

## BAB I PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Kimia Organik merupakan salah satu cabang ilmu kimia yang berpijak pada premis tunggal, bahwa “perilaku kimia ditentukan oleh struktur molekul” (Morrison & Boyd, 2002). Molekul digambarkan dalam struktur tiga dimensi. Atas dasar inilah, dalam pembelajaran kimia organik dari tingkat dasar hingga lanjutan, seyogyanya mengeksplorasi hubungan mendasar antara struktur tiga dimensi molekul dengan sifat-sifatnya. Sifat yang dipelajari meliputi sifat fisik, sifat kimia, maupun aktivitas biologisnya (Hehre, Nelson, & Shusterman, 1998). Dalam perkuliahan Kimia Organik, hubungan penataan atom-atom dalam ruang tiga dimensi dan sifat-sifat yang diakibatkannya, secara khusus dibahas pada topik stereokimia.

Ada tiga aspek kajian dalam pembahasan topik stereokimia, yaitu keisomeran geometri, konformasi, dan kiralitas (Fessenden & Fessenden, 1991; Morrison & Boyd, 2002). Pemahaman mendalam terhadap ketiga aspek stereokimia membantu seseorang mampu menjelaskan fenomena stereoisomer, yakni senyawa-senyawa yang mempunyai kesamaan rumus molekul dan urutan terikatnya atom-atom dalam kerangka karbon, akan tetapi mempunyai perbedaan penataan atom dalam ruang akan berdampak pada perbedaan sejumlah sifat, seperti kestabilan, kereaktifan, maupun interaksinya dengan molekul lain.

Keisomeran geometri, atau keisomeran *cis-trans* merupakan fenomena keisomeran yang diakibatkan oleh ketegaran atau kekakuan ikatan dalam molekul, dijumpai pada alkena dan sikloalkana. Isomer-isomer *cis-trans* dapat dipisahkan pada suhu kamar tanpa melalui interkonversi satu sama lain. Keisomeran *cis-trans* penting dalam menentukan sifat biologis suatu molekul. Molekul dengan dua gugus reaktif *cis* akan berinteraksi secara berbeda dengan suatu enzim, dibandingkan dengan isomernya yang memiliki dua gugus yang sama tetapi posisinya *trans*. Salah satu contoh fenomena keisomeran *cis-trans* yang sangat

penting dalam kehidupan kita yaitu perannya dalam proses penglihatan (Morrison & Boyd, 2002; Hart, Craine, & Hart, 2003; Bruice, 2004).

Konformasi adalah penataan dalam ruang yang berbeda-beda akibat rotasi gugus mengelilingi ikatan  $\sigma$ . Dengan demikian suatu molekul dapat memiliki banyak konformasi. Konformasi molekul yang berbeda-beda itu disebut sebagai konformer, berasal dari kata “*conformational isomers*” (Carey, 2000; Wade, 2006). Perbedaan konformasi berdampak pada perbedaan sifat. Banyak reaksi bergantung pada kemampuan molekul berotasi melalui ikatan tunggal menjadi konformasi tertentu. Oleh sebab itu, analisis konformasi yaitu studi tentang energetika berbagai konformasi, menjadi alat bantu penting dalam memprediksi konformasi yang disukai pada suatu reaksi, serta digunakan oleh para peneliti guna memperoleh gambaran jelas tentang perilaku molekul. Hal ini terjadi baik pada molekul sederhana seperti etana, hingga molekul serumit DNA dalam proses biologi (Wade, 2006; McMurry, 2008).

Kekiralan atau ‘kiralitas’ molekul, merujuk pada molekul-molekul yang bersifat tidak dapat dihindarkan dengan molekul bayangan cerminnya, seperti halnya tangan kanan dan tangan kiri kita (bahasa Yunani, *cheir*; tangan). Sebaliknya, molekul yang dapat dihindarkan pada bayangan cerminnya, bersifat akiral. Molekul kiral bersifat asimetris (Morrison & Boyd 1990; Carey, 2000). Pemahaman yang baik akan konsep kekiralan, diharapkan mampu menjelaskan berbagai fenomena di alam. Misalnya, “*the building blocks of life*” yakni asam  $\alpha$ -amino, nukleotida, serta monosakarida bersifat kiral, keberadaannya di alam sebagai enansiomer murni. Oleh karena itu, setiap zat hasil sintesis atau modifikasi manusia, misalnya obat, pada akhirnya akan berinteraksi dengan lingkungan kiral. Masalah ini menjadi salah satu perhatian serius bagi para ahli di bidang Kimia Bioorganik dan Kimia Farmasi. Bahkan saat ini, *Food and Drug Administration (FDA)* mensyaratkan bahwa obat yang diproduksi harus dalam bentuk enansiomer murni, atau jika masih dalam bentuk campuran kedua enansiomer, harus dilakukan serangkaian tes yang ketat guna memastikan kedua enansiomer aman dikonsumsi (<http://www.uscibooks.com/Ansyln/AD06rt.pdf>).

Mencermati ketiga aspek stereokimia di atas, pada saat mempelajarinya, benak seseorang dituntut secara aktif mengimajinasikan tatanan ruang atom-atom

**M. Setyarini, 2017**

**PEMBELAJARAN STEREOKIMIA BERBASIS VISUALISASI 3D UNTUK MENINGKATKAN KEMAMPUAN SPASIAL DAN KETERAMPILAN MEMPREDIKSI KESTABILAN MOLEKUL ORGANIK MAHASISWA CALON GURU**

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

atau gugus dalam sebuah molekul. Kemampuan seseorang memahami struktur 3D molekul dan secara mental mengimajinasikan perilakunya, dikenal sebagai kemampuan spasial (Lohman, 1979; Pribyl & Bodner, 1987; Carrol, 1993).

