

## **Miskonsepsi materi larutan penyangga**

**N. Nurhidayatullah<sup>1\*</sup>, Anti Kolonial Prodjosantoso<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Sekolah Tinggi Teknik Lingkungan Mataram. Jalan Bung Karno No. 60, Mataram 83127, Indonesia

<sup>2</sup> Program Studi Pendidikan IPA, Program Pascasarjana, Universitas Negeri Yogyakarta.  
Jalan Colombo No. 1, Karangmalang, Yogyakarta, 55281, Indonesia.

\* Corresponding Author. Email: [nur\\_130491@yahoo.co.id](mailto:nur_130491@yahoo.co.id)

Received: 15 July 2016; Revised: 22 February 2018; Accepted: 10 April 2018

### **Abstrak**

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui miskonsepsi materi larutan penyangga, persentase miskonsepsi pada setiap indikator materi larutan penyangga, dan penyebab terjadinya miskonsepsi materi larutan penyangga pada siswa SMA Negeri 2 Mataram. Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif kualitatif yang melibatkan 80 siswa kelas XI IPA 4 dan XI IPA 5 SMA Negeri 2 Mataram sebagai sampel dalam penelitian yang ditentukan secara *purposive sampling*. Instrumen yang digunakan untuk menganalisis miskonsepsi larutan penyangga yaitu instrumen *multiple choice two tier diagnostic*. Instrumen divalidasi oleh *expert judgment* dan validasi empirik oleh 38 siswa kelas XII IPA 2 SMA Negeri 2 Mataram. Hasil analisis miskonsepsi larutan penyangga menggunakan instrumen *two-tier multiple choice diagnostic* menunjukkan bahwa terjadi miskonsepsi sebesar 47%, memahami konsep sebesar 37%, dan tidak memahami konsep sebesar 16%. Miskonsepsi terbanyak terjadi pada indikator konsep perhitungan pH larutan penyangga pada penambahan sedikit asam atau basa sejumlah 4 soal yaitu dengan rata-rata 64,08%. Miskonsepsi larutan penyangga terjadi karena guru kurang menekankan materi konsep, khususnya pada indikator larutan penyangga pada kehidupan sehari-hari, bahasa buku teks kimia yang terlalu sulit, dan siswa sendiri yang kurang fokus saat proses pembelajaran.

**Kata Kunci:** miskonsepsi, *two-tier multiple choice diagnostic*, larutan penyangga

## ***Misconceptions on buffer solution***

### **Abstract**

*This study aims to determine the misconception on buffer solution, the percentage of misconceptions on each indicator, and the cause of the misconception of the student of SMA Negeri 2 Mataram. This research is a qualitative descriptive study involving 80 students of class XI of physics study (IPA) 4 and XI 5 of SMAN 2 Mataram as samples determined by purposive sampling. The instrument used to analyze the misconceptions of the buffer solution is two-tier instrument diagnostic multiple choice. The instrument is validated by expert judgment and empirical validation by 38 students of class XII physic study (IPA) 2 SMA Negeri 2 Mataram. The results of the data analysis showed that there is 47% misconceptions, 37% understand and as many as 16% do not understand concept. Misconceptions occurred in the calculation of the indicator concept pH buffer solution in the addition of a small amount of acid or base in an average of 64.08%. The misconception of the buffer solution occurred because the teachers did not emphasize the concept of matter, particularly on indicators of the buffer solution in everyday life, the language of chemistry textbooks that are too difficult, and the students themselves are less focused during the learning process.*

**Keywords:** *misconceptions, two-tier multiple choice diagnostic, buffers*

**How to Cite:** Nurhidayatullah, N., & Prodjosantoso, A. (2018). Miskonsepsi materi larutan penyangga. *Jurnal Inovasi Pendidikan IPA*, 4(1), 41-51. doi:<http://dx.doi.org/10.21831/jipi.v4i1.10029>



<http://dx.doi.org/10.21831/jipi.v4i1.10029>

## PENDAHULUAN

Pendidikan adalah sangat berperan penting dalam membangun kemajuan dan masa depan bangsa. Berbagai ilmu memiliki peran masing-masing dalam kemajuan pendidikan, tidak terkecuali ilmu mengenai IPA. Ilmu pengetahuan alam (IPA) terdiri atas tiga pelajaran yaitu biologi, fisika, dan kimia. Ketiga cabang ilmu IPA ini berkaitan satu dengan lainnya. Materi biologi dan fisika lebih awal diperoleh oleh siswa di jenjang SMP.

Materi kimia yang sifatnya abstrak dan secara intensif baru mulai diajarkan di jenjang SMA akan menyulitkan siswa dalam memahami konsep pada pelajaran kimia. Tidak semua anak dapat dengan mudah memahami konsep atau materi yang sifatnya abstrak, karena suatu pengetahuan khususnya materi kimia tidak dapat secara mudah dijelaskan dan ditransfer oleh guru kepada siswa. Siswa yang tidak dapat menangkap penjelasan suatu konsep kimia dengan baik, membuat siswa menjadi memikirkan atau menerka sendiri konsep tersebut sehingga dapat mengakibatkan miskonsepsi pada konsep selanjutnya.

Miskonsepsi dalam pelajaran kimia hendaknya diminimalisasi dan bahkan harus dihilangkan. Miskonsepsi dapat dicegah dengan memberikan pemahaman konsep yang baik oleh guru kepada siswa. Bachman (2005) menyatakan bahwa guru dalam memberikan penjelasan konsep kimia kepada siswa hendaknya memberikan contoh atau penerapannya dalam kehidupan sehari-hari. Materi larutan penyangga dapat dikaitkan dengan kehidupan sehari-hari bahwa dalam darah terdapat larutan penyangga, sehingga siswa akan lebih antusias dalam proses pembelajaran.

Kartinah (2012) memaparkan pemahaman konsep merupakan suatu hasil dari proses pembelajaran sehingga dapat menjelaskan dan mendefinisikan informasi yang diperoleh menggunakan kalimat sendiri. Siswa dituntut tidak hanya untuk menghafal pelajaran tetapi juga harus memahami konsep pelajaran sehingga apabila susunan kata atau susunan kalimat berbeda, siswa tetap dapat mendefinisikannya.

