PENGEMBANGAN MODEL PRAKTIKUM FISIKA BERBASIS ANALISIS KETIDAKPASTIAN PENGUKURAN

Ahmad Fauzi, Edy Wiyono Sri Budiawanti¹⁾

1) Program Studi Pendidikan Fisika PMIPA FKIP UNS
Jl. Ir. Sutami 36A Surakarta,
fauziuns@gmail.com

Abstrak

Di dalam setiap kegiatan laboratorium, dilakukan pengukuran dan analisis data untuk membuat suatu kesimpulan. Oleh karena itu analisis ketidakpastian pengukuran menjadi sangat penting. Praktikum merupakan salah satu bagian utama dari fisika, namun sayangnya tidak dijabarkan secara jelas sampai tingkat manakah pengetahuan dasar tentang pengukuran harus diajarkan dan langkah-langkah pengolahan data yang harus mahasiswa kuasai. Menurut hasil beberapa penelitian menunjukkan bahwa kemampuan mahasiswa tentang analisis ketidakpastian pengukuran rendah. Menurut beberapa penelitian, diketahui bahwa minimnya kemampuan mahasiswa dikarenakan banyak mahasiswa meremehkan analisis ketidakpastian. Tujuan penelitian ini adalah menghasilkan model praktikum fisika berbasis analisis ketidakpastian pengukuran yang sesuai untuk mahasiswa. Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian pengembangan (R and D) yang meliputi tahap (1) studi pendahuluan dan (2) pengembangan model. Penelitian ini dilaksanakan di Pendidikan Fisika Jurusan PMIPA FKIP UNS. Data penelitian dikumpulkan melalui observasi, tes, wawancara dan angket. Data dari observasi, wawancara dan angket dianalisis dengan teknik deskriptif kualitatif sedangkan hasil tes dianalisis dengan gain ternormalisasi. Berdasarkan hasil uji coba model praktikum yang dibuat disimpulkan bahwa model praktikum berbasis ketidakpastian yang sesuai untuk mahasiswa adalah model praktikum yang lebih menitikberatkan pemahaman tentang dasar-dasar analisis ketidakpastian pengukuran secara lengkap sebelum mahasiswa melaksanakan kegiatan laboratorium. Pada model ini, mahasiswa harus mengajukan hipotesis sendiri, melakukan percobaan untuk menguji hipotesis selain itu tiap kegiatan praktikum mahasiswa harus mengerjakan soal pre tes dan post tes. Hasil uji coba model praktikum dengan prinsip One on One menunjukkan skor gain 0,43 yang tergolong sedang, hasil uji coba kelompok kecil menunjukkan skor gain 0,51. Gain diperoleh pada uji coba yang lebih luas adalah 0,42 yang tergolong sedang.

Kata Kunci: Analisis, ketidakpastian, pengukuran

Pendahuluan

Dalam pembelajaran fisika, mahasiswa diharapkan tidak hanya menguasai konsep-konsep fisika secara teori tetapi juga mampu menggunakan metode ilmiah untuk membuktikan konsep-konsep fisika yang didapat dari teori tersebut. Praktik laboratorium adalah salah satu cara yang ditempuh untuk mencapai tujuan ini. Sekarang ini, hampir semua dasar-dasar fisika yang diajarkan kepada mahasiswa didasarkan pada percobaan/eksperimen, dimana dalam eksperimen tersebut memerlukan pengukuran yang selalu mengandung ketidakpastian.

Didalam setiap kegiatan laboratorium, mahasiswa melakukan pengukuran dan harus menganalisis data mereka untuk membuat suatu kesimpulan. Oleh karena itu pengajaran analisis ketidakpastian menjadi sangat penting. Sekalipun demikian menurut Taylor (1997) banyak guru, dosen sampai profesor dibuat pusing dengan minimnya kemampuan dan pengertian siswa/mahasiswa tentang hal ini. Menurut Taylor minimnya kemampuan dan pengertian mahasiswa dikarenakan banyak mahasiswa meremehkan analisis ketidakpastian.

