi isi, sedangkan penilaian ahli media menunjukkan bahwa tingkat kelayakan multimedia hasil pengembangan sebesar 88,2% dari segi penampilan. Berdasarkan penilaian para ahli, multimedia hasil pengembangan layak digunakan dalam pembelajaran topik gaya antarmolekul. Peningkatan prestasi belajar mahasiswa sebelum dan sesudah menggunakan multimedia hasil pengembangan adalah signifikan. Mahasiswa menyatakan bahwa multimedia hasil pengembangan efektif membantu mereka dalam pembelajaran topik gaya antarmolekul. Berdasarkan peningkatan prestasi dan pernyataan mahasiswa tersebut multimedia hasil pengembangan efektif digunakan dalam pembelajaran topik gaya antarmolekul.

**Kata kunci:** multimedia pembelajaran interaktif, topik gaya antarmolekul, matakuliah ikatan kimia

Salah satu topik yang terintegrasi dalam matakuliah ikatan kimia di perguruan tinggi adalah gaya antarmolekul (*intermolecular forces*). Topik gaya antarmolekul mencakup konsep yang melibatkan representasi fenomena pada tingkat makroskopik, simbolik, dan mikroskopik. Pemahaman menyeluruh terhadap topik gaya antarmolekul tergantung pada kemampuan pebelajar dalam memahami dan mengintegrasikan tiga tingkatan representasi tersebut dalam suatu fenomena yang terjadi pada suatu zat.

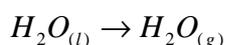
Fenomena yang direpresentasikan pada tingkat makroskopik berkaitan dengan sifat fisik dan sifat kimia zat. Sifat fisik dan sifat kimia zat merupakan fenomena yang ditunjukkan oleh suatu zat sebagai akibat gaya antarmolekul yang terjadi antar partikel penyusun zat tersebut. Sifat fisik dan sifat kimia zat dapat dijangkau oleh pancaindera, tanpa atau dengan menggunakan instrumen.

Contoh fenomena yang direpresentasikan pada tingkat makroskopik yang berkaitan dengan sifat fisik zat adalah titik didih suatu cairan. Pada umumnya, titik didih suatu cairan dipengaruhi oleh berat molekul penyusun cairan tersebut. Dalam satu golongan senyawa, kenaikan titik didih sejajar dengan kenaikan berat molekul. Fenomena tersebut terlihat pada titik didih golongan senyawa alifatik rantai linier seperti alkana. Pada kasus, tertentu kenaikan titik didih suatu cairan tidak dapat dijelaskan berdasarkan kenaikan berat molekul. Sebagai contoh, pada tekanan 1 atm titik didih air adalah 100°C sedangkan titik didih etanol adalah 77°C, padahal berat molekul air (H<sub>2</sub>O) adalah 18 gram/mol sedangkan berat molekul etanol (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH) adalah 46 gram/mol.

Contoh fenomena yang direpresentasikan pada tingkat makroskopik yang berkaitan dengan sifat kimia zat adalah sifat asam suatu cairan. Turunan senyawa aromatik disubstitusi isomer *para* lebih bersi-

fat asam dibanding isomer *orto*. Sebagai contoh, cairan *-para*-nitrofenol lebih asam dibanding cairan *orto*-nitrofenol. Fenomena yang terjadi pada contoh sifat fisik dan sifat kimia zat sebagaimana dideskripsikan di atas dapat dijelaskan dengan fenomena mikroskopik gaya antarmolekul yang terjadi antar partikel penyusun zat.

Representasi pada tingkat simbolik berkaitan dengan penulisan fenomena yang terjadi pada suatu zat menggunakan simbol-simbol yang telah disepakati secara internasional. Contoh representasi pada tingkat simbolik adalah penulisan gejala perubahan fasa air dari cair menjadi gas yang dituliskan melalui persamaan reaksi berikut.



Air disimbolkan dengan  $H_2O$ , dimana ketika air berada dalam wujud cair simbol  $H_2O$  ditambah dengan simbol  $(l)$  yang berarti *liquid*, sedangkan dalam wujud gas ditambah dengan simbol  $(g)$  yang berarti *gas*.

Fenomena yang direpresentasikan pada tingkat mikroskopik berkaitan dengan gaya antarmolekul yang terjadi antar partikel penyusun zat. Fenomena gaya antar molekul tidak dapat dijangkau oleh pancaindera, tanpa atau dengan menggunakan instrumen. Fenomena gaya antarmolekul yang terjadi antar partikel penyusun zat berpengaruh terhadap sifat fisik dan sifat kimia zat tersebut. (Eckberg, Zemmer, Reeves, & Ward, 1994; Nyasulu & Macklin, 2006; Moore & Victorsen, 2007). Fenomena mikroskopik dalam topik gaya antarmolekul melibatkan penjelasan mengenai sejumlah molekul yang saling bergerak bebas dan random sehingga menghasilkan interaksi. Contoh fenomena yang direpresentasikan pada tingkat mikroskopik yang berpengaruh terhadap sifat fisik zat adalah ikatan hidrogen antar molekul  $H_2O$  yang berpengaruh terhadap gejala perubahan fasa air.

Air dapat mengalami perubahan fasa dari es menjadi air cair, dan kemudian menjadi uap air. Wujud es adalah padat, sementara air adalah cair, dan uap air adalah gas, padahal ketiga materi tersebut mengandung molekul-molekul yang sama, yaitu  $H_2O$ . Molekul-molekul  $H_2O$  mengalami interaksi yang berbeda dalam ketiga wujud air tersebut. Molekul-molekul  $H_2O$  dalam es saling berinteraksi melalui ikatan hidrogen yang kemudian membentuk jaringan tiga dimensi. Jaringan tiga dimensi mengakibatkan molekul-molekul  $H_2O$  terikat secara kuat satu sama lain dan tidak memungkinkan untuk bergerak bebas dan random, sehingga air berwujud padat.

Molekul-molekul  $H_2O$  dalam air cair saling berinteraksi melalui ikatan hidrogen tanpa membentuk jaringan tiga dimensi. Ikatan hidrogen tanpa jaringan tiga dimensi lebih lemah dibandingkan ikatan hidrogen dengan jaringan tiga dimensi. Hal tersebut mengakibatkan molekul-molekul  $H_2O$  dapat bergerak bebas dan random, sehingga air berwujud cair. Interaksi antar molekul  $H_2O$  dalam uap air sangat lemah. Hal tersebut mengakibatkan molekul-molekul  $H_2O$  dapat bergerak tanpa batas, sehingga air berwujud gas. Sebagian besar pebelajar masih mengalami kesulitan dalam memahami fenomena perubahan fasa seperti dijelaskan pada contoh tiga wujud air di atas. Kesulitan tersebut diakibatkan para pebelajar tidak memahami bahwa perubahan fasa adalah fenomena makroskopik yang dipengaruhi oleh fenomena mikroskopik gaya antarmolekul (Ramasami, 2000).

