IDENTIFIKASI KESULITAN BELAJAR MAHASISWA PADA MATERI ELEKTRODINAMIKA DITINJAU DARI KEMAMPUAN MATEMATIKA

Muhammad Erfan, Tursina Ratu
Dosen Program Studi Pendidikan Fisika, FKIP Universitas Samawa
Email: erfun1234@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kesulitan belajar mahasiswa dalam konten matematika pada materi elektrodinamika. Penelitian ini adalah penelitian *ex-post facto* dengan melakukan analisis dokumen hasil ujian tengah semester (UTS) mahasiswa untuk mengungkapkan kesulitan mahasiswa mempelajari elektrodinamika yang terkait matematika. Analisis dokumen dilakukan pada dua angkatan mahasiswa, yaitu 17 mahasiswa yang merupakan kelompok pertama, dan 10 mahasiswa pada kelompok kedua. Ada delapan soal yang diberikan pengajar dalam ujian tersebut yang mencakup satu pertanyaan konseptual yang membutuhkan jawaban secara komprehensif. Tujuh pertanyaan lain membutuhkan kemampuan pemecahan masalah agar dapat diselesaikan. Soal yang diberikan pada masing-masing kelompok berbeda tapi serupa dan terkait konten yang sama. Hasil kajian menunjukkan bahwa mahasiswa mengalami kesulitan dalam menentukan output dari suatu permasalahan, kurang mampu dalam memvisualisasikan permasalahan yang berkaitan dengan dimensi ruang, serta tidak fokus dalam mengurutkan langkah-langkah penyelesaian secara matematis. Diharapkan, kajian ini akan memberikan kontribusi bagi rekonstruksi perkuliahan elektrodinamika yang harus dilakukan oleh instruktur dengan penekanan-penekanan pada bagian-bagian yang masih dirasakan sulit oleh mahasiswa ataupun kekeliruan prosedur dalam menyelesaikan soal-soal yang melibatkan kemampuan matematika.

Kata Kunci: *Kesulitan Belajar, Kemampuan Matematis*

PENDAHULUAN

Studi ini dilatarbelakangi oleh kesulitan mahasiswa pada substansi materi perkuliahan elektrodinamika yang mencakup Aljabar vektor, Kalkulus diferensial, Sistem koordinat, Hukum Gauss dan Persamaan Laplace. Perlunya kemahiran dalam menggunakan model matematis sangat diperlukan mengingat konsep-konsep yang dipelajari dalam pokok bahasan ini bersifat abstrak. Namun demikian, pengajar mengalami kesulitan dalam menyampaikan konten materi yang abstrak ini kepada mahasiswa yang rendah kemampuan matematikanya. Oleh karena itu, agar dapat membantu mahasiswa sebaik mungkin dalam memahami konteks materi pembelajaran, maka kajian kesulitan belajar yang dialami mahasiswa dalam materi tersebut sangat perlu dilakukan.

Istilah kesulitan belajar dalam konten matematika di sini dapat diartikan sebagai kesulitan yang dialami mahasiswa yang dapat diungkapkan dari pola kesalahan yang dibuat dalam soal pemecahan masalah. Beberapa ahli dalam pembelajaran matematika seperti Geary (2004); Light and De Fries (1995); dan Miller & Mercer (1997) menggunakan istilah *mathematics learning disability* dalam menjelaskan kesulitan mahasiswa dalam matematika, sedangkan pakar lainnya, Tall & Razali (1993) dan Dowker (2004) menggunakan istilah *mathematics difficulty*. Menurut Dowker, terlepas dari berbagai variasi kesulitan yang ada, aritmetika merupakan penyumbang kesulitan terbanyak bagi anak-anak misalnya dalam mengingat fakta, menyelesaikan soal cerita, representasi nilai tempat, dan kemampuan untuk pemecahan masalah yang meliputi beberapa langkah.

Salah satu usaha yang dapat dilakukan untuk mengidentifikasi kesulitan belajar mahasiswa pada materi elektrodinamika adalah dengan melihat kemampuan matematika

dari dokumen hasil pekerjaan mahasiswa. Dengan memberikan soal-soal pemecahan masalah yang masing-masing persoalan mewakili kompetensi dan kemampuan tertentu, dapat dilacak pada bagian mana para mahasiswa merasa kesulitan berkaitan dengan kemampuan matematika. Diharapkan kajian ini akan memberikan kontribusi bagi rekonstruksi perkuliahan yang harus dilakukan dengan penekanan-penekanan pada bagian-bagian yang masih dirasakan sulit oleh mahasiswa ataupun prosedur penyelesaian soal yang masih keliru dilakukan.

