

Media Virtual Vs Media Konkret: Peningkatan Kompetensi Dalam Merepresentasi

Erga Kurniawati⁽¹⁾, Thayban Thayban⁽²⁾, La Alio⁽³⁾, Kostiawan Sukamto⁽⁴⁾

^{1,2,3,4}Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Negeri Gorontalo, Indonesia
Email Author: ergakurnia08@ung.ac.id

Diterima:10-12-2022; Diperbaiki:09-01-2023; Disetujui:12-01-2023

ABSTRAK

Representational Competence (RC) dapat ditingkatkan dengan pembelajaran berbantuan media virtual dan konkret. Namun, efektivitas penggunaan media virtual berbeda secara signifikan dengan media konkret. Studi terbaru tidak sepenuhnya mengkonfirmasi penggunaan media virtual dan konkret karena bahan yang digunakan memiliki tingkat visuo-spasial yang rendah. Penelitian ini menggunakan bahan simetri molekuler dengan tingkat visuo-spasial tinggi. Penelitian ini bertujuan membandingkan keefektifan penggunaan media konkret dan virtual terhadap pemahaman siswa tentang materi simetri. Penelitian dilakukan dengan menggunakan desain eksperimen semu dengan 62 siswa sebagai sampel. Instrumen tes pemahaman simetri memiliki koefisien reliabilitas berdasarkan uji Cronbach Alpha 0,897. Analisis data dilakukan dengan uji analisis varians dua arah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa media virtual lebih efektif daripada media konkret dalam meningkatkan RC dan memahami simetri molekuler.

Kata kunci: *Representational Competence (RC), Media Virtual, Media Konkret, Simetri*

PENDAHULUAN

Semakin banyak inovasi dalam pendidikan sains menargetkan kompetensi representasional (RC) sebagai *influencer* yang mendukung perubahan konseptual dan meningkatkan hasil belajar siswa. RC mencakup berbagai keterampilan yang berkaitan dengan menginterpretasi, menyeleksi, mengkonstruksi dan menerjemahkan untuk pembelajaran, komunikasi dan pemecahan masalah. Siswa dapat mencapai keterampilan ini jika pembelajaran dirancang dengan tepat. Meskipun jumlah model pembelajaran yang secara langsung menargetkan RC meningkat (misalnya Hubber et al., 2010; Stieff, 2011; Stieff et al., 2018; Wu & Rau, 2018), efektivitas model pembelajaran tersebut dapat Meningkatkan pembelajaran, namun untuk meningkatkan RC masih belum jelas. Rancangannya didasarkan pada asumsi bahwa penguasaan praktik representasi membantu siswa belajar lebih baik (DiSessa & Sherin, 2000; Kozma et al., 2000; Thayban et al., 2021). Sayangnya, dukungan empiris untuk hubungan yang kuat antara RC dan pemahaman konseptual masih dalam tahap penelitian. Hanya ada sebagian bukti bahwa RC dan pemahaman konseptual berkembang secara bersamaan.

Para peneliti menganjurkan desain pembelajaran untuk meningkatkan RC sekaligus pemahaman konseptual dapat dilakukan dengan menggunakan media



pembelajaran (Kozma & Russell, 1997; Stieff, 2011; Thayban et al., 2020, 2021; Wu & Rau, 2018). Strategi pembelajaran berbantuan media virtual atau media konkret dipercaya sebagai solusi dari masalah di atas (Stieff et al., 2005; Stull et al., 2013; Stull & Hegarty, 2016).

Pembelajaran berbantuan media virtual atau konkret menyajikan informasi visuo-spasial dengan baik daripada tanpa menggunakan media (Stull & Hegarty, 2016). Dengan menggunakan media konkret, mahasiswa dapat merasakan bentuk tiga dimensi dari molekul melalui penglihatan dan sentuhan serta mempermudah dalam memanipulasi molekul karena sesuai dengan apa yang dilihat. Sebaliknya, media virtual tidak seperti media konkret, interaksi dengan molekul dalam komputer biasanya tidak sesuai dengan pergerakan objek yang dilihat nyata sehingga membutuhkan upaya kognitif tambahan untuk menyesuaikan media virtual dengan objek yang nyata (Patterson & Silzars, 2009).

