

“Turutan Pembelajaran- Pemudahcaraan” konsep tenaga pelajar fizik sekolah menengah menggunakan model pembinaan semula PdPC berasaskan tradisi *Didaktik-Jerman*

Azlinah Ispal

Fakulti Psikologi dan Pendidikan, Universiti Malaysia Sabah
Corresponding author's email: azlinah.ispal@gmail.com

Received: 15 September 2021 / Accepted: 20 December 2021 / Published: 31 December 2021

DOI:<https://doi.org/10.51200/bije.v2i.4114>

Abstrak. Turutan pembelajaran-pemudahcaraan konsep tenaga adalah berasaskan penyelidikan pendidikan saintifik berskala mikro yang direka khusus untuk mengkaji topik tunggal dalam PdPC bilik darjah. Terdapat beberapa model di bawah trend ini tetapi artikel ini hanya mengkhusus kepada Model Pembinaan Semula PdPC (MPSP) atau lebih dikenali sebagai *Model of Educational Reconstruction* (MER) dalam bahasa Inggeris yang ditemukan bermula dari negara Jerman. Model ini dianggap penting dalam penyelidikan pendidikan saintifik kerana ciri uniknya yang berupaya ‘mentransformasikan’ struktur kandungan fizik yang difahami oleh komuniti saintis agar menjadi struktur kandungan fizik yang mudah difahami pelajar di dalam bilik darjah. Hal ini kerana, menurut MPSP struktur PdPC fizik mestilah dibina berdasarkan perspektif pelajar, terutamanya konsep pra-pengetahuan dan trajektori pembelajaran mereka. MPSP ini terdiri daripada tiga komponen iaitu pemerihalan dan analisis kandungan subjek, penyelidikan PdPC dan reka bentuk persekitaran PdPC. Objektif penyelidikan ini ialah meneroka cara bagaimana konsepsi pelajar terhadap konsep tenaga yang berorientasikan aktiviti harian dapat

ditransformasikan/dibina semula kepada konsep yang berorientasikan fizik. Kajian kualitatif yang dijalankan ini mengadaptasi pendekatan fenomenologi hermeneutik Heidegger dan data diperolehi daripada pelbagai sumber seperti temu-bual separa berstruktur, jawapan bertulis pelajar, 'pengajaran eksperimen', dan refleksi-diri pelajar. Data dianalisis menggunakan analisis kualitatif kandungan dan akhir sekali dapatan kajian dipersembahkan dalam bentuk ilustrasi 'lalu pembelajaran' untuk melihat bagaimana pembentukan pemahaman pelajar terhadap konsep tenaga berlaku. Oleh itu, pendekatan turutan pembelajaran-pemudahcaraan menggunakan MPSP ini memiliki potensi yang besar untuk dijadikan salah satu kaedah PdPC terbaik dalam pendidikan sains di Malaysia.

Kata kunci: Tradisi *Didaktik*-Jerman, Model Pembinaan Semula PdPC (MPSP), elementarisasi, turutan pembelajaran-pemudahcaraan, pengajaran eksperimen, lalu pembelajaran.

Abstract. The teaching-learning-sequence of energy concept is based on micro-scale scientific educational research designed specifically to study a single topic in classroom teaching and learning. There are several theoretical models associated with this trend, but this article focuses solely on the Model of Educational Reconstruction (MER) discovered in Germany. This model is important in scientific education research because of its unique ability to 'transform' the physics content structure understood by the scientific community into the physics content structure easily understood by students in the classroom. This is because, according to MER, the structure of physics teaching and learning must be built around students' perspectives, particularly pre-knowledge concepts and learning trajectories. The MER is made up of three parts: subject matter clarification and analysis, research on teaching and learning, and design for teaching and learning environments. The objective of this study is to explore how students' conceptions of energy daily activities-oriented can be transformed/reconstructed into the concept of physics-oriented. This qualitative study adapted Heidegger's hermeneutic phenomenological approach, and data were gathered from a variety of sources, including semi-structured interviews, written responses from students, a teaching experiment, and students' self-reflection. The data was analysed using qualitative content analysis, and the study's findings were presented in the illustration of 'learning pathways' to show how students progressed in their understanding of the energy concept. As a result, this teaching-learning-sequence approach based on MER has the potential to be one of the most effective teaching and learning methods in Malaysian science education.

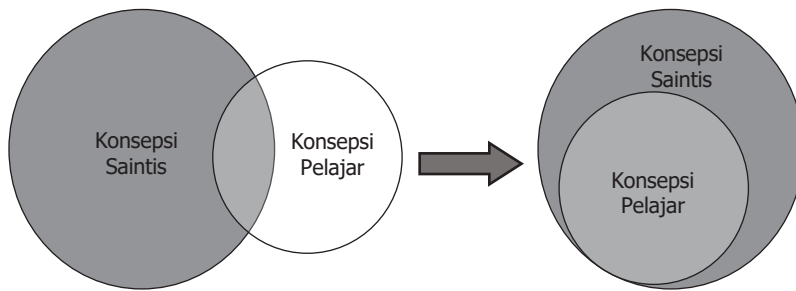
Keywords: German-Didaktik tradition, model of educational reconstruction (MER), elementarization, teaching-learning-sequence, teaching experiment, learning pathways.

PENGENALAN

Trend penyelidikan pendidikan saintifik dalam beberapa dekad kebelakangan ini mula menumpu kepada pengetahuan deskriptif tentang idea dan cara berfikir pelajar. Aliran ini konsisten dengan penyelidikan pendidikan saintifik yang mengkaji pembelajaran dan pemudahcaraan (PdPC) pada tahap mikro (satu sesi) atau sederhana (turutan topik tunggal) dan bukannya makro (satu tahun atau lebih) (Kariotoglou & Tselfes, 2000). Lijnse (1995, ms. 192) mentakrifkan kaedah ini sebagai “proses kitaran refleksi teori, analisis konsep, perangkaan kurikulum berskala kecil, dan penyelidikan bilik darjah yang beinteraksi dengan proses PdPC” atau lebih dikenali sebagai ‘Pembangunan Penyelidikan’ (*Developmental Research*). Menurut tradisi pendidikan Jerman, penyelidikan pendidikan saintifik yang mengkhusus kepada topik tertentu bagi suatu subjek ini dirujuk sebagai *Fachdidaktik* (contoh. Seel, 1999; Buchberger & Buchberger, 1999) dan terjemahan yang terbaik bagi *Fachdidaktik* adalah ‘pendidikan subjek’ (*subject matter education*).

Pendekatan yang sudah lama diamalkan untuk menambah baik strategi pengajaran topik tertentu berdasarkan penyelidikan pada tahap mikro dan sederhana ini dikenali sebagai ‘turutan pembelajaran-pemudahcaraan’ atau turutan PdPC (*teaching-learning-sequence*) (Driver & Oldham, 1986; Lijnse, 1995, 2000; Leach & Scott, 2002; Psillos & Kariotoglou, 2015). Istilah turutan PdPC ini merujuk kepada hubungan intim urutan berorientasikan topik berasaskan penyelidikan antara ‘pengajaran yang dirancang’ dan ‘pembelajaran pelajar yang diharapkan’ (Méheut & Psillos, 2000; Psillos & Méheut, 2001). Menurut kebanyakan literatur, turutan PdPC telah menunjukkan sebagai pendekatan yang terbaik untuk memupuk budaya penyelidikan ke dalam amalan PdPC bilik darjah (Anderson & Shattuck, 2012; Duit *et al.*, 2012; Kortland & Klaassen, 2010; Psillos & Kariotoglou, 2015; Ruthven *et al.*, 2009). Unikunya, walaupun guru kurang latihan khusus dalam pendekatan turutan PdPC ini apabila mengaplikasikannya dalam PdPC, didapati penguasaan pelajar dalam pelbagai subjek menunjukkan peningkatan yang baik (Leach *et al.*, 2006; Savinainen *et al.*, 2017).

Hal ini kerana, perancangan PdPC subjek fizik yang berasaskan pendekatan turutan PdPC suatu topik/konsep ini berupaya ‘mentransformasikan’ struktur kandungan fizik yang difahami oleh komuniti saintis kepada struktur kandungan fizik untuk PdPC di dalam bilik darjah (Westbury, 2000). Proses ‘mentransformasi struktur kandungan’ ini penting untuk membantu pelajar memahami konsep dengan lebih baik dengan merapatkan jurang pemahaman/konsepsi antara saintis dan pelajar seperti dalam Rajah 1. Ideologi ini berasal dari sistem pendidikan Jerman yang dikenali sebagai tradisi *Didaktik*-Jerman (penerangan lebih lanjut dalam subtopik seterusnya).