Bertolak dari latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui: kesulitan-kesulitan apa saja yang berkaitan dengan konten matematika yang dapat diidentifikasi dari lembar kerja mahasiswa.

PEMBAHASAN

A. Hubungan Matematika dalam Pembelajaran Fisika

Constantinos (2000) menyatakan bahwa *“not only Mathematics is the “language” of Physics (i.e. the tool for expressing, handling and logically developing physical concepts and theories), but also it often determines to a large extent the content and meaning of physical concepts and theories themselves”* matematika tidak hanya sebagai “bahasa” fisika (sebagai alat yang berguna untuk mengembangkan konsep dan teori fisika) tetapi juga sebagai penentu dalam konten dan arti dalam teori dan konsep fisika itu sendiri.

Dalam proses pembelajaran Fisika, peranan matematika sebagian besar digunakan dalam memodelkan suatu fenomena atau gejala-gejala fisis sehingga besaran-besaran tersebut dapat terukur dan dapat diprediksi dengan akurat. Pask (2003) menyatakan bahwa Matematika dapat dilihat sebagai *“Science of Analogy”*. Matematika termasuk bagian daripada teori dan dapat memberikan prediksi yang kuat terhadap fenomena-fenomena alam.

Suatu perkuliahan fisika seharusnya dirancang sedemikian rupa oleh pengajarnya agar mahasiswa yang mengikuti perkuliahan tersebut sehingga dapat mengembangkan keterampilan pemecahan masalah secara maksimal. Dalam perkuliahan tersebut para mahasiswa harus dibantu dalam belajar memahami konsep dan menggunakan strategi matematis yang sesuai dalam menyelesaikan masalah-masalah yang berkaitan dengan fenomena fisika.

Banyak kajian menunjukkan bahwa berbagai faktor pembelajaran sebelumnya terutama keterampilan matematika, ada yang berkaitan dan ada juga yang tidak berkaitan dengan performa peserta didik dalam fisika. Penelitian yang dilakukan oleh Meltzer (2002) menunjukkan bahwa ada korelasi yang signifikan dari pencapaian belajar fisika dan keterampilan matematika yang telah dimiliki oleh mahasiswa. Ini berarti pemerolehan pengetahuan konseptual fisika mahasiswa ditunjang oleh ketrampilan aljabar mereka. Dalam dua sampel penelitian Meltzer tersebut, keadaan itu tidak dipengaruhi oleh gender.

B. Kesulitan dalam Belajar Matematika

Pada hakikatnya, kesulitan dalam belajar matematika dapat terjadi pada hampir setiap tahap/jenjang selama masa sekolah anak. Bahkan, penelitian Bynner & Parsons (1997) menunjukkan bahwa orang dewasa juga mengalami kesulitan ini. Para ahli, termasuk Garnett (1998) menghubungkan kesulitan belajar tersebut dengan kekurangan dalam satu atau lebih dari lima jenis keterampilan yang berbeda. Kekurangan-kekurangan tersebut bisa terjadi secara partial/independen atau merupakan kombinasi satu sama lain. Kelima kekurangan tersebut dijabarkannya sebagai berikut: (1) Lemah dalam perhitungan. Kekeliruan perhitungan yang dilakukan siswa bisa terjadi karena mereka salah membaca tanda-tanda, simbol atau angka, atau karena tidak menulis angka cukup jelas pada tempat yang benar. (2) Kesulitan mentransfer pengetahuan. Kesulitan ini timbul karena ketidakmampuan siswa menghubungkan aspek abstrak atau konseptual matematika dengan realitas. Pemahaman atas simbol yang mewakili sesuatu obyek dalam dunia fisik sangat membantu siswa untuk bisa mengingat konsep. (3) Membuat koneksi. Dalam hal ini siswa tidak mudah membuat hubungan yang bermakna dalam pengalaman matematika karena