Di sisi lain, media virtual menawarkan banyak keunggulan dibandingkan media konkret. Umumnya media virtual lebih portabel karena semakin canggihnya *Tablet* dan *Smart Phone*. Bentuk molekul dengan media virtual dapat diunduh di internet sehingga mahasiswa tidak perlu meluangkan waktu untuk membuatnya. Dalam hal fleksibilitas, Media virtual dapat berubah secara visual, seperti representasi tiga dimensi dan dua dimensi, dan dapat ditampilkan secara bersamaan dengan representasi lainnya (Keehner et al., 2008).

Penelitian membandingkan keefektifan penggunaan media virtual dan konkret dalam kimia telah dilakukan oleh (Fjeld et al., 2007), (Abraham et al., 2010), dan (Stull & Hegarty, 2016) menunjukkan hasil yang tidak sepenuhnya menguatkan. (Fjeld et al., 2007) menemukan bahwa pembelajaran dengan media konkret lebih unggul daripada dengan media virtual dan menyimpulkan bahwa hal ini terjadi karena kesulitan menggunakan *keyboard* untuk merotasi media virtual. Disisi lain, (Abraham et al., 2010) menemukan hal yang berbeda yaitu pembelajaran dengan menggunakan media virtual dan konkret menunjukkan tidak ada perbedaan yang signifikan antara kelompok perlakuan namun, kelompok media virtual lebih baik dibandingkan media konkret. Selain itu, (Stull & Hegarty, 2016) menemukan tidak adanya perbedaan yang signifikan antara kedua media sehingga menyimpulkan bahwa pemahaman kimia organik pada materi stereokimia dapat dilakukan pembelajaran dengan dua media dan mengusulkan mengkombinasikan dua media tersebut.

Berdasarkan beberapa penelitian tersebut dapat dianggap perbedaan keefektifan penggunaan media virtual dan konkret masih belum spesifik. Bagaimanapun juga, Al-Balushi & Al-Hajri, (2014), Mike Stieff et al., (2005), Stull et al., (2013), serta Stull & Hegarty, (2016) tetap percaya bahwa media pembelajaran media virtual dan konkret dapat memberikan hasil yang berbeda dalam implementasinya pada pembelajaran. Media konkret sangat berbeda dengan media virtual walaupun tujuan adanya Media tersebut untuk membantu mahasiswa dalam memvisualisasikan bentuk molekul. Namun, kognitif yang dibangun dalam

menggunakan kedua media ini berbeda. Hal ini didukung oleh hasil penelitian Fjeld et al., (2007) bahwa menggunakan media virtual membutuhkan tugas-tugas kognitif tambahan yang lebih banyak dibandingkan dengan media konkret.

Keefektifan penggunaan media pembelajaran media virtual atau konkret sangat bergantung pada jenis materi yang akan dibelajarkan (Barrett et al., 2015). Materi pembelajaran yang digunakan untuk membedakan media virtual dan konkret seharusnya merupakan materi dengan topik spasial tingkat tinggi (Barrett et al., 2015; Stull et al., 2013). Sebagai contoh, pada studi sebelumnya (Abraham et al., 2010; Al-Balushi & Al-Hajri, 2014; Barrett et al., 2015; Fjeld et al., 2007; Stull et al., 2013; Stull & Hegarty, 2016) berfokus pada materi stereokimia, siswa belajar untuk memanipulasi dan mengendalikan variabel atau menjalankan simulasi eksperimental menggunakan media virtual atau konkret. Jika materi tersebut masih belum bisa membedakan efektivitas penggunaan kedua Media, maka diperlukan materi abstrak atau topik dengan tingkat spasial yang lebih tinggi.