Hasil studi meta-analisis Lohman (dalam Harle & Towns, 2011), menetapkan ada tiga faktor penentu yang diidentifikasi sebagai dimensi utama kemampuan spasial. Tiga faktor utama tersebut yakni (i) hubungan spasial, (ii) orientasi spasial, dan (iii) visualisasi spasial. Sementara hasil studi meta-analisis Carroll (1993), menetapkan lima faktor utama, dua faktor utama sama dengan Lohman yakni (i) hubungan spasial dan (ii) visualisasi spasial, sementara tiga faktor lainnya adalah (iii) kecepatan penutupan (*closure speed*); (iv) fleksibilitas penutupan (*flexibility of closure*), dan (v) kecepatan perseptual (*perceptual speed*). Meskipun hasil studi meta-analisis Lohman dan Carroll ini seringkali disitasi, perdebatan antara faktor mayor dan minor untuk mengidentifikasi faktor-faktor kemampuan spasial, masih tetap berlanjut hingga saat ini (Harle & Towns, 2011).

Ada banyak studi yang melaporkan bahwa perbedaan individu dalam kemampuan spasial sebagai salah satu faktor kognitif, mampu memprediksikan keberhasilan dalam pembelajaran kimia (Bodner & McMillen, 1986, Carter, LaRussa, & Bodner, 1987, Staver & Jack, 1988). Kemampuan spasial diakui berperan penting untuk keberhasilan dalam banyak pekerjaan (Mohler, 2006), maupun peran prediktif dalam pilihan karir bidang utama *STEM* (*science, technology, engineering, and mathematics*) (Sorby, 2009). Namun demikian, meskipun keberhasilan dalam STEM dan disiplin lainnya, secara spesifik terletak dalam kemampuan spasial, pendidik sering gagal mengembangkan keterampilan spasial siswa (Halpern & Collaer, 2005; Mohler, 2006; Sorby, 2009).

Kelemahan dalam kemampuan spasial individu, diduga kuat sebagai faktor utama yang menyebabkan stereokimia sering dianggap sebagai topik yang sulit dalam kajian kimia organik. Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan individu dalam penalaran spasial merupakan faktor utama yang berkontribusi bahkan mampu memprediksi terhadap keberhasilan dalam perkuliahan kimia organik (Pribyl & Bodner, 1987; Barke, 1993; Keig & Ruba, 1993). Selain dalam kimia organik, peneliti lain menyatakan bahwa mahasiswa berkemampuan spasial tinggi pada matakuliah kimia umum, secara signifikan

**M. Setyarini, 2017**

**PEMBELAJARAN STEREOKIMIA BERBASIS VISUALISASI 3D UNTUK MENINGKATKAN KEMAMPUAN SPASIAL DAN KETERAMPILAN MEMPREDIKSI KESTABILAN MOLEKUL ORGANIK MAHASISWA CALON GURU**

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

lebih unggul pada pertanyaan ujian geometri molekul dan struktur kristal dibandingkan mahasiswa berkemampuan spasial rendah (Carter, Larussa, & Bodner, 1987).

Dalam kurikulum satu LPTK di Provinsi Lampung, topik stereokimia merupakan topik awal yang dibahas dalam perkuliahan Kimia Organik Lanjut. Suatu mata kuliah wajib ini ditawarkan pada semester 5, berbobot 2 sks. Pemahaman pada topik stereokimia menjadi dasar pemahaman pada topik-topik selanjutnya yang membahas mekanisme reaksi. Perbandingan kurikulum S1 Pendidikan di Indonesia pada kajian Kimia Organik khususnya pada topik stereokimia, disajikan dalam Tabel 1.1.

Tabel 1.1. Perbandingan Kurikulum Program S1 Pendidikan Kimia terkait pembelajaran stereokimia pada LPTK lain di Indonesia dan Luar Negeri

<b>LPTK di Provinsi Lampung</b>	<b>LPTK lain di Indonesia</b>	<b>Luar negeri (IMSA, Illinois Mathematics and Science Academy)</b>
<p>Membahas isomer geometri, konformasi molekul alifatik dan siklik, kiralitas, senyawaan dissimetri, serta sifat intramolekul yang diakibatkannya.</p> <p>Dasar dalam pemahaman konsep mekanisme reaksi</p> <p>(Dalam Perkuliahan Kimia Organik Lanjut, Universitas Lampung, 2011)</p>	<p>Pokok bahasan Isomer dan Stereokimia (pengertian, Isomer struktur: rangka, posisi, fungsi).</p> <p>Stereokimia: Isomer geometri (<i>cis-trans</i>, E-Z), molekul kiral, Enansiomer, diastereomer, mesomer, Optis Aktif, Konfigurasi absolut, konformasi senyawaan alifatik, Konformasi senyawaan siklik. Kegunaan molekul Kiral (stereoisomer).</p> <p>-Dalam perkuliahan Kimia Organik I (2 sks), semester 3 (FPMIPA, UPI, 2011)</p>	<p><i>Comprehensive Course Syllabus Organic Chemistry II</i></p> <p><i>The curriculum includes a study of stereochemistry, nomenclature, basic reactions, mechanisms, and laboratory analysis</i></p> <p><i>Student Learning Objectives: Characterize stereoisomers (conformers, enantiomers, diastereomers, meso compounds) and name them using the correct notation</i></p>

Berdasarkan hasil studi pendahuluan (Setyarini *et al.*, 2013) pada pembelajaran stereokimia Tahun Akademik 2010/2011, di satu LPTK Provinsi Lampung, terungkap bahwa selain menggunakan model molekul *ball and stick* yang didemonstrasikan dosen, setiap mahasiswa calon guru ditugaskan membuat model molekul tiruan sederhana untuk mempermudah mempelajari materi stereokimia secara mandiri. Hasil test menunjukkan bahwa tingkat pemahaman

M. Setyarini, 2017

PEMBELAJARAN STEREOKIMIA BERBASIS VISUALISASI 3D UNTUK MENINGKATKAN KEMAMPUAN SPASIAL DAN KETERAMPILAN MEMPREDIKSI KESTABILAN MOLEKUL ORGANIK MAHASISWA CALON GURU

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

konsep mahasiswa calon guru pada topik stereokimia berkategori sangat baik (28,6%), baik (37,1%), cukup (14%), dan rendah (20%). Namun yang menjadi catatan, pada saat tes, setiap mahasiswa diperkenankan menggunakan model molekul yang mereka buat. Untuk soal tes yang membutuhkan imajinasi mental, yakni bagaimana gugus-gugus berotasi di seputar ikatan sigma, seperti halnya mengubah representasi dimensional ke dalam proyeksi Fischer, atau mengubah representasi Fischer ke proyeksi Newman yang stabil, terselesaikan berkat keberadaan model sebagai alat bantu. Bagaimana hasil tes penguasaan konsep stereokimia tanpa menggunakan bantuan model? Perlu pengkajian lebih lanjut.

