

MULTI REPRESENTASI SEBAGAI ALTERNATIF PEMBELAJARAN DALAM FISIKA

Irwandani, M.Pd.¹

Program Studi Pendidikan Fisika IAIN Raden Intan Lampung

dirwansurya@yahoo.co.id

Abstrak: Multi representasi adalah model yang mempresentasi ulang konsep yang sama dalam beberapa format yang berbeda-beda. Beberapa bentuk representasi dalam fisika bisa berupa kata, gambar, diagram, grafik, simulasi komputer, persamaan matematika dan sebagainya. Multi representasi dapat membantu pembelajar dalam mempelajari dan membangun suatu konsep dan mengatasi permasalahan, membantu dalam memecahkan masalah, serta membantu untuk menyikapi masalah. Berbagai studimengetahui multi representasi menunjukkan bahwa ternyata multi representasi sangat penting untuk diterapkan dalam pembelajaran. Bahkan, ada ada usulan agar multi representasi dimasukkan ke dalam kurikulum pembelajaran fisika lanjutan.

Kata kunci: Multi representasi

PENDAHULUAN

Sampai saat ini, mata pelajaran fisika masih menjadi materi yang dianggap sulit dan tidak menyenangkan untuk dipelajari, baik itu bagi pembelajar di tingkat dasar, menengah sampai tingkat atas. Bahkan, mahasiswa yang mengambil jurusan yang banyak berkaitan dengan fisika pun (juga mahasiswa jurusan fisika) masih banyak yang menganggap fisika itu sebuah materi yang sulit untuk dipelajari. Ada banyak faktor yang melatarbelakangi hal tersebut. Salah satu faktor yang sering ditemukan yang mendasari para pembelajar kesulitan memahami materi fisika adalah kualitas pembelajaran yang kurang baik.

Untuk menilai baik tidaknya kualitas suatu pembelajaran, dapat dilihat dari strategi pembelajaran yang digunakan. Semakin banyak dan bervariasi strategi yang digunakan dalam menjelaskan suatu konsep atau materi, tentu akan semakin baik kualitas pembelajarannya. Begitupun sebaliknya. Strategi pembelajaran ini berkaitan dengan pemilihan pendekatan yang digunakan untuk menjelaskan suatu konsep atau materi tertentu. Pemilihan strategi pembelajaran yang tepat sangat menentukan keberhasilan pembelajaran itu sendiri.

Salah satu strategi pembelajaran yang sangat baik untuk diterapkan dalam pembelajaran fisika adalah pembelajaran berbasis multi representasi. Menurut Carl Angell dkk. (2007) multi representasi adalah model yang mempresentasi ulang konsep yang sama

¹Dosen Prodi Fisika Fakultas Tarbiyah dan Keguruan IAIN Raden Intan Lampung

dalam beberapa format yang berbeda-beda. David Rosengrant dkk. (2007) mengatakan bahwa representasi adalah sesuatu yang dapat disimbolkan atau simbol pada suatu obyek ataupun proses. Mereka menambahkan bahwa dalam fisika representasi bisa berupa kata, gambar, diagram, grafik, simulasi komputer, persamaan matematika dan sebagainya.

Menurut Ainsworth (Mehmet, dkk, 2010) ada tiga fungsi utama dari multi representasi, yaitu sebagai pelengkap dalam proses kognitif, membantu membatasi kemungkinan kesalahan interpretasi lain, dan membangun pemahaman konsep dengan lebih mendalam. Selain tiga fungsi utama di atas, multi representasi juga berfungsi untuk menggali perbedaan-perbedaan dalam suatu informasi yang dinyatakan oleh masing-masing interpretasi. Multi representasi cenderung digunakan untuk saling melengkapi dimana representasi tunggal tidak memadai untuk memuat semua informasi yang disampaikan.

Setidaknya ada lima alasan penting mengapa multi representasi sangat baik untuk digunakan dalam pembelajaran fisika, yaitu:

1. Pembelajaran multi representasi membantu pembelajar yang memiliki latar belakang kecerdasan yang berbeda (*multiple intelligences*). Karena representasi yang dibuat berbeda-beda memberikan kesempatan belajar yang optimal bagi setiap jenis kecerdasan.
2. Kuantitas dan konsep-konsep yang bersifat fisik seringkali dapat divisualisasikan dan dipahami lebih baik dengan menggunakan representasi.
3. Membantu mengonstruksikan representasi lain yang lebih abstrak.
4. Penalaran kualitatif seringkali terbantu dengan menggunakan representasi kongkret.
5. Representasi matematik yang abstrak dapat digunakan untuk penalaran kuantitatif dimana representasi matematik dapat digunakan untuk mencari jawaban kuantitatif terhadap soal.