Syaidah (2010) mendeskripsikan bahwa untuk meningkatkan pemahaman konsep terdapat empat prinsip yaitu perhatian, relevansi, percaya diri, dan kepuasan. Perhatian yang dimaksud adalah dalam proses pembelajaran menggunakan metode pembelajaran yang bervariasi, tidak monoton, menggunakan media

pembelajaran yang relevan, serta melibatkan seluruh siswa dalam tanya jawab di kelas. Relevansi yaitu menjelaskan kepada siswa manfaat setelah mengikuti dan memperoleh pelajaran. Percaya diri yaitu dengan cara menumbuhkan rasa percaya pada siswa dengan cara menyampaikan pembelajaran secara runtut dari yang mudah ke sulit dan menumbuhkembangkan rasa percaya diri siswa dengan memberikan pujian atas keberhasilannya. Prinsip kepuasan yaitu memberikan kesempatan kepada siswa yang sudah mampu memahami konsep dengan baik untuk membantu teman-temannya yang belum menguasai konsep dan memberikan pujian secara verbal atas prestasi yang diraihinya.

Khoiri, Farikhah, & Sucipto (2012) mendefinisikan pemahaman sebagai proses, perbuatan, cara untuk mengerti benar atau mengetahui benar. Seseorang dapat dikatakan memahami sesuatu apabila orang tersebut sudah mengerti dan memahami benar mengenai sesuatu tersebut. Pemahaman konsep adalah tingkat kemampuan siswa untuk mampu memahami konsep, situasi, dan fakta. Siswa diharapkan tidak hanya menghafal tetapi memahami dengan baik konsep yang dipelajari.

Zimrot & Ashkenazi (2007) memaparkan bahwa pembelajaran kimia bagi seorang pemula merupakan proses awal yang sangat penting dalam mengembangkan pemahaman konsep dan membentuk gambaran yang positif terhadap kimia. Mengembangkan pemahaman konsep menurut konsensus ilmiah merupakan salah satu tujuan penting dalam mempelajari sains (Kirna, 2010).

Memahami konsep kimia dalam pembelajaran kimia merupakan hal sangat penting. Kenyataannya, siswa sering mengalami kesulitan dalam memahami konsep kimia (Salirawati, 2011). Kesalahan pemahaman konsep yang terjadi pada siswa secara konsisten akan mempengaruhi efektivitas proses belajar selanjutnya dari siswa yang bersangkutan. Usai proses pembelajaran di sekolah, seringkali terjadi kesalahan kerangka konsep yang telah dibangun oleh siswa di sekolah menyimpang dari konsep yang benar. Kerangka konsep siswa yang salah tersebut akan disebut sebagai miskonsepsi (Wahyuningsih, Raharjo, & Masithoh, 2013).

Pembelajaran kimia bagi seorang pemula sangat penting untuk diarahkan pada pengembangan pemahaman konsep dengan strategi pembelajaran yang tepat dan juga cermat karena metode dan strategi pembelajaran sangat berkontribusi memicu terjadinya miskonsepsi.

Inovasi pembelajaran pemahaman konsep kimia idealnya dilandaskan pada dua hal pokok, yaitu hakikat kajian kimia dan hakikat sains. Paradigma pembelajaran kimia pada penjejalan fakta (*content overload*) perlu digeser menjadi paradigma baru yang hanya menekankan pada konsep kunci (*essential concepts*) dengan elaborasi yang memadai, kontekstual, dan mendorong siswa aktif sehingga secara dini mengurangi miskonsepsi yang merupakan permasalahan utama dalam belajar kimia (Chiu, 2007).

Ediyanto (2015) berpendapat rendahnya pemahaman konsep siswa dapat diatasi dengan cara memberikan umpan balik. Umpan balik dilakukan guru setelah mengetahui letak kesalahan siswa dan akan membantu siswa untuk menyadari kesalahannya.

Berdasarkan beberapa pemaparan tersebut, dapat disimpulkan bahwa memahami suatu konsep sangat penting bagi siswa karena dengan memahami konsep tersebut siswa dapat menghindari terjadinya miskonsepsi (salah konsep). Kimia merupakan ilmu sains yang terdiri atas konsep dan fakta, tetapi selain itu pada pelajaran kimia terdapat perhitungan. Proses pembelajaran kimia harus seimbang antara konsep dan perhitungannya karena keduanya sangat berkaitan erat. Ilmu kimia bersifat hirarki yaitu antara konsep yang satu dan yang lainnya saling berhubungan, sehingga siswa harus memahami konsep pelajaran kimia agar dapat memahami konsep yang selanjutnya.

Menganalisis tingkat pemahaman konsep siswa perlu dilakukan untuk mengetahui sejauh mana siswa memahami konsep yang telah disampaikan oleh guru. Analisis tingkat pemahaman siswa dapat dilakukan dengan memberikan suatu tes diagnostik kepada siswa.

Arikunto (2010) mendefinisikan tes diagnostik sebagai tes yang digunakan untuk mengetahui kelemahan-kelemahan siswa, yang bermanfaat untuk pemberian perlakuan yang tepat. Mulyadi (2010) memaparkan dalam dunia pendidikan, diagnosis dapat diartikan sebagai suatu usaha untuk mendeteksi, meneliti sebab, jenis, sifat dari kesulitan belajar yang dialami seorang siswa.

Wijaya, Suratno, & HP (2013) menyatakan bahwa tes diagnostik memiliki tujuan untuk mengidentifikasi siswa yang mengalami kesulitan dalam pembelajaran sehingga tes diagnostik ini dapat digunakan untuk mengatasi kesulitan belajar siswa.

Nugraeni, Jamzuri, & Sarwanto (2013) menjelaskan tes diagnostik yaitu tes yang digu-

nakan untuk mengetahui kelemahan yang terdapat pada diri siswa sehingga hasil diagnostik dapat digunakan sebagai dasar untuk memberikan solusi berupa perlakuan yang tepat dan sesuai dengan kelemahan dialami siswa. Tes diagnostik dapat berupa tes *multiple choice* dengan alasan tertutup, tes *multiple choice* dengan alasan terbuka, dan tes esai tertulis. Tes diagnostik perlu dilakukan untuk mengetahui kelemahan dan kekuatan siswa terhadap penguasaan suatu bagian atau keseluruhan materi pelajaran serta dapat mengidentifikasi kesulitan belajar yang muncul sehingga kegagalan dan keberhasilan siswa dapat diketahui.