Berdasarkan hasil tanggapan mahasiswa melalui kuesioner, beberapa hal yang teridentifikasi sebagai faktor kesulitan ketika mempelajari topik stereokimia yaitu (i) kebingungan terhadap kemiripan istilah (57,2%), dan (ii) kaitan antara representasi 3D molekul dengan berbagai implikasinya (78,9%), khususnya: penerjemahan gambar 2D, kekurangtepatan dalam penandaan konfigurasi atom atau gugus di seputar C kiral terlebih pada senyawaan kiral siklik; serta pengubahan antar representasi struktur, misal dari rumus dimesional ke proyeksi Fischer dan sebaliknya, maupun dari proyeksi Fisher ke proyeksi Newman.

Kesulitan mahasiswa dalam mempelajari topik stereokimia, telah dilaporkan oleh beberapa peneliti. Abraham, Varghese, & Tang, (2010) menyatakan bahwa stereokimia merupakan topik yang sulit bagi banyak mahasiswa karena benak seseorang perlu mengimajinasikan antara struktur 3D suatu molekul dengan gambar yang dicetak dalam 2D. Stereokimia sering menjadi sumber kebingungan ketika siswa mula-mula mempelajarinya, dan sayangnya, perasaan ini tetap ada meskipun setelah paparan diulang (Bodner, 2003 dalam Kurbanoglu, Taskesenligil, & Sozbilir, 2006). Hasil studi Boukhechem, Dumon, & Zoukri, (2011) melaporkan bahwa kesulitan dihadapi siswa dalam pembelajaran stereokimia bersumber dari kurangnya integrasi definisi dan aturan, kurangnya penguasaan teknik penempatan pengamat, rendahnya kesadaran struktur spasial, dan kurangnya ketaatan dalam mengimplementasikan konvensi representasi yang berbeda.

Sejumlah strategi pengajaran telah dirancang untuk mengatasi masalah ini. Dalam buku teks kimia organik, molekul 3D digambarkan secara eksplisit

**M. Setyarini, 2017**

*PEMBELAJARAN STEREOKIMIA BERBASIS VISUALISASI 3D UNTUK MENINGKATKAN KEMAMPUAN SPASIAL DAN KETERAMPILAN MEMPREDIKSI KESTABILAN MOLEKUL ORGANIK MAHASISWA CALON GURU*

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

menggunakan makna penggambaran baji. Baji penuh dari kecil menuju besar untuk menunjukkan obyek mengarah ke pengamat, baji putus-putus dari besar menuju kecil menunjukkan obyek menjauhi pengamat, serta garis normal untuk menunjukkan obyek pada bidang. Dalam perspektif 2-D untuk gambar dalam buku teks, penulisnyapun menganjurkan mahasiswa menggunakan model tiga dimensi molekul bersama dengan gambar ini. Penjelasan ini menunjukkan bahwa pembelajaran stereokimia yang dilengkapi model molekul secara fisik, membantu siswa belajar stereokimia (Fessenden & Fessenden, 1991).

Selain model fisik tradisional *ball and stick*, visualisasi dan program pemodelan molekul secara komputerisasi, saat ini tersedia dan dapat diakses melalui situs-situs internet secara *open sources*. Pemodelan molekul membantu siswa berpikir lebih jernih tentang isu-isu fundamental dalam mempelajari kimia Organik yakni, struktur, stabilitas dan reaktivitas, dibandingkan tanpa menggunakan komputer (Hahre *et al.*, 1998). Program tersebut dipromosikan lebih unggul dibandingkan dengan teknik pengajaran struktur molekul baik menggunakan rumus garis maupun menggunakan model fisik dengan sejumlah alasan.

Keunggulan penggunaan program komputer dalam menampilkan struktur molekul dibandingkan penggambaran dengan rumus garis 2D adalah (1) model yang ditampilkan di layar komputer lebih "terlihat" dan "berperilaku" seperti "molekul nyata". Memperlihatkan struktur dari berbagai sudut pandang, sehingga pengguna memperoleh informasi posisi atom, volume atom, disertai fitur menarik. (2) Komputer dapat menghasilkan model akurat, sehingga memperkaya pengetahuan siswa tentang struktur yang mungkin terbatas, memberikan pengalaman menjelajahi "daerah baru kimia", (3) Merepresentasikan struktur species tertentu secara akurat, yang tidak mampu ditunjukkan secara utuh dengan gambar sederhana, seperti halnya muatan yang terdelokalisasi, ketidakstabilan geometri molekul, dan orientasi struktur dalam keadaan transisi. (4) Pemodelan molekul dapat digunakan untuk memprediksi dan menampilkan berbagai sifat kimia dan fisika seperti energi, momen dipol, dan sebagainya (Hahre *et al.*, 1998).

Model plastik sedemikian rupa sangat baik di zamannya, tetapi membutuhkan waktu cukup lama saat merakit sebuah model, dan terutama harus

**M. Setyarini, 2017**

**PEMBELAJARAN STEREOKIMIA BERBASIS VISUALISASI 3D UNTUK MENINGKATKAN KEMAMPUAN SPASIAL DAN KETERAMPILAN MEMPREDIKSI KESTABILAN MOLEKUL ORGANIK MAHASISWA CALON GURU**

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

mengetahui struktur molekul terlebih dahulu sebelum seseorang benar-benar bisa membangunnya. Selain itu, model tidak mampu bergetar untuk memberikan informasi pengaruh suhu, atau menunjukkan proses rotasi internal oleh atom atau gugus pada ikatan tunggal. Pemodelan molekul melalui komputer memperlihatkan berbagai kemungkinan konformasi yang stabil dan masuk akal. Model plastik memberikan petunjuk konformasi yang tidak mungkin atas dasar tolakan sterik, tetapi pada umumnya mereka tidak menolong kita mengidentifikasi 'kebenaran' geometri molekul (Hichliffe, 2003).