tidak memahami hubungan antara angka dan sesuatu yang diwakili angka tersebut. Hal ini membuat Siswa cenderung hanya mengingat rumusan sehingga siswa sulit untuk menerapkan hal tersebut dalam situasi baru. (4) Memahami bahasa matematika secara lengkap. Penelitian Jordan, Hanich, dan Kaplan (2003) nyata menunjukkan hal ini, yakni ketidakmampuan dalam berbahasa anak berkaitan dengan ketidakmampuannya dalam matematika. (5) Kesulitan memahami aspek visual - tata ruang dan kesulitan perseptual. Siswa yang memiliki masalah ini tidak mampu secara efektif memvisualisasikan konsep matematika yang abstrak, contohnya mahasiswa tidak mampu membayangkan seberapa banyak atau seberapa rapat garis-garis gaya yang menembus suatu bidang permukaan.

C. Tanda-Tanda Kesulitan Matematika

Misunderstood Minds WGBH Educational Foundation (2002) menyebutkan bahwa tanda-tanda umum yang diperlihatkan oleh seorang yang mengalami kesulitan dalam belajar matematika dikelompokkan sebagai berikut:

1. Kesulitan Keluaran/Output.

Seseorang yang memiliki masalah dalam output menunjukkan gejala seperti: (1) tidak dapat mengingat fakta-fakta dasar, prosedur, aturan, atau rumus yang digunakan dalam matematika; (2) menjadi sangat lambat dalam mengenal fakta-fakta atau melakukan suatu prosedur; (3) kesulitan mempertahankan presisi selama bekerja matematika; (4) kesulitan menulis dengan tangan yang memperlambat pekerjaan tertulis atau membuat tulisan yang sulit untuk dibaca nantinya; (5) kesulitan mengingat pola yang telah ditemui sebelumnya; (6) lupa atas apa yang sedang dia lakukan pada saat menyelesaikan masalah matematika.

2. Kesulitan Organisasi.

Gejala yang diperlihatkan oleh seseorang dengan kesulitan ini adalah: (1) mengalami kesulitan sekuensing beberapa langkah; (2) terjerat dalam beberapa langkah atau elemen dari suatu masalah; (3) kehilangan apresiasi tujuan akhir dan lebih menekankan unsur-unsur individual dari masalah; (4) tidak dapat mengidentifikasi aspek-aspek penting dari situasi matematika, terutama dalam soal cerita atau pemecahan masalah di mana beberapa informasi tidak relevan; dan (5) tidak dapat menghargai kelayakan atau kewajaran solusi yang dihasilkan.

3. Kesulitan dalam Bahasa

Gejala berikut diperlihatkan oleh seseorang yang kesulitan dalam bahasa: (1) merasa sulit dengan kosakata yang digunakan dalam matematika; (2) bingung dengan bahasa yang digunakan dalam soal cerita; (3) tidak tahu ketika informasi yang tidak relevan disertakan dalam soal; (4) bermasalah ketika belajar atau mengingat kembali istilah-istilah abstrak; (5) sulit mengerti arah; (6) kesulitan dalam menjelaskan sesuatu tentang matematika, termasuk mengajukan dan menjawab pertanyaan; (7) merasa sulit membaca teks; dan (8) sulit mengingat nilai-nilai atau definisi dari masalah-masalah atau soal-soal tertentu.

4. Kesulitan dalam memberikan perhatian.

Gejala yang ditunjukkan oleh seseorang dalam kesulitan ini adalah: (1) terganggu atau gelisah selama melakukan tugas matematika; (2) tidak ada di tempatnya saat bekerja matematika; (3) terlihat lelah ketika melakukan matematika.

5. Kesulitan Visual-Spatial atau Pengurutan.

Tanda-tanda yang ditunjukkan oleh orang yang memiliki kesulitan ini adalah sebagai berikut: (1) bingung ketika belajar prosedur multi-langkah; (2) kesulitan mengurutkan langkah yang digunakan untuk memecahkan masalah; (3) merasa kebingungan ketika dihadapkan dengan lembar kerja yang penuh latihan matematika; (4) tidak dapat menyalin masalah dengan benar; (5) mungkin kesulitan membaca jam analog; (6) mungkin memiliki kesulitan menafsirkan dan memanipulasi konfigurasi geometris; dan (7) mungkin kesulitan melihat perubahan pada objek ketika digerakkan dalam ruang.