Contoh fenomena yang direpresentasikan pada tingkat mikroskopik yang berpengaruh terhadap sifat kimia zat adalah ikatan hidrogen intra- dan antarmolekul yang berpengaruh terhadap perbedaan sifat asam antara cairan *para*-nitrofenol dengan cairan *orto*-nitrofenol. Molekul *orto*-nitrofenol dapat membentuk ikatan hidrogen  $-O-H-O-$  melalui gugus  $-OH$  dengan salah satu atom O pada gugus  $-NO_2$  dalam molekul yang sama. Ikatan hidrogen seperti pada molekul *orto*-nitrofenol disebut ikatan hidrogen intramolekul. Ikatan hidrogen intramolekul menghalangi molekul *orto*-nitrofenol untuk melepaskan ion  $H^+$  dari gugus  $-OH$ , sehingga cairan *orto*-nitrofenol bersifat kurang asam.

Ikatan hidrogen intramolekul seperti dijelaskan pada molekul *o*-nitrofenol tidak terjadi pada molekul *para*-nitrofenol. Jarak antara gugus  $-OH$  dengan gugus  $-NO_2$  pada molekul *para*-nitrofenol jauh, sehingga kedua gugus tidak dapat membentuk ikatan hidrogen intramolekul. Gugus  $-OH$  satu molekul *para*-nitrofenol membentuk ikatan hidrogen  $-O-H-O-$  dengan salah satu atom O pada gugus  $-NO_2$  molekul *para*-nitrofenol lain. Ikatan hidrogen seperti pada molekul *para*-nitrofenol tersebut disebut ikatan hidrogen antarmolekul. Ikatan hidrogen antarmolekul tidak menghalangi molekul *para*-nitrofenol untuk melepaskan ion  $H^+$  dari gugus  $-OH$ , sehingga cairan *para*-nitrofenol bersifat lebih asam dibanding cairan *o*-nitrofenol.

Deskripsi contoh di atas menunjukkan bahwa sebagian besar fenomena yang terjadi pada tingkat mikroskopik dalam topik gaya antarmolekul bersifat abstrak dengan karakteristik dinamis. Herron (1996) mendefinisikan fenomena abstrak sebagai “*no per-*

*ceptible instances*”, yaitu fenomena yang tidak dapat dipahami secara langsung karena tidak tersedianya contoh yang dapat mendeskripsikan atribut dari fenomena tersebut. Kenyataan tersebut mengakibatkan topik tersebut cenderung sulit dipahami dengan baik oleh pebelajar jika diaplikasikan dalam pembelajaran yang tidak didukung fasilitas media yang dapat merepresentasikan objek abstrak dengan karakteristik dinamis melalui strategi visualisasi (Wedvik, McManaman, Anderson, & Carroll, 1998). Sebagian besar pebelajar hanya mampu mengingat fenomena mikroskopik dalam topik gaya antarmolekul. Kenyataan tersebut mengakibatkan pebelajar tidak memahami pengaruh gaya antarmolekul terhadap sifat fisik dan sifat kimia materi (Adadan, Irving, & Trundle, 2009; Ben-Zvi & Gai, 1994).

Kesulitan dalam memahami topik gaya antarmolekul terbukti dari hasil penelitian mengenai pengaruh pemahaman topik gaya antarmolekul terhadap pembelajaran kimia organik yang dikemukakan oleh Henderleiter, Smart, Anderson, & Elian (2001). Keempat ahli tersebut mengemukakan bahwa pebelajar yang seharusnya sudah mampu mengaplikasikan topik gaya antarmolekul pada matakuliah Kimia Organik, ternyata masih banyak yang mengalami miskonsepsi. Kebanyakan pebelajar masih memahami bahwa ikatan hidrogen dapat diinduksi, gaya antarmolekul mempengaruhi reaksi kimia, atau proses pendidihan dapat memutuskan ikatan kovalen. Selain hasil penelitian yang dikemukakan keempat ahli tersebut, beberapa hasil penelitian juga menjelaskan terjadinya miskonsepsi pada topik tersebut, baik yang dialami oleh pebelajar maupun guru (Nakhleh, 1992; Furio & Calatayud, 1996; Birk & Kurtz, 1999; Winarni, 2006; Cole, Linenberger, Matson, & Zernicke, 2007; Boz & Boz, 2008).

Herron (1996) menyatakan bahwa strategi standar yang digunakan dalam pembelajaran yang menghendaki pencapaian dan peningkatan kompetensi pemahaman konseptual adalah penyajian contoh. Penyajian contoh hanya dapat dilakukan dalam pembelajaran topik yang berkaitan dengan representasi fenomena makroskopik yang bersifat konkret. Dalam pembelajaran topik yang berkaitan dengan representasi fenomena mikroskopik yang bersifat abstrak dan menyangkut partikel penyusun zat seperti gaya antarmolekul, Herron (1996) mengusulkan penggunaan contoh tiruan (*pseudoexamples*) atau model. *Pseudoexample* adalah media pembelajaran berupa contoh tiruan yang didesain sedemikian rupa sehingga memiliki karakteristik seperti contoh asli dengan mak-

sud untuk menggantikan kedudukan contoh asli. *Pseudoexample* atau contoh tiruan dapat dikategorikan sebagai model atau analogi.

Gabel (1999) menyatakan bahwa sebagian besar topik dalam pembelajaran kimia melibatkan representasi fenomena mikroskopik yang bersifat abstrak dan tidak dapat dijelaskan tanpa penggunaan bantuan analogi atau model. Penggunaan model dalam pembelajaran kimia bukan sekedar menyajikan bentuk tiruan dari objek sebenarnya. Bent (1984) menjelaskan bahwa penggunaan model dalam pembelajaran kimia mencakup segala teknik untuk memvisualisasikan fenomena mikroskopik yang bersifat abstrak beserta hal-hal yang berkaitan dengan mekanika kuantum yang menyangkut fenomena tersebut. Penjelasan tersebut menunjukkan bahwa topik-topik dalam pembelajaran kimia tidak cukup jika dimodelkan dengan menggunakan model statis saja. Sebagai contoh, pemodelan molekul  $\text{CH}_4$  dalam gas metana menggunakan bola dan pasak (*stick ball model*). Di salah satu sisi model tersebut dapat merepresentasikan bentuk molekul dari  $\text{CH}_4$ . Akan tetapi di sisi lain model tersebut tidak dapat merepresentasikan sifat fisik dari senyawa metana yang merupakan gas tidak berwarna.

Deskripsi contoh di atas menunjukkan bahwa gas metana merupakan fenomena mikroskopik yang bersifat abstrak dengan karakteristik dinamis, sehingga kurang optimal jika hanya dijelaskan menggunakan model statis seperti bola dan pasak. Deskripsi tersebut hanya sebagian kecil saja dari contoh fenomena mikroskopik yang bersifat abstrak dengan karakteristik dinamis dalam pembelajaran kimia. Pada kenyataannya, sebagian besar fenomena mikroskopik dalam pembelajaran kimia memiliki sifat dan karakteristik seperti deskripsi contoh tersebut. Oleh karena itu, penggunaan model dalam pembelajaran kimia mencakup segala teknik untuk merepresentasikan objek abstrak dengan karakteristik dinamis melalui strategi visualisasi.