Keunggulan pembelajaran kimia organik menggunakan *software* komputer, selain merepresentasikan molekul secara fleksibel dan akurat, juga menyediakan pemrograman perhitungan berdasarkan teori struktur elektron, sehingga mampu menghitung sifat molekul yang kompleks, serta hasil perhitungan yang berkorelasi signifikan dengan data eksperimen. Selanjutnya, data hasil perhitungannya dapat disimulasikan guna menjelaskan keakuratan sistem molekul. Kajiannya meliputi kestabilan konformasi struktur senyawa kimia, termokimia, dan mekanisme reaksi (Pranowo, 2011). Dengan demikian, komputer lebih dari sekedar alat tampilan struktur sederhana, tetapi menyediakan sarana memvisualisasikan, menyelidiki, dan mempelajari berbagai fenomena kimia. Keuntungan ini menyiratkan bahwa penggunaan pemodelan komputer, baik untuk mengajarkan struktur dan sifat molekul.

Banyak laporan peneliti yang memaparkan dampak pembelajaran menggunakan program komputer. Tuvi-Arad & Gorsky (2007) melaporkan bahwa kemampuan suatu program komputer, *toolkit*, suatu program penggambaran 3D membantu siswa mengatasi kesulitan dalam visualisasi tiga-dimensi, berkontribusi terhadap pemahaman mendalam tentang struktur molekul dan elemen simetri molekul kompleks yang umumnya tidak dapat diakses dari gambar 2D. Selanjutnya, Abraham *et al.*, (2010), melaporkan bahwa kelompok mahasiswa yang diberi representasi molekul melalui komputer memperoleh skor lebih tinggi secara signifikan dari kelompok kontrol yang pembelajaran stereokimianya menggunakan model fisik *ball and stick* dan gambar 2D. Representasi molekul menggunakan *software* komputer dapat menjadi alat efektif dalam pengajaran stereokimia. Springer (2014), mengklaim bahwa dengan sekedar melihat

**M. Setyarini, 2017**

**PEMBELAJARAN STEREOKIMIA BERBASIS VISUALISASI 3D UNTUK MENINGKATKAN KEMAMPUAN SPASIAL DAN KETERAMPILAN MEMPREDIKSI KESTABILAN MOLEKUL ORGANIK MAHASISWA CALON GURU**

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

manipulasi-manipulasi secara tepat yang dilakukan dosen pada sebuah model komputer selama dua semester secara berturut-turut pada perkuliahan Kimia Organik pada mahasiswa S1, meningkatkan skor post test secara signifikan pada topik terkait sudut ikatan, sifat-sifat 3D molekul seperti kiralitas dan konformasi.

Berdasarkan uraian di atas telah banyak upaya yang dilakukan para peneliti yang secara umum bertujuan membantu mahasiswa memahami konsep stereokimia yang bersifat abstrak dan pada level mikroskopik (Gilbert, 2005) serta membutuhkan pemahaman spasial yang kompleks, menggunakan beragam alat visualisasi molekular berbasis komputer (Clauss & Nelsen, 2009; Abraham *et al.*, 2010; Springer, 2014). Namun, sejauh ini belum banyak studi yang melaporkan, pembelajaran stereokimia meliputi ketiga subtopik, yakni isomeri geometri, konformasi dan kekiralan molekul menggunakan media yang relevan dengan masing-masing karakteristik konsep. Mengapa hal ini penting?

Ketiga aspek yang dipelajari pada topik stereokimia timbul dari tiga fenomena molekul yang berbeda. Konformasi molekul membahas perbedaan penataan atom dalam ruang akibat rotasi gugus pada ikatan  $\sigma$ , isomeri geometri membahas bagaimana kekakuan dalam molekul mengakibatkan keisomeran. Kekiralan membahas sifat-sifat molekul yang dikaitkan dengan orientasi atom atau gugus di seputar atom karbon kiral. Salah satu sifat molekul penting yang timbul akibat beragamnya penataan atom-atom dalam ruang baik suatu konformasi maupun suatu isomer geometri adalah sifat kestabilan molekul. Sifat kestabilan molekul erat hubungannya dengan tatanan atom dalam ruang. Keakuratan penjelasan kestabilan molekul sangat didukung oleh ketersediaan data energi molekul. Sejauh ini dalam pembelajaran kestabilan konformasi dan isomeri geometri, mahasiswa diarahkan untuk mengkaji hubungan antara struktur molekul yang divisualisasikan dengan ketersediaan data yang bersumber dari *textbooks*. Mahasiswa belum diarahkan aktif terlibat secara langsung dalam penentuan energi molekul melalui *software* komputasi kimia yang akurat menggunakan perhitungan mekanika molekul maupun mekanika kuantum.

Permasalahan utama dalam pemanfaatan aplikasi *software* komputasi kimia adalah keberadaannya. Aplikasi-aplikasi *software* kimia seperti *HyperChem*, *Gaussian 09*, dan *Spartan from Wavefunction*, merupakan contoh

M. Setyarini, 2017

PEMBELAJARAN STEREOKIMIA BERBASIS VISUALISASI 3D UNTUK MENINGKATKAN KEMAMPUAN SPASIAL DAN KETERAMPILAN MEMPREDIKSI KESTABILAN MOLEKUL ORGANIK MAHASISWA CALON GURU

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

program yang dirancang secara akurat dan teliti untuk mengetahui struktur, stabilitas, dan sifat molekul menggunakan perhitungan mekanika molekul maupun mekanika kuantum. Selain itu, aplikasi ini menyediakan metode sederhana untuk menghasilkan struktur molekul 3D. Kelemahannya, biaya penggunaan lisensi akademik untuk program tersebut sangat mahal (sekitar 2000 US dolar/tahun), sehingga dari segi efisiensi biaya tidak lagi relevan (Pranowo, 2011).

