

## Level Pemahaman Epistemologis Fisika Mahasiswa Jurusan Fisika

<sup>1</sup>Aeman Hakim, <sup>2</sup>Kaharuddin Arafah, <sup>3</sup>Muhammad Arsyad

Universitas Negeri Makassar  
aekim.666@gmail.com

**Abstrak** – “Keyakinan tentang pengetahuan” dan pengetahuan itu sendiri berpotensi menjadi penentu penting kinerja intelektual. Tidak mengherankan bahwa apa yang orang yakini tentang perolehan pengetahuan mempengaruhi cara kerja dalam kehidupan mereka sendiri, variabel ini selanjutnya kita sebut dengan Pemahaman Epistemologis. Fungsi perkembangan yang mendasari pencapaian pemahaman epistemologis yang matang adalah adanya kordinasi dimensi subjektif dan objektif dari pengetahuan, di mana ini dapat diukur dengan menggunakan instrumen *Epistemological Understanding Assessment* (EUA). Tujuan penelitian ini ialah untuk mengetahui level pemahaman epistemologis untuk disiplin ilmu fisika bagi Mahasiswa Jurusan Fisika. Penelitian dilakukan dengan menggunakan instrument EUA yang telah diterjemahkan oleh peneliti. Penelitian dilakukan pada mahasiswa Jurusan Fisika semester akhir. Berdasarkan data yang diperoleh dan berdasarkan rekam jejak aktivitas laboratorium mahasiswa, terlihat bahwa level pemahaman epistemologis fisika mahasiswa yang aktif di laboratorium berada pada level *Evaluatist*, sementara mahasiswa yang tidak aktif di laboratorium berada pada level *Multiplist* dan *Realist*.

**Kata kunci:** Pemahaman Epistemologis, Epistemological Undersatnding Assessment (EUA), Evaluatist, Multiplist, Realist.

**Abstract** – “Beliefs about knowledge” and the knowledge itself have the potential to be important determinants of intellectual performance. It is not surprising that what people believe about the acquisition of knowledge affects the way they work in their own lives, this variable we shall hereafter call Epistemological Understanding. The developmental function that underlies the attainment of a mature epistemological understanding is the coordination of subjective and objective dimensions of knowledge, which can be measured using the Epistemological Understanding Assessment (EUA) instrument. The purpose of this study was to determine the level of epistemological understanding of the physics discipline for Physics Department Students. The research was conducted using the EUA instrument which had been translated by the researcher. The research was conducted on students of the final semester of the Physics Department. Based on the data obtained and based on the track record of student laboratory activities, it can be seen that the level of epistemological understanding of student physics who is active in the laboratory is at the Evaluatist level, while students who are not active in the laboratory are at the Multiplist and Realist level.

**Keywords:** Epistemological Understanding, Epistemological Undersatnding Assessment (EUA), Evaluatist, Multiplist, Realist

### I. PENDAHULUAN

Pendidikan formal di perguruan tinggi merupakan ujung tombak bangunan peradaban manusia, yang selalu berhadapan dengan kebutuhan-kebutuhan pembangunan manusia dalam berbagai aspeknya, termasuk aspek perkembangan ilmu pengetahuan. Kesadaran akan eksistensi pendidikan di universitas seperti inilah yang memacu para pakar kependidikan untuk selalu mengadakan pembaharuan-pembaharuan di bidangnya, agar segala aktivitas yang dilakukan di dalamnya benar-benar dapat menjawab persoalan-persoalan yang berkembang di masing-masing disiplin ilmu [1]. Disiplin ilmu yang paling banyak terpa persoalan demikian ialah fisika, terlebih pertanyaan-pertanyaan epistemologis fisika yang sifatnya sangat mendasar [2].