Arikunto (2010) mendeskripsikan tes diagnostik memiliki fungsi yaitu (1) menentukan tingkat penguasaan siswa terhadap materi yang dipelajari, (2) mengelompokkan siswa berdasarkan kemampuan dalam menerima pelajaran yang akan dipelajari, (3) menentukan kesulitan belajar yang dialami siswa untuk menentukan cara yang dapat dilakukan untuk mengatasi kesulitan yang dialami siswa.

Wahyuningsih et al. (2013) memaparkan bahwa diagnosis kesulitan belajar siswa lebih luas daripada pelaksanaan tes diagnostis. Pelaksanaan diagnosis kesulitan belajar meliputi pelaksanaan tes, penelusuran jenis, dan sumber serta penyebab kesalahan. Guru pada umumnya masih mengalami kesulitan dan kebingungan dalam mencari dan menemukan model instrumen yang baik dan tepat agar dapat mengetahui dan menganalisis miskonsepsi yang dialami oleh siswa

Bayrak & Bayram (2011) menjelaskan bahwa meskipun banyak teknik yang dapat digunakan dalam pengukuran tingkat pemahaman dan dalam mengidentifikasi miskonsepsi yang terjadipada siswa, namun berdasarkan fakta dan peristiwa, berdasarkan pada konsep, asosiasi kata dan tes diagnostik adalah yang paling sering digunakan. Departemen Pendidikan Nasional Republik Indonesia (2007) menjelaskan tes diagnostik merupakan tes yang digunakan untuk mengetahui kelemahan atau kesulitan siswa dalam pembelajaran, sehingga dari hasil tes diagnosis dapat dilakukan tindakan lebih lanjut untuk mengatasi kesulitan yang dihadapi oleh siswa. Instrumen diagnostik yang digunakan untuk mengungkap miskonsepsi harus dapat memberikan respon atas jawaban yang diberikan siswa agar didapatkan informasi lengkap dari jawaban siswa.

Suwarto (2010) memaparkan bahwa tes diagnostik perlu dilakukan bagi seorang pendid-

dik karena sangat bermanfaat untuk mengetahui kesulitan belajar siswa dan merupakan langkah awal untuk perbaikan proses belajar mengajar selanjutnya. Informasi yang diperoleh dari pelaksanaan tes diagnostik dapat digunakan untuk membantu guru dalam memecahkan kesulitan belajar yang dihadapi oleh siswa dan meningkatkan cara atau metode yang digunakan guru dalam proses pembelajaran.

Mulyadi (2010) memaparkan bahwa berbagai kegiatan yang dilakukan guru sebagai pendidik untuk menemukan kesulitan belajar siswa termasuk dalam kegiatan diagnosis. Adapun perlunya landasan pemikiran dilakukan diagnosis dan pemecahan kesulitan belajar bagi siswa karena setiap siswa seharusnya mendapat kesempatan dan pelayanan untuk berkembang secara sesuai dengan kemampuan kecerdasan, bakat dan minatnya, terdapat perbedaan kemampuan, kecerdasan, bakat, minat dan latar belakang fisik serta sosial setiap siswa, maka kemajuan belajar siswa dalam satu kelas akan berbeda. Ada siswa yang cepat, biasa dan ada yang lamban, sistem pengajaran di sekolah diharapkan mampu memberikan kesempatan kepada siswa untuk maju sesuai dengan kemampuan sendiri. Mewujudkan tiga hal di atas, guru dan konselor perlu dibekali dengan pengetahuan, sikap dan keterampilan dalam hubungannya dengan pengidentifikasi kesulitan belajar, sebab dan pelayanan remedialnya.

Ketidakberhasilan suatu proses pembelajaran untuk mencapai ketuntasan materi tidak hanya disebabkan oleh satu faktor, tetapi terdapat beberapa faktor yang terlibat dalam proses pembelajaran. Faktor tersebut adalah jenis kesulitan yang dialami siswa dan kegiatan yang terlibat dalam proses belajar. Kegiatan proses diagnosis kesulitan belajar yang penting adalah menemukan letak kesulitan dan jenis kesulitan belajar siswa, sehingga perbaikan pengajaran (*learning corrective*) yang dilakukan dapat dilaksanakan secara efektif.

Dari pemaparan tersebut, dapat disimpulkan bahwa tes diagnostik merupakan tes yang digunakan untuk mengetahui kelemahan yang terjadi pada siswa dalam pembelajaran. Tes diagnostik dapat bermanfaat bagi guru untuk mengetahui kesulitan belajar pada siswa dan dapat digunakan untuk perbaikan proses belajar mengajar. Informasi dari pelaksanaan tes diagnostik dapat digunakan untuk membantu memecahkan kesulitan yang dihadapi siswa dan dapat digunakan untuk meningkatkan proses pembelajaran.

Orgill & Sutherland (2008) menyatakan telah terjadi miskonsepsi pada konsep larutan penyangga, yaitu siswa menganggap semakin kuat asam basa pembentuk suatu penyangga maka semakin besar kapasitas suatu penyangga. Selain itu, siswa yakin bahwa larutan penyangga dapat dibuat dari campuran asam basa tanpa melihat kekuatan asam maupun basa.

Proses evaluasi pada kelas sains biasanya guru lebih menyukai menggunakan tes pilihan ganda karena mudah penerapannya dan lebih mudah dalam koreksinya. Cetin-Dindar & Geban (2011) berpendapat bahwa tes pilihan ganda memiliki keterbasan, seperti dalam menentukan apakah siswa menjawab karena memahami konsep atau menjawab karena menebak. Terdapat cara untuk mengetahui miskonsepsi yang terjadi pada siswa yaitu dengan tes diagnostik, observasi, dan wawancara. Tes diagnostik dapat berupa tes pilihan ganda beralasan. Tan, Taber, Goh, & Chia (2005) menjelaskan tes pilihan ganda beralasan ini maksudnya yaitu tes pilihan ganda yang memiliki dua tingkatan, tingkatan pertama yaitu berisi soal utama dan tingkatan kedua yaitu berisi alasan yang mengacu pada jawaban di tingkat pertama.

