

## Kajian Konseptual Multirepresentasi pada Materi Perkuliahan Kelistrikan

### Abstrak

Sebagian besar konsep-konsep fisika disajikan dalam berbagai format representasi yang diistilahkan sebagai multirepresentasi. Multirepresentasi dapat dijabarkan dalam empat bentuk representasi, yaitu representasi verbal, representasi diagram (gambar), representasi matematis, dan representasi grafik. Karakteristik materi kelistrikan yang bersifat abstrak dan cukup kompleks menjadikan materi ini sulit dipahami oleh sebagian besar mahasiswa calon guru fisika. Sejumlah penelitian terkait multirepresentasi dalam pembelajaran fisika dapat disimpulkan bahwa penggunaan multirepresentasi dapat membantu (maha)siswa dalam memahami konsep-konsep fisika. Artikel ini fokus membahas tentang kajian konseptual multirepresentasi pada materi perkuliahan Kelistrikan dalam Mata Kuliah Fisika Dasar Lanjut yang dikaji menggunakan metode study literature dari berbagai sumber yang relevan.

**Kata kunci:** *multirepresentasi, kelistrikan, fisika dasar lanjut.*

**Rahmawati Rahmawati<sup>1\*</sup>, Agustan Syamsuddin<sup>2</sup>, Dewi Hikmah Marisda<sup>3</sup>, Nasrah Nasrah<sup>4</sup>**

<sup>1,3</sup>Program Studi Pendidikan Fisika FKIP Universitas Muhammadiyah Makassar

<sup>2</sup>Program Studi Pendidikan Dasar Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Makassar

<sup>4</sup>Program Studi PGSD FKIP Universitas Muhammadiyah Makassar

[\\*rahmawatisyam@unismuh.ac.id](mailto:*rahmawatisyam@unismuh.ac.id)

## PENDAHULUAN

Fisika merupakan salah satu bidang ilmu yang erat kaitannya dengan fenomena alam yang dibekalkan di berbagai jenjang pendidikan, yakni mulai dari jenjang pendidikan dasar pada sekolah menengah pertama atau sederajatnya kemudian pada jenjang lanjutan pada sekolah menengah atas atau sederajat sampai jenjang pendidikan atas pada perguruan tinggi. Meskipun demikian, fisika masih dianggap sebagai salah satu pelajaran yang paling sulit oleh siswa (mahasiswa) (Gänswein, 2011; Williams dkk., 2003) dan membosankan/tidak menarik (Di Mauro & Furman, 2016). Lebih lanjut, luasnya bidang pengetahuan dalam fisika menjadikan karakteristik pengetahuan fisika juga sangat variatif. Hal tersebut membuat cara mengajarkannya dan mempelajarinya harus disesuaikan dengan karakteristik pengetahuan fisika itu sendiri agar lebih mudah dimengerti (Leppävirta, 2012).

Opfermann, dkk. (2017) menerangkan bahwa konsep-konsep fisika yang cenderung bersifat abstrak akan lebih mudah dipahami siswa ketika divisualisasikan ke dalam diagram. Contoh lain terkait materi fisika yaitu konsep gaya yang mengandung berbagai jenis representasi yang harus dibekalkan agar mudah memahami dengan baik, seperti representasi grafik ketika mempelajari konsep posisi, kecepatan, dan percepatan, representasi verbal dan diagram yang selalu dibahas saat membicarakan Hukum Newton, dan representasi matematis yang erat hubungannya dengan topik atau materi fisika (Guttersrud & Angell, 2010). Oleh karena itu, peran multirepresentasi memegang peranan yang sangat penting dalam memudahkan proses memahami konsep-konsep fisika.