Fisika adalah ilmu yang paling mendasar dan merupakan ilmu yang memiliki implikasi filosofis yang mendalam. Penelitian terkait yang membahas kedalamnya bahkan mengungkap bahwa implikasi filosofisnya (aspek ontologis dan epistemologis) memiliki potensi besar mengubah kehidupan intelektual kita secara menyeluruh.

Telah banyak implikasi filosofis fisika yang benar-benar mengubah tatanan intelektual kita yang dampaknya telah kita rasakan sekarang ini, yang paling mencolok tidak lain ialah teori-teori kuantum. Karl R Popper dengan berani menggarap persoalan ini melalui metode filosofis atau logis, dan berhasil menimbulkan banyak kecurigaan bagi sang fisikawan kala itu. Skeptisisme dan kecurigaan pada teori kaantum kala itu cukup beralasan, namun pada akhirnya dapat teratasi dengan baik melalui serangkaian diskusi-

diskusi epistemologis tanpa disertai adanya argumen matematis. Salah satu impikasi filosofis fisika yang paling terasa ialah kontroversi ‘kausalitas’, yang juga turut membangun metafisika indeterminisme yang begitu populer di masa kini. Boleh dikata, karena inilah teori kuantum modern dianggap sebagai salah satu prestasi terbesar dalam seluruh sejarah ilmu [2–6].

Ringkasan peran epistemologis dapat dilihat dalam sejarah perkembangan sains yang revolusioner, semua rekam jejak sejarah memperlihatkan betapa pentingnya pemahaman epitemologis fisika dalam perkembangan kehidupan intelektual, terkhusus sains yang berdasar pada pengamatan empiris, dan tidak hanya berdampak pada disiplin ilmu fisika saja [7].

Jika kita melihat sebelum abad-19, tidak ada perbedaan tajam antara sains dan studi tentang fenomena alam, yang secara keseluruhan kita sebut dengan *Philosophia naturalis*. Isaac Newton juga memberikan judul atas karyanya sebagai *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* yang berarti Prinsip-prinsip Matematik dalam Filsafat Alam. Tetapi setelah abad-19, muncul perpecahan ke dalam kompartemen dalam sains, dan sekarang kompartementalisasi sedang dalam masa kejayaannya sehingga masing-masing ilmu pengetahuan memiliki lusinan cabang. Situasi ini membuat kita kesulitan melihat keterkaitan antar sains [3,5–8]

Fisika mengajukan beberapa pertanyaan penting tentang struktur ruang, waktu, gerak, materi, energi, dan tentang sifat alam semesta secara umum. Dalam menyelesaikan ini, fisika berbagi masalah yang agak umum dengan filsafat. Namun filsuf tidak melakukannya dengan cara yang sama

dengan yang dilakukan para fisikawan dalam mempelajari fenomena alam. Yang ingin ditekankan disini ialah kenyataan bahwa beberapa masalah yang dihadapi para fisikawan saat ini juga merupakan “kajian abadi” para filsuf. Karena itu, aspek ontologis dan epistemologis fisika juga menjadi kajian filosofis. Benar apa yang dikatakan ilmuwan terdahulu, bahwa tidak ada perbedaan tajam antara keduanya [2,4,5]

Uraian di atas memperlihatkan bahwa pemahaman epistemologis fisika sangatlah penting. Namun kurikulum pendidikan di Indonesia belum menjadikan atribut ini sebagai bagian dari kemampuan maupun keterampilan yang terintegrasi di dalamnya. Sebagai langkah awal dalam mewujudkan ini, maka diperlukan gambaran awal mengenai level pemahaman epistemologis fisika yang dimiliki oleh calon lulusan jurusan fisika.

## II. LANDASAN TEORI

### A. Pemahaman Epistemologis Fisika

“Keyakinan tentang pengetahuan” dan pengetahuan itu sendiri berpotensi menjadi penentu penting kinerja intelektual. Tidak mengherankan bahwa apa yang orang yakini tentang perolehan pengetahuan (bagaimana hal itu terjadi dan apa yang dicapai?) mempengaruhi cara kerja dalam kehidupan mereka sendiri [9–13]. Investigasi empiris keyakinan epistemologis belum tersebar luas dan baru menerima perhatian yang relatif sedikit dalam psikologi perkembangan, meskipun penelitian ranah psikologi perkembangan sangatlah pesat.