Materi simetri molekul mempunyai banyak operasi yang harus dilakukan untuk mengetahui jenis simetri yang terdapat pada molekul sehingga diperlukan kemampuan visuo-spasial yang lebih tinggi (Atkins & de Paula, 2006; Effendy, 2017). Simetri molekul adalah salah satu materi kimia yang sangat penting untuk dipelajari. Materi simetri molekul mempelajari tentang konsep operasi simetri yang mungkin dimiliki oleh suatu molekul yang perlu dipahami secara keseluruhan oleh mahasiswa karena materi tersebut sebagai prasyarat dalam memahami materi kimia lanjut. Dalam konteks kimia lanjut, materi simetri molekul digunakan sebagai dasar dalam memahami materi kimia zat padat, kristalogafi, stereokimia, dan kimia quantum (Achuthan et al., 2018; Antonoglou et al., 2011; Cass et al., 2005; Fuchigami et al., 2016; Niece, 2019; Schiltz & Oliver-Hoyo, 2012). Selain itu, materi simetri molekul dapat dikaitkan dengan sifat kepolaran dan kekiralan molekul (Atkins & de Paula, 2006; Effendy, 2017). Dengan mengetahui operasi simetri suatu molekul, sifat kepolaran serta kekiralan dapat diramalkan. Pembelajaran simetri molekul mencakup dua konsep yang perlu dipahami, yaitu operasi simetri dan unsur simetri. Operasi simetri adalah penyusunan ulang atom-atom dalam sebuah molekul berdasarkan rotasi melalui sumbu sejati, refleksi bidang cermin, inversi melalui pusat, dan rotasi sumbu semu. Unsur simetri dapat berupa garis, bidang atau titik. Unsur simetri operasi rotasi melalui sumbu sejati adalah garis; unsur simetri operasi refleksi pada bidang cermin adalah bidang; unsur simetri operasi pusat simetri adalah titik (Atkins & de Paula, 2006; Effendy, 2017).

Upaya dalam memahami operasi simetri molekul seperti mengidentifikasi rotasi sumbu rotasi sejati, refleksi bidang cermin, dan rotasi melalui sumbu rotasi semu mahasiswa harus melakukan beberapa tugas-tugas kognitif. *Pertama*, membangun representasi atau visualisasi objek tiga dimensi dalam ruang dengan kualitas baik (Harle & Towns, 2011). *Kedua*, memanipulasi representatif objek

tiga dimensi dalam ruang (Tuvi-Arad & Gorsky, 2007). Tugas tugas berpikir tersebut sama halnya dalam kemampuan Representational competence.

Uraian di atas menunjukkan bahwa membandingkan keefektifan media virtual dan konkret membutuhkan materi dengan visuo-spasial tingkat tinggi. Materi simetri molekul merupakan materi dengan karakteristik tersebut juga merupakan kemampuan representational competence. Aspek tersebut masih merupakan area yang perlu dikaji lebih lanjut dalam rangka memberikan perpektif yang lebih kuat.

METODOLOGI PENELITIAN

Desain penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah *quasi experiment*. Rancangan penelitian eksperimental semu digunakan untuk menguji efek penggunaan Media virtual dan konkret terhadap pemahaman simetri molekul mahasiswa. Media pembelajaran yaitu media virtual dan konkret merupakan variabel bebas. Pemahaman materi simetri merupakan variabel terikat.

Sampel penelitian ini adalah mahasiswa semester lima Jurusan Kimia berjumlah 62 mahasiswa (26 laki-laki, 36 perempuan) (Umur: $M = 20,5$; $SD = 0,74$) yang mengambil matakuliah ikatan kimia. Semua Patisipan penelitian diuji kesetaraan dengan memberikan tes bentuk molekul. Hasil Uji homogenitas menggunakan *Levene's Tes* ($P > .05$) menunjukkan skor tes bentuk molekul memiliki varian yang sama (homogen) dan uji kesamaan rata-rata dilakukan dengan uji *ANOVA* satu jalur ($F_{(1,61)} = 1,446$; $P > .05$) menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan skor tes materi Bentuk Molekul yang signifikan.