Esensi penggunaan model tersebut jelas terlihat pada pembelajaran topik gaya antarmolekul. Fenomena mikroskopik yang bersifat abstrak dengan karakteristik dinamis dalam topik gaya antarmolekul tidak cukup hanya dijelaskan menggunakan model statis seperti gambar pada *textbook*. Model statis hanya mampu menyajikan bentuk tiruan dari objek sebenarnya dan mengilustrasikan karakteristik dinamis dari objek tersebut melalui strategi narasi. Penggunaan model statis mengakibatkan fenomena mikroskopik dalam topik gaya antarmolekul kurang dapat dipahami secara optimal oleh pebelajar. Fenomena tersebut

akan lebih mudah dipahami jika diaplikasikan dalam pembelajaran yang difasilitasi model dinamis. Sebagai contoh, proses terbentuknya gaya antar molekul, gaya antar molekul mempengaruhi sifat fisik zat, dan gaya antar molekul mempengaruhi sifat kimia zat merupakan fenomena-fenomena mikroskopik yang bersifat abstrak dan berkaitan dengan proses dinamis, sehingga harus dijelaskan dengan model dinamis yang mampu merepresentasikan keabstrakan dan dinamisasi fenomena-fenomena tersebut melalui strategi visualisasi, tidak cukup dijelaskan dengan gambar statis atau diilustrasikan dengan narasi seperti pada *textbook*.

Model dinamis seperti animasi mampu merepresentasikan karakteristik dinamis suatu objek konkret maupun abstrak melalui strategi visualisasi. Hal tersebut menunjukkan bahwa animasi mampu memenuhi tuntutan pemodelan fenomena seperti yang diharapkan dalam pembelajaran topik gaya antarmolekul. Penggunaan model dinamis membantu model mental dalam pemikiran pebelajar untuk mentransformasikan bentuk dua dimensi menjadi tiga dimensi (Dori & Barak, 2003). Robinson (2000) menyatakan bahwa transformasi model mental sangat membantu pebelajar memahami fenomena mikroskopik yang terjadi antar partikel penyusun zat, sehingga dapat meningkatkan pemahaman konseptual pebelajar.

Model dinamis yang dikembangkan dapat dikemas dalam bentuk multimedia interaktif. Multimedia interaktif memiliki program animasi yang mampu merepresentasikan fenomena mikroskopik yang bersifat abstrak dengan karakteristik dinamis dalam topik gaya antarmolekul melalui strategi visualisasi, dan bukan sekedar penyajian bentuk tiruan statis atau ilustrasi karakteristik dinamis dari fenomena tersebut melalui strategi narasi. Whitnell, Fernandes, Almassizadeh, & Love (1994) menyatakan bahwa sebagian besar topik dalam pembelajaran kimia melibatkan representasi objek tiga dimensi yang bersifat abstrak dengan karakteristik dinamis, sehingga cenderung sulit dipahami jika hanya difasilitasi *textbook*. Akhir-akhir ini muncul ketertarikan untuk menggunakan multimedia sebagai solusi terkait permasalahan dalam pembelajaran kimia tersebut.

Mekanisme fasilitas yang diberikan oleh multimedia interaktif diharapkan dapat mendukung pebelajar untuk membuat kaitan antara fenomena mikroskopik dengan fenomena makroskopik. Hal tersebut sebagaimana dikemukakan oleh Perniu & Tica (2000) bahwa representasi dan pemrosesan informasi dalam pembelajaran kimia terjadi pada tiga tingkatan, yaitu

makroskopik, simbolik, dan mikroskopik. Multimedia interaktif berbasis komputer dapat memfasilitasi kebutuhan pembelajaran kimia pada tiga tingkatan tersebut. Hal serupa juga dinyatakan oleh Smith & Metz (1996); Greenbowe (1997); Krystyniak & Abraham (1997); serta Russell & Geno (2000) bahwa multimedia interaktif dapat memfasilitasi kebutuhan representasi dan pemrosesan informasi dalam pembelajaran kimia pada tingkat makroskopik, simbolik, dan mikroskopik.

Adanya program animasi dalam multimedia interaktif diharapkan dapat mendukung pencapaian dan peningkatan kompetensi pemahaman konseptual oleh pebelajar dalam proses pembelajaran kimia pada topik gaya antarmolekul. Pebelajar juga dapat melatih kompetensi pemahaman konseptual yang dimiliki secara mandiri melalui kegiatan interaktif yang ditawarkan dalam program pembelajaran berbasis multimedia. Kegiatan interaktif dimaksudkan untuk memberikan kesempatan kepada pebelajar untuk melakukan interaksi secara langsung dengan media pembelajaran yang dihadapinya, karena media pembelajaran tersebut dapat memberikan respon/*feedback* terhadap kegiatan akses informasi yang dilakukan oleh pebelajar. Berdasarkan ilustrasi tersebut, dapat dinyatakan bahwa integrasi aspek interaktif dapat memfasilitasi keterlibatan pebelajar secara aktif dalam proses pembelajaran. Kegiatan interaktif diharapkan dapat mengoptimalkan proses konstruksi pemahaman konsep oleh pebelajar. Hal tersebut sekaligus menunjukkan bahwa multimedia interaktif dapat diandalkan untuk mendukung keterlaksanaan pembelajaran berbasis konstruktivistik.

Ada banyak jurnal dan makalah hasil penelitian yang menegaskan keunggulan penggunaan multimedia interaktif sebagai upaya untuk mendukung pencapaian dan peningkatan kompetensi pemahaman konseptual oleh pebelajar terhadap terhadap topik-topik yang melibatkan representasi fenomena mikroskopik yang bersifat abstrak dengan karakteristik dinamis dalam pembelajaran kimia. Di antaranya adalah Sinex & Gage (2003) yang menegaskan bahwa pemahaman terhadap fenomena pergerakan dan karakteristik elektronik dari atom dan molekul dapat diperoleh melalui program animasi yang memiliki kemampuan representasi objek abstrak dengan karakteristik dinamis melalui strategi visualisasi. Program animasi dalam multimedia interaktif dapat memfasilitasi pemahaman konseptual terhadap fenomena kimia pada tingkat mikroskopik, terutama berkaitan dengan pembelajaran topik-topik ilmu kimia yang termasuk dalam kate-

gori partikel penyusun zat (Williamson & Abraham, 1995; Greenbowe, 2001; Velazquez-Marcano & Williamson, 2003; Harkness & Aldrich, 2006). Birk (1999); Nakhleh & Postek (2005); Yezierski & Birk (2006); serta Tasker (2006); menyatakan bahwa program animasi dalam multimedia interaktif merupakan sumber belajar yang efektif untuk meremidiasi mis-konsepsi terhadap topik-topik ilmu kimia yang termasuk dalam kategori partikel penyusun zat.

Beberapa penelitian terkait upaya untuk menga-tasi permasalahan dalam pembelajaran topik-topik ilmu kimia yang melibatkan representasi fenomena mikroskopik yang bersifat abstrak dengan karakteris-tik dinamis melalui integrasi multimedia interaktif de-ngan kelebihan program animasi menunjukkan hasil positif. Pertama, Greenbowe & Yang (1998) pada topik baterai. Kedua, Greenbowe (1994) pada topik sel elektrokimia. Ketiga, Smith (1998) pada topik re-aksi kimia. Keempat, Meyer & Sargent (2007) pada topik simetri dan teori kelompok. Kelima, Reid, Wheatley, Horton, & Brydges (2000) pada topik teori tumbukan. Keenam, Lynch & Greenbowe (1995) pada topik kinetika kimia. Pemanfaatan multimedia interaktif tidak hanya menunjang pencapaian dan pe-ningkatan kompetensi pemahaman konseptual, tetapi juga mendukung pengembangan kemampuan pemecahan masalah (*problem solving*) bagi para pebelajar dalam pembelajaran kimia (Russell, Kozma, Jones, Wykoff, Marx, & Davis, 1997).

