

REPRESENTATIONAL COMPETENCE (RC) DALAM KIMIA: MENYELIDIKI KORELASINYA DENGAN PEMAHAMAN GEOMETRI MOLEKUL

Thayban Thayban^{*1}, Erga Kurniawati¹, Haris Munandar¹

¹Jurusan Kimia FMIPA, Universitas Negeri Gorontalo, Kota Goontalo, Indonesia

^{*}Corresponden author: thayban@ung.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan menyelidiki hubungan antara Representational Competence (RC) dengan pemahaman geometri molekul. Materi geometri molekul merupakan konsep penting dalam kimia, karena memengaruhi sifat fisika dan kimia dari senyawa kimia. Penelitian ini melibatkan 126 mahasiswa Jurusan Kimia dengan menggunakan desain korelasional. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat hubungan positif dan kuat antara RC dengan pemahaman geometri molekul. RC diukur menggunakan tes yang mencakup lima keterampilan representasi, sementara pemahaman geometri molekul diukur melalui tes essay. Temuan ini menyoroti pentingnya RC dalam mendukung pemahaman konsep kimia yang membutuhkan kemampuan visualisasi dan spasial, seperti geometri molekul. Hasil penelitian ini memiliki implikasi untuk pengembangan kurikulum dan strategi pengajaran yang menekankan pada pengembangan RC dalam pembelajaran kimia.

Kata Kunci : *Representational Competence, Geometri Molekul, Visualisasi Molekul*

PENDAHULUAN

Materi bentuk molekul mengkaji tentang struktur molekul sebagai objek tiga dimensi serta kaitannya dengan sifat kepolaran molekul dan gaya/ interaksi antarmolekul. Berdasarkan kurikulum Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Gorontalo, topik bentuk molekul diajarkan dalam matakuliah Struktur dan Ikatan Kimia. Materi bentuk molekul sangat penting dipahami secara tepat oleh mahasiswa, sebab pemahaman terhadap materi ini merupakan dasar untuk mempelajari sifat fisika molekul seperti titik leleh, titik didih, kelarutan dan kerapatannya serta sifat kimia diantaranya yaitu jenis reaksi yang dialaminya. Appling & Peake (2004) menyatakan bahwa struktur molekul dianggap sebagai konsep inti dalam ilmu kimia, dan menentukan bentuk dari molekul adalah keterampilan penting yang perlu dimiliki siswa untuk memulai pembelajaran kimia. Topik bentuk molekul juga sangat dibutuhkan sebelum mempelajari materi simetri (Tuvi-Arad & Gorsky, 2007).

Bentuk molekul senyawa kimia ditemukan dari fakta-fakta eksperimental yang didapat dengan menggunakan metode difraksi, terutama difraksi sinar-X atau menggunakan metode spektroskopi inframerah (Effendy, 2017). Bentuk molekul hasil analisis

menggunakan difraksi sinar-X menunjukkan bahwa setiap molekul memiliki struktur yang pasti dimana atom-atom dalam suatu molekul memiliki posisi tertentu relatif terhadap atom yang lain dalam ruang tiga dimensi. Posisi atom-atom dalam ruang tiga dimensi tersebut selanjutnya dipelajari melalui 2 beberapa teori untuk menjelaskan mengapa suatu molekul dapat mengadopsi bentuk demikian. Salah satu teori yang dapat digunakan untuk menjelaskan bentuk molekul adalah teori VSEPR (*Valence Shell Electron Pair Repulsion*) atau teori Tolakan Pasangan Elektron pada Kulit Valensi Atom Pusat dan teori Domain Elektron (*Electron Domain Theory*).

Pembelajaran materi bentuk molekul melibatkan konsep panjang ikatan dan sudut ikatan. Teori VSEPR yang dikembangkan oleh Gillespie dan Nyholm pada tahun 1957 dianggap sebagai teori yang paling mudah untuk dipelajari mahasiswa dalam meramalkan bentuk molekul daripada teori Domain Elektron. Gillespie (2004) menyatakan bahwa pengenalan pertama dalam pembelajaran bentuk molekul adalah melalui teori VSEPR untuk molekul sederhana agar mudah dipahami. Akan tetapi, banyak penelitian yang menunjukkan bahwa siswa dan mahasiswa masih mengalami kesulitan untuk menentukan dan meramalkan bentuk molekul.