Tüysüz (2009) mendeskripsikan bahwa tes pilihan ganda dua lapis (*two-tier diagnostic*) lebih efektif dibandingkan tes pilihan ganda *one-tier*, karena dengan *two-tier diagnostic* guru dapat mengetahui alasan yang mendasari jawaban siswa dan memungkinkan siswa menjawab pertanyaan dengan menebak lebih sedikit. Instrumen *multiple choice two-tier diagnostic* pernah digunakan oleh Bayrak (2013) untuk menganalisis miskonsepsi yang terjadi pada siswa untuk materi asam basa.

Kwen & Cheng (2005) mendefinisikan bahwa instrumen *multiple choice two-tier diagnostic* merupakan bentuk soal pilihan ganda yang tidak hanya memberikan pilihan jawaban sub butir soal pada lapis pertama, namun memberikan alasan jawaban yang telah disediakan pada sub butir soal pada lapis kedua agar dapat diketahui tingkat kemampuan berpikir dan tingkat pemahaman siswa dalam menguasai konsep pembelajaran.

Adodo (2013) menambahkan instrumen *multiple choice two tier diagnostic* yaitu bentuk tes yang dikembangkan terdiri atas dua lapisan soal, lapisan pertama merupakan isi soal atau soal utama yang memiliki pilihan jawaban dan lapisan kedua merupakan alasan jawaban yang diberikan atas dasar pilihan pertama. Penyertaan alasan pada lapisan kedua bertujuan untuk

meningkatkan kemampuan berpikir dan melihat kemampuan siswa dalam memberikan alasan.

Analisis miskonsepsi tidak hanya dilakukan dengan tes *multiple choice two tier diagnostic*, perlu didukung dengan wawancara yang dilakukan kepada siswa. Siswaningsih (2014) memaparkan dengan menggunakan wawancara dapat memberikan informasi yang lebih akurat mengenai miskonsepsi siswa.

Sugiyono (2010) menambahkan dalam pelaksanaannya wawancara dapat dilakukan secara terstruktur maupun tidak terstruktur dan juga dapat dilakukan dengan cara tatap muka ataupun melalui telepon. Dilihat dari pelaksanaannya terdiri atas tiga macam yaitu pertama wawancara terstruktur (*inguided interview*) yaitu *interviewer* bebas menanyakan pertanyaan apa saja tetapi tetap juga harus mengingat akan data apa saja yang harus dikumpulkan. Dalam pelaksanaannya pewawancara tidak membawa pedoman wawancara sehingga *interviewe* tidak menyadari sepenuhnya bahwa ia sedang diwawancarai. Kedua yaitu wawancara tidak terstruktur (*guided interview*) yaitu dalam melakukan wawancara *interviewer* membawa sederetan pertanyaan lengkap dan terperinci seperti bentuk pertanyaan wawancara terstruktur. Terakhir yaitu wawancara bebas terpimpin yaitu kombinasi antara wawancara bebas dan wawancara terpimpin. Dalam pelaksanaannya, *interviewer* membawa pedoman yang hanya berisi garis besar tentang hal yang akan ditanyakan.

Wawancara yang digunakan untuk mendeteksi miskonsepsi dapat berbentuk bebas dan terstruktur. Dalam wawancara bebas, guru atau peneliti bebas bertanya kepada siswa dan siswa dapat dengan bebas menjawab pertanyaan tersebut. Urutan pertanyaan atau apa yang akan ditanyakan dalam wawancara tidak dipersiapkan terlebih dahulu. Berbeda dengan wawancara bebas, wawancara terstruktur sudah menyiapkan dan mengurutkan garis besar pertanyaan yang akan digunakan sehingga mempermudah wawancara. Kelebihan dari wawancara terstruktur adalah peneliti dapat secara sistematis bertanya dan mengorek pemikiran siswa.

Peneliti melakukan analisis miskonsepsi larutan penyangga pada 80 siswa kelas XI IPA 4 dan XI IPA 5 SMA Negeri 2 Mataram menggunakan instrumen *multiple choice two-tier diagnostic* dengan harapan bahwa instrumen yang dihasilkan dapat menjadi instrumen diagnostik yang baik untuk mengukur tingkat pemahaman konsep siswa khususnya pada materi larutan penyangga.

Hasil wawancara dengan guru kimia SMA Negeri 2 Mataram yang dilakukan pada tanggal 27 Juni 2015, terjadi miskonsepsi pada larutan penyangga. Miskonsepsi terjadi karena siswa sulit membedakan larutan mana yang berasal dari asam lemah dengan garamnya atau asam lemah berlebih dengan basa kuat dan biasanya dalam menentukan pH larutan siswa langsung memasukkan angka ke rumus tanpa memahamii klasifikasi spesies asam, basa, dan garamnya. Berdasarkan hasil wawancara dengan guru kimia SMA Negeri 2 Mataram, peneliti ingin menganalisis lebih detail lagi miskonsepsi yang terjadi pada siswa.

Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui miskonsepsi, menentukan persentase miskonsepsi dan penyebab terjadinya miskonsepsi pada materi larutan penyangga dengan menggunakan instrumen *two-tier multiple choice diagnostic* pada 80 siswa kelas XI IPA 4 dan XI IPA 5 SMA Negeri 2 Mataram.

## METODE

Penelitian ini merupakan jenis penelitian deskriptif kualitatif. Arikunto (2010) menjelaskan bahwa penelitian deskriptif kualitatif yaitu penelitian yang dilakukan untuk mendeskripsikan tentang suatu keadaan secara objektif.

Penelitian dilaksanakan di SMA Negeri 2 Mataram yang berlokasi di Jalan Panji Tilar Negara, No. 25, Tanjung Karang, Kecamatan Ampenan, Kota Mataram, Provinsi NTB. Waktu penelitian pada bulan Februari-Maret 2016.

Arikunto (2010) memaparkan subjek penelitian adalah benda, hal, atau orang yang mana tempat data untuk variabel penelitian melekat dan yang dipermasalahkan. Subjek penelitian yang digunakan adalah 80 siswa kelas XI IPA 4 dan IPA 5 SMA Negeri 2 Mataram Tahun Pelajaran 2015/2016. Penentuan sampel yaitu dengan menggunakan teknik *purposive sampling*. Sugiyono (2006) memaparkan *purposive sampling* adalah suatu teknik penentuan sampling dengan pertimbangan tertentu untuk mencapai tujuan peneliti. Pertimbangan peneliti menggunakan XI IPA 4 dan XI IPA 5 sebagai sampel yaitu dikarenakan kedua kelas ini memiliki data awal yang homogen yang telah diuji dengan menggunakan program SPSS versi 21.0 dengan taraf signifikansi 5% seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Homogenitas Varian

LevenceStatistic	df1	df2	Sig.
1.553	1	78	.216

Berdasarkan Tabel 1 nilai sig > 0,05 maka kedua varian adalah sama atau homogen. Selain homogen, kedua kelas juga diajar oleh guru kimia yang sama.