Pengukuran ketidakpastian merupakan suatu bagian penting dari suatu kegiatan eksperimen (praktikum). Ilmu

pengetahuan tersusun dari sejumlah pengetahuan yang tersusun secara sistematis dengan melibatkan sekumpulan data melalui pengamatan, eksperimen, perumusan masalah dan pengujian hipotesis. Hukum alam dikembangkan dan diuji dari tahun ke tahun dengan menggunakan metode ilmiah. Proses inquiri secara alami mengarahkan pertanyaan penting tentang apakah hasil suatu pengukuran sesuai dengan suatu hipotesis (ramalan teoritis) dan apakah hasil pengukuran tersebut dapat dibuktikan oleh peneliti lain. Untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan tersebut ketidakpastian dari pengukuran harus dinyatakan untuk menunjukkan ketepatan dan ketelitian pengukuran yang dilakukan. Hanya setelah ketidakpastian dari suatu hasil percobaan diketahui, suatu kesimpulan yang layak dapat dibuat untuk dibandingkan dengan suatu prediksi teoritis atau beberapa nilai percobaan lain. Oleh karena itu, proses menentukan ketidakpastian pengukuran menjadi kemampuan dasar yang harus dimiliki untuk melakukan semua percobaan ilmiah.

Pengolahan data dan perbandingan data, mutlak membutuhkan pengetahuan tentang prinsip pengukuran dan pengetahuan tentang analisis ketidakpastian. Pengukuran yang berhubungan dengan ketidakpastian sangat penting dalam pengetahuan empiris dan menjadi salah satu komponen yang paling mendasar dan penting dalam pendidikan ilmu pengetahuan alam (Duggan dan Gott 2002). Masing-masing tahap dari eksperimen, desain eksperimen, pelaksanaan, analisis dan tahap pengambilan kesimpulan membutuhkan pengetahuan tentang bagaimana cara melaksanakan pengukuran dan kemampuan dalam menggunakan pengetahuan ini secara tepat dengan pemahaman tentang ketidakpastian yang selalu meliputi pengukuran yang dilakukan. Sebagai contoh, seorang mahasiswa akan melakukan percobaan ayunan sederhana untuk menentukan besarnya percepatan gravitasi dengan mengukur periode ayunan. Tanpa pemahaman tentang konsep pengukuran, maka mahasiswa tersebut tidak akan dapat memutuskan: bagaimana cara merangkai peralatan ayunannya (apakah benang harus tegang atau boleh kendur?), bagaimana cara mengukur periodenya (apakah stopwatch harus mulai dihidupkan atau

dimatikan pada saat ayunan berayunan melewati titik tertinggi atau titik terendah?) dan berapa banyak pengukuran perlu dilakukan (berapa kali pengukuran perlu diulang atau data manakah yang perlu dipakai atau perlu dibuang).

Deardroff dan Fairbrother (2001) menyatakan bahwa pengetahuan tentang ketidakpastian secara lebih luas dapat dikategorikan sebagai berikut:

- Semua pengukuran selalu berhubungan dengan ketidakpastian, yang seharusnya dapat diukur dan dilaporkan.
- Hasil perhitungan yang berhubungan dengan ketidakpastian berdasarkan pada ketidakpastian berpengaruh terhadap nilai variabel terikat eksperimen tersebut.
- Desain eksperimen dan ketrampilan dalam melaksanakan percobaan berpengaruh luas terhadap adanya ketidakpastian dalam suatu pengukuran.
- Tidaklah mungkin secara ilmiah membandingkan hasil dan menarik kesimpulan dari suatu eksperimen tanpa melibatkan ketidakpastiannya.

Berdasarkan uraian Deardroff dan Fairbrother tersebut dapat disimpulkan bahwa pengetahuan ketidakpastian sangat penting dalam menunjang kegiatan laboratorium. Banyak orang menganggap bahwa pengetahuan tentang pengukuran adalah hal sepele dan tidak penting. Hal ini dapat diketahui dengan sedikitnya penelitian yang mengkaji masalah pengukuran dan ketidakpastian pengukuran. Penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya berfokus pada identifikasi kesulitan mahasiswa dan tes pemahaman mahasiswa tentang pengukuran. Salah satu dari hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa mahasiswa secara spontan jarang melakukan ujicoba berulang kecuali mereka menemui adanya keganjilan dalam melakukan pengukuran pertama kalinya (Sere, Journeux & Larcher, 1993). Umumnya, mahasiswa dalam melaksanakan suatu percobaan berfokus pada

pencarian nilai sebenarnya tanpa mempertimbangkan ketidakpastiannya.