Furió et al. (2000) menyatakan bahwa siswa dan mahasiswa cenderung menggambarkan bentuk molekul berdasarkan stuktur Lewisnya tanpa mempertimbangkan posisi molekul sebagai objek tiga dimensi. Hasil penelitiannya tentang miskonsepsi pada materi bentuk molekul menunjukkan bahwa: 1) Kurang lebih 20% siswa kelas 12, mahasiswa tingkat pertama dan ketiga, serta calon guru menyatakan molekul PH_3 dan H_2S mengadopsi bentuk tetrahedral; 2) Hanya 68,3% siswa kelas 12 menjawab benar bentuk molekul dari CF_4 , SCl_4 , dan SeCl_4 ; 3) Sekitar 66,7% siswa kelas 12, 58,5% mahasiswa tingkat pertama, 100% mahasiswa tingkat ketiga, dan 22,6% calon guru menyatakan bentuk molekul dari HCN , SnCl_2 , dan SCl_2 adalah linear; dan 4) 100% siswa kelas 12, 50% mahasiswa tingkat pertama, 27% mahasiswa tingkat ketiga, dan 22,6% calon guru menjawab salah bentuk molekul yang diadopsi oleh molekul COCl_2 .

Hasil penelitian yang telah dilaporkan Özmen (2004) menyatakan bahwa banyak siswa kelas 11 dan 12 menganggap bentuk molekul hanya ditentukan oleh tolakan antar pasangan ikatan atau tolakan antar pasangan elektron bebas dan kepolaran ikatan dapat menentukan bentuk molekul. Penelitian lain tentang miskonsepsi pada materi bentuk molekul yang telah dilaporkan adalah sebanyak 74,2% mahasiswa mengalami miskonsepsi dalam menggambarkan bentuk 3 molekul berdasarkan jumlah pasangan elektron di sekitar atom pusat dan 72,3% mahasiswa mengalami kesulitan saat menentukan bentuk molekul berdasarkan orbital hibrida (Sumarni, 2018).

Uyulgan et al. (2014) juga melaporkan beberapa miskonsepsi mahasiswa pada materi bentuk molekul yaitu 22% mahasiswa menyebutkan bahwa sudut ikatan H-N-H pada molekul NH_3 dan F-N-F pada molekul NF_3 tidak dapat dibedakan, 16% mahasiswa menyatakan bahwa atom Xe tidak bisa membentuk ikatan karena atom Xe sebagai gas mulia, 7% mahasiswa menganggap atom pusat merupakan atom yang paling elektronegatif, dan 4% mahasiswa menyebutkan bahwa atom pusat adalah atom yang memiliki jumlah elektron valensi tertinggi. Selain itu, hasil penelitian (Uyulgan & Nalan, 2016)

menunjukkan bahwa 23,9% siswa mengalami kesulitan dalam menggambar bentuk molekul dan 47,2% siswa kesulitan saat menggambarkan bentuk molekul model ball-stick. Berdasarkan data penelitian yang telah dilaporkan, dapat disimpulkan bahwa baik siswa maupun mahasiswa sama-sama mengalami kesulitan dalam memvisualisasikan bentuk suatu molekul sebagai objek tiga dimensi dan mereka cenderung menggambarkan struktur Lewis terlebih dahulu untuk menentukan bentuk molekul.

Pembahasan konsep molekul sebagai objek tiga dimensi merupakan konsep abstrak yang sulit dipahami. Sedangkan penjelasan terhadap konsep abstrak tersebut umumnya di dalam buku teks hanya diberikan dengan visualisasi dua dimensi. Contohnya, bentuk molekul CH_4 dan CH_3Cl ditunjukkan melalui visualisasi dua dimensi bentuk molekul tetrahedral dengan sudut ikatan H-C-H molekul CH_4 serta H-C-H dan H-C-Cl pada molekul CH_3Cl adalah sama. Hal ini tentu akan memberikan dampak kesalahan kepada mahasiswa dalam memahami konsep bentuk molekul, misalnya akan timbul pemahaman bahwa molekul yang terdiri dari 1 atom pusat dan 4 substituen pasti mengadopsi bentuk molekul tetrahedral. Oleh sebab itu, hal yang perlu dilakukan oleh mahasiswa adalah membangun visualisasi bentuk molekul dua dimensi menjadi objek tiga dimensi dalam pikirannya (Dean et al., 2016). Sehingga, adanya perbedaan pada bentuk molekul keduanya dapat ditemukan.