Rajah 1 Merapatkan Jurang Konsepsi antara Saintis dan Pelajar

Pendekatan turutan PdPC ini sering dijadikan sebagai kaedah perancangan PdPC 'fizik sekolah' (*school physics*) (Colomb, 1999; Buty *et al.*, 2004) dan sebagai bahan bantu PdPC kerana merangkumi pandangan teori, penemuan penyelidikan empirikal, dan perspektif guru. Guisasola *et al.* (2017) mentakrifkannya sebagai "kedua-dua aktiviti penyelidikan intervensi dan hasil, setara dengan pakej unit kurikulum biasa, yang mengandungi aktiviti PdPC yang diselidik dengan baik yang sesuai secara empirik untuk penaakulan pelajar." Perkara pertama yang perlu dilakukan apabila membina turutan PdPC suatu topik, penyelidik perlu mengenal pasti pra-pengetahuan pelajar tentang kandungan fizik yang bakal diajar dan struktur kandungan fizik terlebih dahulu (Duit & Treagust, 1998; Millar & Osborne, 1999; Lijnse, 1995, 2000; Artigue, 1994; Kattmann *et al.*, 1996; Leach & Scott, 2003; Psillos & Kariotoglou, 2015). Tindakan ini akan membawa penyelidik kepada tahap mengesan apa yang 'hilang' (*missing*) dan memahami apa sebenarnya yang berlaku dalam bilik darjah dari segi interaksi antara kandungan fizik dan proses PdPC, dan kemudian cuba menghuraikannya berdasarkan teori pengajaran (Lijnse, 2000).

Artikel ini mengkhusus kepada tututan PdPC konsep tenaga dalam subjek fizik sekolah menengah di Sabah, Malaysia. Konsep tenaga dipilih menjadi fokus penyelidikan kerana di dalam kehidupan seharian, kita sentiasa menemui istilah 'tenaga.' Tetapi konsep tenaga ini sukar difahami disebabkan oleh sejarah bagaimana konsep tenaga tersebut dibina dan sifat-sifat semula jadinya (Driver & Millar, 1986; Driver *et al.*, 1994; Pfundt & Duit, 1994; Rizaki & Kokkotas, 2013; Warren, 1982). Selain itu, konsep tenaga juga digunakan dalam pelbagai konteks bahasa yang membawa makna yang berbeza-beza (Hinrichs & Kleinbach, 2002; Sağlam-Arslan & Kurnaz, 2009). Lebih malang lagi, kajian terdahulu telah menunjukkan bahawa konsep tenaga bersifat abstrak dan rumit kerana wujud dalam dua disiplin berbeza secara serentak, iaitu sebagai konsep yang merentasi kurikulum (contoh, Driver & Millar, 1986; White, 1994) dan sebagai konsep teras bagi subjek sains (cth. Gyberg & Lee, 2010). Oleh kerana terdapat pelbagai takrifan mengenai konsep tenaga, para penyelidik pendidikan saintifik mendakwa bahawa pelajar dari semua peringkat umur menghadapi kekeliruan serius untuk memahami konsep tenaga yang sebenar (Bécu-Robinault & Tiberghien, 1998; Gyberg & Lee, 2010; Liu *et al.*, 2002; Liu & McKeough, 2005; Neumann *et al.*, 2013; Sağlam-Arslan, 2010). Menyedari betapa seriusnya perkara ini telah mendorong ahli fizik yang terkenal, Prof. Dr. Richard Feynman

menyatakan bahawa “adalah penting untuk menyedari dalam fizik hari ini, kita tidak tahu apa itu tenaga,” (Feynman *et al.*, 2011). Sungguhpun demikian, terdapat persetujuan yang meluas dalam kalangan penyelidik pendidikan saintifik dan pendidik sains antarabangsa untuk mengangkat konsep tenaga ini sebagai topik yang penting dalam pendidikan sains (Chabalengula *et al.*, 2012; Palomo, 2008).

Sejak lama dulu, Driver dan Millar (1986) telah menyatakan bahawa terdapat banyak perbezaan definisi tenaga seperti dalam biologi, kimia, fizik, dan teknologi. Sebagai contoh, takrifan tradisional tenaga sebagai ‘keupayaan melakukan kerja,’ tidak selalunya tepat dalam bidang-bidang lain (contoh, Chai *et al.*, 2006). Kepincangan pemahaman asas dalam konsep tenaga ini dapat dilihat bukan sahaja di dalam bilik darjah (Goldring & Osborne, 1994), malah pada masyarakat umum (Loverude *et al.*, 2002). Akibatnya, pelajar yang naif di sekolah mencipta ‘konsepsi alternatif’ yang bertentangan dengan pengetahuan saintifik terhadap konsep tenaga (Driver *et al.*, 1994; Duit & Treagust, 2003; Fensham, 2001; Mikelskis-Seifert *et al.*, 2008; Pfundt & Duit, 1994; Rizaki & Kokkotas, 2013; Watts, 1983). Hal ini berlaku kerana sebelum pelajar mempelajari konsep tenaga secara formal di dalam bilik darjah, mereka telah pun terbiasa menggunakan istilah ‘tenaga’ dalam perbualan harian dan telah pun mempunyai idea yang tertanam dalam minda mereka yang mungkin sesuai atau mungkin tidak sesuai dengan sudut pandangan saintifik terhadap konsep tenaga (Duit & Treagust, 2003; Lijnse, 1990; Trumper, 1990). Jika konsepsi alternatif ini tidak ditangani, pastinya proses pemahaman konsep tenaga yang sepatutnya akan terjejas (Duit & Treagust, 2003; Duit *et al.*, 2013; Eger, 1992; Harrison & Treagust, 2006). Biasanya, konsepsi alternatif pelajar seperti ini dapat dibetulkan menggunakan kaedah ‘pembinaan semula konsep’ (*conceptual reconstruction*) (Duit *et al.*, 2012; Kattmann *et al.*, 1996; Komorek & Duit, 2004; Riemeier & Gropengießer, 2008).

Dalam *Naturwissenschaftsdidaktik* atau diterjemahkan sebagai ‘pendidikan sains’ (*science education*), frasa ‘pembinaan semula konsep’ telah digunakan untuk menerangkan pembelajaran konstruktivis (Duit, 1999; Duit & Treagust, 2003; Kattmann *et al.*, 1996). Pembinaan semula konsep ini sebenarnya adalah salah satu model yang terdapat dalam pendekatan turutan PdPC, yang dikenali sebagai Model Pembinaan Semula PdPC (MPSP) (Kattmann *et al.* 1996). Selain itu, terdapat juga model-model PdPC lain berasaskan turutan PdPC yang telah dikenalpasti seperti *Developmental Research* (Lijnse, 1995), *Engineering Didactic* (Artigue, 1996), dan *Learning Demand* (Leach & Scott, 2002). Keempat-empat model ini berkongsi sebahagian ciri-ciri tetapi mereka juga berbeza dalam aspek-aspek tertentu. Menurut MPSP, pembinaan semula konsep bukan sahaja merujuk kepada konsepsi alternatif pelajar, tetapi juga merujuk kepada struktur kandungan fizik (Fensham, 2004). Fensham (2004) menyatakan bahawa kandungan fizik harus dianggap ‘bermasalah’ (*problematic*) dan perlukan proses pembinaan semula tetapi hal ini sering diabaikan semasa proses membina teknik PdPC dalam tradisi kurikulum. Guru biasanya mengabaikan sifat kandungan yang perlu diajar itu sendiri, serta hubungan antara sifat semula jadi yang difahami oleh ahli fizik dengan struktur kandungan subjek fizik untuk pengajaran di bilik darjah (Fensham, 2001 & 2004).

MODEL PEMBINAAN SEMULA PDPC

Model Pembinaan Semula PdPC (MPSP) atau dalam penerbitan antarabangsa lebih dikenali sebagai *Model of Educational Reconstruction* (MER) adalah kaedah pembelajaran dan pemudahcaraan (PdPC) yang membawa idea mempertimbangkan bukan sahaja dimensi epistemik (asal usul, fungsi, dan makna konsep suatu subjek), tetapi juga konteks, aplikasi, akibat, etika dan sosial semasa menganalisis kandungan fizik. Model ini memainkan peranan penting dalam penyiasatan empirikal tentang PdPC fizik kerana pendekatannya yang bermula daripada analisis struktur kandungan suatu subjek (pemerihalan kandungan fizik) dan menghubungkannya dengan isu-isu sebenar PdPC di dalam bilik darjah supaya kandungan fizik yang selalunya dianggap sukar menjadi lebih mudah difahami pelajar (Duit *et al.* 2012; Kattmann *et al.* 1996).