Sebuah artikel ulasan baru-baru ini oleh Hofer (2001) merangkum garis-garis penelitian yang berbeda mengenai topik tersebut dan mencari benang merah yang sama. Fungsi perkembangan yang mendasari pencapaian pemahaman epistemologis yang matang adalah adanya kordinasi dimensi subjektif dan objektif dari pengetahuan [9,14–17]. Melalui pergeseran radikal, dimensi subjektif yang awalnya mendominasi lama kelamaan akan ditinggalkan, hingga akhirnya keduanya terkordinasi dan mencapai kesetimbangan di mana tidak ada yang saling mengalahkan satu sama lain [11,18]

Peningkatan ini tercermin dalam urutan level-level yang digambarkan dalam Tabel 1 [11,18]. Seseorang pada level absolutist (dan juga realis) memandang pengetahuan sebagai entitas objektif, yang terletak di dunia luar dan dapat diketahui dengan pasti. Multiplist merelokasi sumber pengetahuan dari objek yang diketahui ke subjek yang diketahui, sehingga menjadi dasar akan sifat tidak pasti, atau merupakan sifat subjektif pengetahuan. Kesadaran ini muncul karena adanya asumsi tersebut, dengan kata lain, kita melenyapkan standar objektif yang dapat berfungsi sebagai dasar untuk perbandingan atau mengevaluasi klaim yang saling bertentangan. Karena klaim adalah opini subjektif yang dipilih secara bebas oleh pemegangnya dan setiap orang memiliki hak atas opini mereka, mengingat setiap opini memiliki kesetaran “baik” yang sama.

Evaluativist mengintegrasikan kembali dimensi objektif dari “mengetahui”, dengan mengakui adanya ketidakpastian tanpa mengabaikan evaluasi. Dengan demikian, dua orang dapat memiliki posisi yang sah, atau keduanya dapat “menjadi benar”. Tetapi satu posisi dapat memiliki lebih

banyak kelebihan (atau menjadi “lebih tepat”) daripada yang lain, selama posisi yang “lebih baik” tersebut didukung oleh argumen dan bukti.

**Table 1.** Level perkembangan Pemahaman Epistemologis

Level	Deskripsi
<i>Realist (R)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Penegasannya berupa <i>salinan</i> dari realitas eksternal.</li> <li>• Realitas bisa langsung diketahui.</li> <li>• Pengetahuan berasal dari sumber eksternal dan bersifat pasti.</li> <li>• Berpikir tidak diperlukan</li> </ul>
<i>Absolutist (A)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Penegasannya berupa <i>fakta</i> yang benar atau salah satu representasi mereka (kemungkinan keyakinannya salah).</li> <li>• Realitas bisa langsung diketahui.</li> <li>• Pengetahuan berasal dari sumber eksternal dan pasti.</li> <li>• Berpikir kritis dianggap sebagai kendaraan untuk membandingkan pernyataan dengan kenyataan dan menentukan kebenaran atau kepalsuan</li> </ul>
<i>Multiplist (M)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Penegasannya berupa <i>pendapat</i> yang dipilih secara bebas <i>oleh</i> dan <i>hanya</i> bertanggung jawab kepada pemiliknya</li> <li>• Realitas tidak bisa langsung diketahui.</li> <li>• Pengetahuan dihasilkan oleh pikiran manusia dan tidak pasti.</li> <li>• Berpikir kritis tidak lagi relevan</li> </ul>
<i>Evaluativist (E)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Penegasannya berupa <i>pertimbangan</i> yang dapat dievaluasi dan dibandingkan sesuai dengan kriteria argumen dan bukti.</li> <li>• Realitas tidak bisa langsung diketahui.</li> <li>• Pengetahuan dihasilkan oleh pikiran manusia dan bersifat tidak pasti.</li> <li>• Berpikir kritis dinilai sebagai wahana yang mengedepankan penegasan yang sehat dan meningkatkan pemahaman.</li> </ul>