Tes pemahaman materi simetri molekul sebagai instrument pengumpulan data dalam penelitian ini. Instrumen tes ini berupa tes uraian agar dapat melihat kemampuan mahasiswa dalam mengidentifikasi dan merepresentasikan keseluruhan operasi simetri yang ada pada molekul secara mendalam. Instrumen tes terdiri dari 18 butir soal dengan koefisien Alpha Cronbach sebesar 0,905.

Analisis variansi dua jalur digunakan sebagai analisis data pada penelitian ini untuk mengetahui perbedaan keefektifan penggunaan media virtual dan konkret terhadap pemahaman materi simetri molekul mahasiswa dengan bantuan program *SPSS Statistics* versi 22.00.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil tes pemahaman materi simetri mahasiswa menggunakan media virtual dan konkret diberikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Skor Tes Pemahaman Materi Simetri Mahasiswa

Media Pembelajaran	
Media Virtual	Media Konkret
$X = 66,20$	$X = 51,9$
$N = 17$	$N = 19$
$SD = 13,83$	$SD = 18,93$
$X = 44,34$	$X = 36,80$
$N = 14$	$N = 12$
$SD = 21,05$	$SD = 21,5$

Data persentase jawaban benar pada tiap nomor soal tes pemahaman materi simetri diberikan pada Tabel 2.

Berdasarkan hasil uji analisis variansi dua jalur dengan nilai signifikan 0,028 dan $F_{hitung} = 5,049$ yang menunjukkan bahwa terdapat perbedaan pemahaman simetri molekul mahasiswa antara penggunaan media virtual dan konkret. Selanjutnya, hasil persentase skor pemahaman simetri molekul menunjukkan bahwa pemahaman materi simetri dengan menggunakan Media virtual lebih baik dibandingkan menggunakan Media konkret. Temuan ini sesuai dengan penelitian (Stull, Barrett and Hegarty, 2013; Barrett *et al.*, 2015; Stull and Hegarty, 2016) yang menunjukkan bahwa penggunaan Media virtual dapat membantu mahasiswa dalam memahami materi simetri lebih baik dibandingkan dengan penggunaan Media konkret.

Tabel 2. Persentase Jawaban Benar pada tiap Nomor Soal Tes Pemahaman Materi Simetri

No. soal	Molekul	Persentase Jawaban Benar	
		Media Virtual	Media Konkret
1.	CCl_4	59,3	58,1
2.	AsBr_5	86,7	65
3.	SeF_6	49,2	54,4
4.	AsH_3	71,8	69,8
5.	SeF_4	74,2	40,7
6.	IF_5	54	46
7.	ClO_2^-	70,2	28,2
8.	ClF_3	54,4	39,5
9.	ICl_4^-	58,5	60,1
10.	HF	55,6	49,2
11.	ICl_2^-	47,6	36,7
12.	POF_3	63,3	61,7
13.	SO_2F_2	44	44,8
14.	PCl_2F_3	48,4	29,8
15.	CHBrClF	51,2	50
16.	CO_2	53,6	54,4
17.	H_3BO_3	32,9	19,4
18.	$\text{C}_2\text{H}_2\text{Cl}_2$	39,1	21,4
Rata-rata		56,330	46,057

Pemahaman simetri molekul dengan menggunakan Media virtual lebih baik dibandingkan menggunakan Media konkret. Temuan ini sesuai dengan penelitian (Barrett *et al.*, 2015; Stull *et al.*, 2013; Stull & Hegarty, 2016) yang menunjukkan

bahwa penggunaan Media virtual dapat membantu mahasiswa dalam memahami materi simetri lebih baik dibandingkan dengan penggunaan Media konkret.