6. Kesulitan melakukan beberapa tugas dalam waktu yang bersamaan.

Seseorang yang memiliki kesulitan tipe ini merasa sulit untuk: (1) beralih di antara berbagai tuntutan dalam masalah matematika kompleks, (2) mengatakan kapan tugas dapat

dikelompokkan dan digabung atau harus dipisahkan dalam masalah matematika multi-langkah, dan (3) mengelola semua tuntutan masalah yang kompleks, seperti masalah kata, bahkan berpikir dia mungkin tahu fakta-fakta dan prosedur komponen.

Hill (2008); Kaufman (2008); Berch & Mazzocco (2007); Garderen (2006); Osmon et al. (2006); Garnett (1998); dan Nathan et al. (2002) menyatakan bahwa kesulitan siswa dalam kemampuan matematika sebenarnya bervariasi, tetapi secara umum dapat dibedakan menjadi lima macam. Lima macam kesulitan-kesulitan yang ditemui dalam mempelajari matematika yaitu:

- a) Kemampuan menghitung banyaknya fakta (keahlian menghitung fakta, merancang tabel, dan mengidentifikasi prinsip matematika)
- b) Keterampilan aritmatika (akurasi dan logaritma dalam fisika komputasi dan prosedur kerja matematika)
- c) Keterampilan mengolah informasi (mampu menghubungkan informasi yang diterima dengan konsep-konsep yang telah dipahami, dan mengubah informasi kedalam model matematika)
- d) Keterampilan bahasa (keterampilan mengidentifikasi istilah-istilah yang relevan dengan informasi matematika)
- e) Kemampuan Visual-Spasial (keterampilan memvisualisasikan konsep matematika, memanipulasi bentuk ruang dan geometri)

METODE

Penelitian ini adalah penelitian *ex-post facto*. Studi yang dilakukan adalah dengan menganalisis dokumen (Jawaban tugas dan lembar kerja ujian tengah semester – UTS) mahasiswa calon guru Fisika yang mengambil mata kuliah Elektrodinamika tahun angkatan 2014 sebanyak 17 mahasiswa dan 10 mahasiswa tahun angkatan 2013.

Kondisi perkuliahan yang terjadi sebelumnya adalah pengajar menggunakan *direct instruction* dengan sintaks: (1) Pendahuluan; (2) Penyajian materi oleh pengajar sampai pada pemberian contoh perhitungan; (3) Mahasiswa melakukan latihan. Untuk mengakomodasi interaksi sosial mereka, latihan tersebut dilakukan dalam kelompok kecil yang terdiri atas 4-5 orang. (4) Dari tiap kelompok, diambil secara acak pekerjaan mahasiswa untuk disajikan di depan kelas dan dievaluasi; (5) Penutup.

Dalam UTS, ada 4 soal yang harus dikerjakan oleh mahasiswa setelah mengikuti 8 kali tatap muka selama 2 jam/tatap muka. Pada tes tersebut, mahasiswa diperkenankan membawa kalkulator, membuka buku, mengakses internet. Diharapkan dengan bekal ketiga perangkat tersebut di dalam ujian, ketidak-hafalan angka yang digunakan dalam perhitungan tidak akan mengurangi performans mahasiswa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis ditemukan hal-hal sebagai berikut:

1. Soal nomor 1. Jika $V_b = xy\hat{i} + 2yz\hat{j} + 3xz\hat{k}$ tentukan $\nabla \cdot V_b$ dan $\nabla \times V_b$! Jika dilihat, soal ini termasuk dalam Teorema Fundamental untuk Divergensi dan Curl. Teorema Fundamental untuk Divergensi dan Curl sangat berperan penting dalam berbagai analisis matematis dasar pada Elektrodinamika. Dari soal ini untuk teorema fundamental divergensi, masih banyak mahasiswa yang salah menjawab. Kesalahan-kesalahan tersebut umumnya dikarenakan mahasiswa merasa kesulitan dalam output dimana hasil divergensi dari sebuah persamaan vektor adalah berupa besaran skalar, tetapi sebagian mahasiswa menjawab dengan hasil berupa besaran vektor.
2. Soal nomor 2. Tentukan Muatan total pada benda dengan rapat muatan volum dengan ketentuan sebagai berikut: $1m \leq r \leq 3m$, $0 \leq \phi \leq \frac{\pi}{3}$, dan $0 \leq z \leq 2m$ yang memiliki konstanta rapat muatan $\rho = 2z \sin \phi$. Soal ini bertujuan untuk mengetahui tingkat pemahaman para mahasiswa terhadap Kalkulus Integral dimana dalam proses pemecahan soal ini perlu menggunakan Integral lipat dengan batas masing-masing.