Berdasarkan uraian singkat di atas, dapat disimpulkan bahwa multi representasi memang sangat penting diterapkan dalam pembelajaran sebagai salah satu pilihan strategi pembelajaran. Dalam makalah ini selanjutnya akan dibahas secara lebih mendalam mengenai teknis penerapan dari penelitian yang telah dilakukan serta hasil-hasil pembelajaran yang menggunakan strategi multi representasi.

PEMBAHASAN

A. Definisi Multi Representasi

Menurut Carl Angell dkk. (2007) multi representasi adalah model yang mempresentasi ulang konsep yang sama dalam beberapa format yang berbeda-beda. David

Rosengrant dkk. (2007) mengatakan bahwa representasi adalah sesuatu yang dapat disimbolkan atau simbol pada suatu obyek ataupun proses. Mereka menambahkan bahwa dalam fisika representasi bisa berupa kata, gambar, diagram, grafik, simulasi komputer, persamaan matematika dan sebagainya.

Selanjutnya Carl Angell dkk. (2007) dalam jurnalnya yang berjudul *Multiple Representations As a Framework for a Modelling Approach to Physics Education* (Multi Representasi sebagai Kerangka Model Pendekatan Pendidikan Fisika) berpendapat bahwa metode multi representasi (representasi ganda) harus menjadi strategi utama dalam pembelajaran fisika. Hal ini didasarkan pada dua argumen. Argumen pertama, pembelajaran fisika di sekolah seharusnya merefleksikan model pembelajaran yang mengarahkan pada proses pencarian pengetahuan dan pengenalan produk pengetahuan. Alasan kedua, pendekatan yang bermacam-macam (bervariasi) harus selalu ada dalam pembelajaran fisika. Para peneliti mencoba menggunakan metode multi representasi untuk menjelaskan fenomena fisika. Dalam penelitian tersebut para peneliti telah mengembangkan pengujian dimana kemampuan pemodelan empiris matematika siswa dioperasionalkan sebagai kemampuan dalam menginterpretasikan fenomena fisika. Penelitian ini dilakukan selama 3 tahun dengan melibatkan 4 peneliti, 13 guru dan 250 siswa. Penelitian dilakukan pada kelas lanjutan fisika. Siswa menggunakan multi representasi dalam memahami fenomena fisika, membuat hipotesis dan alasan terhadap suatu percobaan, membuat pemodelan matematika dan memvalidasinya. Sebagai penelitian tambahan sebuah kuisisioner dibagikan kepada siswa untuk mengetahui hubungan pembelajaran dengan kesadarannya pada multi representasi dalam fisika, pandangan epistemologi mereka dan strategi belajar mereka.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, para penulis memberikan sebuah rekomendasi agar kurikulum fisika lanjutan dipusatkan pada pemodelan dan didasarkan pada kerangka kerja atas multi representasi. Karena mereka meyakini bahwa model pendekatan ini dapat membantu siswa dalam menemukan beberapa tantangan atas pembelajaran fisika. Lebih lanjut berdasarkan hasil dari penerapan model pendekatan ini, ditemukan indikasi bahwa hubungan antara padangan epistemologi siswa, strategi pembelajaran mereka dan pemahaman mereka atas multi representasi membuat pemodelan ini perlu mendapatkan perhatian yang lebih utama dibandingkan dengan pendekatan lainnya.

B. Kelebihan dan Kekurangan Multi Representasi

Dalam jurnal *Strongly and Weakly Directed Approaches to Teaching Multiple Representation Use in Physics* (Pendekatan Langsung Kuat dan Lemah untuk Mengajarkan Penggunaan Multi Representasi dalam Fisika) karya Kohl dkk. (2007) pembelajaran dengan menggunakan multi representasi dapat dianggap sebagai kunci dari pembelajaran fisika. Dalam kajian jurnal ini ada dua hal pokok yang menjadi sorotan utama, yaitu bagaimana mahasiswa menggunakan multi representasi untuk memecahkan masalah dan bagaimana cara mengajar *problem solving* menggunakan multi representasi.