Multimedia interaktif yang secara spesifik digu-nakan untuk pembelajaran topik gaya antarmolekul telah banyak dikembangkan. Akan tetapi, banyak di antara multimedia tersebut menyajikan representasi yang kurang tepat. Beberapa di antara multimedia tersebut bahkan menyajikan representasi yang dapat mengarahkan pada kesalahan konsep. Sebagai con-toh multimedia interaktif dengan identitas Wisc\_Online, General Chemistry Online, Chemistry & Society, Introduction to Chemistry, yTeach, dan beberapa multimedia yang di-*upload* melalui You Tube. Multi-media interaktif dengan penyajian representasi yang kurang tepat atau dapat mengarahkan pada kesalah-an konsep tidak layak untuk diaplikasikan dalam pembelajaran topik gaya antarmolekul. Multimedia tersebut juga tidak efektif digunakan untuk tujuan pencapaian dan peningkatan kompetensi pemahaman konseptual pada topik gaya antarmolekul. Berdasar-kan kenyataan tersebut di atas diperlukan pengem-bangan multimedia interaktif yang layak dan efektif diaplikasikan dalam pembelajaran topik gaya antar-molekul.

## METODE

Model pengembangan yang digunakan dalam penelitian ini diadopsi dari model konseptual 4D (*four D model*) yang dikembangkan oleh Thiagarajan, Semmel, & Semmel pada tahun 1974. Berdasarkan model pengembangan yang dipilih, maka prosedur yang ditempuh adalah sebagai berikut.

Tahap pertama adalah *define* yang meliputi kegiatan *front-end analysis* dan *task analysis*. Dalam kegiatan *front-end analysis* dikaji latar belakang munculnya gagasan pengembang untuk mengem-bangkan multimedia pembelajaran interaktif topik gaya antarmolekul pada matakuliah ikatan kimia. Kegi-atan *front-end analysis* mencakup kegiatan *concept analysis* dan *learner analysis*. Dalam kegiatan *concept analysis* dihasilkan kajian bahwa representasi fenomena pada tingkat mikroskopik dalam topik gaya antarmolekul bersifat abstrak dengan karakteristik dinamis. Dalam kegiatan *learner analysis* dihasilkan kajian bahwa pebelajar membutuhkan media pembel-ajaran yang dapat merepresentasikan fenomena mi-kroskopik dengan karakteristik dinamis dalam topik gaya antarmolekul melalui strategi visualisasi. Dalam kegiatan *task analysis* kompetensi dasar matakuliah ikatan kimia yang berkaitan dengan topik gaya antar-molekul dijabarkan menjadi indikator pembelajaran. Indikator pembelajaran tersebut selanjutnya diguna-kan sebagai acuan untuk mengembangkan media serta instrumen tes.

Tahap kedua adalah *design* yang meliputi kegiat-an *constructing criterion referenced test*, *media selection*, *format selection*, dan *initial design*. Dalam kegiatan *constructing criterion referenced test* dikembangkan item soal yang mengacu pada indika-tor pembelajaran untuk digunakan sebagai instrumen tes evaluasi tingkat pemahaman konseptual topik gaya antarmolekul. Instrumen tes yang telah dikem-bangkan selanjutnya divalidasi secara internal dan diujicoba untuk diketahui tingkat validitas internal dan reliabilitasnya. Berdasarkan validasi ahli bidang isi/materi dapat dideskripsikan bahwa instrumen yang dikembangkan termasuk dalam kategori valid dan dapat digunakan untuk mengevaluasi tingkat pemaham-an konseptual topik gaya antarmolekul, dengan per-sentase tingkat validitas sebesar 99,2%. Berdasarkan analisis hasil ujicoba tingkat reliabilitas instrumen yang dikembangkan termasuk dalam kategori tinggi de-ngan koefisien korelasi 0,71. Kegiatan *media select-ion* dilakukan dengan memilih *Macromedia Flash* sebagai *software* program aplikatif yang akan diguna-

kan untuk mengembangkan media. Kegiatan *format selection* dilakukan dengan mendeskripsikan spesifikasi hasil pengembangan yang dilakukan. Kegiatan *initial design* dilakukan dengan mendeskripsikan secara lebih mendetail spesifikasi hasil pengembangan yang telah disebutkan pada bagian *format selection*.

Tahap ketiga adalah *develop* yang meliputi kegiatan *expert appraisal* dan *developmental testing*. *Expert appraisal* merupakan tahap uji kelayakan hasil pengembangan, sedangkan *developmental testing* merupakan tahap uji efektivitas hasil pengembangan untuk dapat diaplikasikan dalam pembelajaran topik gaya antarmolekul. Masing-masing kegiatan dalam tahap *develop* dijelaskan sebagai berikut. *Expert appraisal* ditempuh melalui kegiatan kajian kritis oleh ahli bidang isi/materi dan oleh ahli bidang media pembelajaran baik secara kuantitatif maupun kualitatif terhadap hasil pengembangan. Ahli bidang isi/materi adalah ahli yang melakukan kegiatan kajian kritis berdasarkan angket untuk memberikan penilaian kelayakan (kuantitatif) serta tanggapan dan saran perbaikan (kualitatif) terhadap isi/materi dalam hasil pengembangan. Penetapan ahli bidang isi/materi didasarkan pada dua kriteria yaitu: (1) dosen Jurusan Kimia kelompok bidang keahlian kimia anorganik dan (2) memiliki pengalaman yang cukup dalam pembelajaran matakuliah ikatan kimia.

Ahli bidang media pembelajaran adalah ahli yang melakukan kegiatan kajian kritis berdasarkan angket untuk memberikan penilaian kelayakan serta tanggapan dan saran perbaikan terhadap penggunaan media pembelajaran dalam hasil pengembangan. Penetapan ahli bidang media pembelajaran didasarkan pada tiga kriteria, yaitu: (1) dosen kelompok bidang keahlian Pengembangan Belajar Mengajar, (2) Memiliki pengalaman yang cukup dalam pembelajaran matakuliah Media Pembelajaran khususnya bidang pendidikan kimia, dan (3) memiliki keahlian mengenai desain/perancangan media pembelajaran khususnya dalam bidang pendidikan kimia.

Angket penilaian dari ahli bidang isi/materi dan ahli bidang media pembelajaran menghasilkan data kuantitatif dan kualitatif. Interpretasi hasil analisis data kualitatif dijadikan sebagai acuan untuk mendeskripsikan tingkat kelayakan hasil pengembangan berdasarkan kriteria kelayakan yang telah ditentukan. Data kualitatif berisi tanggapan dan saran perbaikan dari ahli bidang isi/materi dan ahli bidang media pembelajaran. Interpretasi hasil analisis data kuantitatif bersama dengan data kualitatif kegiatan *expert ap-*

*praisal* dijadikan sebagai acuan untuk melakukan revisi I.

*Developmental testing* ditempuh melalui kegiatan ujicoba hasil pengembangan. Kegiatan *developmental testing* yang dilakukan terbatas pada *initial testing* dan *total package testing*. *Initial testing* merupakan tahap ujicoba hasil pengembangan terhadap subjek ujicoba perorangan. Beberapa subjek ujicoba perorangan yang telah dipilih diminta untuk menggunakan hasil pengembangan dalam suatu kondisi pembelajaran. Selanjutnya, setiap subjek ujicoba perorangan diminta untuk memberikan *feedback* berupa tanggapan dan saran perbaikan (kualitatif) terhadap hasil pengembangan. Hasil *feedback* pada kegiatan *initial testing* digunakan sebagai acuan untuk melakukan revisi II.