Media virtual lebih unggul dibandingkan media pembelajaran konkret pada beberapa indikator pembelajaran simetri molekul. *Pertama*, mahasiswa yang menggunakan Media virtual lebih baik dalam meramalkan bentuk molekul terutama dalam menentukan sudut ikatan dibandingkan Media konkret. Hal ini disebabkan oleh Media virtual menyediakan informasi sudut normal dan terdistorsi yang sama seperti data eksperimen secara langsung pada saat meramalkan bentuk molekul selama proses pembelajaran. Berbeda halnya dengan menggunakan Media konkret yang tidak secara langsung tersedia informasi sudut ikatan molekul. Selain itu, sudut molekul yang terbentuk pada Media konkret tidak tepat antara satu sudut dengan sudut lainnya. Sebagai akibatnya, mahasiswa akan mengalami kesulitan dalam menentukan operasi simetri. Ketersediaan dan ketepatan informasi sudut ikatan bentuk molekul menyebabkan mahasiswa terbiasa meramalkan bentuk molekul dengan menyertakan sudut ikatan sehingga memudahkan mahasiswa dalam mengidentifikasi operasi simetri molekul. Hal ini sesuai dengan pernyataan (Jaeggi, Karbach and Strobach, 2017) bahwa terbiasa melihat informasi dalam proses pembelajaran membentuk pelatihan kognitif (*Cognitive Training*) yang dapat meningkatkan kemampuan kognitif.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa mahasiswa yang dibelajarkan dengan Media virtual lebih baik dalam meramalkan bentuk molekul PFCl_4 dibandingkan mahasiswa yang dibelajarkan dengan Media konkret. Mahasiswa yang dibelajarkan menggunakan Media virtual mengetahui bahwa sudut Cl(ek)-P-Cl(ek) akan terdistorsi $< 120^\circ$ yang diakibatkan oleh perbedaan keelektronegatifan antara atom Cl dengan atom F yang berada pada posisi aksial. Sedangkan, mahasiswa yang dibelajarkan menggunakan Media konkret menganggap bahwa perbedaan keelektronegatifan tidak akan berpengaruh pada sudut bentuk molekul sehingga mahasiswa menggambarkan molekul PCl_4F dengan sudut Cl(ek)-P-Cl(ek) normal $= 120^\circ$. Kesalahan ini akan berakibat pada penentuan operasi rotasi dan refleksi yang tidak tepat karena sudut ikatan bentuk molekul mempengaruhi dalam penentuan operasi simetri molekul (Effendy, 2017). Dengan demikian, mahasiswa yang menggunakan Media virtual memiliki pemahaman simetri molekul lebih baik dibandingkan Media konkret.

Kedua, mahasiswa yang menggunakan Media virtual lebih baik mengidentifikasi operasi rotasi melalui sumbu rotasi sejati dibandingkan Media konkret. Hal ini disebabkan keterbatasan interaksi Media virtual terhadap mahasiswa dalam memanipulasi pergerakan bentuk molekul. Bentuk molekul dalam komputer pada Media virtual dimanipulasi hanya menggunakan *mouse* dan *keyboard* menyebabkan frekuensi interaksi antara Media virtual dengan mahasiswa dalam memanipulasi bentuk molekul lebih sedikit. Sebagai akibatnya mahasiswa lebih teliti dalam mengidentifikasi operasi rotasi melalui sumbu rotasi sejati dan mengingatnya dengan baik. Hasil penelitian (Barrett et al., 2015)

menyatakan ketelitian dalam menggunakan Media virtual dengan interaktivitas terbatas dalam proses pembelajaran dapat membantu mahasiswa dalam mengingat setiap detail pergerakan objek tiga dimensi saat dimanipulasi sehingga sangat efisien dan berguna saat menyelesaikan tes objek tiga dimensi tanpa menggunakan media pembelajaran. Sebaliknya, intereksi tak terbatas Media konkret terhadap Media molekuler meningkatkan frekuensi dalam memutar bentuk molekuler mengakibatkan mahasiswa kurang teliti dalam mengingat pergerakan objek tiga dimensi saat mengidentifikasi operasi rotasi melalui sumbu rotasi sejati. Kondisi ini merugikan mahasiswa ketika menyelesaikan tes pemahaman simetri molekuler. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mahasiswa yang dibelajarkan menggunakan Media virtual lebih baik dalam mengidentifikasi operasi rotasi pada molekuler SeF_6 dibandingkan mahasiswa yang dibelajarkan menggunakan Media konkret. Mahasiswa yang dibelajarkan menggunakan Media virtual mengidentifikasi molekuler SeF_6 memiliki sumbu rotasi C_4 , C_3 , dan C_2 . Sedangkan, mahasiswa yang dibelajarkan menggunakan Media konkret menunjukkan molekuler SeF_6 memiliki sumbu rotasi hanya C_3 dan C_2 . Kesalahan ini akan berakibat pada pemahaman simetri molekuler yang tidak tepat.