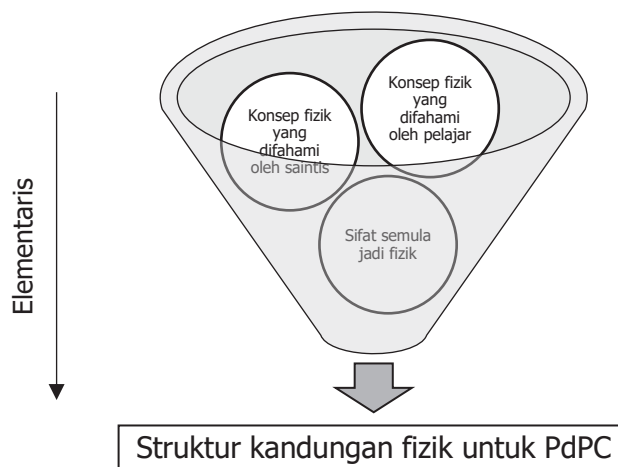
MPSP yang berasal dari Jerman adalah berasaskan tradisi *Didaktik*-Jerman dan telah mula diaplikasikan secara meluas dalam beberapa tahun kebelakangan ini dalam pelbagai bidang penyelidikan (contoh, Aiello-Nicosia & Sperandeo-Mineo, 2000; Diethelm *et al.*, 2012; Duit *et al.*, 1997, 2012; Gropengießer, 1998; Grusche, 2017a, 2017b; Kattmann *et al.*, 1996; Komorek & Duit, 2004; Komorek & Kattmann, 2008; Michelini, 2021; Riemeier & Gropengießer, 2008; Sujaritttham & Tanamatayarat, 2019; Sulistiawati, 2020; Wen & Chen, 2018; Woithe & Kersting, 2021; Wong & Chu, 2017; Yusmaita & Nasra, 2018) dan MPSP telah muncul sebagai kaedah PdPC yang penting dalam penyelidikan pendidikan fizik bukan sahaja di Jerman dan Eropah, malah mula menular ke benua lain seperti Asia, Afrika dan Amerika.

MPSP adalah berasaskan epistemologi fahaman konstruktivis iaitu pendokong fahaman ini menganggap bahawa tiada struktur kandungan yang 'terbaik' untuk kandungan suatu subjek (Duit & Treagust, 1998, 2003). Oleh itu, berdasarkan fahaman ini, proses pemerolehan ilmu pengetahuan dianggap sebagai proses 'pembinaan semula konsep' oleh individu yang aktif dalam persekitaran sosial, budaya dan material tertentu atau pun dalam erti kata lain, pelajar dikatakan melalui proses pembelajaran dengan cara 'membina semula' ilmu pengetahuan berdasarkan pra-pengetahuan mereka sendiri. Pra-pengetahuan dan kepercayaan pelajar sebelum mempelajari fizik secara formal di dalam bilik darjah tidak dianggap sebagai penghalang kepada proses pembelajaran, sebaliknya dianggap sebagai titik permulaan membawa mereka kepada pengetahuan fizik (Driver & Easley, 1978). Menurut fahaman konstruktivis juga, kandungan fizik dilihat sebagai produk 'pembinaan semula' oleh manusia (Abd-El-Khalick & Lederman, 1998) dan merupakan proses 'pembinaan semula' atau ekspresi peribadi penyampai (contohnya pengarang buku fizik) dan bukanlah penyampaian pengetahuan saintifik yang sebenar (*the true scientific knowledge*) (Kattmann *et al.*, 1996).

MPSP terdiri daripada tiga komponen iaitu pemerihalan dan analisis kandungan subjek, penyelidikan PdPC dan reka bentuk persekitaran PdPC (Duit *et al.*, 2012; Kattmann *et al.*, 1996). Ketiga-tiga komponen ini saling terikat antara satu sama lain (penerangan lebih lanjut dalam subtopik seterusnya). Menurut MPSP, sebelum guru fizik mengajar, mereka mesti 'memperihalkan' (*clarify*) kandungan fizik terlebih dahulu, kerana kandungan fizik mesti dianggap 'bermasalah' (*problematic*) (Fensham, 2004).

Kandungan bermasalah ini tidak bermaksud kandungan tersebut mesti dianggap susah difahami tetapi perlu melalui proses *elementarisierung* sebelum kandungan tersebut layak menjadi struktur kandungan PdPC dan boleh diajar kepada pelajar (Kattmann *et al.*, 1996). *Elementarisierung*, istilah bahasa Jerman ini sebenarnya agak sukar diterjemah dan tiada istilah yang tepat ditemui dalam bahasa Inggeris mahupun bahasa Melayu yang membawa maksud yang serupa. Oleh itu, istilah *elementarization* telah dipopularkan oleh penyelidik-penyelidik yang berbahasa Inggeris dalam penerbitan risalah mereka untuk mewakili konsep tersebut (Kattmann *et al.*, 1996). Ironinya, istilah *elementarization* ini juga bukanlah perkataan bahasa Inggeris manakala di dalam penulisan ini pula, saya menggunakan istilah ‘elementarisasi’ sebagai satu usaha untuk mendekati konsep ‘pemerihalan’ kandungan ini ke dalam konteks dan budaya tempatan.

Tiga perkara yang perlu dielementarisasikan bersama iaitu, konsep fizik yang difahami pelajar, konsep fizik yang difahami saintis dan sifat semula jadi fizik. Kaedah ini adalah unik dalam penyelidikan pendidikan saintifik kerana struktur kandungan PdPC fizik mesti dibina berdasarkan perspektif pelajar, terutamanya konsep pra-pengetahuan dan trajektori pembelajaran mereka. Struktur kandungan fizik serta idea dan kerangka tafsiran pelajar dilihat sebagai aspek yang sama penting dalam proses pembinaan semula PdPC dan diperlukan untuk mencapai matlamat pengajaran fizik. Struktur kandungan PdPC fizik yang telah melalui proses elementarisasi bersedia untuk melalui fasa seterusnya iaitu ‘eksperimen pengajaran’ (*teaching experiment*) yang dilaksanakan dalam persekitaran sebenar bilik darjah (penerangan lebih lanjut dalam subtopik seterusnya). Saya mewakili idea elementarisasi ini seperti dalam Rajah 2 (Azlinah, 2021).



Rajah 2 Ilustrasi Konsep Elementarisasi

ASAL USUL MODEL

MPSP ini adalah model PdPC yang sangat asing bagi negara-negara yang mengamalkan tradisi kurikulum dalam sistem pendidikan mereka, seperti Malaysia dan negara-negara yang berbahasa Inggeris (Hopmann & Riquarts, 2000; Kansanen, 1995 & 1999; Westbury, 2000). Tradisi pendidikan yang diamalkan di Malaysia berasal dari ideologi pendidikan tradisi kurikulum Anglo-Amerika dan agak popular di kebanyakan negara di dunia sejak lewat tahun 1960an (González *et al.*, 2019). Manakala MPSP pula dibina berasaskan tradisi pendidikan negara Jerman yang dikenali sebagai tradisi *Didaktik*-Jerman. Amalan pendidikan tradisi kurikulum berbeza dengan tradisi *Didaktik*-Jerman yang diamalkan di negara Jerman sendiri dan negara-negara Nordic serta Eropah Tengah sejak lebih 400 tahun yang lalu (Hudson, 2002 & 2003). Sejarahinya, Bjørg Gudem, Stefan Hopmann dan rakan sekerja mereka merupakan kumpulan penyelidik yang pertama melihat perbezaan antara dua tradisi pendidikan ini (lihat Gudem & Hopmann, 1998).

Dalam penulisan ini, saya tidak menjelaskan intipati setiap tradisi, sebaliknya hanya menyediakan pandangan alternatif kepada penyelidikan PdPC melibatkan tradisi yang kurang dikenali oleh penyelidik pendidikan di Malaysia kerana mungkin disebabkan oleh tradisi *Didaktik*-Jerman ini hanya mula disedari kewujudannya oleh masyarakat dunia sekitar tahun 1990an, apabila ideologinya yang sebelum ini hanya tertulis dalam bahasa Jerman mula diterjemahkan ke bahasa Inggeris apabila beberapa orang professor dari komuniti tradisi kurikulum Anglo-Amerika mengadakan dialog dengan kumpulan professor dari tradisi *Didaktik*-Jerman pada akhir 1990-an (Westbury *et al.*, 2000). Pada Oktober 1993, *Institut für Padagogik der Naturwissenschaften (Leibniz Institute for Science and Mathematics Education (IPN))* di Universiti Kiel, Jerman, telah menganjurkan Simposium *Didaktik and/or Curriculum* kali ke tiga bagi perhimpunan Kumpulan Kerja Kurikulum dan *Didaktik* yang sejarahinya hanya bermula daripada perbualan tidak formal melibatkan professor dari Norway, Jerman, England, dan Amerika Utara (Hamilton & Gudmundsdottir, 1994; Westbury *et al.*, 2000). Sejak daripada siri pertemuan mereka, tradisi pendidikan Jerman mula dikenali oleh masyarakat antarabangsa.