Multirepresentasi merupakan aspek fundamental dari pengetahuan dan penalaran sains (Hubber & Tytler, 2017). Multirepresentasi ini dapat digunakan sebagai alat untuk berpikir, membuat spekulasi, menemukan penjelasan yang mungkin dari suatu masalah, serta mengecek kembali penjelasan dari hasil yang diperoleh (Waldrif dkk., 2010). Multirepresentasi juga sangat bermanfaat karena dapat bertindak sebagai alat bantu visual dan menumbuhkan pemahaman siswa yang lebih baik terhadap masalah-masalah fisika (Nieminen dkk., 2017). Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa multirepresentasi sangat dibutuhkan dalam membantu mahasiswa memahami konsep-konsep fisika yang cenderung abstrak.

Berbagai macam kesulitan yang dihadapi mahasiswa dalam memecahkan permasalahan-permasalahan fisika kebanyakan disebabkan oleh kurang terbiasanya penggunaan multirepresentasi dalam pembelajaran dan penerapan dalam bentuk-bentuk asesmen (Ornek dkk., 2008). Studi terdahulu terkait kesulitan mahasiswa dalam memahami dan memecahkan permasalahan fisika dalam mata kuliah Fisika Dasar 2 khususnya terkait materi kelistrikan menunjukkan bahwa bentuk soal yang diujikan baik pada ujian tengah semester maupun ujian akhir semester hanya memuat aspek representasi matematis dan beberapa aspek verbal. Sementara, aspek representasi diagram dan grafik masih sangat terbatas. Lebih lanjut, bentuk asesmen yang digunakan dalam bentuk uraian terbuka yang belum dirancang khusus untuk mampu menggali informasi sejumlah bentuk representasi (Rahmawati dkk., 2018).

Uraian singkat di atas menggambarkan pentingnya multirepresentasi diterapkan

dalam pembelajaran fisika yang dapat dilakukan dengan berbagai strategi. Salah satunya adalah melalui strategi penerapan asesmen pembelajaran berorientasi multirepresentasi. Makalah ini memaparkan tentang strategi multirepresentasi dalam pembelajaran fisika yang dikaji dari berbagai hasil penelitian yang relevan.

## **METODE**

Metode penelitian yang digunakan dalam kajian konseptual ini yaitu dengan studi literatur dari berbagai sumber terkait strategi multirepresentasi dalam pembelajaran fisika. Adapun sumber referensi yang digunakan dalam kajian konseptual ini diperoleh dari berbagai hasil penelitian dan buku-buku referensi terkait yang membahas tentang strategi multirepresentasi dalam pembelajaran fisika.

## **PEMBAHASAN**

### **A. Multirepresentasi dalam Pembelajaran Fisika**

Kajian multirepresentasi dalam pembelajaran IPA (fisika) telah banyak dilakukan dalam beberapa dekade belakangan ini. Istilah multirepresentasi terdiri dari kata multi dan representasi. Kata multi mengacu pada praktik merepresentasikan kembali konsep yang sama dengan bentuk yang berbeda, meliputi verbal, grafis, dan angka serta pengulangan pemaparan siswa terhadap konsep yang sama. Sementara, kata representasi merujuk pada entitas dimana semua pemikiran dianggap berlangsung. Entitas ini merujuk pada penyampaian informasi spesifik terkait apa yang sedang dipelajari dengan menggambarkan ide, objek, system, peristiwa, proses, yang secara luas dikenal sebagai representasi. Sementara itu, definisi multirepresentasi juga dapat diartikan sebagai bentuk penggunaan dua atau lebih representasi secara simultan, bergantian, atau bersamaan. Definisi lain menjelaskan bahwa multirepresentasi merupakan cara merepresentasikan suatu informasi dengan beragam cara. Berdasarkan uraian definisi multirepresentasi tersebut, maka dapat dikatakan bahwa multirepresentasi adalah cara menunjukkan atau menampilkan informasi nyata dalam berbagai bentuk.

Kemampuan multirepresentasi merupakan kemampuan siswa dalam menginterpretasikan dan menerapkan berbagai macam representasi (baik verbal, grafik, diagram, dan matematis) pada konsep dan masalah fisika. Kemampuan merepresentasikan suatu konsep yang sama dalam bentuk representasi yang berbeda tentunya akan berbeda antara satu siswa dengan siswa lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa apabila siswa memiliki kemampuan representasi yang baik, maka siswa dapat menginterpretasikan dan menerapkan berbagai konsep serta menyelesaikan permasalahan fisika secara tepat.