Pemahaman mahasiswa terhadap materi bentuk molekul memerlukan representasi yang tepat untuk dapat memvisualisasi bentuk tiga dimensi dari suatu molekul kimia. Memvisualisasikan objek dua dimensi menjadi tiga dimensi suatu molekul memerlukan beberapa tugas berpikir. Pertama, penafsiran serta pemahaman grafik yang berbeda harus dilakukan dengan baik sebelum menerjemahkannya dalam bentuk tiga dimensi (Abraham et al., 2010; Barrett et al., 2015; Padalkar & Hegarty, 2015; Stull & Hegarty, 2016; Thayban et al., 2021; Wu & Shah, 2004). Kedua, mengkonversi objek abstrak menjadi objek nyata (Olimpo et al., 2015). Tugas-tugas tersebut dapat dilakukan dengan benar jika

mahasiswa memiliki keterampilan merepresentasi (*Representational Competence*).

Representational Competence (RC) merupakan seperangkat keterampilan representasi dalam mendukung pembelajaran dan problem solving. Serangkaian keterampilan ini disebut sebagai meta-representasional competence, atau kemampuan dalam mengevaluasi, memodifikasi, memilih, memproduksi, dan menggunakan representasi secara produktif (DiSessa & Sherin, 2000). *Representational competence* sangat berkontribusi terhadap keberhasilan mahasiswa dalam berbagai disiplin ilmu STEM. Beberapa penelitian menunjukkan mahasiswa yang memiliki *representational competence* yang buruk gagal dalam memahami konsep diberbagai disiplin ilmu STEM termasuk matematika (Nathan & Kim, 2007), Fisika (Kohl & Finkelstein, 2005), biologi (Wilder & Brinkerhoff, 2007) dan kimia (Karonen et al., 2021; Kozma et al., 2000; Kurniawati et al., 2023; Stieff, 2011; Stull et al., 2013; Thayban et al., 2020, 2021)

Representational competence sangat penting dalam menunjang pemahaman materi kimia terutama pada materi yang membutuhkan kemampuan visuo-spasial seperti bentuk molekul, stereokimia, simetri, dan kristalografi. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kontribusi *Representational competence* dalam pemahaman mahasiswa terhadap bentuk molekul.

METODE PENELITIAN

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain korelasional. Desain penelitian korelasional menguji hubungan antara *Representational competence* dan pemahaman siswa tentang geometri molekul. 126 mahasiswa Departemen Kimia (24 laki-laki, 102 perempuan) yang telah mengambil mata kuliah ikatan kimia. Peserta ditentukan menggunakan teknik convenience sampling. Semua peserta diuji untuk kesetaraan dengan memberikan tes struktur atom. Uji homogenitas menggunakan Uji Levene ($P > .05$) menunjukkan bahwa skor tes bentuk molekul memiliki varians yang sama (homogen). Uji kesamaan rata-rata

dilakukan menggunakan ANOVA satu arah ($F(1,61) = 1.446$; $P > .05$) menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan signifikan dalam skor tes Materi struktur atom.

Instrumen Penelitian

Tes Representational competence (TRC)

Representational competence mahasiswa diukur menggunakan instrumen tes yang diadopsi dari penelitian yang dilakukan oleh Sim & Daniel (2014). TRC dibagi menjadi dua bagian, dengan 25 item pilihan ganda di Bagian A, dan 15 item dengan format respons singkat di Bagian B. Ada lima *Representational competence* yang akan dievaluasi pada penelitian ini. Keterampilan-keterampilan tersebut adalah: (1) kemampuan untuk menginterpretasikan makna representasi kimia, (2) kemampuan untuk menerjemahkan antara representasi yang berbeda pada tingkat yang sama, (3) kemampuan untuk menerjemahkan antara representasi yang berbeda di berbagai tingkat, (4) kemampuan untuk menggunakan representasi untuk menghasilkan penjelasan, dan (5) kemampuan untuk membuat hubungan antara representasi dan konsep. TRC memiliki reliabilitas kategori tinggi dengan nilai 0,95.