Ketiga, mahasiswa yang menggunakan Media virtual lebih baik dalam mengidentifikasi operasi refleksi pada bidang cermin dibandingkan Media konkret. Hal ini disebabkan ketersediaan fitur bidang cermin pada Media virtual. Pada saat mahasiswa mempelajari operasi refleksi pada bidang cermin suatu molekuler, Media virtual akan menampilkan semua bidang cermin yaitu bidang cermin vertikal, horizontal, dan diagonal yang terdapat pada molekuler tersebut. Selain itu juga dapat menunjukkan bidang cermin pada molekuler yang tidak memiliki sumbu rotasi sejati. Sebagai akibatnya, mahasiswa tidak membutuhkan kognitif tambahan untuk memvisualisasikan bidang cermin yang terdapat pada molekuler sehingga dapat membantu memahami operasi refleksi dengan mudah. Sebaliknya, Media konkret tidak memiliki bidang cermin untuk merefleksikan bentuk molekuler sehingga mahasiswa membutuhkan kognitif tambahan untuk memvisualisasikan adanya bidang cermin pada molekuler agar dapat mengidentifikasi operasi refleksi. Sebenarnya, Media konkret yang dikembangkan oleh Schiltz, H.K dan Oliver-Hoyo, M.T, (2012) menyediakan satu bidang cermin permanen pada molekuler untuk menunjukkan adanya operasi refleksi molekuler. Namun, Media tersebut kaku tidak dapat digerakan untuk mencari bidang cermin lainnya sehingga tetap saja belum bisa mengatasi adanya kognitif tambahan karena tidak adanya pergerakan untuk menunjukkan bagaimana Media konkret melakukan operasi refleksi lainnya. Sebagai akibatnya, mahasiswa mengalami kesulitan dalam menyelesaikan tes pemahaman simetri molekuler.

Hasil penelitian mahasiswa yang dibelajarkan menggunakan Media virtual lebih baik dalam mengidentifikasi operasi refleksi pada bidang cermin molekuler POF_3 dibandingkan mahasiswa yang dibelajarkan menggunakan Media konkret. Mahasiswa yang dibelajarkan menggunakan Media virtual molekuler POF_3

memiliki bidang cermin vertikal pada pojok-pojok atom F. Sedangkan, mahasiswa yang dibelajarkan menggunakan Media konkret menunjukkan adanya bidang cermin horizontal dan diagonal pada molekul POF_3 . Kesalahan ini akan berakibat pada pemahaman materi simetri yang tidak tepat.

KESIMPULAN

Kemampuan Representational Competence dapat ditingkatkan dengan media virtual. Hal ini dibuktikan dengan Pemahaman simetri molekul mahasiswa yang dibelajarkan dengan menggunakan Media virtual lebih baik dibandingkan Media konkret.

DAFTAR RUJUKAN

- Abraham, M., Varghese, V., & Tang, H. (2010). Using molecular representations to aid student understanding of stereochemical concepts. *Journal of Chemical Education*. <https://doi.org/10.1021/ed100497f>
- Achuthan, K., Kolil, V. K., & Diwakar, S. (2018). Using virtual laboratories in chemistry classrooms as interactive tools towards modifying alternate conceptions in molecular symmetry. *Education and Information Technologies*. <https://doi.org/10.1007/s10639-018-9727-1>
- Al-Balushi, S. M., & Al-Hajri, S. H. (2014). Associating animations with concrete models to enhance students' comprehension of different visual representations in organic chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*. <https://doi.org/10.1039/c3rp00074e>
- Antonoglou, L. D., Charistos, N. D., & Sigalas, M. P. (2011). Design, development and implementation of a technology enhanced hybrid course on molecular symmetry: Students' outcomes and attitudes. *Chemistry Education Research and Practice*. <https://doi.org/10.1039/C0RP90013C>
- Atkins, P., & de Paula, J. (2006). Physical Chemistry 8th Edition. In *W.H. Freeman and Company New York*.
- 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*. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2014.09.009>
- Cass, M. E., Rzepa, H. S., Rzepa, D. R., & Williams, C. K. (2005). An Animated Interactive Overview of Molecular Symmetry. *Journal of Chemical Education*, 82(11), 1742. <https://doi.org/10.1021/ed082p1742>
- DiSessa, A. A., & Sherin, B. L. (2000). Meta-representation: An introduction. *Journal of Mathematical Behavior*, 19(4). [https://doi.org/10.1016/S0732-3123\(01\)00051-7](https://doi.org/10.1016/S0732-3123(01)00051-7)
- Effendy. (2017). *Molekul, Struktur, dan Sifat-sifatnya*. Indonesian Academic Publishing.