Bentuk representasi yang terdapat pada suatu konsep yang dikemukakan oleh Waldrip, dkk. (2010) meliputi bentuk verbal, grafis dan angka. Sementara, Meltzer (2002) menguraikan multirepresentasi dalam empat bentuk, yaitu verbal, diagram, matematis, dan grafik. Verbal merupakan bentuk representasi yang digunakan ketika menyajikan definisi atau penjelasan melalui kata-kata dari suatu konsep. Diagram atau gambar merupakan representasi dimana siswa memvisualisasikan suatu konsep yang tidak cukup disajikan dalam bentuk kata-kata dan bersifat abstrak. Selanjutnya, representasi bentuk matematis

merupakan bentuk representasi yang sangat erat hubungannya dengan penyajian prinsip atau huku yang disertai dengan persamaan atau rumus. Sementara, representasi bentuk grafik yaitu penyajian konsep fisika yang diwakilkan melalui grafik yang berisi informasi mengenai hubungan antara satu variabel dengan variabel lainnya. Berdasarkan uraian bentuk-bentuk representasi dalam pembelajaran fisika, maka bentuk representasi dalam penelitian ini mengacu pada empat bentuk representasi sesuai dengan konsep multirepresentasi oleh Meltzer (2002).

Multirepresentasi memiliki tiga fungsi utama dalam pembelajaran sains (fisika), diantaranya yaitu berfungsi sebagai pelengkap, sebagai pembatas, dan sebagai konstruk pemahaman. Multirepresentasi sebagai informasi pelengkap yaitu setiap bentuk representasi mengandung informasi tertentu yang menjadi kekhasan masing-masing. Oleh karena itu, tidak mungkin satu representasi mengandung semua informasi yang dibutuhkan oleh semua topik atau materi perkuliahan. Peran multirepresentasi sebagai pembatas artinya ketika menggunakan representasi pertama akan berfungsi membatasi representasi kedua dan seterusnya. Ketika siswa cenderung mengenal representasi tertentu, siswa tersebut akan membatasinya dalam menginterpretasi representasi yang kurang dikenalnya sehingga kesalahan pemahaman juga dapat segera diatasi. Sementara, fungsi multirepresentasi sebagai konstruk pemahaman mengartikan bahwa multirepresentasi sangat penting karena dapat membantu siswa ketika dihadapkan pada situasi untuk menginterpretasikan representasi yang tidak familiar memberikan bantuan melalui multirepresentasi siswa menjadi lebih akrab.

Multirepresentasi digunakan dalam beragam tujuan, sehingga tujuan yang berbeda memengaruhi bentuk penilaian yang berbeda pula. Ketika multirepresentasi digunakan sebagai proses maupun sebagai informasi pelengkap, siswa tidak terlalu dituntut untuk menerjemahkan antar representasi. Lebih lanjut, saat multirepresentasi digunakan sebagai pembatas interpretasi untuk membantu memahami hubungan antar representasi yang kompleks, penilaian dapat dilakukan dengan mengukur kemampuan siswa dalam menguasai masing-masing representasi secara terpisah. Sementara, ketika fungsi multirepresentasi sebagai alat konstruk pemahaman yang mendalam melalui abstraksi ataupun ekstensi, siswa harus memahami keterkaitan antar representasi sehingga penilaiannya juga harus melihat keterkaitan antar representasi sehingga bentuk penilaiannya harus memperhatikan pemahaman siswa dalam menerjemahkan antar representasi. Berdasarkan perbedaan fungsi multirepresentasi tersebut, maka penilaian multirepresentasi perlu memperhatikan indikator kemampuan multirepresentasi pada empat bentuk representasi, yaitu verbal, diagram, matematis, dan grafik.