### B. Epistemological Understanding Assessment (EUA) dan Standardized Epistemological Understanding Assessment (SEUA)

Kita dapat mengukur atribut pemahaman epistemologis fisika dengan menggunakan bentuk instrumen yang diadopsi dari EUA (Epistemological Understanding Assessment) dan SEUA (Standardized Epistemological Understanding Assessment) yang akan dibahas selanjutnya.

Instrumen asli yang dikembangkan Kuhn (EUA) dapat digunakan untuk menentukan transisi dari satu level ke level yang lain. Instrumen asesmen ini terdiri dari 15 pasang kalimat (3 untuk masing-masing domain pertimbangan). Setiap pasangan terdiri dari dua pertimbangan yang saling tidak koheren, yang diutarakan oleh dua orang pada 5 domain yang berbeda, yakni: *Pertimbangan selera pribadi (Pleasingness/personal taste)*, *Pertimbangan estetik (Beauty/aesthetic)*, *Pertimbangan Etika (Good/value)*, *Pertimbangan kebenaran tentang dunia sosial (Truth about social world)*, dan *Pertimbangan kebenaran tentang dunia fisik (Truth about physical world)* [9,11,18]

Menilai apakah transisi dari level absolut ke level multiplist telah terjadi pada seorang individu, maka untuk setiap pasangan kalimat pertanyaan yang diajukan adalah “Bisakah hanya satu dari pandangan mereka yang benar,

atau dapatkah keduanya memiliki kebenaran?”. Jawaban diagnostik untuk tingkat absolutist adalah “Hanya satu pandangan yang benar”. Jika seseorang menjawab “Keduanya dapat memiliki kebenaran”, maka akan dilanjutkan dengan pertanyaan berikut untuk menilai transisi dari multiplist ke tingkat evaluativist: “Apakah satu pandangan bisa lebih baik atau lebih benar daripada yang lain?”. Jawabannya “Salah satu pandangan tidak bisa lebih benar daripada yang lain” adalah jawaban diagnostik untuk tingkat multiplist, sedangkan “Salah satu pandangan bisa lebih tepat dibanding pandangan lain” adalah jawaban diagnostik untuk tingkat evaluativist.

### III. METODE PENELITIAN

Ini merupakan penelitian deskriptif kuantitatif. Subjek penelitian ini ialah mahasiswa jurusan fisika yang tengah melaksanakan penelitian akhir dan telah melulusi seluruh mata kuliah wajib pada tahun ajaran 2020/2021, yang terdiri dari 86 mahasiswa. Sampel kemudian ditarik dengan secara rambang sebesar 22 responden.

Tujuan utama penelitian ini ialah untuk melihat level pemahaman epistemologis fisika mahasiswa, di mana ini dapat tercapai dengan memberikan tes pemahaman epistemologis yang dikembangkan oleh Kuhn dan Zyluk. Tes yang dikembangkan tersebut kemudian disebut dengan EUA dan SEUA. Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini merupakan hasil terjemahan dari SEUA dengan tetap mempertahankan pedoman penskoran aslinya.

Instrumen SEUA yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan kelima domain pertimbangan, yakni pertimbangan selera pribadi, pertimbangan estetika, pertimbangan etika, pertimbangan kebenaran dunia sosial, dan pertimbangan kebenaran dunia fisik.

Sebagai tambahan deskripsi level pemahaman epistemologis mahasiswa, peneliti juga mengumpulkan data rekam jejak kegiatan akademik pendukung yang dilakukan mahasiswa dalam lingkungan kampus.

### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil tes pemahaman epistemologis yang diberikan kemudian diolah dan dikategorikan sesuai dengan pedoman SEUA. Hasil olahan ini dapat dilihat dalam Tabel 2.

Hasil pengukuran dalam Tabel 2 jelas memperlihatkan bahwa transisi perkembangan level pemahaman epistemologis mahasiswa jurusan fisika dimulai dari domain pertimbangan kebenaran dunia fisik.

**Tabel 2.** Level Pemahaman EPistemologis mahasiswa untuk 5 domain pertimbangan.

Responden	Pleasiness (personal taste)	Beauty (aesthetic)	Good (value)	Truth (about social world)	Truth (about physical world)	Skor
R1	E	E-	E	E-	E	75
R2	E	E-	E	E-	E	75
R3	M	M	E	E	E	67
R4	M	M	E-	E-	E	59
R5	M	M	M	E-	E	57
R6	M+	M+	E	M+	M-	57
R7	E	M	M+	E-	A+	57

R8	M	M	A+	M+	E	56
R9	M+	M-	M-	M	M+	56
R10	E-	M	M+	M-	A+	53
R11	M	M	M	M	M	52
R12	M	E-	M+	A	E	52
R13	M+	M	A	A+	M	51
R14	M	M	M	M	M	51
R15	M	M	M	M	M	51
R16	M	M	A	M+	E	50
R17	M	M	A	M+	E	50
R18	M	M	M	M	M	49
R19	M-	M+	A	E-	M+	49
R20	M+	M	M	M	M	47
R21	M	M	A+	M	M	45
R22	M	M	A	M	A	44

Urutan level perkembangan pemahaman epistemologis mahasiswa jurusan fisika dimulai dengan domain pertimbangan kebenaran dunia fisik, kebenaran dunia sosial, pertimbangan etika, pertimbangan estetika, dan pertimbangan selera pribadi. Urutan ini dapat menjadi patokan dalam merancang pembelajaran khusus yang dapat meningkatkan pemahaman epistemologis mahasiswa jurusan fisika [17,19–21].

Berdasarkan data tambahan berupa rekam jejak kegiatan akademik mahasiswa yang dilakukan selama menjadi mahasiswa, ditemukan bahwa mahasiswa yang memiliki level pemahaman epistemologis fisika yang baik ternyata juga sangat aktif dalam kegiatan-kegiatan laboratorium yang sarat akan aktifitas ilmiah. Ini kemudian memberikan petunjuk adanya korelasi antara pemahaman epistemologis dan keterampilan proses sains maupun keterampilan berpikir kritis. Petunjuk korelasi ini sebenarnya telah diperkuat melalui deskripsi dalam Tabel 1, di mana pada level pemahaman epistemologis yang tertinggi (*Evaluativist*) memerlukan pemikiran kritis dan kegiatan ilmiah.

Karl Popper menunjukkan bahwa kegiatan ilmiah yang dilakukan selama ini belum menunjukkan aktivitas ilmiah yang sesungguhnya. Ketika seorang mahasiswa yang menjalani aktivitas ilmiah dalam perkuliahan, maka secara alami pastilah akan bertanya “amati apa?”. Karena itu, Popper menjelaskan bahwa pengamatan selalu merupakan “pengamatan terhadap sesuatu”. Seorang ilmuwan tidak melihat ke dunia kosong tanpa memiliki keyakinan sebelumnya. Dia harus tahu dari awal apa yang harus dimati dan apa yang harus dicari. Oleh karena itu, teori selalu mendahului pengamatan. Maka tugas para intruktur/dosen adalah mengajarkan bahwa proses dari observasi ke sebuah teori bukanlah kasus yang melibatkan aktivitas ilmiah dan mereka harus mempertimbangkan aspek filosofis-historis-sosiologis dari sains [3,5,7,12]