Tes Pemahaman Bentuk Molekul (TPBM)

TPBM terdiri dari 20 butir soal dalam bentuk essay. Masing-masing nomor terdiri 5 pertanyaan essay (Ramalkan bentuk masing-masing molekul/ion!, Gambarkan Struktur Lewis masing masing molekul/ion!, Transformasikan Gambar Struktur Lewis (2 Dimensi) menjadi Bentuk Molekul (3 Dimensi)!, Perkirakan sudut ikatan antara substituen pada masing masing molekul/ion!, Perkirakan panjang ikatan substituen pada masing-masing molekul/ion!). Bentuk molekul yang diberikan berdasarkan jumlah bilangan koordinasi. Berdasarkan uji reliabilitas tersebut didapatkan koefisien Alpha Cronbach sebesar 0,905 untuk 20 butir soal. Reliabilitas instrumen TPBM termasuk dalam kategori sangat tinggi dan memenuhi syarat untuk digunakan sebagai instrumen penilaian pada penelitian.

Pengumpulan data

Pengumpulan data dilakukan selama dua minggu. Pada saat pengumpulan data, mahasiswa sedang berada di semester genap dan telah diajarkan semua konsep dasar terkait

bentuk molekul yang akan dinilai dalam penelitian ini.

Analisi Data

Analisis korelasional dilakukan untuk menentukan hubungan antara *Representational competence* dan pemahaman siswa tentang materi bentuk molekul. Uji normalitas dan uji homogenitas adalah langkah penting sebelum analisis ini dilakukan. Hasil uji normalitas Kolmogorov-Smirnov (One Sample K-S) menunjukkan $P > 0,05$, hal ini berarti data skor mengikuti distribusi normal. Uji Levene menunjukkan bahwa data skor homogen, karena tingkat signifikansinya lebih besar dari 0,05. Analisis korelasional dilakukan menggunakan korelasi koefisien Pearson menggunakan SPSS. Koefisien korelasi (rhitung) yang diperoleh diinterpretasi berdasarkan Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Kriteria Menginterpretasikan Koefisien Korelasi

| Koefisien Korelasi | Interpretasi |
|--------------------|--|
| 0,86 – 1,00 | Hubungan antara kedua variabel sangat kuat |
| 0,66 – 0,85 | Hubungan antara kedua variabel kuat |
| 0,36 – 0,65 | Hubungan antara kedua variabel cukup |
| 0,20 – 0,35 | Hubungan antara kedua variabel lemah |
| 0,00 – 0,19 | Tidak ada hubungan |

(sumber: Creswell, 2014)

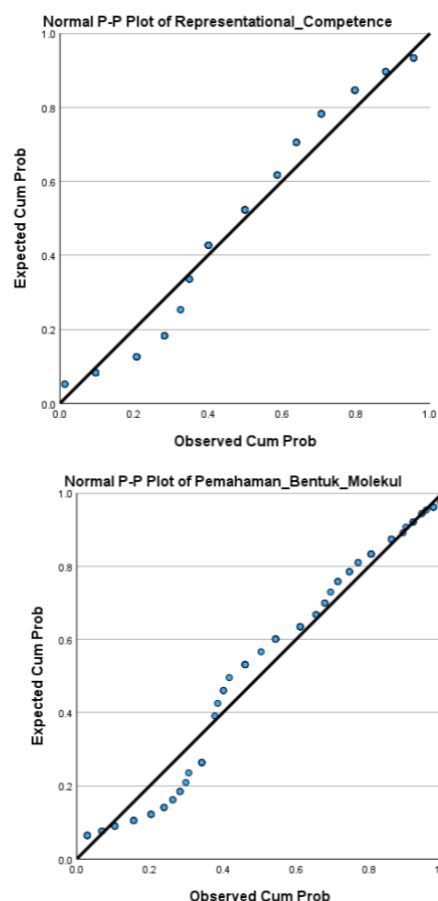
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kontribusi *Representational competence* dalam pemahaman mahasiswa terhadap bentuk molekul. Hasil tes *Representational competence* (n=126) menunjukkan rata-rata 33,76 dari skor maksimal 40. Hal ini dapat dikatakan bahwa *Representational competence* mahasiswa terdapat pada kategori tinggi. Hasil tes Pemahaman Bentuk Molekul (n=126) menunjukkan rata-rata 77,13 dari skor maksimal 100. Hal ini dapat dikatakan bahwa pemahaman mahasiswa terhadap materi bentuk molekul cukup baik. Deskripsi hasil Tes *Representational competence* dan Tes pemahaman bentuk molekul mahasiswa dapat dilihat pada Tabel 1.2