Berikut ini merupakan sejumlah indikator yang ditetapkan pada masing-masing bentuk representasi berdasarkan hasil sintesis dari beberapa kajian beberapa ahli dalam bidang multirepresentasi pembelajaran Fisika yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Indikator Bentuk-bentuk Representasi

Bentuk Representasi	Indikator Representasi menurut Para Ahli	Sintesis	
Verbal	Jacobs (1989)	Interpretasi makna dan prinsip atau hukum	1. Membangun interpretasi terhadap prinsip atau hukum fisika 2. Menghubungkan definisi atau konsep fisika pada situasi yang terjadi sehari-hari 3. Membuat analogi dari prinsip atau konsep fisika
	Touger (1991)	1. Mengekstrak makna dari kata-kata/istilah pada definisi/konsep fisika 2. Menyimpulkan makna dimana kata-kata dirangkai dari suatu konsep/definisi dalam topik fisika	
	Ainsworth & Loizou (2003)	1. Membuat penjelasan mengenai suatu konsep atau topik dari interpretasi mereka sendiri 2. Membangun analogi dari konsep tersebut berdasar imajinasi dan pengalaman yang familiar	
	Karam (2014)	1. Memahami makna dari suatu konsep atau prinsip fisika 2. Menghubungkan definisi atau konsep fisika pada situasi yang terjadi di kehidupan sehari-hari 3. Membangun metafora atau analogi dari prinsip atau konsep fisika	
	Podolefsky & Finkelstein (2007)	Membuat analogi atau metafora (menghubungkan kemiripan konsep tersebut ke hal-hal yang sering ditemui atau dialami dalam kehidupan sehari-hari)	
Diagram	Etkina, dkk. (2006)	1. Memilih system yang penting dalam	1. Menggambarkan diagram benda atau bentuk

Bentuk Representasi	Indikator Representasi menurut Para Ahli	Sintesis
	penyelesaian	diagram lainnya
	2. Menggunakan anak panah gaya untuk mewakili interaksi dunia di luar system terhadap objek atau system objeknya	2. Memberi label pada diagram
	3. Memberi tanda nama gaya yang bekerja dari interaksi tersebut	3. Mengelompokkan berbagai gaya yang bekerja pada sistem
	4. Membuat panjang relative arah gaya yang sesuai dengan situasi masalah	
	5. Memberi label pada sumbu diagram	
Larkin & Simon (1987)	1. Menggambar diagram benda bebas	
	2. Memberi label gaya pada diagram	
	3. Mengelompokkan berbagai gaya yang bekerja pada sistem	
Savinainen, dkk. (2013)	1. Mengidentifikasi kontak (hubungan antar objek) dan jarak interaksinya	
	2. Memperkenalkan vector gaya dan diagram benda bebasnya	
	3. Memperkenalkan hukum Newton ketiga untuk melihat interaksi sistemnya	
	4. Menggambar diagram benda bebasnya	
	5. Memperkenalkan hukum Newton pertama dan kedua	
	6. Menerapkan hukum Newton untuk memeriksa hasil yang	

Bentuk Representasi	Indikator Representasi menurut Para Ahli	Sintesis
Matematis	Aviani, dkk. (2015)	telah diperoleh 1. Mengonstruksi diagram benda bebasnya 2. Menentukan grafis dari vector resultan gaya 3. Menemukan besar vector gaya (bila diperlukan dalam masalah yang ditanyakan)
	Maloney, dkk. (2001)	1. Membuat sketsa mendetail 2. Mengidentifikasi system, keadaan awal, dan akhir termasuk system koordinat 3. Mengonstruksi proses kualitatif system usaha & energy tersebut
	Steinberg, dkk. (1997)	1. Membangun persamaan yang relevan berdasarkan pertimbangan sistem fisik yang terdapat dalam masalah yang diberikan 2. Mengekstrak informasi yang berguna (penting) dari masalah yang ada 3. Mengaplikasikan nilai dari variabel ke dalam formula matematis sehingga diperoleh hasil yang sesuai
	Guttersrud & Angell (2010)	1. Menentukan formula atau rumus yang relevan 2. Menginterpretasi fungsi tiap-tiap variabel pada formula matematis 3. Mengekspresikan makna fisik dari hasil
		1. Membangun persamaan yang relevan berdasarkan pertimbangan sistem fisik 2. Memprediksi implikasi dari formula matematis terhadap perubahan pada suatu objek atau prinsip fisika 3. Mengaplikasikan nilai dari variabel ke dalam perhitungan matematis