Asasnya, tradisi *Didaktik*-Jerman ini menjadikan *Bildung* dan *Didaktik* sebagai tunjang dalam sistem pendidikan mereka dan pendekatan ini berakar umbi dalam perspektif epistemologi hermeneutikal Wilhelm Dilthey (1833-1911) (Duit *et al.*, 2012). *Bildung* dan *Didaktik* adalah istilah Jerman yang juga sukar diterjemah ke dalam bahasa komunikasi dunia, iaitu bahasa Inggeris. Begitu juga dalam bahasa Melayu, tiada istilah yang membawa maksud yang serupa dengan *Bildung* dan *Didaktik*. Menurut tradisi *Didaktik*-Jerman, *Bildung* adalah proses pembangunan diri (*self-cultivation*) yang lebih komprehensif daripada persekolahan, kerana *Bildung* merangkumi kedua-dua proses perkembangan kognitif pelajar (*inner development*) dan diselubungi oleh perkembangan persekitarannya seperti sosial, budaya dan bahasa (*outer envelopment*) (Vásquez-Levy,

2002). *Bildung* merujuk kepada proses analitikal yang menterjemah (mengubah atau mentransformasikan) pengetahuan manusia yang terkandung di dalam lipatan sejarah dan budaya kepada pengetahuan persekolahan, yang mengakibatkan pembentukan *Bildung* pelajar (Westbury, 2000). Dalam erti kata lain, pengetahuan tentang biologi, kimia atau fizik seperti yang wujud dalam bidang saintifik ini tidak semestinya dalam bentuk yang selayaknya dimasukkan ke dalam ilmu persekolahan. Hal ini kerana, bagaimana saintis mengembangkan pengetahuan mereka dalam bidang sains tidak sama dengan konteks bagaimana pelajar sekolah membina pengetahuan sains mereka di dalam bilik darjah. Ironinya, ideologi pendidikan ini sering diabaikan dalam tradisi kurikulum Anglo-Amerika (Westbury *et al.*, 2000).

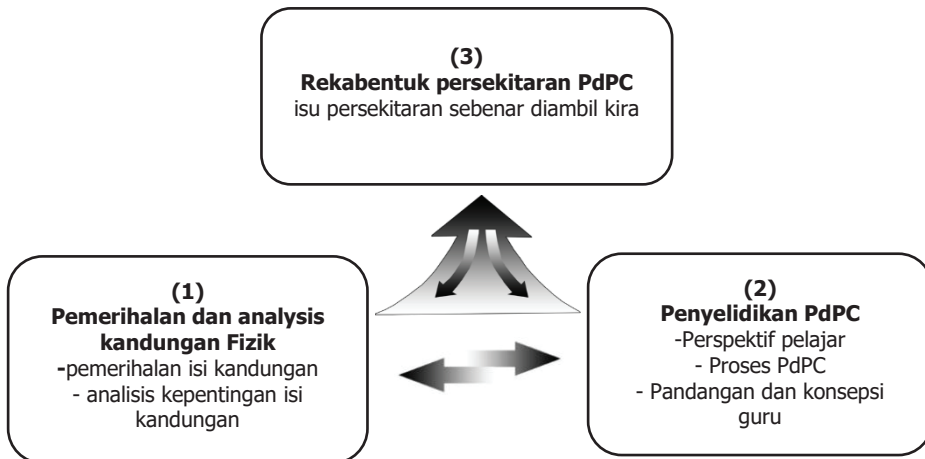
Manakala *Didaktik* pula merujuk kepada bidang PdPC Jerman yang berasal dari perkataan Yunani iaitu *Didaskein* (Kertz-Welzel, 2004), iaitu merupakan konsep praktikal dan normatif secara semula jadi (*Lehrkunst*) (Kansanen, 1999) dan perlu ditegaskan di sini bahawa definisi *Didaktik* dalam bahasa Jerman ini adalah tidak sama dengan istilah *Didactics* dalam bahasa Inggeris. *Didaktik* yang telah diasaskan oleh Wolfgang Ratke (1571–1635) dan Johann Amos Comenius (1592–1670) sejak awal abad ke-17 mempunyai sejarah yang panjang berkaitan kandungan subjek, cara, dan tujuan pendidikan, serta tumpuan *Didaktik* adalah tentang apa yang harus diajar, bagaimana untuk mengajar, dan mengapa topik tersebut perlu diajar (Westbury, 2000). Wolfgang Ratke (1571–1635), dalam karyanya *Didactica* (1613), mendefinisikan *Didaktik* sebagai ‘seni pengajaran’ dengan mencipta frasa *ars didactica*. Manakala menurut Johann Amos Comenius (1592–1670) pula, seorang uskup Bohemia, *Didaktik* adalah seni mempelajari cara ‘mengajar segala-galanya kepada semua orang’ (*omnes omnia docere*) dalam karyanya, *Didactica Magna* (1657) dan terdiri daripada tiga elemen iaitu ilmu pengetahuan, guru, dan pelajar (Kansanen, 1999; Kertz-Welzel, 2004). Matlamatnya adalah untuk menyediakan teknik PdPC generik yang boleh dibandingkan dengan kaedah logik, dan dianggap sebagai pendekatan terbaik untuk menyampaikan kandungan pengajaran untuk memudahkan pembelajaran pelajar.

Ideologi *Bildung* dan *Didaktik* yang saling bertaut ini telah melalui pelbagai penambahbaikan dan telah ditempatkan semula ke dalam hermeneutik manusia pada abad ke-20 (Westbury, 2000). Klette (2007) mentakrifkan tradisi *Didaktik*-Jerman ini sebagai “hubungan antara guru dan pelajar (siapakah), subjek (apakah), dan kaedah PdPC (cara bagaimana)”. Untuk meringkaskan dan memudahkan, MPSP ini mengambil berat tentang isu-isu berikut:

1. Apakah yang akan diajar dan apa yang akan dipelajari? (aspek isi kandungan pengetahuan).
2. Apakah cara terbaik untuk mengajar dan mempelajari “isi kandungan pengetahuan”? (aspek kaedah penyampaian).
3. Apakah tujuan PdPC “isi kandungan pengetahuan”? (aspek matlamat pembelajaran).

REKA BENTUK MODEL

Rajah 3 menunjukkan MPSP yang terdiri daripada tiga komponen asasnya (Duit *et al.*, 2012; Kattmann *et al.*, 1996).



Rajah 3 Model Pembinaan Semula PdPc

Komponen 1: Pemerihan dan Analisis Kandungan Fizik | Pemerihan dan analisis kandungan fizik adalah berdasarkan analisis kandungan kualitatif buku teks terkemuka dan penerbitan utama mengenai topik yang bakal diajar, termasuklah mempertimbangkan evolusi sejarah dan sifat semula jadinya. Biasanya kandungan saintifik sering disampaikan dalam bentuk abstrak dan diringkaskan (*simplify*). Demikian juga bahasa penyampaian oleh penulis dalam buku teks akademik biasanya menggunakan bahasa yang mengelirukan dan lapuk (Komorek & Kattmann, 2008). Hal ini tidaklah menjejaskan pemahaman komuniti saintis, tetapi kandungan fizik seperti ini tidak mudah difahami dan sering mengelirukan pelajar sekolah atau pembelajaran tidak formal, terutamanya apabila terdapat frasa dengan makna yang berbeza dalam perbualan saintifik dan harian. Oleh itu, kandungan fizik harus dianggap sebagai ‘bermasalah’ (*problematic*) sebelum diajarkan kepada pelajar (Fensham, 2004) dan perlu melalui proses elementarisasi agar PdPC fizik tersebut mudah difahami pelajar (Duit *et al.*, 2012; Kattmann *et al.*, 1996)

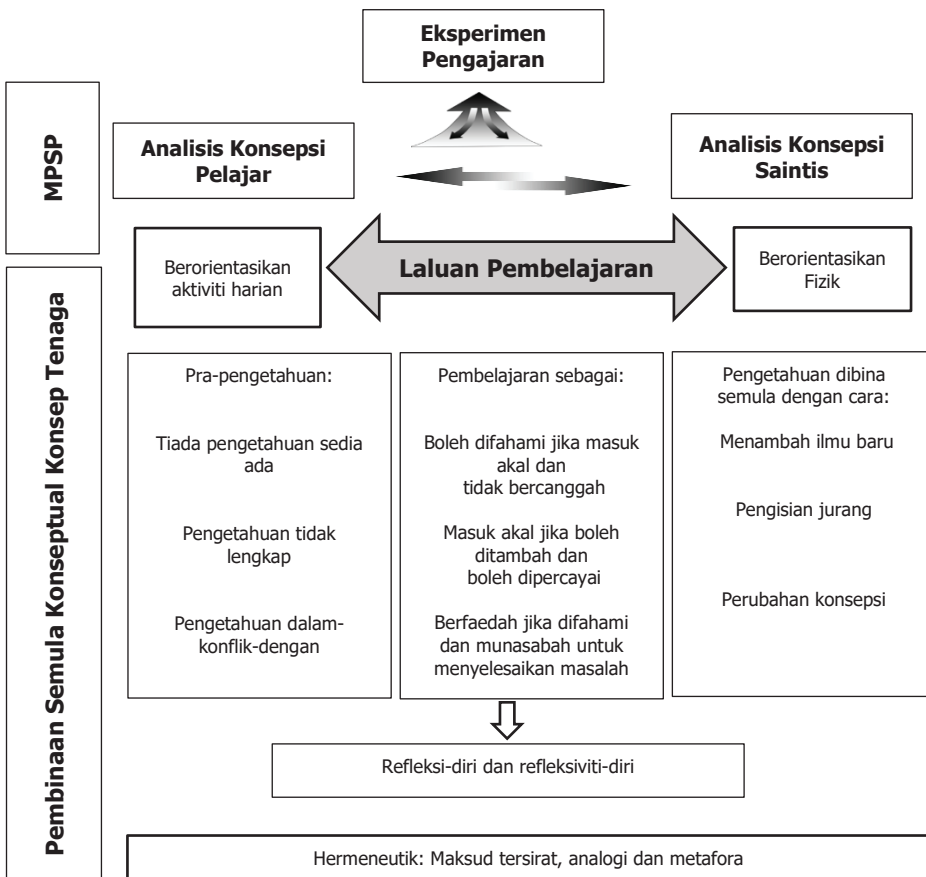
Komponen 2: Penyelidikan PdPC | Komponen kedua MER ialah penyelidikan tentang pengajaran dan pembelajaran, yang merangkumi penyiasatan empirikal ke atas konsep pra-pengetahuan pelajar dan faktor emosi seperti minat, konsep sendiri, dan sikap (Duit, 2007). Konsepsi pelajar tidak dikaji untuk menggantikannya dengan konsep yang sah secara saintifik; sebaliknya, ia dikaitkan dengan konsep saintifik untuk menjadikan pelbagai sudut pandangan jelas dan mudah difahami oleh pelajar (Duit & Häußler, 1994).