Tabel 1.2 Deskripsi hasil TRC dan TPBM mahasiswa

| Hasil Tes | Jumlah Soal | Jumlah Mahasiswa | Skor Min | Skor Max | Rata-Rata | Std. Deviation |
|-----------------------------|-------------|------------------|----------|----------|-----------|----------------|
| Representational Competence | 40 | 126 | 27 | 40 | 33,76 | 4,150 |
| Pemahaman Bentuk Molekul | 20 | 126 | 60 | 99 | 77,13 | 11,253 |

Grafik probabilitas normal dari skor TRC dan skor TPBM ditunjukkan dalam Gambar 1. Pemeriksaan visual dari grafik probabilitas normal menunjukkan sedikit atau tidak ada pelanggaran terhadap normalitas data karena garis yang mewakili distribusi data aktual mengikuti diagonal dengan rapat.



Gambar 1. Grafik probabilitas normal dari skor TRC dan skor TPBM

Hasil uji korelasi Person Product-moment correlation untuk menentukan korelasi antara *Representational competence* dengan pemahaman bentuk molekul mahasiswa menggunakan aplikasi SPSS Statistic adalah $r(126) = +0.822$; $P < 0.05$ (Tabel 1.3). Berdasarkan harga koefisien korelasi (rhitung) yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa

Representational competence berkontribusi terhadap kesuksesan mahasiswa dalam memahami materi bentuk molekul dan hubungan kedua variabel termasuk dalam kategori kuat/tinggi.

Tabel 1.3 Hasil uji korelasi Person Product-moment

| | Representational Competence | Pemahaman Bentuk Molekul |
|------------------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| Representational Competence | | |
| Pearson Correlation (r) | 1 | .822** |
| Sig. (2-tailed) | | <.001 |
| (P) | | |
| N | 126 | 126 |
| Pemahaman Bentuk Molekul | | |
| Pearson Correlation (r) | .822** | 1 |
| Sig. (2-tailed) | <.001 | |
| (P) | | |
| N | 126 | 126 |

Hubungan positif yang kuat antara *Representational Competence* dan pemahaman bentuk molekul. Hal ini didukung oleh penelitian (Scheid et al., 2018) yang menyatakan bahwa kedua konsep tersebut mungkin saling memengaruhi dan bahkan meningkatkan satu sama lain. Hubungan positif antara *Representational Competence* dan pemahaman bentuk molekul telah terbukti sebelumnya (contohnya, Nieminen et al., 2013). Namun, perbedaan penelitian ini dan penelitian sebelumnya adalah kemampuan representasi diukur dalam konteks topik yang sama memungkinkan dapat mempengaruhi hubungan tersebut. Oleh karena itu, penting untuk ketahui bahwa dalam penelitian ini, meskipun diukur tanpa konteks topik yang membingungkan, kedua konsep tersebut masih menunjukkan hubungan yang signifikan.