*Total package testing* merupakan tahap ujicoba hasil pengembangan terhadap subjek ujicoba kelompok terbatas. Ujicoba dilakukan dengan menggunakan rancangan *one group pretest and posttest design* sebagaimana dijelaskan oleh Thiagarajan, Semmel, & Semmel (1974). Subjek ujicoba kelompok terbatas yang telah dibentuk melakukan pretes menggunakan instrumen tes yang dikembangkan dan telah melalui proses validasi internal serta ujicoba. Setiap subjek ujicoba kelompok terbatas selanjutnya diminta untuk menggunakan hasil pengembangan dalam suatu kondisi pembelajaran. Pada tahap akhir ujicoba, setiap subjek ujicoba kelompok terbatas melakukan postes. Selain itu, setiap subjek ujicoba kelompok terbatas juga diminta untuk memberikan *feedback* dalam bentuk pengisian angket terhadap hasil pengembangan.

Rata-rata hasil pretes dengan hasil postes pada tahap *total package testing* dianalisis untuk diketahui perbedaan secara signifikansi menggunakan teknik statistik deskriptif uji *t* dua sampel berpasangan (*paired sample t test*), setelah sebelumnya dilakukan uji prasyarat analisis, yaitu uji normalitas dan uji homogenitas. Uji prasyarat analisis serta uji *t* dua sampel berpasangan dilakukan secara komputasi menggunakan *software* program aplikasi SPSS 16.

Pengisian angket menghasilkan data kuantitatif dan kualitatif. Interpretasi hasil analisis data kuantitatif angket bersama dengan interpretasi hasil analisis pretes postes dijadikan sebagai acuan untuk mendeskripsikan tingkat efektivitas hasil pengembangan. Data kualitatif angket berisi tanggapan dan saran perbaikan terhadap hasil pengembangan. Interpretasi hasil analisis data kuantitatif bersama dengan data kualitatif angket kegiatan *total package testing* dijadikan sebagai acuan untuk melakukan revisi III.

## HASIL & PEMBAHASAN

Hasil pengembangan adalah multimedia pembelajaran interaktif topik gaya antarmolekul pada mata kuliah ikatan kimia yang dikemas dalam format CD pembelajaran. Multimedia yang dimaksud berisi tayangan-tayangan menggunakan *software* program aplikasi *Macromedia Flash* yang memunculkan gabungan teks, grafik, audio, animasi, dan video, dengan spesifikasi sajian menu: (a) petunjuk penggunaan multimedia; (b) pendahuluan berisi submenu peta konsep, identitas topik (kompetensi dasar dan indikator pembelajaran), dan pengetahuan awal; (c) tutorial atau pemaparan topik, baik yang disajikan secara informatif (Gaya London, Gaya Dipol-Dipol Induksian, Gaya Dipol-Dipol, dan Ikatan Hidrogen) maupun interaktif (Pengaruh Gaya Antarmolekul); serta (d) soal-soal, berisi submenu latihan dan tes evaluasi yang disajikan secara interaktif.

Menu pemaparan topik berorientasi pada pencapaian dan peningkatan kompetensi pemahaman konseptual. Pemaparan topik disajikan menggunakan pendekatan makroskopik mikroskopik dengan lebih banyak menekankan pada representasi fenomena mikroskopik yang bersifat abstrak dengan karakteristik dinamis dalam topik gaya antarmolekul melalui strategi visualisasi, dan bukan sekedar penyajian bentuk tiruan statis atau ilustrasi karakteristik dinamis dari fenomena tersebut melalui strategi narasi. Pemaparan topik juga disajikan menggunakan pendekatan kontekstual, dimana setiap proses yang dijelaskan dilengkapi dengan contoh peristiwa, dengan harapan pebelajar menjadi lebih mudah membuat kaitan antara fenomena makroskopik dengan fenomena mikroskopik dalam suatu zat. Kajian topik berpedoman pada referensi yang relevan untuk menghindari kesalahan konsep. Pebelajar dapat mengulangi penampilan topik yang disajikan jika kurang memahami pada penampilan sebelumnya.

Aspek interaktif dimunculkan baik dalam menu pemaparan topik maupun soal-soal. Aspek interaktif dalam menu pemaparan topik dikemas dalam bentuk studi kasus. Media memunculkan permasalahan dengan jawaban yang dapat diakses oleh pebelajar. Aspek interaktif dalam menu soal-soal mencakup submenu latihan dan tes evaluasi. Submenu latihan memunculkan pertanyaan-pertanyaan pilihan berganda (*multiple choice*) dalam layar komputer untuk melatih pemahaman pebelajar terhadap konsep yang telah pelajari pada penyajian sebelumnya. Jawaban pebelajar akan direspon langsung oleh media. Jika jawaban salah, maka media akan menampilkan rekomendasi

kepada pebelajar. Rekomendasi tersebut berupa tombol yang sudah dihubungkan (*link*) dengan sajian topik yang membahas jawaban benar dari pertanyaan yang dimaksud. Jika jawaban benar, maka pebelajar dapat melanjutkan sesi latihan.

Submenu tes evaluasi memunculkan pertanyaan-pertanyaan pilihan berganda (*multiple choice*) yang harus dijawab oleh pebelajar dalam layar komputer untuk mengevaluasi pemahamannya terhadap topik yang telah pelajari pada penyajian sebelumnya. Jawaban pebelajar akan direspon langsung oleh media. Pada akhir evaluasi, pebelajar dapat melihat skor yang diperoleh dari hasil mengerjakan pertanyaan-pertanyaan tes evaluasi.

Integrasi aspek interaktif dalam media dapat memfasilitasi keterlibatan pebelajar secara aktif dalam proses pembelajaran. Hal tersebut sangat memungkinkan terjadinya konstruksi pemahaman konsep oleh pebelajar. Oleh karena itu, media yang dikembangkan juga mendukung tercapainya pembelajaran berbasis konstruktivistik.

Penyajian menu petunjuk penggunaan multimedia didesain agar media yang dikembangkan dapat dimanfaatkan baik secara mandiri oleh pebelajar maupun dalam pembelajaran di kelas melalui kendali tutor atau pengajar. Multimedia yang dikopi dalam format CD pembelajaran terbatas pada hasil *publisher* program aplikatif *Macromedia Flash*, sehingga setiap duplikasi yang dilakukan tidak dapat menghilangkan atau mengubah identitas pengembang dan pembimbing. Pengkopian multimedia dalam format CD pembelajaran diatur dengan sistem *autorun*, sehingga dapat dijalankan pada setiap komputer tanpa harus meng-*install* program tertentu.

Berdasarkan penilaian ahli bidang isi/materi dapat dideskripsikan bahwa hasil pengembangan dari segi isi/materi adalah layak digunakan dalam pembelajaran topik gaya antarmolekul, dengan persentase tingkat kelayakan sebesar 95,5%. Berdasarkan penilaian ahli bidang media pembelajaran dapat dideskripsikan bahwa hasil pengembangan dari segi media pembelajaran adalah layak digunakan dalam pembelajaran topik gaya antarmolekul, dengan persentase tingkat kelayakan sebesar 88,2%.