Komponen 3: Reka Bentuk Persekitaran PdPC | Komponen ketiga termasuk mereka bentuk bahan PdPC, aktiviti PdPC, dan jujukan PdPC berdasarkan maklum balas daripada pemerihalan dan analisis kandungan (Komponen 1) dan penyelidikan PdPC (Komponen 2). Komponen ini memberi tumpuan kepada reka bentuk persekitaran sebenar yang menyokong PdPC.

Dalam komponen ini, reka bentuk PdPC yang selalunya dilaksanakan adalah dalam bentuk ‘eksperimen pengajaran’ (*teaching experiment*). Eksperimen pengajaran ini merupakan satu jenis temu bual yang moden, diperkenalkan oleh ahli Matematik, Steffe dan Thompson pada awal tahun 1980-an untuk mendedahkan lebih lanjut tentang cara bagaimana konsepsi pelajar boleh berubah dan dipengaruhi oleh kaedah PdPC yang pelbagai (Steffe & D’Ambrosio, 1996; Steffe & Thompson, 2000). Eksperimen pengajaran ini terdiri daripada tiga bahagian iaitu pemodelan, episod PdPC, dan temu bual individu atau kumpulan. Kaedah empirikal ini membolehkan gabungan pembelajaran (aspek intervensi) dengan temu bual (aspek penyiasatan) berlaku serentak. Komponen yang paling penting dalam eksperimen pengajaran ialah memodelkan tindak balas pelajar menjadi gambaran yang koheren tentang perkembangan mereka dari semasa ke semasa sama ada dengan mewakilkannya dalam bentuk ilustrasi ‘laluhan pembelajaran’ (*learning pathway*) atau pun dalam bentuk penerangan (Méheut & Psillos, 2004; Steffe & Thompson, 2000). Guru/penemu bual/pemerhati, serta pelajar yang dikaji, terlibat dalam episod PdPC. Episod PdPC didokumen dan dianalisis dan hasilnya digunakan untuk menentukan episod PdPC seterusnya. ‘Bahasa pemikiran’ atau respons pelajar adalah tumpuan utama semasa episod PdPC berlangsung (Steffe & Thompson, 2000). Ketiga-tiga elemen ini saling memerlukan antara satu sama lain dan saling berkait rapat. Tidak mungkin untuk memodelkan respons pelajar tanpa terlebih dahulu menjalankan temu bual, yang mungkin melibatkan sesi PdPC.

METODOLOGI

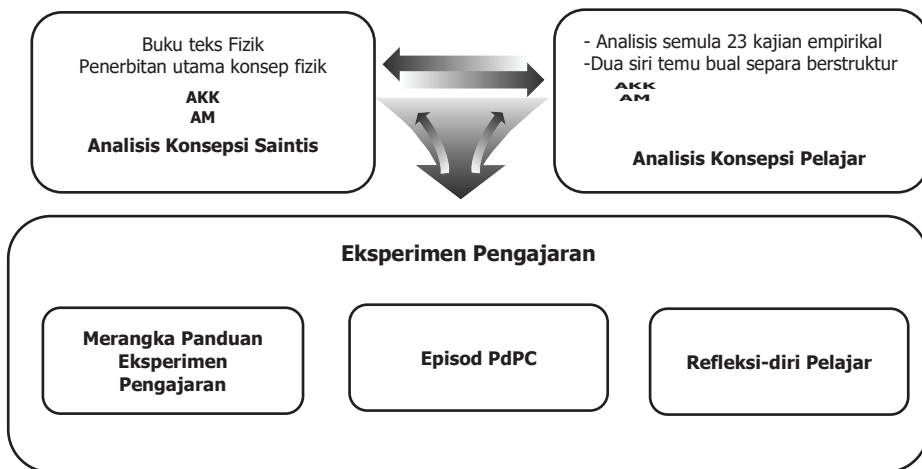
Penyelidikan ini dirangka berdasarkan fahaman aliran konstruktivis, dan reka bentuk kajian kualitatif yang digunakan adalah menggunakan pendekatan fenomenologi. Lebih tepat lagi, menggunakan cabang hermeneutik, dinamakan sebagai fenomenologi hermeneutik, yang dipelopori oleh Martin Heidegger (1889-1976), seorang ahli falsafah Jerman abad ke-20. Fenomenologi hermeneutik Heidegger ini mengutamakan tafsiran mendalam berbanding penerangan peringkat permukaan, kerana beliau mempelopori tafsiran ‘teks’ seperti tulisan, lisan, lukisan, simbol dan not muzik untuk menyatakan makna yang tersembunyi disebalik ‘teks’ tersebut. Objektif penyelidikan ini dijalankan adalah untuk memahami bagaimana konsepsi alternatif pelajar terhadap konsep tenaga yang berorientasikan aktiviti harian dapat distruktur atau dibina semula menjadi konsepsi yang berorientasikan fizik. MPSP dijadikan asas kepada pembentukan rangka kerja konsep kajian (lihat Rajah 4) yang berfungsi sebagai panduan untuk saya mentafsir makna tersirat yang tersembunyi dalam pemikiran pelajar, yang disebut sebagai ‘konsepsi fizik yang dipegang oleh pelajar’ atau ‘bahasa pemikiran’ secara falsafahnya.



Rajah 4 Rangka Kerja Konsep Kajian

Sebagai seorang pendokong fahaman aliran konstruktivism, sebelum memulakan penyelidikan ini, terlebih dahulu saya harus memastikan saya bersedia berhadapan dengan konflik pemahaman yang boleh berlaku terhadap pemahaman sedia ada yang saya miliki. Hal ini kerana, saya sedar bahawa latar belakang, budaya dan tradisi pendidikan yang dijadikan asas penyelidikan ini agak berbeza dengan ideologi tradisi kurikulum, tradisi yang saya amalkan sepanjang menjadi pelaksana dasar kurikulum. Bersikap terbuka, bersedia menerima teguran dan kritikan daripada pengamal tradisi *Didaktik*-Jerman adalah penting untuk membantu saya menjalankan penyelidikan ini supaya benar-benar berlandaskan ideologi tradisi *Didaktik*-Jerman, seperti MPSP yang menawarkan pandangan yang berguna untuk mengelak pendekatan berat sebelah sama ada menumpu semata-mata pada struktur kandungan fizik atau pemahaman pelajar sahaja. Asasnya, model ini menyeimbangkan dua perkara utama iaitu, di satu pihak, struktur kandungan fizik adalah titik rujukan untuk memahami sudut pandangan pelajar, dan di satu pihak yang lain pula, sudut pandangan pelajar juga merupakan titik rujukan untuk memudahkan pemahaman yang lebih baik tentang struktur kandungan fizik (pendekatan ini tidak diamalkan di dalam tradisi kurikulum).

Penyelidikan ini disertai oleh 12 orang pelajar fizik di salah sebuah sekolah menengah di Sabah. Konsep tenaga yang melibatkan tenaga keupayaan graviti (U_g), tenaga kinetik (U_k), tenaga terma (U_t), dan tenaga keupayaan kenyal (U_s) diperhatikan. Oleh itu, konsepsi saintis dan pelajar tentang konsep tenaga dielementarisasikan untuk membina jujukan PdPC yang berjaya berdasarkan MPSP konsep tenaga (Rajah 5). Saya mengelementarisasi (1) konsepsi saintis daripada pelbagai sumber saintifik seperti Buku Teks Fizik dan penerbitan utama mengenai konsep tenaga; dan menginterpretasi (2) konsepsi pelajar tentang konsep tenaga daripada analisis semula 23 kajian empirikal dan dua siri temu bual separa berstruktur. Bahagian ini memberikan gambaran keseluruhan tentang beberapa konsepsi alternatif pelajar. Hasil dapatan dari (1) dan (2), digunakan untuk saya menyediakan (3a) garis panduan eksperimen pengajaran, (3b) dalam setiap episod PdPC, saya mengatur aktiviti pembelajaran, dan diuji dalam lima kumpulan kecil (dua atau tiga orang pelajar dalam satu kumpulan) yang berlangsung selama 60-90 minit bagi setiap sesi. Pada masa tersebut, saya meneliti “laluhan pembelajaran” setiap kumpulan dan diakhiri dengan (3c) refleksi-diri pelajar dengan menjawab soalan bertulis untuk menguji pemahaman yang terbina. Soalan ini dalam bentuk aplikasi konsep tenaga dan melibatkan pengiraan. Semua data di analisis menggunakan analisis kualitatif kandungan.