Representational Competence dan pemahaman bentuk molekul dianggap dapat berkembang secara bersamaan. *Representational Competence* merupakan bagian dari pemahaman bentuk molekul mahasiswa (Medina & Suthers, 2013). Namun, kedua konsep tersebut ternyata dapat dipisahkan secara statistik. Peneliti menduga ada beberapa alasan mengapa hubungan statistik antara keduanya tidak lebih kuat. *Pertama*, perkembangan pengetahuan konseptual dalam pembelajaran STEM terkait dengan berbagai aspek yang mungkin (sebagian) independen dari *Representational Competence*. Ini bisa mencakup kemampuan penalaran (Stelzer et al., 2021), konsepsi awal

yang berasal dari pengalaman sehari-hari (Edelsbrunner et al., 2018), pengetahuan sebelumnya dari pembelajaran sebelumnya tentang topik terkait (Simonsmeier et al., 2022), dan faktor afektif-motivasi (Cordova et al., 2014).

Selain itu, perlu diperhatikan juga berbagai aspek lain dari *Representational Competence* dan konsep kompetensi meta-representasional, yang berkaitan dengan kemampuan mahasiswa untuk memahami makna representasi dalam domain yang relevan dan konsep-konsep tertentu (DiSessa & Sherin, 2000). Bagi kelompok orang dengan tingkat kompetensi meta-representasional yang sangat tinggi, hubungan antara kedua konsep tersebut mungkin hampir sempurna. Artinya, individu yang memahami dengan baik cara terbaik untuk menyelesaikan tugas konseptual tertentu dengan menggunakan atau menciptakan jenis representasi yang sesuai mungkin dapat menginvestasikan kemampuan representasional mereka secara optimal ke dalam pengetahuan konseptual. Namun, hal ini diasumsikan bahwa kemampuan (meta-) representasional merupakan faktor penentu tunggal dalam pembentukan pemahaman bentuk molekul, yang perlu diteliti secara teoritis dan empiris. Pada tingkat kemampuan meta-representasional yang lebih rendah, kedua konsep tersebut mungkin berkembang secara lebih independen (meskipun pemahaman bentuk molekul yang tinggi mungkin hampir tidak mungkin tercapai pada tingkat kemampuan meta-representasional yang rendah). Perbedaan dalam kemampuan meta-representasional dapat disebabkan oleh perbedaan dalam penekanan yang diberikan oleh pengajar dalam mengatasi hubungan antara representasi dan konsep dalam pembelajaran mereka melalui tugas-tugas aktivitas representasional (Scheid et al., 2019) atau perbedaan dalam upaya yang dilakukan individu untuk menghubungkan keduanya.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa mahasiswa memiliki tingkat *Representational Competence* yang tinggi dan pemahaman yang cukup baik terhadap bentuk molekul. Terdapat hubungan positif yang kuat antara *Representational Competence* dan pemahaman bentuk molekul, yang berkontribusi pada

kesuksesan mahasiswa dalam memahami materi tersebut. Meskipun keduanya dianggap berkembang secara bersamaan, penelitian ini menunjukkan bahwa mereka dapat dipisahkan secara statistik, mungkin disebabkan oleh faktor-faktor lain seperti kemampuan penalaran dan konsepsi awal. Tingkat kemampuan meta-representasional individu juga dapat mempengaruhi hubungan antara keduanya, dengan individu yang memiliki tingkat kemampuan yang tinggi mungkin dapat menginvestasikan kemampuan representasional mereka secara optimal ke dalam pengetahuan konseptual.