Sementara itu, kini tersedia beragam aplikasi kimia berbasis *open source* yang menawarkan lisensi akademik bebas dan dapat dimanfaatkan selaras dengan tujuan pengguna. Dalam pembelajaran terkait visualisasi struktur molekul kimia, tersedia program-program *chemical structure drawing software* seperti *Avogadro*, *MarvinSketch*, *ChemSketch* yang dikembangkan ACD/labs ([www.acdabs.com](http://www.acdabs.com)), dan masih banyak lagi program sejenis. Keunggulan aplikasi-aplikasi tersebut selain dapat digunakan untuk mendukung pembelajaran kimia khususnya topik stereokimia, juga dapat di-*download* di komputer secara cuma-cuma. Banyaknya aplikasi visualisasi molekul ini, memberikan banyak pilihan yang dapat disesuaikan dengan tujuan pembelajaran dan kenyamanan pengguna.

Sejauh ini belum teridentifikasi suatu studi yang melaporkan, pembelajaran stereokimia menggunakan secara terpadu *software-software* bersifat *open-source* khususnya pada topik kestabilan isomeri geometri dan konformasi molekul. Ketersediaan aplikasi- *chemical structure drawing software* berbasis *open source*, dapat dimanfaatkan selaras dengan tujuan pembelajaran, maka keberadaannya sangat berguna untuk mendukung perancangan dan pengembangan program pembelajaran stereokimia yang inovatif.

Salah satu aplikasi yang berpotensi mendukung tujuan pembelajaran konformasi dan isomeri geometri, khususnya pada topik kestabilan molekul yakni program penggambaran struktur molekul 3D melalui aplikasi *Avogadro Software* <http://avogadro.openmolecules.net> Alasan pemilihan *software* ini, selain ketersediaan fasilitas penggambaran struktur, *software* ini juga dirancang mendukung pemrograman komputasi kimia, *NWChem*. *NWChem* (*Northwest Computational Chemistry*) merupakan salah satu perangkat lunak kimia komputasi berbasis *open source* (<http://www.nwchem-sw.org/>) yang banyak digunakan untuk menganalisis sifat-sifat molekul berdasarkan perhitungan kimia

M. Setyarini, 2017

PEMBELAJARAN STEREOKIMIA BERBASIS VISUALISASI 3D UNTUK MENINGKATKAN KEMAMPUAN SPASIAL DAN KETERAMPILAN MEMPREDIKSI KESTABILAN MOLEKUL ORGANIK MAHASISWA CALON GURU

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

kuantum. Sementara itu di situs internet yang lain, tersedia pula *software nwRun* (<http://timn.ho.ua/ccs/dupa.htm>), suatu grafis antarmuka pengguna untuk perhitungan komputasi kimia program *NWChem*. Tersedia pula *software open source* yang dirancang mampu memvisualisasikan *output file* hasil perhitungan energi sekaligus memvisualisasikan hasil perhitungan dan menganalisis variabel-variabel molekuler, yakni *software Jmol* (<http://jmol.sourceforge.net/>).

Mengingat dalam perhitungan komputasi kimia membutuhkan *input* data yang kadangkala harus dilakukan lebih dari sekali karena adanya faktor “error” maka kegiatan pembelajaran ini dapat diakomodasi melalui kegiatan tutorial praktikum. Artinya, melalui kegiatan tutorial praktikum, mahasiswa dilatihkan langkah-langkah menghitung energi molekuler.

Langkah-langkah perhitungan energi dapat diawali dengan penggambaran molekuler 3D menggunakan aplikasi *Avogadro Software* sekaligus memformat *input file* untuk perhitungan dengan *NWChem*. *File input* ini selanjutnya dikirim ke *software nwRun*. *Output file* selanjutnya divisualisasikan dan parameter molekuler tersebut dianalisis menggunakan *software Jmol*. Kemampuan *Jmol* menampilkan energi molekuler hasil perhitungan, panjang ikatan, sudut ikatan, sudut dihedral, potensial elektrostatik, operasi rotasi secara langsung melalui *mouse* yang bersifat interaktif, diyakini memberikan pemahaman mendalam akan sifat-sifat struktur molekuler yang dikaji.

Program visualisasi molekuler yang dilengkapi fasilitas merotasikan molekuler secara interaktif, juga berpeluang mengaktifkan sisi aktif *visuospatial sketchpath*, suatu tempat bagian otak yang bertanggung jawab menyimpan informasi visual dan spasial dalam sistem kerja *working memory*. Selain itu, aktivitas ini sangat berguna melatih dimensi-dimensi kemampuan spasial khususnya hubungan spasial dan orientasi spasial. Proses kognisi ini sejalan perspektif psikologi kognitif yang mengungkapkan bahwa rangsangan visual akan mengaktifkan komponen memori kerja yang disebut sketsa visuo-spatial (Baddeley, 2000 dalam Matlin, 2009). Komponen ini berperan memproses informasi visual dan spasial.

Data energi molekuler yang diperoleh dari kegiatan praktikum selanjutnya dapat digunakan untuk melengkapi data energi molekuler yang bersumber dari

**M. Setyarini, 2017**

**PEMBELAJARAN STEREOKIMIA BERBASIS VISUALISASI 3D UNTUK MENINGKATKAN KEMAMPUAN SPASIAL DAN KETERAMPILAN MEMPREDIKSI KESTABILAN MOLEKUL ORGANIK MAHASISWA CALON GURU**

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

*textbooks* yang akan sangat berguna bagi pembahasan topik kestabilan konformasi dan kestabilan isomer geometri pada saat tatap muka. Melalui kegiatan tutorial praktikum ini, mahasiswa dilatihkan aktif terlibat langsung dalam pencarian data energi, melatih keterampilan menggambar struktur 3D, kecermatan memformat data, keterampilan menganalisis parameter molekul, dan piawai untuk berpindah-pindah dari satu bentuk representasi ke representasi lain disertai fitur menarik yang tersedia. Perancangan tugas perhitungan molekul disesuaikan dengan tujuan agar mahasiswa mampu menangkap pola kecenderungan besar energi berbagai konformer suatu molekul, serta berbagai isomer molekul *cis-trans*. Berdasarkan kecenderungan atau pola besarnya energi molekul inilah mahasiswa diarahkan untuk menganalisis dan selanjutnya memprediksi kestabilan konformer dan isomer, sekaligus mencari penjelasan logis faktor-faktor kestabilan atau ketidakstabilan struktur molekul.