Menurut hasil penelitian Lubben et al (2005) bahwa banyak siswa sekolah menengah dan mahasiswa mengalami kesulitan dalam melakukan pengukuran secara benar dan memperkirakan secara tepat tentang reliabilitas dan validitas hasil pengukurannya. Penelitian yang dilakukan Lubben et al. ini memiliki dua tujuan pokok, pertama untuk menyelidiki pengaruh pedoman praktikum terhadap pemahaman mahasiswa tentang pengukuran dan ketidakpastian dan kedua mengidentifikasi pola dari alasan mahasiswa tentang pelaksanaan pengukuran dan pengukuran ketidakpastian.

Hasil penelitian Buffler et al. (2001) menunjukkan bahwa sebelum dilakukan kegiatan praktikum, prosentase dari mahasiswa yang memberi alasan dari Point-Paradigm tentang pertanyaan pengumpulan pengolahan data berada pada range 54%-77% dan menurun menjadi 13%-21% setelah kegiatan praktikum. Ketika diminta untuk membandingkan dua kumpulan data dari masing-masing lima data percobaan dengan rata-rata percobaan diketahui, tidak ditemukan mahasiswa yang menggunakan Point-Paradigm dalam memberikan alasan, dan 98% mahasiswa memberi alasan gabungan antara Set Paradigm dan Point Paradigm. Kebanyakan mahasiswa menjawab dengan membandingkan rata-rata kedua data tersebut, dan mereka masuk dalam kategori gabungan (Set Paradigm dan Point Paradigm) karena mereka menggunakan pemahaman rata-rata akan tetapi mereka tidak memberikan cukup bukti bahwa mereka mempertimbangkan pengukuran lain. Para mahasiswa mampu menggunakan matematika berdasarkan kategori Set Paradigm, tetapi pemahaman matematika tersebut tidak mampu mendukung alasan mereka berdasarkan kategori pemahaman Set Paradigma.

Rahardjo dkk (2007) mengadakan penelitian tentang hubungan antara kemampuan psikomotor, sikap ilmiah dan pemahaman konsep fisika pada mahasiswa yang mengikuti kegiatan praktikum fisika dasar. Berdasarkan hasil penelitian tersebut disimpulkan bahwa sikap ilmiah mahasiswa tergolong rendah. Rendahnya sikap ilmiah mahasiswa ini disebabkan oleh banyak faktor

diantaranya mata kuliah praktikum oleh mahasiswa dianggap sebagai sesuatu yang terpaksa mereka lakukan karena tercantum dalam daftar mata kuliah sehingga harus diambil, akibatnya praktikum dilakukan mahasiswa dengan semangat ingin tahu yang minimum dengan tidak ada pengertian cukup tentang maksud dan tujuan kurang dipersiapkan. Pengukuran dilakukan secara spontan, tanpa adanya kesadaran tentang apa yang sedang terjadi. Hal ini berakibat pada timbulnya rasa bosan dan jemu, dan waktu yang digunakan di laboratorium seolah-olah waktu yang terbuang.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Pendidikan Fisika Jurusan PMIPA FKIP Universitas Sebelas Maret Surakarta. Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian pengembangan (Research and Development). Model pengembangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah model yang dikembangkan oleh Sukmadinata. Model ini meliputi 2 tahap pengembangan yaitu studi pendahuluan, pengembangan produk. Tahap studi pendahuluan terdiri atas: studi pustaka, survei lapangan dan penyusunan produk awal. Sedangkan untuk tahap pengembangan meliputi uji coba terbatas dan uji coba yang lebih luas. Uji coba terbatas dengan prinsip One on One dan kelompok kecil yang terdiri atas 8 mahasiswa yang dipilih secara acak. Sedangkan untuk uji coba lebih luas dilakukan pada seluruh mahasiswa semester III Program Pendidikan Fisika FKIP Universitas Sebelas.