Sebelum dilakukan analisis terhadap data hasil pretes dan postes, terlebih dahulu dilakukan uji prasyarat analisis yaitu uji normalitas dan uji homogenitas secara komputasi menggunakan *software* program aplikasi SPSS 16. *Output* uji normalitas terhadap data hasil pretes dan postes berupa tabel *One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test* (Tabel 1).

Berdasarkan *output* analisis hasil uji homogenitas yang disajikan pada tabel di atas untuk data hasil pretes diperoleh nilai signifikansi 0,446 atau nilai Sig. (0,863) > 0,05, sedangkan untuk data hasil postes diperoleh nilai signifikansi 0,023 atau Sig. (1,069) > 0,05. Berdasarkan hasil analisis tersebut dapat dibuat keputusan bahwa baik data hasil pretes maupun data hasil postes terdistribusi normal. Kurva normal data hasil pretes dan postes ditunjukkan secara berurutan pada Gambar 1 dan Gambar 2.

*Output* uji homogenitas terhadap data hasil pretes dan postes berupa tabel *Levene's Test of Equality of Error Variances<sup>a</sup>* (Tabel 2).

Berdasarkan *output* analisis hasil uji homogenitas yang disajikan pada tabel di atas, untuk data hasil pretes dan postes diperoleh nilai signifikansi 0,376 atau nilai Sig. > 0,05. Berdasarkan hasil analisis terse-

but dapat dibuat keputusan bahwa varians data hasil pretes dan postes homogen.

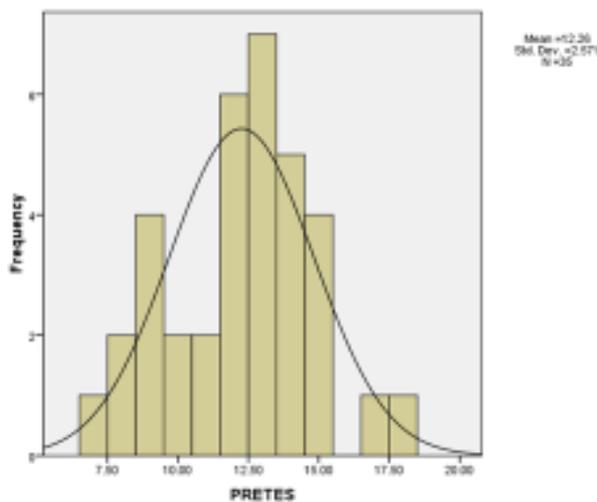
Setelah melalui uji prasyarat, data hasil tes dianalisis untuk diketahui perbedaan secara signifikansi rata-rata antara hasil pretes dengan hasil postes menggunakan teknik statistik deskriptif uji *t* dua sampel berpasangan (*paired sample t test*) dua ujung. *Output* uji *t* dua sampel berpasangan terhadap data hasil pretes dan postes ada dua. *Output* pertama merupakan tabel *Paired Sample Test* (Tabel 3).

Berdasarkan *output* analisis hasil uji *t* dua sampel berpasangan yang disajikan pada tabel di atas, untuk data hasil pretes dan postes diperoleh harga *t* tabel sebesar 2,032 dan *t* hitung sebesar 21,669, sehingga diperoleh perbandingan  $-t$  tabel >  $-t$  hitung ( $-2,032 > -21,669$ ) atau *t* hitung > *t* tabel ( $21,669 > 2,032$ ) dan *P value* (0,000) < 0,05. Berdasarkan per-

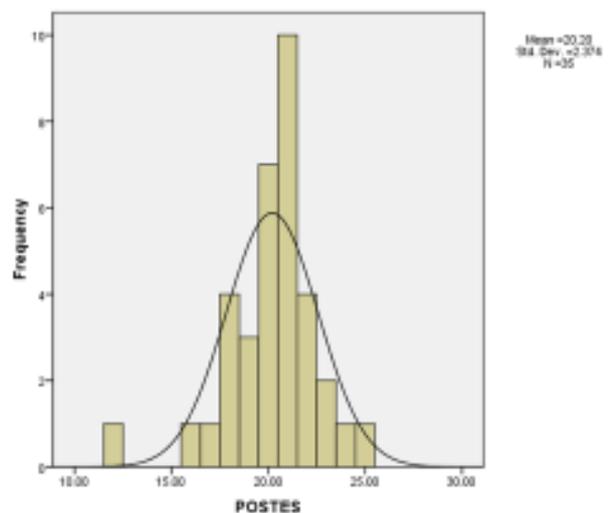
**Tabel 1. Output Uji Normalitas terhadap Data Hasil Pretes dan Postes Berupa Tabel One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test**

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test			
		PRETES	POSTES
N		35	35
Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	12.2571	20.2000
	Std. Deviation	2.57068	2.37388
Most Extreme Differences	Absolute	.146	.181
	Positive	.097	.139
	Negative	-.146	-.181
Kolmogorov-Smirnov Z		.863	1.069
Asymp. Sig. (2-tailed)		.446	.203

a. Test distribution is Normal.



**Gambar 1. Kurva Normal Data Hasil Pretes**



**Gambar 2. Kurva Normal Data Hasil Postes**

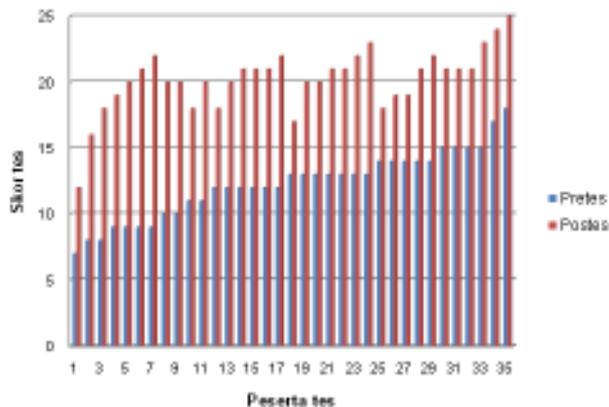
**Tabel 2. Output Uji Homogenitas terhadap Data Hasil Pretes dan Postes berupa Tabel Levene's Test of Equality of Error Variances<sup>a</sup>**

Levene's Test of Equality of Error Variances<sup>a</sup>  
 Dependent Variable: NILAI TES

F	df1	df2	Sig.
.794	1	68	.376

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Design: Intercept + PREPOS



**Gambar 3. Grafik Data Hasil Pretes dan Postes**

bandingan tersebut maka dapat dibuat kesimpulan bahwa ada perbedaan antara rata-rata hasil pretes evaluasi tingkat pemahaman konseptual mahasiswa Jurusan Kimia Universitas Negeri Malang dengan rata-rata hasil postes. Harga *t* hitung negatif memberikan arti bahwa rata-rata hasil postes lebih tinggi dibanding rata-rata hasil pretes. Perbedaan antara rata-rata hasil pretes dengan rata-rata hasil postes juga dapat dilihat pada *output* kedua uji *t* dua sampel berpasangan yaitu tabel *Paired Samples Statistics* (Tabel 4).

Berdasarkan Tabel 2 dan Tabel 3 dapat dilihat bahwa rata-rata hasil pretes adalah 12,2, sedangkan rata-rata hasil postes adalah 20,2. Grafik data hasil pretes dan postes disajikan pada Gambar 3.