Visualisasi molekul 3D yang akan digunakan dalam pembelajaran kekiralan, dirancang dalam bentuk animasi kekiralan molekul. Animasi dirancang sedemikian rupa sesuai indikator konsep kiralitas dan indikator dimensi utama kemampuan spasial yaitu hubungan spasial, orientasi spasial dan visualisasi spasial. Urutan animasi kekiralan dirancang selaras tahapan pembangunan konsep yang tertuang melalui Lembar Kerja Mahasiswa.

Keberagaman visualisasi 3D melalui komputer yang dirancang sesuai karakteristik ketiga subtopik stereokimia, memberikan kontribusi penting bagi pengembangan penelitian terkait pembelajaran bidang keilmuan pendidikan kimia, khususnya dalam pembelajaran sains Kimia Organik. Bagi mahasiswa calon guru, pengalaman pembelajaran melalui beragamnya media, berpeluang mempelajari konsep stereokimia secara bermakna. Selain itu, ketersediaan program penggambaran molekul yang bersifat dinamis, dilengkapi operasi rotasi secara interaktif, dan sekaligus menghitung energinya, diyakini dapat meningkatkan penguasaan konsep, kemampuan spasial, dan kemampuan memprediksi kestabilan molekul.

Oleh karena perilaku molekul bersifat abstrak dan berada pada level mikroskopik (Gilbert, 2005), visualisasi molekul melalui komputer dapat berfungsi sebagai media pembelajaran yang membantu menyampaikan informasi

**M. Setyarini, 2017**

**PEMBELAJARAN STEREOKIMIA BERBASIS VISUALISASI 3D UNTUK MENINGKATKAN KEMAMPUAN SPASIAL DAN KETERAMPILAN MEMPREDIKSI KESTABILAN MOLEKUL ORGANIK MAHASISWA CALON GURU**

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

guna memperoleh pengetahuan (Rusman, Kurniawan, & Riyana, 2011). Informasi visual yang masuk ke dalam memori kerja, akan diseleksi. Informasi bermakna selanjutnya dikode menjadi bagian dari sistem pengetahuan yang disimpan dalam memori jangka panjang (*long-term memory*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa level pengolahan informasi secara bermakna dan mendalam menyebabkan retensi bersifat permanen daripada jenis pengolahan yang dangkal (Fergus Craik & Robert Lockhart, 1972, dalam Matlin, 2009).

Penggunaan secara terpadu ketiga *software* berbasis *open source* terpilih, dalam urutan langkah penggambaran struktur, penghitungan energi, lalu menganalisis parameter molekul pada *output file* dalam pembelajaran konformasi dan isomeri geometri, diyakini merupakan langkah inovatif dan menjadi aspek kebaruan dalam hal pemilihan media pembelajaran berbasis komputer yang relevan dalam membelajarkan kestabilan struktur pada dua subtopik stereokimia, konformasi dan isomeri geometri. Ketersediaan animasi kekiralan yang dirancang sesuai tahapan penemuan konsep dengan melatih dimensi kemampuan spasial, diyakini sebagai inovasi media pembelajaran subtopik kekiralan.

Berdasarkan uraian di atas, perlu dilakukan suatu studi bagaimana mengembangkan suatu program pembelajaran stereokimia berbasis visualisasi 3D molekul yang ditujukan untuk meningkatkan penguasaan konsep, kemampuan spasial dan kemampuan memprediksi kestabilan molekul organik bagi mahasiswa calon guru kimia.

## **B. Identifikasi Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, diidentifikasi beberapa permasalahan terkait perlunya pengembangan program pembelajaran stereokimia bagi mahasiswa calon guru agar memiliki landasan pengetahuan kimia yang luas, sehingga kompetensi profesionalnya terpenuhi. Permasalahan tersebut antara lain:

1. Stereokimia merupakan topik penting yang dipelajari dalam perkuliahan Kimia Organik guna memahami hubungan antara bentuk tiga dimensi suatu molekul dengan sifat-sifatnya. Akan tetapi, stereokimia merupakan topik yang sulit dipelajari bagi sebagian besar mahasiswa peserta

M. Setyarini, 2017

PEMBELAJARAN STEREOKIMIA BERBASIS VISUALISASI 3D UNTUK MENINGKATKAN KEMAMPUAN SPASIAL DAN KETERAMPILAN MEMPREDIKSI KESTABILAN MOLEKUL ORGANIK MAHASISWA CALON GURU

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

perkuliahan oleh karena konsepnya bersifat abstrak serta memerlukan imajinasi struktur 3D molekul yang direpresentasikan sebagai gambar 2D, baik dalam literatur, penjelasan dosen, *hand out*, maupun Lembar Kerja Mahasiswa. Upaya mempermudah mempelajari topik ini, sebagai media pembelajaran digunakan model molekul *ball and stick* yang didemonstrasikan dosen serta model molekul tiruan sederhana yang dibuat oleh masing-masing mahasiswa. Namun media yang bersifat statis ini kurang optimal dalam membantu mahasiswa calon guru memahami tatanan atom dalam ruang. Mahasiswa calon guru tetap mengalami kesulitan ketika dihadapkan pada latihan-latihan, tugas, maupun soal-soal test terutama yang berkaitan dengan kemampuan menafsirkan notasi suatu representasi dengan keadaan faktual tatanan atom dalam ruang, pengubahan antar representasi, maupun menjelaskan hubungan orientasi atom atau gugus dalam ruang dengan kestabilannya. Diperlukan program pembelajaran stereokimia menggunakan media pembelajaran yang mampu memvisualisasikan secara dinamis struktur-struktur molekul 3D selaras dengan karakteristik ketiga aspek yang dipelajari dalam stereokimia yaitu konformasi molekul, isomeri geometri, dan kiralitas, mengingat ketiga aspek timbul dari tiga fenomena molekul yang berbeda.