Sebuah survey yang dilakukan Shipman untuk menentukan keakraban komunitas astronomi dan fisika dengan figur Thomas Kuhn menunjukkan bahwa hanya sebagian kecil sampel representatif yang memiliki keakraban dengannya dan karya utamanya yang berjudul *the Structure of Scientific Revolution*. Ini memberikan indikasi bahwa para astronom/fisikawan ini tidak mungkin bisa menyadari implikasi filosofis dari aktivitas ilmiah. Oleh karena itu pengajaran sains tidak boleh hanya untuk memberi mahasiswa pengetahuan kumulatif atau gudang informasi [22–25]

Rendahnya level pemahaman epistemologis ini kemudian akan berdampak besar pada motivasi intrinsik seseorang. Bukan hal baru lagi bahwa motivasi merupakan hal yang sangat berpengaruh terhadap proses pencapaian tujuan pembelajaran. Orang dewasa yang mempunyai need to know/kebutuhan akan keingintahuan yang tinggi, mempunyai karakteristik yang berbeda dalam hal psikologis mereka. Motivasi belajar orang dewasa akan menurun akibat beberapa faktor psikologis dan fisiologis, namun dengan adanya pemahaman epistemologis yang berada pada level tinggi akan mampu mempertahankan motivasi pada remaja dan orang dewasa [26–28]. Tidak mengherankan apabila definisi Literasi Sains berdasarkan pengukuran PISA memecah dimensi baru, yakni pengetahuan epistemik [29].

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan data dan hasil analisis dapat disimpulkan bahwa urutan level perkembangan pemahaman epistemologis mahasiswa jurusan fisika dimulai dengan domain pertimbangan kebenaran dunia fisik, kebenaran dunia sosial, pertimbangan etika, pertimbangan estetika, dan pertimbangan selera pribadi. Urutan perkembangan ini dapat menjadi patokan dalam merancang pembelajaran khusus atau kebijakan mengenai standar lulusan perguruan tinggi.