AKK – Analisis Kualitatif Kandungan (Gropengießer, 2007 dalam Grusch, 2017)

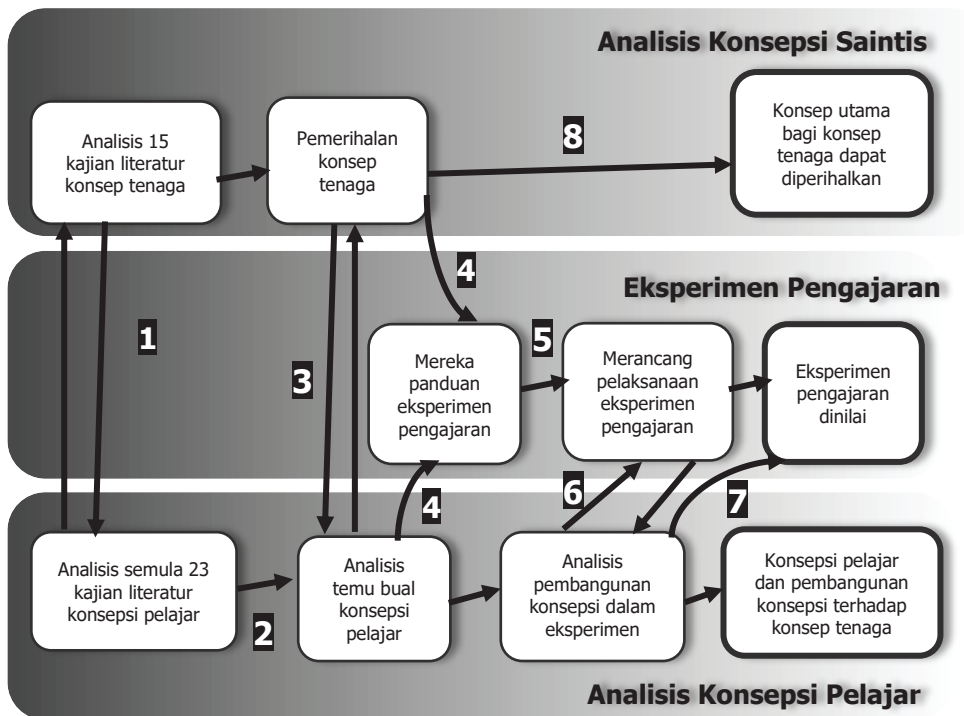
AM – Analisis Metafora (Schmitt, 2005)

Rajah 5 Reka Bentuk Penyelidikan Terhasil daripada Model Pembinaan Semula PdPC

Rajah 6 menggambarkan reka bentuk sebenar penyelidikan berasaskan MPSP konsep tenaga. Terdapat lapan (8) peringkat pelaksanaannya, iaitu:

1. Penyelidikan dimulakan dengan mengelementarisasi konsepsi saintis dan pelajar seperti yang dinyatakan dalam literatur;
2. Mentriangulasi hasil analisis semula kajian literatur berkaitan konsepsi pelajar dengan hasil analisis temu bual konsepsi pelajar yang menyertai penyelidikan;
3. Membandingkan hasil analisis konsepsi pelajar dengan hasil analisis kualitatif kandungan berkaitan konsepsi saintis;

4. Dapatan di (3) dijadikan asas untuk mereka bentuk panduan eksperimen pengajaran;
5. Merancang pelaksanaan eksperimen pengajaran termasuk pemodelan, episod PdPC dan temu bual kumpulan kecil;
6. Menggabungkan hasil analisis temu bual mengenai konsepsi pelajar dengan kebolehgunaannya dalam reka bentuk eksperimen pengajaran;
7. Hasil sebenar eksperimen pengajaran, serta jawapan bertulis pelajar (refleksi-diri) untuk membantu mengenal pasti idea dan pembinaan konsep tenaga pelajar;
8. Beberapa konsep utama yang berkaitan dengan PdPC konsep tenaga dapat dijelaskan dan laluan pembelajaran pelajar dapat dikenal pasti.



Rajah 6 Proses Penyelidikan Sebenar MPSP Konsep Tenaga

DAPATAN KAJIAN

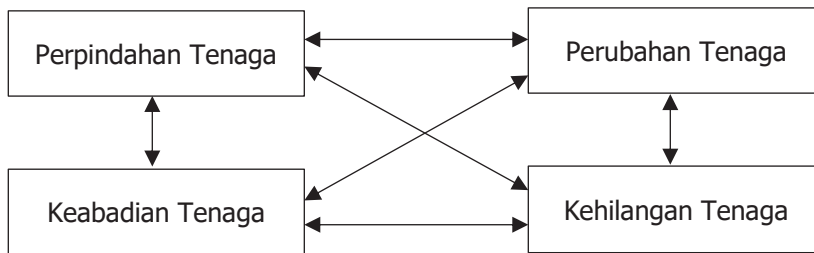
Kompenen 1: Konsepsi saintis terhadap konsep tenaga | Daripada struktur kandungan fizik tentang konsep tenaga yang diperolehi daripada buku teks dan penerbitan utama untuk mengelementarisasi sifat semula jadi tenaga dan bentuk tenaga seperti tenaga keupayaan graviti, tenaga kinetik, , tenaga terma, , dan tenaga keupayaan kenyal, . Secara ringkasnya adalah seperti berikut:

Lima idea utama tentang tenaga:

1. Semua tenaga pada asasnya adalah sama, dan ia boleh dimanifestasikan dalam 'bentuk' atau 'jenis' yang berbeza

2. Tenaga boleh diubah/ditukar daripada satu bentuk atau jenis kepada yang lain. Contohnya
3. Tenaga boleh dipindahkan antara sistem dan objek.
4. Tenaga terabadi, tidak pernah dicipta atau dimusnahkan, hanya diubah/ditukar atau dipindahkan.
5. Tenaga dilesapkan dalam semua proses makroskopik (melibatkan lebih daripada beberapa zarah).

Rajah 7 menunjukkan idea asas konsep tenaga yang dicadangkan oleh Liu dan McKeough (2005) juga diperhatikan oleh Dawson-Tunik (2006) dan disokong dalam kajian-kajian lain oleh Coelho (2014), Constantinou dan Papadouris (2012), Ellse (1988), Feynman *et al.* (2011), Hewitt (2002), Krummel *et al.* (2007) Lee dan Liu (2010), Nordine *et al.* (2010), dan Neumann *et al.* (2013).



Rajah 7 Idea Asas Konsep Tenaga

- Tenaga kinetik, KE

Tenaga kinetik ialah tenaga pergerakan dan mengikut definisi asas tenaga sebagai kapasiti untuk melakukan kerja. Tenaga kinetik sesuatu objek ialah tenaga yang dimilikinya kerana pergerakannya. Tenaga kinetik bagi objek dengan jisim yang bergerak dengan halaju v diberi oleh

$$KE = \frac{1}{2}mv^2$$

- Tenaga keupayaan graviti, PE_{grav}

Tenaga keupayaan graviti ialah tenaga yang dimiliki oleh objek kerana kedudukannya dalam medan graviti. Penggunaan tenaga keupayaan graviti yang paling biasa adalah untuk objek berhampiran permukaan Bumi di mana pecutan graviti boleh diandaikan malar pada kira-kira 9.8 ms^{-2} . Oleh kerana tenaga keupayaan graviti sifar boleh dipilih pada mana-mana titik (seperti pilihan sifar sistem koordinat), tenaga keupayaan pada ketinggian h di atas titik itu adalah sama dengan kerja yang diperlukan untuk mengangkat objek ke ketinggian itu tanpa perubahan bersih tenaga kinetik. Oleh kerana daya yang diperlukan untuk mengangkatnya adalah sama dengan beratnya, ia berikutan bahawa tenaga keupayaan graviti adalah sama dengan beratnya dikali ganda ketinggian yang ia diangkat.