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini adalah dengan observasi, tes, wawancara dan angket. Data-data dari observasi, wawancara dan angket diolah menggunakan teknik deskriptif kualitatif sedangkan tes diolah dengan menggunakan gain ternormalisasi dengan persamaan gain ternormalisasi Hake berikut:

$$\langle g \rangle = \frac{\langle S_f \rangle - \langle S_i \rangle}{1 - \langle S_i \rangle}$$

dengan:

g = gain

Sf = nilai rata-rata kelas akhir

Si = nilai rata-rata kelas mula-mula

Keputusan uji:

g dikategorikan tinggi jika $(\langle g \rangle) \geq 0.7$;

g dikategorikan sedang jika $0.7 > (\langle g \rangle) \geq 0.3$;

g dikategorikan rendah jika $(\langle g \rangle) < 0.3$.

(Hake, 1998)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Model praktikum yang dikembangkan yaitu model praktikum inquiri yang diharapkan dapat membantu mahasiswa meningkatkan ketrampilan proses ilmiah dan strategi praktikum mengacu pada kemampuan-kemampuan analisis ketidakpastian pengukuran.

Berdasarkan hasil kajian-kajian penelitian-penelitian sebelumnya, disimpulkan bahwa dalam model praktikum fisika berbasis analisis ketidakpastian pengukuran ini, kemampuan awal yang harus dimiliki mahasiswa adalah kemampuan analisis ketidakpastian pengukuran sehingga sebelum mahasiswa memulai praktikum, diajarkan dulu analisis ketidakpastian pengukuran. Setelah dipandang semua mahasiswa memahami analisis ketidakpastian pengukuran maka praktikum dapat dimulai. Dalam kegiatan laboratorium ini, dua hari sebelum praktikum mahasiswa harus mengerjakan pre tes dan membaca informasi tentang praktikum yang akan dikerjakan yang dapat diunduh dari Blog, setelah dinilai lulus praktikum dapat dimulai. Sebelum melaksanakan praktikum, mahasiswa harus membuat hipotesis praktikum yang akan dikerjakan kemudian melaksanakan praktikum dengan panduan modul. Setelah melaksanakan praktikum, mahasiswa harus membuat laporan praktikum yang harus dikumpulkan seminggu berikutnya, selain itu mahasiswa juga harus menjawab soal post tes yang dapat diunduh dari blog yang berisi soal-soal yang menguji pengetahuan dan ketrampilan yang dimiliki mahasiswa setelah mengikuti kegiatan laboratorium. Pada penelitian ini, mahasiswa diajarkan pengolahan data praktikum menggunakan Program Microsoft Excel yang

diharapkan dapat mempermudah mahasiswa mengolah data praktikum. Pada model praktikum ini, untuk setiap pertemuan, semua kelompok mahasiswa mengerjakan topik praktikum yang sama dan topik praktikum dibuat secara berurutan. Sebagai pedoman dalam melaksanakan praktikum, maka model praktikum ini dilengkapi dengan modul praktikum. Modul praktikum yang dihasilkan terdiri atas dua bab. Bab 1 berisi tentang dasar-dasar analisis ketidakpastian pengukuran dan bab 2 berisi topik-topik praktikum. Topik-topik praktikum pada penelitian ini ada tiga yaitu laboratorium massa, sistem pegas dan ayunan sederhana. Secara garis besar isi dari modul praktikum yang dibuat adalah kajian tentang kesulitan/miskonsepsi yang dialami mahasiswa seputar topik yang akan dipelajari, modul untuk mahasiswa yang berisi pre tes, penjelasan topik yang akan dipelajari, hipotesis, cara kerja, dan analisis data dan post tes.

Draft modul praktikum disusun dengan beberapa kali revisi atas saran reviewer. Revisi tersebut adalah kalimat-kalimat yang kurang efektif dan pentingnya ilustrasi gambar percobaan. Dalam uji coba terbatas dengan prinsip One on One (2 mahasiswa) diperoleh skor gain 0,43. Untuk uji coba kelompok kecil (8 mahasiswa) diperoleh skor gain 0,51. Pada uji coba kelompok besar (1 kelas) diperoleh skor 0,42. Skor-skor hasil uji coba ini tergolong sedang.