Perbedaan antara rata-rata hasil pretes dengan rata-rata hasil postes merupakan acuan untuk mendeskripsikan tingkat efektivitas hasil pengembangan.

Rata-rata hasil postes yang lebih tinggi dibanding rata-rata hasil pretes menunjukkan bahwa aplikasi hasil pengembangan dalam proses pembelajaran terbukti efektif karena dapat meningkatkan pemahaman konseptual mahasiswa Jurusan Kimia Universitas Negeri Malang terhadap topik gaya antarmolekul. Peningkatan pemahaman konseptual yang dicapai berdasarkan hasil ujicoba kelompok terbatas pada kegiatan *total package testing* adalah 8 skor, yaitu dari rata-rata skor 12,2 menjadi 20,2, atau sekitar 65,5%.

**SIMPULAN & SARAN**

**Simpulan**

Berdasarkan pembahasan, dapat dibuat simpulan sebagai berikut. (1) Hasil pengembangan adalah multimedia pembelajaran interaktif topik gaya antar-

**Tabel 3. Output Uji t Dua Sampel Berpasangan terhadap Data Hasil Pretes dan Postes Berupa Tabel Paired Samples Test**

Paired Samples Test									
Paired Differences									
				95% Confidence Interval of the Difference					
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	Lower	Upper	T	Df	Sig. (2-tailed)	
1	PRETES – POSTES	-7.94286	2.16853	.36655	-8.68777	-7.19794	-21.669	34	.000

**Tabel 4. Output Uji t Dua Sampel Berpasangan terhadap Data Hasil Pretes dan Postes Berupa Tabel Paired Samples Statistic**

Paired Samples Statistics					
	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean	
Pair 1	PRETES	12.2571	35	2.57068	.43452
	POSTES	20.2000	35	2.37388	.40126

molekul pada matakuliah ikatan kimia yang dikemas dalam format CD pembelajaran. (2) Berdasarkan hasil uji kelayakan melalui kegiatan *expert appraisal* dan uji efektivitas melalui *kegiatan developmental testing*, hasil pengembangan layak dan efektif diaplikasikan dalam pembelajaran topik gaya antarmolekul.

### Saran

Saran pengembang berkaitan dengan pemanfaatan hasil pengembangan dipaparkan sebagai berikut. (1) Pemanfaatan hasil pengembangan akan lebih baik jika pengguna, baik pebelajar (mahasiswa) maupun tutor (dosen) memiliki fasilitas komputer sendiri. (2) Pemanfaatan hasil pengembangan akan lebih baik jika pengguna, baik pebelajar (mahasiswa) maupun tutor (dosen), terlebih dahulu memahami petunjuk penggunaan multimedia yang telah disajikan dalam hasil pengembangan. (3) Pemanfaatan hasil pengembangan akan lebih baik jika pebelajar (mahasiswa) telah memahami prasyarat topik gaya antarmolekul seperti bentuk dan kepolaran molekul. (4) Hasil pengembangan sangat disarankan untuk diaplikasikan dalam pembelajaran di kelas agar tutor (dosen) dapat mempresentasikan topik dengan cara yang berbeda, tidak monoton, kreatif, dan inovatif. (5) Hasil pengembangan sangat disarankan untuk diaplikasikan dalam pembelajaran di kelas agar pebelajar (mahasiswa) menjadi lebih mudah dalam membuat kaitan antara fenomena makroskopik dengan fenomena mikroskopik dalam topik gaya antarmolekul. Hal tersebut diharapkan dapat mendukung pencapaian dan peningkatan kompetensi pemahaman konseptual oleh pebelajar terhadap topik gaya antarmolekul. (6) Hasil pengembangan sangat disarankan untuk diaplikasikan dalam pembelajaran di kelas agar pebelajar (mahasiswa) dapat terlibat secara aktif dalam proses pembelajaran. Hal tersebut memungkinkan terjadinya konstruksi pemahaman konsep oleh pebelajar, sehingga penyelenggaraan pembelajaran berbasis konstruktivistik dapat tercapai.

Saran pengembang berkaitan dengan diseminasi hasil pengembangan dipaparkan sebagai berikut. (1) Hasil pengembangan disarankan untuk dimanfaatkan di lembaga-lembaga perguruan tinggi yang menyediakan fasilitas pendukung aplikasi hasil pengembangan seperti komputer, LCD, dan proyektor dalam proses pembelajaran. Jika tidak tersedia fasilitas seperti disebutkan di atas, hasil pengembangan dapat dimanfaatkan secara mandiri, baik oleh baik pebelajar (mahasiswa)

maupun tutor (dosen) yang memiliki komputer. (2) Karena hasil pengembangan mengacu pada kurikulum yang dikembangkan oleh Jurusan Kimia Universitas Negeri Malang dan ujicoba yang dilakukan juga terhadap mahasiswa Jurusan Kimia Universitas Negeri Malang, maka untuk aplikasi hasil pengembangan pada perguruan tinggi lain masih memerlukan penyesuaian dengan kondisi setempat.

Saran pengembang berkaitan dengan pengembangan lebih lanjut dipaparkan sebagai berikut. (1) Perlu dilakukan penelitian pengembangan serupa untuk topik lain pada matakuliah ikatan kimia seperti teori simetri dan kelompok titik. Penelitian pengembangan multimedia dengan keunggulan dapat menyajikan representasi fenomena mikroskopik yang bersifat abstrak dengan karakteristik dinamis melalui strategi visualisasi bahkan sangat cocok dilakukan pada keseluruhan topik dalam pembelajaran ilmu kimia. (2) Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut menggunakan hasil pengembangan dalam desain penelitian eksperimen (*experimental research*) atau penelitian tindakan kelas (*classroom action research*). (3) Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk membandingkan tingkat efektivitas aplikasi hasil pengembangan antara dalam proses pembelajaran mandiri dengan proses pembelajaran di kelas.

### DAFTAR RUJUKAN

- Adadan, E., Irving, K.E. & Trundle, K.C. 2009. Impacts of Multi-representational Instruction on High School Students' Conceptual Understandings of the Particulate Nature of Matter. *International Journal of Science Education*, 31(13):1743-1775.
- Bauer, C.F. & Toher, C.J. *Student Understandings of Particulate Nature of Matter*. Book of Abstracts, 213th American Chemical Society National Meeting, San Francisco, 13-17 April 1997.
- Ben-Zvi, N. & Gai, R. 1994. Macro and Micro-Chemical Comprehension of Real-World Phenomena. *Journal of Chemical Education*, 71(9):730-732.
- Bent, H.A. 1984. Uses (and Abuses) of Models in Teaching Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 61(9): 774-777.
- Birk, J.P. & Kurtz, M.J. 1999. Effect of Experience on Retention and Elimination of Misconceptions about Molecular Structure and Bonding. *Journal of Chemical Education*, 76(1):124-128.
- Birk, J.P. *Molecular Visualization with Anaglyphs*. Book of Abstracts, 217th American Chemical Society National Meeting, Anaheim, Calif., 21-25 Maret 1999.