DAFTAR PUSTAKA

- Abraham, M., Varghese, V., & Tang, H. (2010). Using molecular representations to aid student understanding of stereochemical concepts. *Journal of Chemical Education*, *87*(10), 1933-1937. <https://doi.org/10.1021/ed100497f>
- Appling, J. R., & Peake, L. C. (2004). Instructional Technology and Molecular Visualization. *Journal of Science Education and Technology*, *13*(4), 307-314. <https://doi.org/10.1023/b:jost.0000045463.40297.0f>
- Barrett, T. J., Stull, A. T., Hsu, T. M., & Hegarty, M. (2015). Constrained interactivity for relating multiple representations in science: When virtual is better than real. *Computers and Education*, *80*, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2014.09.009>
- Cordova, J. R., Sinatra, G. M., Jones, S. H., Taasobshirazi, G., & Lombardi, D. (2014). Confidence in prior knowledge, self-efficacy, interest and prior knowledge: Influences on conceptual change. *Contemporary Educational Psychology*, *39*(2), 103-117. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2014.03.006>
- Creswell, J. W. (2014). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*. Sage Publications.
- Dean, N. L., Ewan, C., & McIndoe, J. S. (2016). Applying Hand-Held 3D Printing Technology to the Teaching of VSEPR Theory. *Journal of Chemical Education*, *93*(9), 1615-1620. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.6b00186>
- DiSessa, A. A., & Sherin, B. L. (2000). Meta-representation: An introduction. *Journal of Mathematical Behavior*, *19*(4), 231-247. [https://doi.org/10.1016/S0732-3123\(01\)00051-7](https://doi.org/10.1016/S0732-3123(01)00051-7)
- Edelsbrunner, P. A., Schalk, L., Schumacher, R., & Stern, E. (2018). Variable control and conceptual change: A large-scale quantitative study in elementary school. *Learning and Individual Differences*, *66*, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2018.02.003>
- Effendy. (2017). *Molekul, Struktur, dan Sifat-sifatnya*. Indonesian Academic Publishing.
- Furió, C., Calatayud, M. L., Bárcenas, S. L., & Padilla, O. M. (2000). Functional fixedness and functional reduction as common sense reasonings in chemical equilibrium and in geometry and polarity of molecules. *Science Education*, *84*(5), 545-560. [https://doi.org/10.1002/1098-237X\(200009\)84:5<545::AID-SCE1>3.0.CO;2-1](https://doi.org/10.1002/1098-237X(200009)84:5<545::AID-SCE1>3.0.CO;2-1)
- Gillespie, R. J. (2004). Teaching molecular geometry with the VSEPR model. In *Journal of Chemical Education* (Vol. 81, Issue 3), 307-314. <https://doi.org/10.1021/ed081p298>
- Karonen, M., Murtonen, M., Södervik, I., Manninen, M., & Salomäki, M. (2021). Heuristics hindering the development of understanding of molecular structures in university level chemistry education: The lewis structure as an example. *Education Sciences*, *11*(6), 1060-1075. <https://doi.org/10.3390/educsci11060258>
- Kohl, P. B., & Finkelstein, N. D. (2005). Student representational competence and self-assessment when solving physics problems. *Physical Review Special Topics - Physics Education*, *2*(1), 013101. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPE.2.013101>

- Research, 1(1).
<https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPE.R.1.010104>
- Kozma, R., Chin, E., Russell, J., & Marx, N. (2000). The Roles of Representations and Tools in the Chemistry Laboratory and Their Implications for Chemistry Learning. *Journal of the Learning Sciences*, 9(2).
https://doi.org/10.1207/s15327809jls0902_1
- Kurniawati, E., Thayban, T., Alio, L., & Sukamto, K. (2023). Virtual Vs Concrete Media: Improving Representation Competence. *Jurnal Ilmiah Kanderang Tingang*, 14(1), 102–111.
<https://doi.org/10.37304/jikt.v14i1.189>
- Medina, R., & Suthers, D. (2013). Inscriptions Becoming Representations in Representational Practices. *Journal of the Learning Sciences*, 22(1).
<https://doi.org/10.1080/10508406.2012.737390>
- Nathan, M. J., & Kim, S. (2007). Pattern Generalization with Graphs and Words: A Cross-Sectional and Longitudinal Analysis of Middle School Students' Representational Fluency. *Mathematical Thinking and Learning*, 9(3).
<https://doi.org/10.1080/10986060701360886>
- Nieminen, P., Savinainen, A., & Viiri, J. (2013). GENDER DIFFERENCES IN LEARNING OF THE CONCEPT OF FORCE, REPRESENTATIONAL CONSISTENCY, AND SCIENTIFIC REASONING. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 11(5). <https://doi.org/10.1007/s10763-012-9363-y>
- Olimpo, J. T., Kumi, B. C., Wroblewski, R., & Dixon, B. L. (2015). Examining the relationship between 2D diagrammatic conventions and students' success on representational translation tasks in organic chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*.
<https://doi.org/10.1039/c4rp00169a>
- Özmen, H. (2004). Some Student Misconceptions in Chemistry: A Literature Review of Chemical Bonding. *Journal of Science Education and Technology*, 13(2).
<https://doi.org/10.1023/b:jost.0000031255.92943.6d>
- Padalkar, S., & Hegarty, M. (2015). Models as feedback: Developing representational competence in chemistry. *Journal of Educational Psychology*, 107(2), 451–467. <https://doi.org/10.1037/a0037516>
- Scheid, J., Müller, A., Hettmannsperger, R., & Schnotz, W. (2018). *Representational Competence in Science Education: From Theory to Assessment*.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-89945-9_13
- Scheid, J., Müller, A., Hettmannsperger, R., & Schnotz, W. (2019). Improving learners' representational coherence ability with experiment-related representational activity tasks. *Physical Review Physics Education Research*, 15(1).
<https://doi.org/10.1103/physrevphyseducres.15.010142>
- Sim, J. H., & Daniel, E. G. S. (2014). Representational competence in chemistry: A comparison between students with different levels of understanding of basic chemical concepts and chemical representations. *Cogent Education*, 1(1).
<https://doi.org/10.1080/2331186X.2014.991180>
- Simonsmeier, B. A., Flaig, M., Deiglmayr, A., Schalk, L., & Schneider, M. (2022). Domain-specific prior knowledge and learning: A meta-analysis. *Educational Psychologist*, 57(1).
<https://doi.org/10.1080/00461520.2021.1939700>
- Stelzer, F., Richard's, M. M., Andrés, M. L., Vernucci, S., & Introzzi, I. (2021). Cognitive and maths-specific predictors of fraction conceptual knowledge. *Educational Psychology*, 41(2).
<https://doi.org/10.1080/01443410.2019.1693508>
- Stieff, M. (2011). When is a molecule three dimensional? A task-specific role for imagistic reasoning in advanced