Dalam menyelesaikan soal ini, mahasiswa banyak mengalami kesulitan dalam mengurutkan maupun mengelompokkan batasan r terhadap dr , batasan ϕ terhadap $d\phi$, serta batasan z terhadap dz . Ada juga mahasiswa yang belum paham mengenai cara bagaimana mengintegrasikan suatu fungsi, ada yang salah dalam mengurutkan langkah dalam pengintegralan, serta ada mahasiswa yang hanya kurang teliti sehingga memperoleh hasil akhir yang tidak tepat. Hal ini sungguh disayangkan mengingat beberapa mahasiswa yang dianalisis merupakan mahasiswa semester 5 yang secara umum sudah mendapatkan perkuliahan tentang kalkulus di semester sebelumnya sehingga perlu dilakukan pengulangan-pengulangan di beberapa bagian yang berhubungan dengan matematika maupun operasi matematika.

3. Soal nomor 3. *Tentukan Gaya Coulomb di titik P yang berjarak z dan berada tepat diatas sebuah cincin berjari-jari x dan dengan konstanta rapat muatan garis ρ !* Tidak ada mahasiswa yang dapat memberikan jawaban dari soal ini dengan benar. Para mahasiswa merasa kesulitan dalam membayangkan elemen gaya dan arah dari gaya tersebut (kesulitan dalam kemampuan visual-spasial). Ditambah juga para mahasiswa masih kesulitan dalam mengerjakan soal-soal yang berkaitan dengan integral.
4. Soal nomor 4. *Dengan menggunakan persamaan Laplace, tentukan persamaan distribusi potensial listrik pada daerah dengan syarat batas: 1). $V = 0$ pada $y = 0$; 2). $V = 0$ pada $y = a$; 3). $V = V_0(y)$ pada $z = a$; dan 4). $V \rightarrow 0$ untuk $z \rightarrow \infty$.* Dalam mengerjakan soal ini, walaupun sudah diberikan contoh yang hampir mirip, namun nyatanya sebagian mahasiswa masih ada yang salah dalam mengerjakan. Kesalahan-kesalahan itu umumnya sulit mengingat nilai-nilai atau definisi dari masalah-masalah atau soal-soal tertentu sehingga hasil akhir yang diharapkan masih keliru. Selain itu, mahasiswa juga merasa kebingungan dalam memahami grafik distribusi potensial yang diplot berdasarkan hasil persamaan dari soal tersebut diatas. Jadi, dalam soal ini para mahasiswa juga mengalami kesulitan dalam kemampuan kemampuan visual-spasial.

SIMPULAN

Hasil analisis terhadap kerja mahasiswa yang telah dilakukan mengkonfirmasi kesulitan-kesulitan pada kemampuan matematika dalam menunjang perkuliahan Elektrodinamika. Berdasarkan hasil analisis pada soal-soal elektrodinamika yang sebagian besar memerlukan kemampuan mahasiswa menggunakan kemampuan matematis maka wajib bagi pengajar untuk tidak hanya menguasai keilmuan fisika, tetapi juga matematika yang digunakan sebagai "bahasa" fisika. Setiap pengajar wajib mengidentifikasi apa-apa saja kesulitan yang dialami dalam setiap proses pembelajaran.

Setiap pengajar perlu melakukan analisis atas hasil kerja mahasiswa bukan hanya sebagai bahan evaluasi kinerja mahasiswa, tetapi juga sebagai bahan refleksi pribadi agar bisa dilakukan perbaikan dalam pembelajaran berikutnya. Salah satu perbaikan yang mungkin dilakukan pengajar adalah menumbuh dan mengembangkan kebiasaan mahasiswa dalam verbalisasi untuk mahasiswa yang mengalami kesulitan matematika yang ditimbulkan oleh ketidakmampuannya dalam berbahasa atau keterbatasan mahasiswa dalam kemampuan visual-spasial.