2. Berdasarkan fakta empiris, faktor lain yang diduga kuat menjadi penyebab kesulitan dalam mempelajari topik stereokimia yaitu rendahnya kemampuan spasial mahasiswa (Abraham *et al.*, 2010; Boukhechem *et al.*, (2011); sementara dalam memahami topik ini benak seseorang perlu mengimajinasikan tilikan ruang atau kedudukan atom-atom lalu menghubungkannya dengan parameter-parameter lain. Diperlukan program pembelajaran stereokimia yang didalam rancangannya melatih dimensi-dimensi utama kemampuan spasial yang teridentifikasi dibutuhkan untuk memahami konsep. Hal ini mengisyaratkan bahwa media pembelajaran stereokimia yang divisualisasikan diharapkan memfasilitasi berkembangnya dimensi utama kemampuan spasial mahasiswa calon guru.

3. Pada pembelajaran dua subtopik stereokimia yakni konformasi dan isomeri geometri, mahasiswa calon guru diharapkan mampu memprediksi kestabilan struktur-struktur akibat perubahan konformasi atau perbedaan jenis isomeri geometri. Keakuratan penjelasan kestabilan molekul sangat didukung oleh ketersediaan data energi molekul. Sejauh ini, pemahaman mahasiswa akan kestabilan struktur diperoleh berdasarkan penjelasan dosen saat kuliah didukung informasi bersumber dari literatur. Penjelasan kestabilan struktur secara umum didasarkan pada perbedaan hubungan tatanan ruang suatu konformer yang dimodelkan dengan *molywood* dan/atau gambar untuk membandingkan gaya tolakan antar gugus/atom, lalu dibandingkan dengan data energi dalam literatur. Agar mampu memprediksi kestabilan struktur molekul, mahasiswa belum dilibatkan secara aktif dalam kegiatan penemuan data energi molekul menggunakan *software* komputasi kimia yang kini banyak tersedia. Diperlukan program pembelajaran stereokimia yang dilengkapi data energi molekul yang diperoleh dari kegiatan tutorial praktikum menggunakan *software* komputasi kimia. Oleh karena dalam perhitungan komputasi kimia membutuhkan kecermatan *input* data yang kadangkala dilakukan lebih dari sekali karena adanya faktor “*error*”, maka kegiatan pembelajaran ini dapat diakomodasi melalui kegiatan tutorial praktikum.
  
4. Permasalahan utama dalam pemanfaatan aplikasi *software* komputasi kimia adalah keberadaannya. Aplikasi-aplikasi *software* kimia seperti *HyperChem*, *Gaussian 09*, dan *Spartan from Wafefunction*, merupakan contoh program yang dirancang secara akurat dan teliti untuk mengetahui struktur, stabilitas, dan sifat molekul menggunakan perhitungan mekanika molekul maupun mekanika kuantum. Kelemahannya, biaya penggunaan lisensi akademik untuk program tersebut sangat mahal, ditinjau dari segi efisiensi biaya tidak lagi relevan, sehingga diperlukan pemilihan berbagai aplikasi visualisasi molekul berbasis *open source* yang menawarkan lisensi akademik bebas dan dapat dimanfaatkan selaras dengan tujuan pembelajaran stereokimia.

### C. Rumusan Masalah Penelitian

Berdasarkan uraian pada latar belakang penelitian di atas, maka permasalahan utama dalam penelitian ini adalah: “Bagaimanakah program pembelajaran stereokimia berbasis visualisasi 3D dalam meningkatkan penguasaan konsep, kemampuan spasial, dan keterampilan memprediksi kestabilan molekul organik mahasiswa calon guru?”

Berdasarkan permasalahan tersebut, maka diajukan pertanyaan-pertanyaan penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimanakah karakteristik program pembelajaran stereokimia berbasis visualisasi 3D molekul yang dikembangkan?
2. Bagaimanakah peningkatan penguasaan konsep mahasiswa calon guru melalui pembelajaran stereokimia berbasis visualisasi 3D molekul?
3. Bagaimanakah peningkatan kemampuan spasial mahasiswa calon guru setelah pembelajaran stereokimia berbasis visualisasi 3D molekul?
4. Bagaimanakah peningkatan keterampilan memprediksi kestabilan molekul organik mahasiswa calon guru setelah pembelajaran stereokimia berbasis 3D visualisasi molekul?
5. Bagaimanakah tanggapan dosen dan mahasiswa terhadap program pembelajaran stereokimia berbasis visualisasi 3D molekul yang dikembangkan?
6. Apa kelebihan dan keterbatasan program pembelajaran stereokimia berbasis visualisasi 3D molekul yang dikembangkan?

### D. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan program pembelajaran stereokimia berbasis visualisasi 3D molekul menggunakan *software* berbasis *open source* dan animasi program komputer untuk meningkatkan:

1. penguasaan konsep stereokimia mahasiswa calon guru;
2. kemampuan spasial mahasiswa calon guru;
3. keterampilan memprediksi kestabilan molekul organik mahasiswa calon guru.

M. Setyarini, 2017

PEMBELAJARAN STEREOKIMIA BERBASIS VISUALISASI 3D UNTUK MENINGKATKAN KEMAMPUAN SPASIAL DAN KETERAMPILAN MEMPREDIKSI KESTABILAN MOLEKUL ORGANIK MAHASISWA CALON GURU

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

## E. Manfaat/Signifikansi Penelitian

Tersedianya percontohan media pembelajaran stereokimia berbasis visualisasi 3D molekul, sehingga mempermudah pemahaman konsep stereokimia mahasiswa, sekaligus melatih kemampuan spasial dan kemampuan memprediksikan kestabilan molekul organik.