Penelitian ini dilakukan di dua tempat yaitu di Universitas Colorado (CU) dan di Universitas Rutgers, Universitas Negeri di New Jersey Amerika Serikat. Melibatkan mahasiswa semester dua fisika di CU dan Rutgers pada tahun 2006. Penelitian di dua tempat ini menggunakan dua pendekatan. Universitas Rutgers menggunakan pendekatan langsung yang betul-betul terarah (*Strongly directed approaches*). Sementara penelitian di Universitas Colorado juga menggunakan pendekatan langsung namun tidak benar-benar terarah/arahan lemah (*Weakly directed approaches*). Metode yang digunakan adalah studi kasus. Pada pendekatan langsung yang betul-betul terarah mahasiswa diajarkan secara jelas lima tahap pemecahan masalah. Sementara untuk mahasiswa CU yang menggunakan pendekatan langsung tidak terarah diminta untuk membuat model pemecahan masalah tanpa diajarkan strategi khusus. Keduanya diberikan empat soal pemecahan masalah kelistrikan. Selain empat soal utama, mahasiswa juga diberikan soal tantangan yang harus dipecahkan.

Berdasarkan data hasil penelitian dan pembahasan, diperoleh dua kesimpulan utama. Kesimpulan ini mengacu dari dua permasalahan utama yang diangkat dalam penelitian. Kesimpulan pertama, bahwa penggunaan multi representasi memang penting dalam keberhasilan penyelesaian permasalahan dalam fisika sebagaimana ditunjukkan oleh penelitian-penelitian sebelumnya. Penggunaan multi representasi pada permasalahan-permasalahan menantang dapat sangat membantu mahasiswa. Namun, jika digunakan dalam permasalahan yang sederhana mungkin tidak memiliki dampak positif pada keberhasilan mahasiswa.

Kesimpulan kedua, bahwa penggunaan multi representasi dapat diajarkan, dengan lebih dari satu cara. Kita tahu bahwa penelitian ini dilakukan di dua tempat dengan dua cara. Tempat pertama mempelajari pendekatan langsung terarah dan yang lainnya menggunakan pendekatan langsung yang tidak terarah. Keduanya sangat sukses dalam

mempromosikan penggunaan multi representasi pada berbagai permasalahan, dan kinerja mahasiswa secara umum dapat dibandingkan. Namun, secara khusus terdapat dua perbedaan hasil yang ditemukan, yaitu mahasiswa Universitas Colorado menyukai penggunaan multi representasi pada persoalan yang mudah sementara mahasiswa Rutgers menyukai penggunaan multi-representasi dengan benar pada permasalahan yang lebih sulit dan menantang.

C. Pola Penggunaan Multi Representasi

Kohl dkk. (2007) membahas tentang *Patterns of Multiple Representation Use by Experts and Novices During Physics Problem Solving* (Pola Penggunaan Multi Representasi oleh Ahli dan Pemula Selama Memecahkan Permasalahan Fisika). Dalam jurnal tersebut mereka berfokus untuk mengetahui pondasi apa yang dibangun oleh para fisikawan ahli dan pemula (mahasiswa ahli dan pemula). Melalui wawancara mereka diminta untuk menyelesaikan dua tipe permasalahan dalam multi representasi, yaitu multi representasi telah tersedia untuk mereka dan bagaimana mereka membangun representasi.

Penelitian ini dilakukan dengan teknik wawancara yang dilakukan selama 40 dan 60 menit kepada para mahasiswa ahli dan pemula. Para responden baik itu yang ahli dan pemula dipilih berdasarkan nilai dan latar belakang sehingga menjadi representasi dari kelompok/kelas mereka. Adapun jumlah responden untuk kelompok pemula berjumlah 11 orang, yang terdiri dari mahasiswa semester 1 dan 2. Sementara banyak responden untuk kelompok ahli berjumlah 5 orang yang terdiri dari lulusan fisika dan mahasiswa S2.