Bentuk Representasi	Indikator Representasi menurut Para Ahli	Sintesis
	<p>5. Perhitungan yang diperoleh.</p> <p>Huinker (2015)</p> <p>1. Memahami ide dari bentuk fisik dan menerjemahkannya ke bentuk matematis</p> <p>2. Mengetahui alasan yang tepat dalam menggunakan suatu formula matematis</p> <p>3. Menggunakan perhitungan matematis yang fleksibel dalam menyelesaikan masalah</p> <p>Karam, dkk. (2010)</p> <p>1. Mematematikakan, menerjemahkan dari sistem fisik ke rumus matematika</p> <p>2. Memahami makna fisik dari setiap persamaan matematis</p> <p>3. Memahami derivasi logis dari rumus matematis</p> <p>Sherin (2001)</p> <p>1. Memprediksi implikasi atau hasil suatu hal dari formula matematis yang ada terhadap perubahan/ kejadian yang akan terjadi pada suatu objek atau prinsip fisika</p> <p>2. Memahami makna dari setiap variabel yang ada pada rumus/formula matematis.</p>	
Grafik	<p>McDermott, dkk (1987)</p> <p>1. Memahami fitur-fitur suatu grafik yang sesuai dengan konsep fisika tertentu</p> <p>2. Menginterpretasi</p>	<p>1. Memahami fitur-fitur suatu grafik</p> <p>2. Menyesuaikan informasi narasi terhadap fitur grafik yang relevan</p>

Bentuk Representasi	Indikator Representasi menurut Para Ahli	Sintesis
	perubahan tinggi atau perubahan kemiringan dari suatu grafik 3. Menghubungkan dari satu tipe grafik ke tipe grafik lainnya 4. Menyesuaikan informasi narasi terhadap fitur grafik yang relevan 5. Menginterpretasi area di bawah grafik 6. Menghubungkan antara grafik dan formula matematis	3. Menginterpretasi perubahan tinggi atau kemiringan suatu grafik 4. Menghubungkan dari satu tipe grafik lain 5. Menghubungkan antara grafik dan formula matematis
	Uzun, dkk. (2012) 1. Mengekstraksi informasi dari suatu grafik 2. Memodelkan, menerjemahkan situasi nyata yang terjadi atau dari objek yang nyata ke dalam bentuk grafik	
	Nguyen & Rebello (2011) 1. Menemukan informasi atau nilai yang terdapat dari suatu grafik 2. Memahami makna fisik dari suatu grafik 3. Mengolah informasi dari suatu grafik untuk menghitung kuantitas fisika yang ditanyakan	
	Ivanjek, dkk. (2016) 1. Mengidentifikasi perubahan kemiringan dari suatu grafik 2. Membaca nilai dari suatu grafik 1. Membaca nilai ketinggian atau kemiringan suatu grafik 2. Memahami fungsi variabel dan informasi lainnya dari suatu	

Bentuk Representasi	Indikator Representasi menurut Para Ahli	Sintesis
	grafik	
	3. Menginterpretasikan area di bawah kurva	
	grafik	
	4. Mengaplikasikan nilai-nilai pada suatu grafik ketika diperlukan suatu perhitungan	