- Boz, N. & Boz, Y. 2008. A Qualitative Case Study of Prospective Chemistry Teachers' Knowledge About Instructional Strategies: Introducing Particulate Theory. *Journal of Science Teacher Education*, 19:135-156.
- Cole, R.S.; Linenberger, K.J.; Matson, E.M.; & Zernicke, B.L. *Using POGIL and Odyssey to Encourage Student Visualization in Chemistry*. Abstracts of Papers, 233rd American Chemical Society National Meeting, Chicago, IL, United States, 25-29 Maret 2007.
- Dori, J.Y. & Barak, M. 2003. A Web-Based Chemistry Course as a Means To Foster Freshman Learning. *Journal of Chemical Education*, 80 (9):1084-1092.
- Eckberg, C.; Zemmer, J.; Reeves, J.; & Ward, C. 1994. An Intermolecular Forces Study using IBM PSL. *Journal of Chemical Education*, 71(9):A225-A237.
- Furio, C. & Calatayud, M.L. 1996. Difficulties with The Geometry and Polarity of Molecules: Beyond Misconceptions. *Journal of Chemical Education*, 73(1):36-41.
- Gabel, D. 1999. Improving Teaching and Learning through Chemistry Education Research: A look to The Future. *Journal of Chemical Education*, 76(4):548-554.
- Greenbowe, T.J. 1994. Projects supported by the NSF Division of Undergraduate Education: An Interactive Multimedia Software Program for Exploring Electrochemical Cells. *Journal of Chemical Education*, 71(7):555-557.
- Greenbowe, T.J. *Using Computer Animations to Help Students Acquire Models and to Help Students Visualize Chemistry at The Particulate Nature of Matter Level of Representation*. Abstracts of Papers, 221st American Chemical Society National Meeting, San Diego, CA, United States, 1-5 April 2001.
- Harkness, B. & Aldrich, B.L. *Getting the Most Out of Animations in Chemical Education*. Abstracts, 38th Central Regional Meeting of the American Chemical Society, Frankenmuth, MI, United States, 16-20 Mei 2006.
- Henderleiter, J.; Smart, R.; Anderson, J.; & Elian, O. 2001. How Do Organic Chemistry Students Understand and Apply Hydrogen Bonding? *Journal of Chemical Education*, 78(8):1126-1129.
- Herron, J.D. 1996. *The Chemistry Classroom Formulas for Successful Teaching*. Washington, DC: American Chemical Society.
- Hurst, M.O. 2007. A Classroom Demonstration of the Meaning of the Atomic Theory. *The Chemical Educator*, 13(1):6.
- Krystyniak, R.A. & Abraham, M.L. *A Research Based Strategy for Instruction: Computer Visuals as A teaching Aid*. Book of Abstracts, 213th American Chemical Society National Meeting, San Francisco, 13-17 April 1997.
- Lewis, J.E. & Bass, R. *But What Did You Really Mean? Reaching for Student Understandings of Chemistry*. Abstracts of Papers, 225th American Chemical Society National Meeting, New Orleans, LA, United States, 23-27 Maret 2003.
- Lynch, M.D. & Greenbowe, T.J. *Computer-Based Instruction that Addresses Student Misconceptions in Chemical Kinetics*. Book of Abstracts, 210th American Chemical Society National Meeting, Chicago, IL, 20-24 Agustus 1995.
- Meyer, D.E. & Sargent, A.L. 2007. An Interactive Computer Program to Help Students Learn Molecular Symmetry Elements and Operations. *Journal of Chemical Education*, 84(9):1551-1567.
- Moore, S.M. & Victorsen, K. 2007. Developing The Conceptual Groundwork Needed to Understand Molecular Motion. *Iowa Science Teachers Journal*, 34(2):13-17.
- Nakhleh, M.B. 1992. Why some Students Don't Learn Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 69(3): 191-195.
- Nyasulu, F.W. & Macklin, J. 2006. Intermolecular and Intramolecular Forces: A General Chemistry Laboratory Comparison of Hydrogen Bonding in Maleic and Fumaric Acids. *Journal of Chemical Education*, 83(5):770-773.
- Perniu, D. & Tica, R. 2000. Some Psychopedagogical Aspects about Computer Use in Chemistry Instruction. *Bulletin of the Transylvania University of Brasov*, Series B: Mathematics, Physics, Chemistry, Medicine, Philology, Volume Date 1999, 6, page. 55-60.
- Ramasami, P. 2000. Students as Solids, Liquids, and Gases. *Journal of Chemical Education*, 77(4):485.
- Reid, K.L.; Wheatly, R.J.; Horton, J.C.; & Brydges, S.W. 2000. Using Computer Assisted Learning to Teach Molecular Reaction Dynamics. *Journal of Chemical Education*, 77(3):407-409.
- Robinson, W.R. 2000. A View of The Science Education Research Literature: Scientific Discovery Learning with Computer Simulations. *Journal of Chemical Education*, 77(1):17.
- Russel, J.W. & Geno, J. *Tools for Development of Chemical Visualization Skills and Tools for Assessment of Visualization Skills*. Book of Abstracts, 219th American Chemical Society National Meeting, San Francisco, CA, 26-30 Maret 2000.

- Russel, J.W.; Kozma, R.B.; Jones, T.; Wykoff, J.; Marx, N.; & Davis, J. 1997. Use of Simultaneous-Synchronized Macroscopic, Microscopic, and Symbolic Representations to Enhance The Teaching and Learning of Chemical Concept. *Journal of Chemical Education*, 74(3): 330-334.
- Sanger, M.J.; Phelps, A.J.; & Fienhold, J. 2000. Using A Computer Animation to Improve Student's Conceptual Understanding of A Can-Crushing Demonstration. *Journal of Chemical Education*, 77(11): 1517-1520.
- Sinex, S.A. & Gage, B.A. 2003. Discovery Learning in General Chemistry Enhanced by Dynamic and Interactive Computer Visualization. *The Chemical Educator*, 8(4):266-270.
- Smaldino, S.E.; Russel, J.D.; Heinich, R.; & Molenda, M. 2005. *Instructional Technology and Media for Learning*. New Jersey: Pearson Education, Inc.
- Smith, K.J. & Metz, P.A. 1996. Evaluating Student Understanding of Solution Chemistry through Microscopic Representations. *Journal of Chemical Education*, 73(3):233-237.
- Taber, K.S. 2009. College Students' Conceptions of Chemical Stability: The widespread adoption of a heuristic rule out of context and beyond its range of application. *International Journal of Science Education*, 31(10): 1333-1358.
- Thiagarajan, S.; Semmel, D.S.; & Semmel, M.I. *Instructional Development for Training Teachers of Exceptional Children: A Sourcebook*. Bloomington: Central for Innovation on Teaching and Handicapped.
- Velazquez-Marcano, A. & Williamson, V.M. *Use of Video Demonstrations and Particulate Animations in The Chemistry Classroom*. Abstracts of Papers, 225th American Chemical Society National Meeting, New Orleans, LA, United States, 23-27, March 2003.
- Wedvik, J.C.; McManaman, C.; Anderson, J.S.; & Carroll, M.K. 1998. Intermolecular Forces in Introductory Chemistry Studied by Gas Chromatography, Computer Models, and Viscometry. *Journal of Chemical Education*, 75(7):885-888.
- Whitnell, R.M.; Fernandes, E.A.; Almassizadeh, F.; & Love, J.J.C. 1994. Multimedia Chemistry Lectures. *Journal of Chemical Education*, 71(9):721-724.
- Yeziarski, E.J. & Birk, J.P. 2006. Misconceptions about The Particulate Nature of Matter: Using Animations to Close The Gender Gap. *Journal of Chemical Education*, 83(6):954-960.