Dalam proses wawancara, para ahli dan pemula diberikan soal permasalahan untuk diselesaikan. Mereka diminta menyelesaikannya dengan tiga metode representasi yaitu pengkodean, data waktu, data percontohan. Para peneliti menganalisa secara detail tipe-tipe representasi subjek yang digunakan, bagaimana urutannya dan cara mereka menggunakan.

Adapun kesimpulan dari hasil penelitian ini yaitu, bahwa para ahli dan pemula secara mengejutkan memiliki persamaan dalam menggunakan representasi dalam beberapa cara. Namun, beberapa perbedaan signifikan juga muncul. Para ahli lebih berhasil dalam penyelesaian permasalahan yang dibutuhkan pada penggunaan multi representasi, menyelesaikannya lebih cepat dan bergerak lebih cepat. Sementara pemula cenderung bergerak diantara banyak keseluruhan representasi. Sebagai tambahan, dalam penelitian ini diperoleh temuan bahwa pengujian atas seberapa sering dan kapan multi

representasi digunakan ternyata tidak cukup untuk memberi karakteristik secara penuh terhadap tahap penyelesaian masalah.

D. Temuan Tentang Multi Representasi

Dalam jurnal *An Overview of Recent Research on Multiple Representations* (Sebuah Ringkasan dari Temuan Penelitian Saat Ini Tentang Multi Representasi) karya Rosengrant dkk. (2007) mengatakan beberapa temuan dari penelitian komunitas pendidikan fisika (PER) mengenai pembelajaran multi representasi. Tren penelitian yang ditemukan dan dikembangkan oleh kelompok peneliti ini (penelitian tahun 2003-2005) adalah pembelajaran multi representasi dapat membantu mahasiswa mempelajari konsep dan mengatasi permasalahan, menggunakan multi representasi untuk memecahkan masalah, dan menggunakan multi representasi dalam menyikapi masalah.

Penelitian Hinrichs menyimpulkan bahwa multi representasi dapat membantu mahasiswa dalam mempelajari konsep fisika. Sedangkan Finkelstein dan kawan-kawan menemukan bahwa pembelajaran multi representasi dapat memberikan efek yang signifikan pada pemahaman serta membantu proses pemecahan masalah. Hinrichs menggunakan sistem skema untuk membantu siswa mempelajari konsep dinamika. Sementara Finkelstein menggunakan simulasi komputer untuk membantu siswa dalam mempelajari sirkuit DC.

Selanjutnya, tren penelitian lain yang ditemukan adalah menggunakan multi representasi untuk memecahkan masalah. Ada beberapa penelitian investigasi mengenai tren ini seperti De Leone dan Gire dan kelompok peneliti yang menulis jurnal ini, yaitu David Rosengrant, Eugenia Etkina and Alan Van Heuvelen. De Leone dan Gire meneliti seberapa banyak representasi yang digunakan mahasiswa untuk memecahkan masalah. Sementara tim David Rosengrant meneliti salah satu bentuk representasi yang digunakan mahasiswa untuk memecahkan masalah.

Tren yang ketiga yaitu bagaimana menggunakan multi representasi dalam menyikapi masalah. Tren ini diteliti oleh Kohl dan Finkelstein, Danci dan Biechner dan D. Meltzer. Kohl dan Finkelstein menemukan bahwa kebanyakan mahasiswa lebih menyukai pernyataan permasalahan direpresentasikan dalam bentuk gambar dan kata, grafik atau persamaan matematika. Danci dan Biechner menggunakan animasi komputer dalam memberi beberapa pertanyaan dalam pretes. Sedangkan Meltzer melakukan studi perbandingan dari beberapa bentuk representasi.

E. Contoh Penerapan Multi Representasi

Jurnal *Facilitating Students' Problem Solving across Multiple Representations in Introductory Mechanics* (Membantu Mahasiswa Memecahkan Masalah Menggunakan Multi Representasi pada Materi Pengantar Mekanika) karya Nguyen dkk. (2010) berfokus pada penelitian dengan melakukan wawancara kepada 20 mahasiswa semester pertama kuliah kalkulus-dasar fisika yang telah dipilih secara acak. Responden tersebut merupakan gabungan dari mahasiswa baru dan mahasiswa tingkat dua. Topik yang digunakan adalah beberapa topik dalam pengantar mekanika. Wawancara dilakukan sebanyak empat kali, beberapa dilakukan setelah ujian.