## F. Definisi Operasional

- 1. Pembelajaran stereokimia berbasis visualisasi molekul 3D** merupakan program pembelajaran stereokimia yang menggunakan media pembelajaran yang memvisualisasikan secara dinamis struktur molekul 3D selaras dengan karakteristik ketiga aspek yang dipelajari dalam stereokimia yaitu konformasi molekul, isomeri geometri, dan kiralitas yang ditujukan untuk membantu meningkatkan penguasaan konsep, kemampuan spasial, dan kemampuan memprediksi kestabilan molekul. Program terdiri dua bagian kegiatan pembelajaran yaitu (i) tutorial praktikum dan (ii) tatap muka. Kegiatan tutorial praktikum bertujuan agar mahasiswa terampil menggambar struktur molekul 3D dan menghitung energi struktur molekul, menggunakan keterpaduan tiga aplikasi *software* bersifat *open source*. *Software* Avogadro, untuk membangun struktur molekul 3D, sekaligus memformat *input file* guna perhitungan energi molekul. *Input file* selanjutnya dikirim ke *software NwRun*, suatu grafis antarmuka pengguna untuk menjalankan *software* kimia komputasi *NWChem*. *Output file* hasil perhitungan selanjutnya divisualisasikan dan dianalisis menggunakan *software Jmol*. Data energi molekul hasil praktikum, selanjutnya dibahas dalam sesi tatap muka pada perkuliahan dua subtopik konformasi dan isomeri geometri. Visualisasi molekul 3D yang akan digunakan dalam pembelajaran kekiralitan, dirancang dalam bentuk animasi kekiralitan molekul. Perancangan animasi diselaraskan dengan indikator konsep kiralitas dan indikator dimensi utama kemampuan spasial yaitu hubungan spasial, orientasi spasial dan visualisasi spasial. Efektifitas implementasi program diukur dengan

M. Setyarini, 2017

PEMBELAJARAN STEREOKIMIA BERBASIS VISUALISASI 3D UNTUK MENINGKATKAN KEMAMPUAN SPASIAL DAN KETERAMPILAN MEMPREDIKSI KESTABILAN MOLEKUL ORGANIK MAHASISWA CALON GURU

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

ukuran dampak (*effect size*). Harga koefisien dampak diinterpretasikan dengan kriteria Cohen (1969).

2. **Penguasaan konsep stereokimia** adalah pemahaman mahasiswa calon guru pada topik stereokimia pada pembelajaran menggunakan program yang dikembangkan, diukur dengan tes pilihan berganda disertai alasan. Item tes didasarkan indikator-indikator ketercapaian pada pembelajaran topik stereokimia.
3. **Kemampuan spasial** adalah kemampuan untuk menghasilkan, menyimpan, dan memanipulasi gambaran visual yang abstrak. Pada tingkat yang paling dasar, pemikiran spasial membutuhkan kemampuan untuk mengkode, mengingat, mengubah, dan mencocokkan rangsangan spasial (Lohman, 1979 dalam Harle & Towns, 2011). Lohman menetapkan tiga faktor penentu yang diidentifikasi sebagai dimensi utama kemampuan spasial. Tiga faktor utama tersebut yakni (i) hubungan spasial, terdiri dari tugas-tugas yang memerlukan rotasi mental dari suatu obyek baik pada bidang (2-D) atau keluar bidang (3-D); (ii) orientasi spasial, meliputi kemampuan untuk membayangkan bagaimana sebuah objek atau array akan terlihat dari perspektif yang berbeda dengan reorientasi pengamat; dan (iii) visualisasi spasial, terdiri tugas-tugas yang memiliki komponen spasial-figural seperti gerakan atau perpindahan bagian dari gambar, dan tugas yang lebih kompleks daripada tugas hubungan spasial atau tugas orientasi spasial. Kemampuan spasial diukur melalui test yang terintegrasi dengan test penguasaan konsep, berbentuk test pilihan berganda disertai alasan.
4. **Keterampilan memprediksi** merupakan salah satu jenis keterampilan proses sains. Sebuah prediksi adalah pernyataan tentang apa yang akan terjadi di masa yang akan datang, atau sesuatu yang belum diketahui dan akan diketahui di masa mendatang. Prediksi hanya bisa dibuat berdasarkan informasi-informasi yang telah tersedia. Beberapa indikator keterampilan memprediksi antara lain: (a) Menggunakan informasi dari sebelumnya

ataupun sekarang untuk membuat prediksi dan (b) Mendasarkan prediksi pada pola yang ada (Harlen, 1992). Keterampilan memprediksi kestabilan molekul kimia organik mencakup keterampilan mengajukan perkiraan kestabilan molekul berdasarkan kecenderungan atau pola besarnya energi berupa data hasil perhitungan melalui *software* komputasi, maupun penjelasan faktor-faktor penyebab kestabilan/ketidakstabilan suatu molekul organik berdasarkan kecenderungan/pola struktur. Kemampuan memprediksi kestabilan molekul organik diukur melalui tes pilihan berganda disertai alasan.

### G. Struktur Organisasi Disertasi

Disertasi ini terdiri dari atas lima bab disertai Daftar Pustaka dan Lampiran. Bab I merupakan uraian pendahuluan berisi latar belakang penelitian, masalah penelitian dan rumusan masalah penelitian, tujuan penelitian, manfaat/signifikansi penelitian, serta struktur organisasi penelitian ini. Bab II berisi kajian pustaka sebagai landasan teoretik tentang pembelajaran stereokimia berbasis visualisasi 3D untuk meningkatkan penguasaan konsep, kemampuan spasial dan keterampilan memprediksi kestabilan molekul organik. Kajian pustaka ini berisikan konsep-konsep dalam topik stereokimia, penelitian terdahulu yang relevan dengan peran visualisasi dalam pembelajaran stereokimia, alat visualisasi 3D berupa *software* sebagai hasil modifikasi bahan-bahan *open source* dalam penelitian, kemampuan spasial, serta keterampilan memprediksi kestabilan molekul organik. Bab III berisikan metode penelitian, terdiri atas uraian paradigma penelitian, desain penelitian, populasi dan subjek penelitian, instrumen penelitian dan teknik analisis data. Hasil penelitian dan pembahasan disajikan pada Bab IV menguraikan tentang pengembangan program pembelajaran stereokimia berbasis visualisasi 3D untuk meningkatkan penguasaan konsep, kemampuan spasial dan keterampilan memprediksi kestabilan molekul organik dan implementasinya. Bab V memuat simpulan dari jawaban atas pertanyaan penelitian, implikasi, dan rekomendasi perbaikan agar program pembelajaran stereokimia berbasis visualisasi 3D yang dikembangkan menjadi lebih sempurna di masa yang akan datang.

**M. Setyarini, 2017**

**PEMBELAJARAN STEREOKIMIA BERBASIS VISUALISASI 3D UNTUK MENINGKATKAN KEMAMPUAN SPASIAL DAN KETERAMPILAN MEMPREDIKSI KESTABILAN MOLEKUL ORGANIK MAHASISWA CALON GURU**

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