Data, Instrumen, dan Teknik Pengumpulan data

Data untuk mengetahui miskonsepsi larutan penyangga diperoleh dengan cara memberikan instrumen *multiple choice two-tier diagnostic* yang telah disusun sebanyak 15 soal kepada 80 siswa kelas XI IPA 4 dan XI IPA 5 SMA Negeri 2 Mataram. Analisis butir soal yang terdiri atas validitas empirik, reliabilitas soal, dan tingkat kesukaran soal menggunakan *Rasch model*.

Teknik Analisis Data

Data yang diperoleh diolah dengan perhitungan statistik deskriptif, yaitu pengolahan data menggunakan perhitungan presentase (Sulistyo, Emilda, Misriyah, Wijaya, & Ary W, 2011). Terdapat tiga kriteria tingkat pemahaman yang akan dianalisis yaitu memahami konsep, miskonsepsi, dan tidak memahami konsep. Masing-masing kriteria ditentukan berdasarkan kemungkinan pola jawaban yang diberikan oleh siswa sebagai berikut.

Tabel 2. Kemungkinan Pola Jawaban Peserta Didik

No.	Pola Jawaban Peserta Didik	Tingkat Keyakinan	Kategori Tingkat Pemahaman
1	Jawaban inti tes benar-alasan benar	>2,5	Memahami (M)
2	Jawaban inti tes benar-alasan benar	<2,5	Memahami (M)
3	Jawaban inti tes benar-alasan salah	>2,5	Miskonsepsi (Mi-1)
4	Jawaban inti tes benar-alasan salah	<2,5	Tidak memahami (TM-1)
5	Jawaban inti tes salah-alasan benar	>2,5	Miskonsepsi (Mi-2)
6	Jawaban inti tes salah-alasan benar	<2,5	Tidak memahami (TM-2)
7	Jawaban inti tes salah-alasan salah	>2,5	Miskonsepsi (Mi-3)
8	Jawaban inti tes salah-alasan salah	<2,5	Tidak memahami (TM-3)

Setiap kriteria tingkat pemahaman dianalisis dengan menggunakan tabel distribusi Frekuensi Relatif Sugiyono (2006) sebagai berikut.

$$P = \frac{f}{N} \times 100\%$$

Keterangan:

P: persentase

f: frekuensi siswa dengan kriteria tingkat pemahaman yang dicari

N: jumlah responden

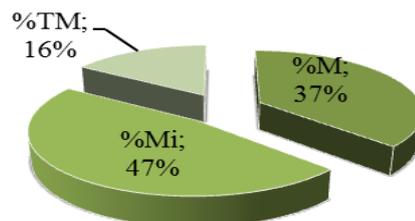
Dilakukan juga penyebaran kuisioner kepada siswa yang berisikan pendapat siswa terhadap pemahaman konsep guru dan konten buku yang digunakan sebagai pendukung proses pembelajaran kimia yang diharapkan dapat memperkuat hasil analisis.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Validitas soal menggunakan Rasch Mode diperoleh 25 soal yang valid dari 30 soal materi larutan penyangga. Lima soal yang tidak valid yaitu pada nomor soal 2, 4, 21, 24, dan 25. Kelima soal tersebut tidak memenuhi ketiga kriteria yaitu nilai *oufit means-square*, *oufit z-standard*, dan *point measure correlation* tidak sesuai dengan kriteria yang sudah ditentukan. Hasil reliabilitas siswa yaitu 0,84 dan reliabilitas item soal yaitu 0,92 yang artinya bahwa penyebaran siswa dan item soal sangat tinggi.

Menentukan tingkat kesukaran butir soal menggunakan *rasch model*, kelebihan menggunakan *rasch model* yaitu dapat dilihat urutan butir soal berdasarkan urutan soal dari yang tersulit sampai yang termudah. Soal yang tersulit yaitu pada soal nomor 2 dengan nilai logit 2,19 dan soal yang paling mudah yaitu soal nomor 5 dengan nilai logit -1,69.

Hasil perhitungan persentase yang dilakukan bahwa pemberian tes menggunakan instrumen *multiple choice two-tier diagnostic*, terjadi miskonsepsi larutan penyangga pada 80 siswa kelas XI IPA 4 dan XI IPA 5 SMA Negeri 2 Mataram yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Persentase Tingkat Pemahaman Siswa

Berdasarkan hasil instrumen *multiple choice two-tier diagnostic* larutan penyangga yang ditunjukkan pada Gambar 1, 47% siswa mengalami miskonsepsi (Mi), 37% siswa memahami (M) konsep, dan 16% siswa tidak memahami (TM) konsep pada materi larutan penyangga.

Siswa paling banyak mengalami miskonsepsi pada soal nomor 13 yaitu sebesar 90% yang dapat dilihat pada Tabel 3. Indikator soal pada nomor 13 adalah konsep fungsi larutan penyangga dalam tubuh makhluk hidup dan dalam kehidupan sehari-hari. Banyak siswa yang mengalami miskonsepsi pada nomor 13 karena berdasarkan wawancara yang dilakukan pada siswa, guru kurang menekankan penjelasan mengenai fungsi larutan penyangga dalam tubuh dan juga banyak siswa yang lebih menyukai perhitungan daripada soal yang sifatnya hafalan. Miskonsepsi terbanyak juga terjadi pada nomor 8 dengan persentase 72,2% dan nomor 12 dengan persentase 68,8% yaitu dengan indikator konsep perhitungan pH larutan penyangga pada penambahan sedikit asam atau basa. Berdasarkan hasil wawancara yang dilakukan kepada siswa, siswa merasa bingung dalam mereaksikan senyawa apabila suatu larutan penyangga ditambahkan larutan asam atau basa, sehingga mengakibatkan dalam perhitungan menentukan pH dan alasan yang diberikan tidak saling berkaitan.