### B. Karakteristik Materi Kelistrikan dalam Mata Kuliah Fisika Dasar Lanjut

Materi kelistrikan dalam mata kuliah Fisika Dasar 2 merupakan salah satu materi yang dominan bersifat abstrak. Sifat abstrak inilah memberikan peluang timbulnya kesulitan bagi mahasiswa dalam memahami berbagai konsep. Terdapat beberapa hasil penelitian yang membenarkan sifat abstraksi serta tingkat kesulitan materi kelistrikan untuk dapat dipahami oleh mahasiswa telah dilakukan. Sifat abstrak materi kelistrikan menjadikan materi ini sulit dipahami mulai jenjang pendidikan tingkat dasar (Shipstone, 1988, 1984; Arnold & Millar, 1987; Osborne & Cosgrove, 1983; Osborne, 2006), tingkat menengah (Hekkenberg et al., 2015; Borges & Gilbert, 2010; Cosgrove, 1995; Cohen et al., 1983; Paatz, et al., 2004; Psillos et al., 1987; Engelhardt & Beichner, 2004), tingkat perguruan tinggi (Finkelstein, 2005; Zacharia & de Jong, 2014; Stocklmayer & Treagust, 1996), hingga pada tingkat pengajar (guru) (Hekkenberg et al., 2015; Heller & Finley, 1992; Heywood & Parker, 1997).

Kesulitan dalam memahami konsep berpotensi menimbulkan terjadinya miskonsepsi di kalangan mahasiswa. Untuk membantu kesulitan mahasiswa dalam memahami konsep, maka perlu upaya mengkonstruksi suatu alat penilaian yang mewakili beberapa representasi (verbal, diagram, matematis, dan grafik) sehingga mampu membantu mahasiswa dalam mengkonstruksi pemikirannya terhadap konsep. Salah satu alat penilaian yang dapat digunakan adalah tes objektif beralasan. Oleh karena itu, diperlukan suatu model tes objektif yang dapat mewartakan strategi multirepresentasi sebagai salah satu upaya strategi asesmen dalam pembelajaran fisika.

### SIMPULAN

Multirepresentasi merupakan strategi yang dapat membantu (maha)siswa untuk dapat memahami konsep-konsep fisika yang abstrak dan rumit dengan mudah. Ada beberapa bentuk representasi yang dapat digunakan dalam merepresentasikan permasalahan-permasalahan dalam pembelajaran fisika, yaitu verbal, matematis, diagram, dan grafik.

Salah satu strategi multirepresentasi yang dapat dilakukan dalam pembelajaran fisika yaitu strategi asesmen pembelajaran berorientasi multirepresentasi. Strategi asesmen berorientasi multirepresnetasi ini diharapkan mampu membantu (maha)siswa dalam memahami konsep-konsep fisika yang abstrak dan sulit, misalnya konsep-konsep dalam materi kelistrikan pada perkuliahan Fisika Dasar Lanjut. Untuk itu, perlu kajian lebih lanjut dalam membangun framework secara konseptual tentang model asesmen yang sesuai dan relevan dengan karakteristik materi kelistrikan dalam perkuliahan Fisika Dasar Lanjut.

Salah satu tahapan dasar yang dapat ditempuh yaitu menetapkan indikator-indikator masing-masing jenis representasi yang akan diukur dalam bentuk instrumen tes. Dengan demikian, indikator-indikator masing-masing jenis representasi tersebut dapat menjadi dasar pengembangan instrumen tes yang dapat mengukur tingkat kemampuan multirepresentasi (maha)siswa terkait materi fisika.

### Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih kami haturkan kepada pihak Lembaga Penelitian Pengembangan dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Muhammadiyah (LP3M Unismuh Makassar) yang telah memberikan bantuan anggaran dalam bentuk dana Hibah pada skema Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi Universitas Muhammadiyah Makassar periode anggaran 2020-2021.