- chemistry. *Science Education*.
<https://doi.org/10.1002/sce.20427>
- Stull, A. T., Barrett, T., & Hegarty, M. (2013). Usability of concrete and virtual models in chemistry instruction. *Computers in Human Behavior*.
<https://doi.org/10.1016/j.chb.2013.06.012>
- Stull, A. T., & Hegarty, M. (2016). Model manipulation and learning: Fostering representational competence with virtual and concrete models. *Journal of Educational Psychology*.
<https://doi.org/10.1037/edu0000077>
- Sumarni, W. (2018). Penerapan Learning Cycle Approach Sebagai Upaya Meminimalisasi Miskonsepsi Mahasiswa Pada Materi Struktur Molekul. *Jurnal Penelitian Pendidikan Unnes*, 27(2).
- Thayban, T., Habiddin, H., & Utomo, Y. (2020). Concrete Model VS Virtual Model: Roles and Implications in Chemistry Learning. *J-PEK (Jurnal Pembelajaran Kimia)*, 5(2), 90–107.
<https://doi.org/10.17977/um026v5i22020p090>
- Thayban, T., Habiddin, H., Utomo, Y., & Muarifin, M. (2021). Understanding of Symmetry: Measuring the Contribution of Virtual and Concrete Models for Students with Different Spatial Abilities. *Acta Chimica Slovenica*, 68(3), 736–743.
<https://doi.org/10.17344/acsi.2021.6836>
- Tuvi-Arad, I., & Gorsky, P. (2007). New visualization tools for learning molecular symmetry: A preliminary evaluation. *Chemistry Education Research and Practice*.
<https://doi.org/10.1039/B6RP90020H>
- Uyulgan, M. A., Akkuzu, N., & Alpat, Ş. (2014). Assessing the students' understanding related to molecular geometry using a two-tier diagnostic test. *Journal of Baltic Science Education*, 13(6).
<https://doi.org/10.33225/jbse/14.13.839>
- Uyulgan, M. A., & Nalan, A. (2016). An Insight Towards Conceptual Understanding: Looking into The Molecular Structures of Compounds. *Acta Didactica Napocensia*, 9(4).
- Wilder, A., & Brinkerhoff, J. (2007). Supporting Representational Competence in High School Biology With Computer-Based Biomolecular Visualizations. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 26.
- Wu, H. K., & Shah, P. (2004). Exploring visuospatial thinking in chemistry learning. In *Science Education*.
<https://doi.org/10.1002/sce.10126>