Berdasarkan hasil dari langkah-langkah pengembangan tersebut dapat disimpulkan bahwa penelitian ini telah menghasilkan draft akhir model dan modul praktikum fisika berbasis analisis ketidakpastian pengukuran. Model dan modul praktikum yang disusun setelah diujicobakan di lapangan secara nyata telah terbukti berdampak positif terhadap peningkatan pemahaman konsep ketidakpastian pengukuran. Dampak lain dari penggunaan bahan ajar tersebut adalah semakin meningkatnya kemampuan mahasiswa dalam menganalisis data-data percobaan dengan menggunakan bantuan Microsoft Excel.

Berdasarkan hasil observasi kinerja mahasiswa dalam melakukan kegiatan percobaan di

laboratorium diperoleh hasil bahwa pada 50% mahasiswa menunjukkan kinerja yang tinggi, 20% menunjukkan kinerja yang sedang dan 30% menunjukkan kinerja yang rendah.

Hasil analisis tanggapan mahasiswa terhadap modul diuraikan selengkapnya dalam tabel berikut.

Tabel 1. Angket Tanggapan Mahasiswa terhadap Modul Praktikum

No	Pernyataan	SS	S	R	TS	SSTS
1	Modul ini dapat dipergunakan sebagai sumber referensi belajar	35	75			
2	Isi modul bermanfaat dalam studi saya	10	90			
3	Isi materi modul cukup lengkap	68	18	14		
4	Tampilan isi modul menarik dan interaktif	23	59	18		
5	Instruksi dalam modul secara umum cukup membantu dalam melakukan kegiatan praktikum	5	85	5	5	
6	Dalam menggunakan modul, dosen tetap dibutuhkan	44	55			
7	Adanya tutorial dasar-dasar pengukuran sangat membantu mahasiswa	11	86			
8	Kata dan bahasa yang dipakai dalam modul dapat dibaca secara praktikum. Untuk membantu mahasiswa	64	18	18		
9	Kata dan bahasa yang dipakai dalam modul dapat dipahami	50	50	5		
10	Modul ini membantu saya meningkatkan pemahaman tentang analisis ketidakpastian pengukuran	4	91	5		
11	Adanya soal pre tes dan pos tes membantu saya mengetahui seberapa baik pengetahuan saya tentang praktikum yang saya kerjakan	9	86	5		
12	Penggunaan Microsoft Excel untuk menggambarkan grafik mempermudah mengolah data-data percobaan	77	23			
13	Modul ini cukup mudah dipelajari	31	64	5		
14	Setelah menggunakan modul kemampuan pemahaman saya untuk memahami grafik semakin meningkat	77	23			
15	Setelah menggunakan modul ini pemahaman saya tentang konsep analisis ketidakpastian pengukuran semakin meningkat	41	50	9		
16	Setelah menggunakan modul ini pemahaman saya tentang persamaan diferensial dan pengukuran karena berguna untuk menentukan persamaan ralat	32	50	18		
17	Penggunaan fasilitas fitting data membantu saya memperoleh data yang akurat dan presisi	59	36	5		
18	Penggunaan modul dengan bantuan Microsoft Excel sangat membantu dalam memahami berbagai konsep fisika yang diperoleh dari grafik	14	50	31	5	
19	Saya sangat senang menggunakan modul ini dan trendline membantu akurasi dan presisi data dari praktikum yang dikerjakan	66	71	14		
20	Saya tidak merasa bosan dalam menggunakan modul ini	87	29	4		

Berdasarkan tabel 1 di atas dapat dikemukakan bahwa secara umum mahasiswa berpendapat bahwa modul yang disusun masuk dalam kategori baik. Berdasarkan hasil analisis angket tersebut dapat disimpulkan bahwa penggunaan modul dapat meningkatkan pemahaman mahasiswa tentang ketidakpastian pengukuran.

PENUTUP

Berdasarkan hasil analisis hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa model praktikum berbasis ketidakpastian yang sesuai untuk mahasiswa adalah model praktikum yang lebih menitikberatkan pemahaman tentang dasar-dasar analisis ketidakpastian pengukuran secara lengkap sebelum

mahasiswa melaksanakan kegiatan praktikum. Pada model ini, mahasiswa harus mengajukan hipotesis sendiri, melakukan percobaan untuk menguji hipotesis yang diajukan secara mandiri selain itu tiap kegiatan praktikum mahasiswa harus mengerjakan soal pre tes dan post tes. Untuk membantu mahasiswa melaksanakan kegiatan praktikum maka mahasiswa juga diberi panduan modul praktikum. Untuk membantu mahasiswa mengolah data praktikum, mahasiswa diajarkan teknik pengolahan data dengan menggunakan Program Microsoft Excel sehingga mahasiswa semakin mudah dalam melaksanakan kegiatan praktikum.