Pemahaman siswa pada materi larutan penyangga ditunjukkan pada nomor 2 dengan persentase 81,3% yaitu dengan indikator konsep perhitungan pH dan pOH dengan menggunakan prinsip kesetimbangan. Berdasarkan hasil wawancara yang dilakukan pada siswa, konsep perhitungan dalam menentukan pH masih sederhana dan mudah. Tidak hanya pada nomor 2 siswa memahami materi larutan penyangga dengan baik, siswa memiliki pemahaman yang baik juga pada nomor 9 dengan persentase 76,3% yaitu dengan indikator konsep pengertian larutan penyangga. Hasil wawancara yang diperoleh dari siswa bahwa konsep larutan penyangga yaitu mampu mempertahankan pH walau ditambahkan dengan sedikit asam atau basa sudah melekat pada siswa dan siswa memahami konsep tersebut.

Tidak hanya miskonsepsi, pemahaman siswa juga masih kurang (tidak memahami) terjadi pada indikator konsep perhitungan pH larutan penyangga pada penambahan sedikit asam atau basa yaitu dengan nomor soal 11. Soal nomor 11 dengan persentase 31,3%. Berdasarkan hasil wawancara yang dilakukan pada siswa, siswa tidak memahami reaksi yang terjadi pada larutan penyangga yang ditambahkan asam atau basa sehingga siswa tidak dapat menentukan pH larutan penyangga setelah ditambahkan larutan asam atau basa.

Tabel 2. Persentase Tingkat Pemahaman Konsep Siswa pada Materi Larutan Penyangga

No.	Indikator Materi Larutan Penyangga	No. Soal	%M	%Mi	%TM
1.	Konsep pengertian larutan penyangga	1	25	61,3	13,8
		9	76,3	21,3	2,5
		15	43,8	47,5	8,75
	Rata-rata		48,37	43,37	8,35
2.	Konsep perhitungan pH dan pOH dengan menggunakan prinsip kesetimbangan	2	81,3	15	3,75
		5	32,5	53,8	13,8
		7	61,3	25	13,8
	Rata-rata		58,37	31,27	10,45
3.	Konsep menentukan massa, volume dan perbandingan volume larutan yang digunakan untuk membuat larutan	3	16,3	55	28,8
		4	45	33,8	21,3
		6	61,3	21,3	17,5
	Rata-rata		40,87	36,70	22,53
4.	Konsep perhitungan pH larutan penyangga pada penambahan sedikit asam atau basa	8	6,25	72,5	21,3
		10	15	60	25
		11	13,8	55	31,3
		12	8,75	68,8	22,5
	Rata-rata		10,95	64,08	25,03
5.	Konsep fungsi larutan penyangga dalam tubuh makhluk hidup dan dalam kehidupan sehari-hari	13	5	90	5
		14	61,3	27,5	11,3
			Rata-rata		33,15

Tabel 3. Persentase Penguasaan Konsep Larutan Penyangga oleh Guru

No.	Penyataan	Persentase
1.	Menurut siswa, guru menguasai materi pelajaran larutan penyangga dengan baik.	93,44%
2.	Guru memberikan kesempatan kepada siswa mengungkapkan gagasan atau ide	78,13%
3.	Pembelajaran yang dilakukan oleh guru sangat terstruktur sehingga mudah dipahami	88,75%
4.	Guru membimbing siswa dalam belajar konsep larutan penyangga dengan baik	87,50%
5.	Siswa memahami penjelasan guru pada materi pelajaran konsep larutan penyangga dengan baik	76,25%

Berdasarkan keseluruhan indikator soal pada materi larutan penyangga, indikator konsep perhitungan pH larutan penyangga pada penambahan sedikit asam atau basa dengan nomor soal 8, 10, 11, dan 12 mengalami miskonsepsi tertinggi yaitu dengan persentase sebesar 64,08% yang dapat dilihat pada Tabel 2. Seperti pada yang sudah disampaikan, terjadinya miskonsepsi pada indikator konsep perhitungan pH larutan penyangga pada penambahan sedikit asam atau basa dikarenakan siswa merasa bingung dengan reaksi yang terjadi apabila suatu larutan penyangga ditambahkan larutan asam atau basa, sehingga mengakibatkan dalam perhitungan menentukan pH dan alasan yang diberikan tidak saling berkaitan.

Tidak hanya melakukan wawancara, penyebaran kuisioner juga dilakukan kepada siswa untuk mengetahui pendapat siswa mengenai cara mengajar guru dan kelengkapan konteks buku pendukung yang digunakan dalam proses pembelajaran. Persentase pendapat siswa mengenai cara mengajar guru, penguasaan konsep oleh guru, dan konteks buku yang mendukung proses pembelajaran dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Pernyataan yang diberikan kepada siswa mengenai pendapatnya terhadap guru, rata-rata dihasilkan bahwa siswa sangat setuju dengan 5 pernyataan positif yang diberikan. Siswa berpendapat 93,44% guru menguasai konsep materi larutan penyangga dengan baik.

Penguasaan konsep yang baik oleh guru dapat meminimalisir bahkan mencegah terjadinya miskonsepsi. Penguasaan konsep yang bagus oleh guru juga didukung dengan guru yang memberikan alur penjelasan konsep materi larutan penyangga secara terstruktur sehingga siswa memahami penjelasan yang disampaikan oleh guru. Guru juga membimbing siswa yang masih mengalami kesulitan dalam penguasaan konsep larutan penyangga dan guru memberikan kesempatan pada siswa untuk bertanya atau bertukar pikiran mengenai konsep larutan penyangga.

Kuisioner pendapat siswa mengenai konteks buku yang menunjang proses pembelajaran kimia khususnya pada materi larutan penyangga, rata-rata pendapat siswa setuju dengan 5 pernyataan yang diberikan. Siswa berpendapat 73,75% konteks materi larutan penyangga dalam buku yang digunakan lengkap. Kelengkapan konteks buku pendukung dalam proses belajar sangat baik tetapi tidak cukup hanya lengkap, bahasa buku dan tingkat kesulitan suatu buku menunjang proses pembelajaran di SMA juga harus diperhatikan.

Hasil kuisioner yang disebarakan kepada siswa menunjukkan bahwa 63,13% buku yang digunakan memiliki tingkat kesulitan yang tinggi dan 61,88% bahasa buku yang digunakan terlalu sulit sehingga siswa sulit untuk memahaminya. Buku pendukung proses pembelajaran di tingkat SMA selain lengkap, hendaknya harus menggunakan bahasa yang mudah dipahami oleh siswa sehingga siswa dapat dengan mudah memahami konsep dan dapat juga mencegah terjadinya miskonsepsi.