Selain itu, adanya petunjuk mengenai korelasi dengan berbagai atribut kemampuan ataupun keterampilan lain memberikan gambaran betapa pentingnya peningkatan level pemahaman epistemologis.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini tidak dapat terlaksana tanpa dukungan penuh oleh Jurusan Fisika Universitas Negeri Makassar dan Dosen pengampu mata kuliah. Oleh karena itu, menjadi kewajiban moral bagi peneliti untuk berterima kasih yang sebesar-besarnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Muhmidayeli 2011 *Filsafat Pendidikan* (Bandung: Refika Aditama)
- [2] diSessa A A 1993 Toward an Epistemology of Physics *Cogn. Instr.* **10** 105–225
- [3] Popper K R 2008 *Logika Penemuan Ilmiah* (Yogyakarta: Pustaka Pelajar)
- [4] Kabil O 2015 Philosophy in Physics Education *Procedia - Soc. Behav. Sci.* **197** 675–9
- [5] Hammer D 1994 Epistemological Beliefs in Introductory Physics *Cogn. Instr.* **12** 151–83
- [6] Rosenfeld L 1963 Niels Bohr's contribution to epistemology *Phys. Today* **16** 47–54
- [7] Kuhn T S 2008 *The Structure of Scientific Revolutions* (Bandung: Rosda)
- [8] Cowan C W and Tumulka R 2016 Epistemology of Wave Function Collapse in Quantum Physics *Br. J. Philos. Sci.* **67** 405–34
- [9] Żyluk N, Karpe K, Michta M, Potok W, Paluszkiwicz K and Urbański M 2018 Assessing Levels of Epistemological Understanding: The Standardized Epistemological Understanding Assessment (SEUA) *Topoi* **37** 129–41
- [10] Thoermer C and Sodian B 2002 Science undergraduates' and graduates' epistemologies of science: the notion of interpretive frameworks *New Ideas Psychol.* **20** 263–83
- [11] Kuhn D, Cheney R and Weinstock M 2000 The development of epistemological understanding *Cogn. Dev.* **15** 309–28
- [12] Barzilai S and Chinn C A 2018 On the Goals of Epistemic Education: Promoting Apt Epistemic Performance *J. Learn. Sci.* **27** 353–89
- [13] Barzilai S and Weinstock M 2015 Measuring epistemic thinking within and across topics: A scenario-based approach *Contemp. Educ. Psychol.* **42** 141–58
- [14] Sin C 2014 Epistemology, Sociology, and Learning and Teaching in Physics: PHYSICS EPISTEMOLOGY AND LEARNING AND TEACHING *Sci. Educ.* **98** 342–65
- [15] Tambakis N A 1995 On the Empirical Law of Epistemology: Physics as an Artifact of Mathematics *Fundamental Problems in Quantum Physics* ed M Ferrero and A van der Merwe (Dordrecht: Springer Netherlands) pp 321–7
- [16] Stoel G, Logtenberg A, Wansink B, Huijgen T, van Boxtel C and van Drie J 2017 Measuring epistemological beliefs in history education: An exploration of naïve and nuanced beliefs *Int. J. Educ. Res.* **83** 120–34
- [17] Strømsø H I, Bråten I and Samuelstuen M S 2008 Dimensions of topic-specific epistemological beliefs as predictors of multiple text understanding *Learn. Instr.* **18** 513–27
- [18] Kuhn D and Park S-H 2005 Epistemological understanding and the development of intellectual values *Int. J. Educ. Res.* **43** 111–24
- [19] Rouse J 2005 Epistemological derangement *Stud. Hist. Philos. Sci. Part A* **36** 835–47
- [20] Mejia I P and Monterola S L C 2015 Developing Pre-service Teachers' Constructivist-Oriented Scientific Epistemological View through Metacognitive Group Discourse *Procedia - Soc. Behav. Sci.* **191** 700–8
- [21] Michael Nussbaum E and Bendixen L D 2003 Approaching and avoiding arguments: The role of epistemological beliefs, need for cognition, and extraverted personality traits *Contemp. Educ. Psychol.* **28** 573–95
- [22] Sharma S, Ahluwalia P K and Sharma S K 2013 Students' epistemological beliefs, expectations, and learning physics: An international comparison *Phys. Rev. Spec. Top. - Phys. Educ. Res.* **9**
- [23] Stathopoulou C and Vosniadou S 2007 Exploring the relationship between physics-related epistemological beliefs and physics understanding *Contemp. Educ. Psychol.* **32** 255–81
- [24] Wilcox B R and Lewandowski H J 2016 Students' epistemologies about experimental physics: Validating the Colorado Learning Attitudes about Science Survey for experimental physics *Phys. Rev. Phys. Educ. Res.* **12**
- [25] Raju P S, Lonial S C and Glynn Mangold W 1995 Differential Effects of Subjective Knowledge, Objective Knowledge, and Usage Experience on Decision Making: An Exploratory Investigation *J. Consum. Psychol.* **4** 153–80
- [26] Bye D, Pushkar D and Conway M 2007 Motivation, Interest, and Positive Affect in Traditional and Nontraditional Undergraduate Students *Adult Educ. Q.* **57** 141–58
- [27] Ryan R M and Deci E L 2000 Self-Determination Theory and the Facilitation of Intrinsic Motivation, Social Development, and Well-Being *Am. Psychol.* **11**
- [28] Trautwein U and Lüdtke O 2007 Epistemological beliefs, school achievement, and college major: A large-scale longitudinal study on the impact of certainty beliefs *Contemp. Educ. Psychol.* **32** 348–66
- [29] OECD 2016 *PISA 2015 Assessment and Analytical Framework (Science, Reading, Mathematics, and Financial Literacy)* (Paris: OECD publishing)