DAFTAR PUSTAKA

Abbott, D. S. (2003). *Assessing student understanding of measurement and uncertainty*, doctoral dissertation, North Carolina State University.

Allie, S., & Buffler, A. (1998). A course in tools and procedures for Physics 1. *American Journal of Physics*, 66(7), 613-624.

Buffler, A., Allie, S., Lubben, F., & Campbell, B. (2001). The development of first year physics students' ideas about measurement in terms of point and set paradigms. *International Journal of Science Education*, 23(11), 1137-1156.

Campbell, B., Lubben, F., Buffler, A., & Allie, S. (2005). *Teaching Scientific Measurement at University: Understanding Students' Ideas and Laboratory Curriculum Reform*, Monograph of the African Journal of Research in Mathematics, Science and Mathematics Education. Kloof, South Africa: SAARMSTE.

- Deardorff, D. L. (2001). Introductory physics students' treatment of measurement uncertainty, unpublished doctoral dissertation, North Carolina State University.
- Djonoputro, Darmawan, 1984. Teori Ketidakpastian. Bandung : ITB
- Got dan Duggan R. (2002). What sort of science education do we really need? *International Journal of Science Education*, 24(7), 661-679.
- Fairbrother, R. and Hackling, M. (1997) Is this the right answer? *International Journal for Science Education*, 19 (8), 887-894.
- Fred Lubben, Bob Campbell, et al. (2001). Point and set reasoning in practical science measurement by entering university freshmen. *Science Education* 85(4): 311-327.
- Gall, M.D. dan Borg, W.R. 2003. *Educational Research An Introduction 7th Edition*. Boston: Allyn & Bacon.
- Hake. 1998. Interactive-engagement vs traditional methods: A six-thousand- student survey of mechanics test data for introductory physics courses, *American Journal of Physics*. 66: 64-74.
- Hodson, D. (1998). Taking Practical Work beyond the Laboratory. *International Journal of Science*
- John Taylor (1997). *An Introduction to Error Analysis: The study of uncertainties in physical measurements*, 2nd. ed. University Science Books: Sausalito, CA, 1997. Sausalito, CA, University
- Leach, J., Millar, R., Ryder, J., & Séré, M-G. (2000). Epistemological Understanding in Science Learning: the Consistency of Representations Across Contexts. *Learning and Instruction*, 10, 497-527.
- Leach, J., Millar, R., Ryder, J., Sere, M-G., Hammelev, D., Niedderer, H., & Tselfes, V. (1998). Students' images of science as they relate to labwork learning. Lab work in Science Education, Working Paper 6, Targeted Socio-Economic Research Programme Project PL 95-2005.
- Lippmann, R. F. (2003). Students' Understanding of Measurement and Uncertainty in the Physics Laboratory: Social construction, underlying concepts, and quantitative analysis. Doctoral Dissertation, University of Maryland, College Park.
- Lubben, F., Campbell B., Buffler, A. and Allie, S. (2001) Point And Set Reasoning In Practical Science Measurement By Entering University Freshman. *Science Education*, 85 (4), 311-327.
- Lubben, F., Millar, R. (1996). Children's ideas about the reliability of experimental data. *Int. J.Sci. Educ.*, 18(8), 955-968.
- Séré, M. G., Journeaux, R. & Larcher, C. (1993). Learning the Statistical Analysis of Measurement Errors. *International Journal of Science Education*, 15(4), 427-438.
- Syaodih, N. 2007. *Metode Penelitian Pendidikan*. Bandung: PT. Remaja Rosdakarya.
- Tiberghien, A., Veillard, L., Le Marechal, J-F., Buty, C., & Millar, R. (2001). An Analysis Of Labworktasks Used in Science Teaching at Upper Secondary School and University Levels in Several European Countries. *Science Education*, 85(5), 483-508.