- Fjeld, M., Fredriksson, J., Ejdestig, M., Duca, F., Bötschi, K., Voegtli, B., & Juchli, P. (2007). Tangible User Interface for Chemistry Education: Comparative Evaluation and Re-Design. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 805–808. <https://doi.org/10.1145/1240624.1240745>
- Fuchigami, K., Schrandt, M., & Miessler, G. L. (2016). Discovering Symmetry in Everyday Environments: A Creative Approach to Teaching Symmetry and Point Groups. *Journal of Chemical Education*. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00325>
- Harle, M., & Towns, M. (2011). A review of spatial ability literature, its connection to chemistry, and implications for instruction. In *Journal of Chemical Education*. <https://doi.org/10.1021/ed900003n>
- Hubber, P., Tytler, R., & Haslam, F. (2010). Teaching and learning about force with a representational focus: Pedagogy and teacher change. *Research in Science Education*, 40(1). <https://doi.org/10.1007/s11165-009-9154-9>
- Jaeggi, S. M., Karbach, J., & Stroback, T. (2017). Editorial Special Topic: Enhancing Brain and Cognition Through Cognitive Training. *Journal of Cognitive Enhancement*, 1(4), 353–357. <https://doi.org/10.1007/s41465-017-0057-9>
- Keehner, M., Hegarty, M., Cohen, C., Cohen, C., Khooshabeh, P., & Montello, D. R. (2008). Spatial reasoning with external visualizations: what matters is what you see, not whether you interact. *Cognitive Science*, 32(7), 1099–1132. <https://doi.org/10.1080/03640210801898177>
- 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
- Kozma, & Russell, J. (1997). Multimedia and understanding: Expert and novice responses to different representations of chemical phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(9), 949–968.
- Niece, B. K. (2019). Custom-Printed 3D Models for Teaching Molecular Symmetry. *Journal of Chemical Education*, 96(9), 2059–2062. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00053>
- Patterson, R., & Silzars, A. (2009). Immersive stereo displays, intuitive reasoning, and cognitive engineering. *Journal of the Society for Information Display*. <https://doi.org/10.1889/jsid17.5.443>
- Schiltz, H. K., & Oliver-Hoyo, M. T. (2012). Physical models that provide guidance in visualization deconstruction in an inorganic context. *Journal of Chemical Education*. <https://doi.org/10.1021/ed200540p>
- 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>

- Stieff, M., Bateman, R. C., & Uttal, D. H. (2005). *Teaching and Learning with Three-dimensional Representations BT - Visualization in Science Education* (J. K. Gilbert, Ed.; pp. 93–120). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/1-4020-3613-2_7
- Stieff, M., Origenes, A., DeSutter, D., Lira, M., Banevicius, L., Tabang, D., & Cabel, G. (2018). Operational constraints on the mental rotation of STEM representations. *Journal of Educational Psychology*. <https://doi.org/10.1037/edu0000258>
- 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>
- 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>
- Wu, S. P. W., & Rau, M. A. (2018). Effectiveness and efficiency of adding drawing prompts to an interactive educational technology when learning with visual representations. *Learning and Instruction*, 55. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2017.09.010>