$$PE_{grav} = mgh$$

- Tenaga keupayaan kenyal, PE_{elas}

Tenaga keupayaan kenyal ialah tenaga keupayaan yang disimpan hasil daripada ubah bentuk objek kenyal, seperti regangan spring. Ia adalah sama dengan kerja yang dilakukan untuk meregangkan spring, yang bergantung kepada pemalar spring k serta jarak x yang diregangkan. Mengikut Hukum Hooke, daya F yang diperlukan untuk meregangkan spring akan berkadar terus dengan jumlah regangan. Oleh kerana daya mempunyai bentuk

$$F = -kx$$

maka kerja yang dilakukan untuk meregangkan spring jarak x ialah

$$PE_{elas} = \frac{1}{2}kx^2$$

- Tenaga terma, Q

Dalam cabang fizik termodinamik, tenaga terma (tenaga dalaman) ditakrifkan sebagai tenaga mikroskopik yang berkaitan dengan pergerakan pada skala atom dan molekul yang rawak dan tidak teratur yang bertanggungjawab terhadap suhu suatu objek dan boleh dipindahkan dari satu sistem ke sistem yang lain semasa kerja dilakukan. Terdapat kekeliruan terhadap haba sama ada sebagai bentuk tenaga atau bukan. Atkins (1989) dipetik dalam Coelho, (2014) menyatakan haba adalah tenaga tetapi kenyataan ini telah dipertikaikan (Cotignola et al. 2002; Domenech et al., 2007). Haba ditakrifkan sebagai 'tenaga yang dipindahkan' (Hertel 2007 dirujuk dalam Coelho, 2014) dan bukan sejenis tenaga (Breithaupt, 1999 dipetik dalam Coelho, 2014). Untuk menaikkan suhu satu kilogram bahan sebanyak satu darjah Celsius memerlukan sejumlah haba pendam tentu bahan tersebut, di wakili oleh:

$$c = \frac{Q}{m\Delta\theta}$$

Selalunya persamaan disusun semula ini untuk menyelesaikan perubahan dalam tenaga terma sebagai:

$$Q = mc\Delta\theta$$

- Prinsip keabadian tenaga

Objek yang jatuh secara menegak ialah contoh keabadian tenaga yang paling mudah. Objek yang mengubah ketinggian disebabkan graviti sahaja mempunyai tenaga kinetik, KE , dan tenaga keupayaan, PE_{grav} , yang jumlahnya tetap:

$$KE + PE_{grav} = \text{pemalar}$$

atau

$$\frac{1}{2}mv^2 + mgh = \text{pemalar}$$

Komponen 2: Konsepsi pelajar terhadap konsep tenaga | Dapatan konsepsi alternatif pelajar terhadap konsep tenaga daripada analisis semula literatur konsep tenaga dan dua siri temu bual separa berstruktur secara ringkas adalah seperti berikut:

- Bentuk dan sumber tenaga

Pelajar menganggap sumber tenaga sebagai bentuk tenaga seperti arang batu, hidro, angin, oksigen dan tekanan.

Noh: Di sana ada. Seperti tenaga kinetik, tenaga keupayaan graviti, tenaga haba, tenaga bunyi, tenaga cahaya, *tenaga hidro, tenaga angin...* dan... tenaga kinetik.

Tenaga juga dianggap sebagai kuasa, berat, kerja dan cas elektrik, contohnya:

Mussy: Ya, saya rasa... iya... tenaga keupayaan ialah kuasanya.
Roller coaster ini... mendaki bukit.

- Perpindahan/perubahan tenaga

Konsep perpindahan dan perubahan tenaga dianggap sebagai tenaga mampu menjana bentuk tenaga lain dalam sesuatu sistem.

Surya: Tenaga boleh diperolehi daripada... contoh tenaga suria boleh menghasilkan haba melalui matahari. Err... melalui elektrik. Melalui elektrik...

Analogi yang diberikan oleh segelintir pelajar untuk menerangkan maksud perpindahan dan perubahan tenaga adalah seperti:

Kay: Contohnya, kalau ada dua biji guli, cikgu, bila satu guli, kita biarkan kena guli lain, satu lagi akan berhenti, yang bergerak. Tetapi yang direhatkan akan terus bergerak.

- Prinsip keabadian tenaga

Pelajar cenderung menganggap tenaga akan hilang/habis apabila suatu sistem berhenti.

Nizam: Kereta itu... berhenti pada satu ketika kerana tenaga itu... habis.

- Tenaga kinetik, KE

Tenaga kinetik dianggap sebagai tenaga yang berkaitan dengan pergerakan. Jika tiada pergerakan bermakna tiada tenaga kinetik:

Surya: Buku atas meja ini tidak menggunakan tenaga kinetik kerana ia tidak bergerak tetapi berbeza dengan kes ini (*roller coaster*), ia menggunakan tenaga elektrik... dan apabila ia turun ia menggunakan tenaga graviti supaya ia mempunyai kelajuan yang lebih tinggi.

Sebaliknya, Dan mempunyai pandangan yang berbeza terhadap objek statik seperti buku di atas meja. Beliau beranggapan bahawa buku itu melibatkan tenaga kinetik yang disebabkan oleh putaran bumi.

Dan: Err... Saya pilih buku ini (buku di atas meja). Tenaga yang terlibat ialah tenaga kinetik... sebab... ia masih di bumi. Bumi masih bergerak jadi itulah yang dulu berubah eh... itulah tenaga yang ada padanya.

- Tenaga keupayaan,

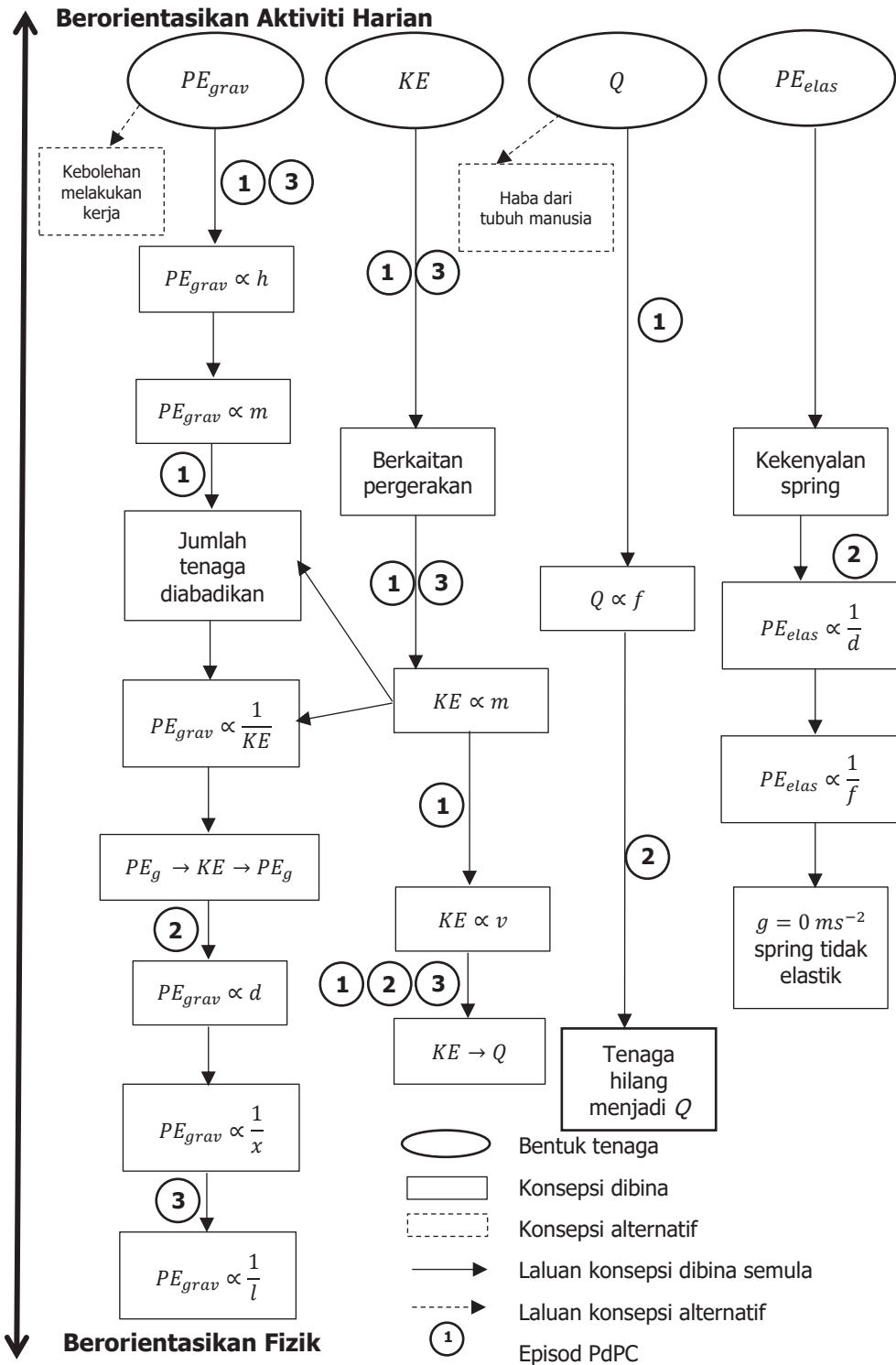
Shane juga menganggap apabila manusia sedang tidur atau berehat, dia juga mempunyai tenaga keupayaan. Ia juga dipanggil sebagai kuasa manusia oleh Shane.