Akhirnya, semoga artikel ini dapat memberikan inspirasi tentang hal-hal yang bisa dilakukan oleh seorang pengajar dalam mempersiapkan calon-calon guru fisika yang berkemampuan matematika rendah untuk menjadi lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Bassok, M. Holyoak, K. J. (1989). Interdomain Transfer Between Isomorphic Topics in Algebra and Physics. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition* 1989, Vol. 15, No. 1, 153-166. American Psychological Association, Inc.

- Berch, D.B. & Mazzocco M.M.M. (2007). Why is math so hard for some children? The Nature and Origins of Mathematical Learning Difficulties and Disabilities. Maryland: Paul H. Brookes Publishing Co.
- Bynner, J. and Parsons, S. (1997). It Doesn't Get Any Better: The Impact of Poor Numeracy Skills on the Lives of 37-Year-Olds. London: Basic Skills Agency.
- Dowker, A. (2004). What Works for Children with Mathematical Difficulties? Research Report. University of Oxford.
- Gardner, D.V. (2006). Spatial Visualization, Visual Imaginary and Mathematical Problem Solving of Students with Varying Abilities. *Journal of Learning Disabilities* 39(6): 496– 506.
- Garnett, K. (1998). Math Learning Disabilities. Division for Learning Disabilities Journal of CEC, November 1998. LD Online. http://www.ldonline.org/ld_indepth/math_skills/garnett.html [1 Juni 2013]
- Geary, D. C. (2004). Mathematics and Learning Disability. *Journal Of Learning Disabilities* Volume 37, Number 1, January/February 2004, Pages 4–15
- Hill, B. (2008). Cognitive Skills and Mathematics Skills. 21st Century Skill. http://www.21stcenturyskills.org/route21/index.php?option=com_ilibrary, Diakses pada 15 November 2016
- Jordan, N. C., Kaplan, D., Hanich, L. B. (2002). Achievement Growth in Children With Learning Difficulties in Mathematics: Findings of a Two-Year Longitudinal Study. *Journal of Educational Psychology*. American Psychological Association, Inc.
- Jordan, N. C., Hanich, L. B, dan Kaplan, D. (2003). A Longitudinal Study of Mathematical Competencies in Children With Specific Mathematics Difficulties Versus Children With Comorbid Mathematics and Reading Difficulties. *Child Dev.* 2003 May–Jun; 74(3): 834–850.
- Kaufman, L. (2008). Dyscalculia: Neuroscience and Education. *Journal Education Research*, 50(2): 163– 175.
- Light, J. G. & De Fries, J. C. (1995). Comorbidity of Reading and Mathematics Disabilities: Genetic and Environmental Etiologies. *Journal of Learning Disability* Volume 28, Number 2, February 1995. Pages 96-106
- Meltzer, D. E. (2002). The relationship between mathematics preparation and conceptual learning gains in physics: A possible "hidden variable" in diagnostic pre test scores. *Am. J. Phys.* 70 ~12!, December 2002
- Miller, S. P. & Mercer, C.D. (1997). Educational Aspects of Mathematics Disabilities. *Jornal of Learning Disabilities* Vol 30 No. 1.
- Nathan V., Lauren, Sarah. L, Adam & Nathan, S. (2002). Difficulties with Maths: What Can Stand in the Way of a Students' Mathematical Development. *Misunderstood Minds*. http://www.misunderstoodmind/math_skill, Diakses pada 15 November 2016
- Osmon, D.C., Smerz, J.M., Braun, M.M. & Plambeck, E. (2006). Processing Abilities Associated with Math Skills in Adult Learning Disability. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 28:84– 95
- PBS Misunderstood Minds website
<http://www.pbs.org/wgbh/misunderstoodminds/mathdiffs.html>
-

- Pask, C. (2003) Mathematics and the science of analogies. *American Journal of Physics* 71(6), 526-534
- Tall, D. & Razali, M. R. (1993). Diagnosing Students' Difficulties in Learning Mathematics *International Journal of Mathematics Education in Science & Technology* 24 2 209-202 1993
- Tzanakis C., (2000), “Presenting the relation between Mathematics and Physics on the basis of their history: A genetic approach”, in V. Katz (ed.) *Using History to Teach Mathematics: An international perspective*, Washington DC: The Mathematical Association of America, 111-120.