Tabel 4. Persentase Pendapat Siswa Mengenai Konteks Buku Kimia

No	Penyataan	Persentase
1	Penjelasan dalam buku mengalami kekeliruan dengan penjelasan guru	54,38%
2	Terdapat salah tulis, terutama dalam rumus pada materi larutan penyangga	52,50%
3	Tingkat kesulitan penulisan buku terlalu tinggi	63,13%
4	Bahasa dalam buku terlalu sulit untuk dipahami siswa	61,88%
5	Isi buku tentang materi larutan penyangga lengkap	73,75%

Siswa berpendapat 52,50% konteks buku pendukung proses pembelajaran terdapat kesalahan penulisan dan 54,38% penjelasan yang diberikan oleh guru berbeda dengan yang ada dalam buku teks kimia. Kesalahan penulisan yang terjadi dalam buku teks kimia dan penjelasan yang salah dalam buku dapat menjadi

salah satu faktor penyebab terjadinya miskonsepsi pada siswa.

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, faktor penyebab terjadinya miskonsepsi pada materi larutan penyangga yaitu menurut siswa, guru menguasai konsep materi larutan penyangga dengan baik, tetapi dari hasil wawancara guru kurang menekankan penjelasan konsep larutan penyangga dalam kehidupan sehari-hari sehingga siswa banyak mengalami miskonsepsi pada indikator tersebut. Kelengkapan konteks buku kimia pendukung proses pembelajaran tidak cukup apabila dalam buku terdapat kekeliruan dan bahasa yang digunakan terlalu sulit sehingga siswa dalam memahami konsep masih kurang. Tidak hanya dari guru dan buku yang menjadi faktor penyebab terjadinya miskonsepsi, siswa juga menjadi salah satu faktor penyebab terjadinya miskonsepsi itu sendiri. Selama proses pembelajaran materi larutan penyangga, terdapat siswa yang tidak fokus memperhatikan guru yang sedang menjelaskan materi, sehingga dapat mengakibatkan siswa tidak sepenuhnya menangkap penjelasan guru dengan baik.

## **SIMPULAN DAN SARAN**

### **Simpulan**

Berdasarkan pertanyaan penelitian, terdapat beberapa kesimpulan dalam penelitian ini, yaitu yang pertama terjadi miskonsepsi materi larutan penyangga pada konsep pengertian larutan penyangga, perhitungan pH dan pOH, penentuan massa, volume dan perbandingan volume larutan, dan fungsi larutan penyangga pada 80 siswa kelas XI IPA 4 dan XI IPA 5 SMA Negeri 2 Mataram. Kedua, miskonsepsi siswa yang terjadi pada materi larutan penyangga yaitu 47%. Miskonsepsi yang terjadi pada setiap indikator yaitu konsep pengertian larutan penyangga sebesar 43,37%; perhitungan pH dan pOH dengan menggunakan prinsip kesetimbangan sebesar 31,27%; penentuan massa, volume dan perbandingan volume larutan yang digunakan untuk membuat larutan sebesar 36,70%; perhitungan pH larutan penyangga pada penambahan sedikit asam atau basa sebesar 64,08%; dan fungsi larutan penyangga dalam tubuh makhluk hidup dan dalam kehidupan sehari-hari sebesar 58,75%. Ketiga, penyebab terjadinya miskonsepsi pada materi larutan penyangga yaitu guru, buku, dan siswa. Guru kurang menekankan penjelasan materi khususnya pada indikator konsep larutan penyangga pada kehidupan

sehari-hari. Terdapat kekeliruan penjelasan guru dengan yang terdapat dalam buku teks kimia yang digunakan sebagai pendukung dalam proses pembelajaran dan bahasa yang digunakan dalam buku teks kimia terlalu sulit yang mengakibatkan siswa sulit memahami konsep. Siswa yang kurang fokus dalam proses pembelajaran, sehingga materi yang disampaikan oleh guru tidak sepenuhnya dapat ditangkap dan dipahami oleh siswa, yang mengakibatkan siswa menduga-duga sendiri konsep tersebut dan terjadi miskonsepsi.

### **Saran**

Berdasarkan hasil penelitian, saran yang dapat diberikan peneliti yaitu pertama guru sebaiknya memaparkan dan menjelaskan konsep materi kimia khususnya materi larutan penyangga dengan lebih menekankan konsep larutan penyangga dalam kehidupan sehari-hari dan disertai contoh dalam kehidupan sehari-hari. Contohnya dalam bidang obat-obatan, misalnya obat tetes mata. Obat tetes mata yang digunakan sehari-hari merupakan contoh larutan penyangga. Suasana pH obat tetes mata pada obat tetes mata tersebut disesuaikan dengan kondisi pH manusia agar tidak menimbulkan bahaya. Kedua, buku teks kimia yang digunakan sebagai pendukung pelajaran kimia sebaiknya yang memiliki bahasa yang mudah dipahami oleh siswa. Ketiga, buku teks kimia yang digunakan sebagai pendukung pelajaran sebaiknya lebih dari satu buku teks.

### **DAFTAR PUSTAKA**

- Adodo, S. O. (2013). Effects of two-tier multiple choice diagnostic assessment items on students' learning outcome in basic science technology (BST). *Academic Journal of Interdisciplinary Studies*, 2(2), 201. Retrieved from <http://www.mcses.org/journal/index.php/ajis/article/view/379>
- Arikunto, S. (2010). *Prosedur penelitian: Suatu pendekatan praktik*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Bachman, E. (2005). *Metode belajar berpikir kritis dan inovatif*. Jakarta: Balai Pustaka.
- Bayrak, B. K. (2013). Using two-tier test to identify primary students' conceptual understanding and alternative conceptions in acid base. *Mevlana International Journal of Education (MIJE)*, 3(2), 19–26.