### DAFTAR PUSTAKA

- Ainsworth, S., & Loizou, A. T. (2003). The effects of self-explaining when learning with text or diagrams. *Cognitive Science*, 27, 669–681.
- Arnold, M. & Millar, R. (1987). Being constructive: An alternative approach to the teaching of introductory ideas in electricity. *Int. J. Sci. Educ.* 9(5), 553–563.
- Aviani, I., Erceg, N., & Mešić, V. (2015). Drawing and using free body diagrams: Why it may be better not to decompose forces. Research. *Physical Review Special Topics - Physics Education*, 11(020137), 1–14.
- Borges, A. T. & Gilbert, J. K. (2010). Mental models of electricity. *Int. J. Ment. Model. Electr.* January 2015, 37–41.
- Cohen, R., Eylon, B., & Ganiel, U. (1983). Potential difference and current in simple electric circuits: a study of students' concepts. *Am. J. Phys.* 51(5), 407–412.
- Cosgrove, M. (1995). A study of science-in-the-making as students generate an analogy for electricity. *Int. J. Sci. Educ.* 17(3), 295–301.
- Di Mauro, M. F., & Furman, M. (2016). Impact of an inquiry unit on grade 4 students' science learning. *International Journal of Science Education*, 38(14), 2239–2258.
- Engelhardt, P. V. & Beichner, R. J. (2004). Students' understanding of direct current resistive electrical circuits. *Am. J. Phys.*, 72 (1). 98–115.
- Etkina, E.; van Heuvelen, A.; White-Brahmia, S.; Brookes, D. T. (2006). Topics, Scientific abilities and their assessment. *Physical Review Special Research, – Physics Education*, 2(020103), 1–15.
- Finkelstein, N. (2005). Learning physics in context: a study of student learning about electricity and magnetism. *Int. J. Sci. Educ.*, 27(10), 1187–1209.
- Gänswein, W. (2011). *Effectiveness of Information Use for Strategic Decision Making*. Gabler.
- Guttersrud, Ø. ., & Angell, C. (2010). *Mathematics in Physics: Upper Secondary Applying*,

- Physics Students' Competency to Describe Phenomena GIREP-ICPE-MPTL. *Mathematical and Graphical Representations. Conference, Reims-France.*
- Hekkenberg, A., Lemmer, M., & Dekkers, P. (2015). An analysis of teachers' concept confusion concerning electric and magnetic fields. *African J. Res. Math. Sci. Technol.*, 8457, January 2016, 34–44.
- Heller, P. M. & Finley, F. N. (1992). Variable uses of alternative conceptions: a case study in current electricity. *J. Res. Sci. Teach.*, 29(3), 259–275.
- Heywood, D. & Parker, J. (1997). Confronting the analogy: primary teachers exploring the usefulness of analogies in the teaching and learning of electricity. *Int. J. Sci. Educ.*, 19(8), 869–885.
- Hubber, P., & Tytler, R. (2017). *Enacting a representation construction approach to teaching and learning astronomy. Dalam D. F. Treagust, R. Duit, & H. E. Fischer (Eds.), Multiple Representations in Physics Education.* Springer.
- Huinker, D. (2015). *Representational competence: A renewed focus for classroom Mathematics, practice in mathematics* (Wisconsin Teacher of Mathematics (ed.)). Spring 2015.
- Ivanjek, L., Susac, A., Planinic, M., Andrasevic, A., & Milin-Sipus, Z. (2016). Student reasoning about graphs in different contexts. *Physical Review Physics Education Research*, 12(010106), 1–13.
- Jacobs, G. (1989). Word usage misconceptions among first-year university physics students. *International Journal of Science Education*, 11(4), 395–399.
- Karam, R. (2014). Framing the structural role of mathematics in physics lectures: A case study on electromagnetism. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 10(010119), 1–23.
- Karam, R., Pospiech, G., & Pietrocola, M. (2010). Mathematics in physics lessons: Developing structural skills. *Proceeding of Selected Papers of The GIREP-ICPE-MPTL International Conference, 22-27 Agustus 2010*, 121–126.
- Larkin, J. H., & Simon, H. A. (1987). Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words. *Cognitive Science*, 11, 65–99.
- Leppävirta, J. (2012). The Effect of Naïve Ideas on Students' Reasoning About Electricity and Magnetism. *Research in Science Education*, 42(4), 753–767.
- Maloney, D. P., O’Kuma, T. L., Hieggelke, C. J., & Van Heuvelen, A. (2001). Surveying students' conceptual knowledge of electricity and magnetism. *American Journal of Physics*, 69(S1), S12–S23.
- McDermott, L. C., Rosenquist, M. L., & van Zee, E. H. (1987). Student difficulties in connecting graphs and physics: Examples from kinematics. *American Journal of Physics Teachers*, 55(6), 503–513.
- Meltzer, D. E. (2002). The relationship between mathematics preparation and conceptual