Berdasarkan hasil wawancara tersebut, para peneliti menemukan beberapa kesulitan mahasiswa jika dijawab melalui wawancara. Kesulitan itu diklasifikasikan sebagai sebuah kendala dalam fisika sendiri dan kendala merepresentasikan masalah. Penelitian ini bertujuan untuk membantu mengidentifikasi kesulitan umum mahasiswa yang ditemukan ketika menyelesaikan soal fisika. Para peneliti menemukan bahwa kebanyakan kesulitan representasi meningkat karena kekurangan kemampuan mahasiswa dalam menghubungkan pengetahuan fisika dengan matematika.

Berdasarkan temuan tersebut, para peneliti kemudian mengembangkan, menguji, dan memperbaiki serangkaian latihan penyelesaian soal untuk membantu mahasiswa belajar menyelesaikan soal dalam representasi grafik dan persamaan. Peneliti kemudian menyajikan temuan mereka tentang kesulitan-kesulitan tersebut dengan representasi grafik dan persamaan, latihan penyelesaian masalah untuk dilihat dampaknya pada kemampuan mahasiswa menyelesaikan soal.

Berdasarkan hasil penelitian peneliti mendapatkan kesimpulan:

1. Temuan bahwa umumnya mahasiswa menghadapi bermacam-macam kesulitan ketika menyelesaikan soal mekanika dalam representasi grafik dan persamaan. Kesulitan-kesulitan tersebut dikarenakan mahasiswa salah paham atau salah menggunakan prinsip-prinsip dan konsep-konsep fisika. Kesulitan-kesulitan dengan representasi grafik dan persamaan dikarenakan mahasiswa tidak mampu untuk menghubungkan kemampuan matematika mereka dalam konteks fisika.
2. Setelah peneliti membuat sekumpulan soal yang ditujukan pada permasalahan di atas, diperoleh hasil yang mengindikasikan bahwa sekumpulan permasalahan itu

membantu mahasiswa mengembangkan kemampuan representasi, meski soal-soal tersebut tidak efektif dalam pengembangan kemampuan pemecahan masalah fisika.

3. Hasil pada aspek representasi dalam penyelesaian masalah ini untuk mendorong sebuah strategi dalam rangka mengembangkan kemampuan representasi mahasiswa fisika. Strategi yang diajukan mengarahkan mahasiswa melalui urutan soal yang disusun untuk menekankan aktivasi dan aplikasi pengetahuan matematika dan kemampuan dalam konteks fisika.

IMPLIKASI PADA PEMBELAJARAN FISIKA

Secara umum dari pembahasan di atas merekomendasikan akan pentingnya penggunaan multi representasi dalam pembelajaran, khususnya pembelajaran fisika. Bahkan beberapa jurnal mengharuskan penggunaan multi representasi sebagai pilihan utama untuk menyelesaikan permasalahan fisika.

Carl Angell dkk. (2007) mengungkapkan dua alasan utama mengapa multi representasi harus dijadikan pilihan utama sebagai strategi pembelajaran fisika, pertama pembelajaran fisika di sekolah harus merefleksikan model pembelajaran yang mengarahkan pada proses pencarian pengetahuan dan pengenalan produk pengetahuan. Alasan kedua, pendekatan yang bermacam-macam (bervariasi) harus selalu ada dalam pembelajaran fisika. Pendapat ini diperkuat oleh Patrick B. Kohl dkk. (2007) yang mengatakan bahwa pembelajaran dengan menggunakan multi representasi dapat dianggap sebagai kunci dari pembelajaran fisika. Sementara Dong-Hai Nguyen dkk. (2010) mempertegas bahwa pemecahan masalah menggunakan multi representasi merupakan keahlian yang harus dimiliki oleh fisikawan dan teknisi di masa yang akan datang. Sehingga melatih pemecahan masalah menggunakan cara-cara multi representasi wajib diajarkan di sekolah atau universitas.

Berdasarkan hasil penelitian terhadap penggunaan multi representasi dalam pembelajaran, semuanya menunjukkan hasil yang positif, yaitu bahwa penggunaan multi representasi memang penting dalam keberhasilan penyelesaian permasalahan dalam fisika (Kohl, 2007). Selain itu, multi representasi juga dapat membantu pembelajar dalam mempelajari konsep dan mengatasi permasalahan, menggunakannya untuk memecahkan masalah, serta menyikapi masalah (Rosengrant, 2007). Oleh karena itu, wajar jika multi representasi direkomendasikan untuk dijadikan bagian dari kurikulum fisika lanjutan (Angell, 2007).