- <https://doi.org/10.13054/mije.13.21.3.2>
- Bayrak, B. K., & Bayram, H. (2011). Effects of problem-based learning in a web environment on conceptual understanding: the subject of acids and bases. *International Online Journal of Educational Sciences*, 3(3), 831–848.
- Cetin-Dindar, A., & Geban, O. (2011). Development of a three-tier test to assess high school students' understanding of acids and bases. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 15, 600–604. <https://doi.org/10.1016/J.SBSPRO.2011.03.147>
- Chiu, M. (2007). A national survey of students' conceptions of chemistry in Taiwan. *International Journal of Science Education*, 29(4), 421–452. <https://doi.org/10.1080/09500690601072964>
- Departemen Pendidikan Nasional Republik Indonesia. (2007). *Pedoman pengembangan tes diagnostik mata pelajaran IPA SMP/MTs*. Jakarta: Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah.
- Ediyanto, E. (2015). Pengembangan model penilaian formatif berbasis web untuk meningkatkan pemahaman konsep fisika. *Jurnal Pendidikan Sains*, 2(2), 63–75. <https://doi.org/10.17977/jps.v2i2.4499>
- Kartinah, K. (2012). Penggunaan model pembelajaran generatif (MPG) untuk meningkatkan pemahaman konsep pada mahasiswa jurusan pendidikan matematika. *AKSIOMA: Jurnal Matematika Dan Pendidikan Matematika*, 2(1/Maret). <https://doi.org/10.26877/aks.v2i1/maret.51>
- Khoiri, N., Farikhah, I., & Sucipto, U. (2012). Pemanfaatan projected motion media untuk meningkatkan pemahaman konsep mahasiswa pada mata kuliah ilmu pengetahuan bumi dan antariksa (IPBA). *Jurnal Penelitian Pembelajaran Fisika*, 2(1/April). <https://doi.org/10.26877/jp2f.v2i1/April.123>
- Kirna, I. M. (2010). Determinasi proposisi pembelajaran pemahaman konsep kimia melalui implementasi pembelajaran sinkronisasi kajian makroskopis dan submikroskopis. *Jurnal Pendidikan Dan Pengajaran*, 43(3), 185–191. <https://doi.org/10.23887/JPPUNDIKSHA.V43I3.120>
- Kwen, B. H., & Cheng, A. K. (2005). Using two tier reflective multiple choice questions to cater to creative thinking. In *AARE 2005 International Education Research Conference*. Singapore: Nanyang Technological University. Retrieved from <https://www.aare.edu.au/data/publications/2005/boo05235.pdf>
- Mulyadi, H. (2010). *Diagnosis kesulitan belajar dan bimbingan terhadap kesulitan belajar khusus*. Yogyakarta: Nuha Litera.
- Nugraeni, D., Jamzuri, J., & Sarwanto, S. (2013). Penyusunan tes diagnostik fisika materi listrik dinamis. *Jurnal Pendidikan Fisika*, 1(2). Retrieved from <http://jurnal.fkip.uns.ac.id/index.php/pfiska/article/view/2796>
- Orgill, M., & Sutherland, A. (2008). Undergraduate chemistry students' perceptions of and misconceptions about buffers and buffer problems. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 9(2), 131–143. <https://doi.org/10.1039/B806229N>
- Salirawati, D. (2011). Pengembangan instrumen pendeteksi miskonsepsi kesetimbangan kimia pada peserta didik SMA. *Jurnal Penelitian Dan Evaluasi Pendidikan*, 15(2), 232–249. <https://doi.org/10.21831/pep.v15i2.1095>
- Siswaningsih, W. (2014). Pengembangan tes diagnostik two-tier untuk mengidentifikasi miskonsepsi pada materi kimia siswa SMA. *Jurnal Pengajaran Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 19(1), 117. <https://doi.org/10.18269/jpmipa.v19i1.487>
- Sugiyono. (2006). *Statistika untuk penelitian*. Bandung: CV. Alfabeta.
- Sugiyono. (2010). *Metode penelitian kuantitatif kualitatif dan R & D*. Bandung: Alfabeta.
- Sulistyo, A., Emilda, A., Misriyah, A., Wijaya, C., & Ary W, I. (2011). *Makalah penelitian deskriptif dan survai*. Semarang. Retrieved from <http://anitamisriyahmissy.blogspot.co.id/2011/>
- Suwarto, S. (2010). Pengembangan the two-tier

- diagnostic tes pada bidang biologi secara terkomputersisasi. *Jurnal Penelitian Dan Evaluasi Pendidikan*, 14(2). <https://doi.org/10.21831/pep.v14i2.1079>
- Syayidah, L. (2010). Peningkatan pemahaman konsep gerak menggunakan media CD dengan pendekatan konstruktivistik kelas VII B semester 2 SMP Kesatrian 1 Semarang tahun ajaran 2009/2010. *Jurnal Penelitian Pembelajaran Fisika*, 1(2). <https://doi.org/10.26877/jp2f.v1i2/septembe.117>
- Tan, K.-C. D., Taber, K. S., Goh, N.-K., & Chia, L.-S. (2005). The ionisation energy diagnostic instrument: A two-tier multiple-choice instrument to determine high school students' understanding of ionisation energy. *Chemistry Education Research and Practice*, 6(4), 180–197. Retrieved from [http://www.rsc.org/images/Tanpaper\\_tcm18-41069.pdf](http://www.rsc.org/images/Tanpaper_tcm18-41069.pdf)
- Tüysüz, C. (2009). Development of two-tier diagnostic instrument and assess students' understanding in chemistry. *Scientific Research and Essay*, 4(6), 626–631. Retrieved from <http://www.academicjournals.org/SRE>
- Wahyuningsih, T., Raharjo, T., & Masithoh, D. F. (2013). Pembuatan Instrumen tes diagnostik fisika SMA kelas XI. *Jurnal Pendidikan Fisika*, 1(1), 111–117. Retrieved from <http://jurnal.fkip.uns.ac.id/index.php/pfiska/article/view/1785>
- Wijaya, M. H., Suratno, S., & HP, A. (2013). Pengembangan tes diagnostik mata pelajaran IPA SMP. *Jurnal Penelitian Dan Evaluasi Pendidikan*, 17(1), 19–36. <https://doi.org/10.21831/pep.v17i1.1359>
- Zimrot, R., & Ashkenazi, G. (2007). Interactive lecture demonstrations: A tool for exploring and enhancing conceptual change. *Chemistry Education Research and Practice*, 8(2), 197–211. Retrieved from [http://www.rsc.org/images/Ashkenazi\\_paper2\\_final\\_tcm18-85042.pdf](http://www.rsc.org/images/Ashkenazi_paper2_final_tcm18-85042.pdf)