- learning gains in physics: A possible “hidden variable” in diagnostic posttest scores. *American Journal Physics*, 70(12), 1259–1268.
- Nguyen, D. H., & Rebello, N. S. (2011). Students’ difficulties with multiple representations in introductory mechanics. *US-China Education Review*, 8(5), 559–569.
- Nieminen, P., Savinainen, A., & Viiri, J. (2017). Learning about forces using multiple representations. In *dalam D. F. Treagust, R. Duit, & H. E. Fischer (Eds.), Multiple Representations in Physics Education* (pp. 163–182). Springer.
- Opfermann, M., Schmeck, A., & Fischer, H. E. (2017). *Multiple representations in physics and science education – Why should we use them?* dalam *D. F. Treagust, R. Duit, & H. E. Fischer (Eds.), Multiple Representations in Physics Education*. Springer.
- Ornek, F., Robinson, W. R., & Haugan, M. P. (2008). *What makes physics difficult?* 3(1), 30–34.
- Osborne, R. (1983). Towards modifying children’s ideas about electric current. *Res. Sci. Technol. Educ.* 1(1), 73–81.
- Osborne, R. J. & Cosgrove, M. M. (1983). Children’s conceptions of the changes of state of water *J. Res. Sci. Teach.*, 20(9), 825–838.
- Paatz, R., Ryder, J., Schwedes, H., & Scott, P. (2004). A case study: analysing the process of analogy based learning in a teaching unit about simple electric circuits. *Int. J. Sci. Educ.* 26(9), 1065–1081.
- Psillos, D., Koumaras, P., & Valassiades, O. (1987). Pupils’ representations of electric current before, during, and after instruction on dc circuits. *Res. Sci. Technol. Educ.*, 5(2), 185–199.
- Podolefsky, N. S., & Finkelstein, N. D. (2007). Salience of representations and analogies in physics. *AIP Conference Proceedings*, 951, 164–167.
- Rahmawati, Rustaman, N. Y., Hamidah, I., & Rusdiana, D. (2018). The Development and Validation Test to Evaluation Conceptual Knowledge of Prospective Physics Teachers on Electricity and Magnetism Topic. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 7(4), 483–490.
- Savinainen, A., Nieminen, P., Makynen, A., & Viiri, J. (2013). Teaching and evaluation materials utilizing multiple representations in mechanics. *Physics Education*, 48(3), 372–377.
- Sherin, B. L. (2001). How students understand physics equations. *Cognition and Instruction*, 19(4), 479–541.
- Shipstone, D. (1988). Pupils’ understanding of simple electrical circuits: some implications for instruction *Phys. Educ.*, 23(2), 92–96.
- Steinberg, R. N., Wittmann, M. C., & Redish, E. F. (1997). Mathematical tutorials in introductory physics. *AIP Conference Proceedings*, 399, 1075–1092.
- Stocklmayer, S. M. & Treagust, D. F. (1996). Images of electricity: how do novices and experts model electric current?. *Int. J. Sci. Educ.*, 18(2), 163–178.

- Touger, J. S. (1991). When words fail us. *The Physics Teacher*, 29, 90–95.
- Uzun, M. S., Sezen, N., & Bulbul, A. (2012). Investigating students’ abilities related to graphing skill. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 46, 2942–2946.
- Waldrip, B., Prain, V., & Caralon, J. (2010). Using multi-modal representations to improve learning in junior secondary science. *Research Science Education*, 40(1), 65–80.
- Zacharia, Z. C. & de Jong, T. (2014). The effects on students’ conceptual understanding of electric circuits of introducing virtual manipulatives within a physical manipulatives-oriented curriculum. *Cogn. Instr.*, 32(2), 101–158.