KESIMPULAN

Multi representasi adalah model yang mempresentasi ulang konsep yang sama dalam beberapa format yang berbeda-beda. Representasi adalah sesuatu yang dapat disimbolkan atau simbol pada suatu obyek ataupun proses. Mereka menambahkan bahwa dalam fisika representasi bisa berupa kata, gambar, diagram, grafik, simulasi komputer, persamaan matematika dan sebagainya. Berdasarkan pembahasan diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dalam fisika ada beberapa format representasi yang dapat dimunculkan, yaitu:
 - a. Deskripsi verbal; untuk memberikan definisi dari suatu konsep.
 - b. Gambar/diagram; penggambaran/visualisasi suatu konsep agar lebih jelas.
 - c. Grafik; penjelasan panjang dari suatu konsep.
 - d. Matematik; untuk menyelesaikan persoalan kuantitatif.
2. Multi representasi dapat diajarkan dengan menggunakan pendekatan lebih dari satu (Kohl, 2007). Artinya, kita dapat menerapkan atau mengkombinasikan multi representasi dengan strategi maupun model pembelajaran lainnya.
3. Temuan Kohl (2008) mengungkapkan bahwa para ahli dan para pemula ternyata memiliki persamaan dalam beberapa hal ketika menggunakan multi representasi. Hal ini mengindikasikan bahwa pengguna multi representasi tidak harus untuk orang yang sudah menguasai multi representasi saja, melainkan orang yang baru belajarpun boleh menggunakan multi representasi untuk memecahkan masalah. Dengan catatan orang yang baru belajar harus banyak belajar lebih banyak daripada orang yang telah ahli dalam menggunakan multi representasi.
4. Multi representasi dapat membantu mempelajari konsep dan mengatasi permasalahan, membantu memecahkan masalah, serta membantu menyikapi masalah (Rosengrant, 2007). Jika kita tarik pada area yang lebih luas, yaitu berkenaan dengan kehidupan sehari-hari, ternyata multi representasi dapat dipandang sebagai alat untuk memecahkan suatu masalah dengan berbagai sisi pemecahan. Tentu saja ini adalah sebuah kemampuan yang sangat diperlukan dan mutlak ada pada setiap orang. Oleh karena itu wajar jika Angell dkk. (2007) merekomendasikan pembelajaran multi representasi dijadikan sebagai bagian dari kurikulum fisika lanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Angell, C., O. Guttersrud, and EK. Henriksen. (2007). *“Multiple representations as a framework for a modelling approach to physics education”*. Department of Physics, University of Oslo, NORWAY, and Per Morten Kind, School of Education, Durham University, UK.
- Kohl, P.B., and ND. Finkelstein. (2008). *“Patterns of multiple representation use by experts and novices during physics problem solving”*. Physical Review Special Topics-Physics Education Research 4, 010108.
- Kohl, P.B., D. Rosengrant and ND. Finkelstein. (2007). *“Strongly and weakly directed approaches to teaching multiple representation use in physics”*. Physical Review Special Topics-Physics Education Research 3, 010108.
- Nguyen, D.H., E. Gire, and N.S. Rebello. (2010). *“Facilitating students problem solving across multiple representations in introductory mechanics”*. Department of Physics, 116 Cardwell Hall, Kansas State University, Manhattan, KS 66506-2601
- Ozmantar M. F., H. Akkoc, EBS. Demir, B. Ergene. (2010). *“Pre-Service Mathematics Teachers’ Use of Multiple Representations in Technology-Rich Environments”*. Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education, 2010, 6(1), 19-36
- Rosengrant, D., E. Etkina and AV. Heuvelen. (2007). *“An Overview of Recent Research on Multiple Representations”*. Rutgers, The State University of New Jersey GSE, 10 Seminary Place, New Brunswick NJ, 08904
- Saprudin. (2010). *Penggunaan Multimedia Interaktif dalam Pembelajaran Cahaya untuk meningkatkan Keterampilan Generik Sains dan Berpikir Kritis Siswa*. Tesis Magister pada SPs UPI Bandung: tidak diterbitkan.