Shane:	Erm... Baring, tidur. Mmm... ada tetapi tidak terlalu banyak. Terdapat tenaga keupayaan tetapi tidak begitu kuat seperti ketika kita masih sedar. Kerana dalam keadaan sedar, kita tahu apa yang kita lakukan, dan apabila tiba masanya untuk kita tidur, kita hanya bergerak. Kita hanya menggerakkan badan kita sedikit, bermakna potensi tenaga yang kita gunakan tidaklah tinggi...
--------	---

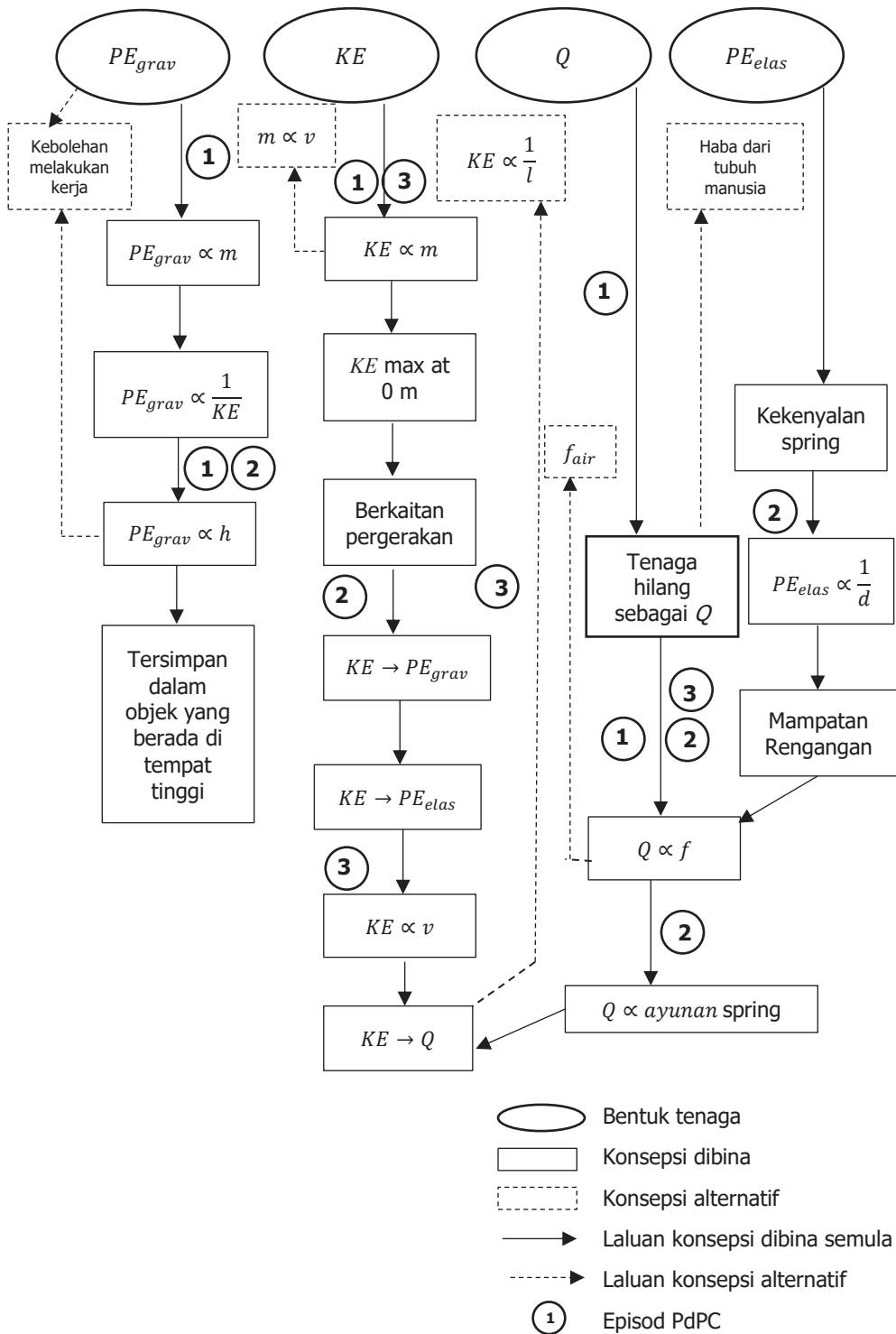
Tenaga keupayaan juga dianggap sebagai keupayaan untuk melakukan kerja seperti mengangkat, menolak, menggerakkan atau menolak objek. Contohnya:

Surya:	Seperti atlit angkat berat ni... Dia menggunakan tenaga keupayaan untuk mengangkat objek ni.
--------	--

Eksperimen pengajaran | Rajah 8 dan Rajah 9 menggambarkan laluan pembelajaran sebenar pelajar dari dua daripada lima kumpulan yang dipilih. Laluan pembelajaran ini menunjukkan konsepsi pelajar dalam dua siri temu bual dan dalam eksperimen pengajaran. Oleh itu, penstrukturan semula konsepsi pelajar dari sebelum, semasa dan selepas mengikuti setiap episod PdPC dapat diwakilkan menggunakan laluan pembelajaran. Konsepsi pelajar adalah stesen dan konsep yang dibina semula dari satu konsep ke konsep yang lain adalah peringkat di laluan ini. Episod PdPC yang memupuk konseptual khusus yang dibina semula ditunjukkan di sepanjang anak panah. Daripada perspektif kajian ini, terdapat tiga pilihan di mana konsepsi peserta boleh dibangunkan (1) episod PdPC memupuk perkembangan konseptual ke arah pemahaman saintifik, (2) episod PdPC tidak memupuk perkembangan konseptual ke arah pemahaman saintifik, dan (3) berdasarkan episod PdPC pelajar mengembangkan konsepsi yang bercanggah.



Rajah 8 Laluan Pembelajaran Eksperimen Pengajaran 3 (TE3)



Rajah 9 Laluan Pembelajaran Eksperimen Pengajaran 4 (TE4)

PERBINCANGAN

Seperti yang dinyatakan di dalam bahagian metodologi, objektif penyelidikan adalah memahami bagaimana konsepsi alternatif pelajar terhadap konsep tenaga yang berorientasikan aktiviti harian dapat distruktur atau dibina semula menjadi konsepsi yang berorientasikan fizik. Dengan berbantuan MPSP, saya telah mentriangulasi semua dapatan kajian dari pelbagai sumber data untuk melihat perubahan konsepsi yang berlaku. Dalam erti kata lain, dengan menjalankan beberapa episod PdPC yang dibina berdasarkan elementarisasi konsepsi saintis dan pra-pengetahuan pelajar dalam konsep tenaga, saya akhirnya dapat mewakili proses pembinaan semula konsepsi pelajar dalam ilustrasi laluan pembelajaran.

Merujuk Rajah 9 dan Rajah 10, pembinaan semula konsepsi melibatkan empat bentuk tenaga iaitu tenaga keupayaan graviti (E_p), tenaga kinetik (E_k), tenaga terma (E_t), dan tenaga keupayaan kenyal (E_{el}) diperhatikan. Setiap rajah mewakili progressi pembelajaran dua kumpulan kecil yang dipilih. Didapati setiap kumpulan melalui proses pembinaan semula konsepsi yang unik walaupun mereka didedahkan dengan episod PdPC yang sama semasa eksperimen pengajaran dilakukan. Setiap kumpulan berhadapan dengan konflik bagaimana mengatasi ketidakpuasan hati terhadap konsepsi alternatif yang mereka pegang selama ini. Walau bagaimanapun, setiap kumpulan tetap menunjukkan penguasaan konsep tenaga yang berorientasikan fizik di penghujung episod PdPC. Hal ini menunjukkan, episod PdPC yang telah dibina berasaskan penstrukturan semula kandungan fizik dan pra-pengetahuan pelajar telah berjaya membantu pelajar untuk membina semula pengetahuan mereka ke arah lebih saintifik.

Jujukan PdPC dalam penyelidikan ini sangat membantu guru fizik untuk mengatasi salah faham konsep yang dihadapi pelajar bukan sahaja dalam topik tenaga tetapi dalam topik-topik fizik yang lain. Keupayaan MPSP dalam menyediakan PdPC berkesan juga wajar diperluaskan kepada subjek-subjek lain. Oleh itu, walaupun pendekatan yang berasaskan tradisi *Didaktik*-Jerman ini dianggap asing dalam tradisi kurikulum, sebenarnya terdapat potensi yang besar untuk mengaplikasikannya sebagai salah satu kaedah PdPC utama dalam pendidikan sains di Malaysia.

PENGHARGAAN

Setinggi-tinggi penghargaan dan terima kasih kepada barisan sarjana yang telah berkongsi ilmu, pengalaman dan kritikan dalam penerokaan saya untuk memahami tradisi *Didaktik*-Jerman yang pada mulanya sangat asing dan sukar difahami.

Prof. Dr. Knut Neumann

Ketua Jabatan Pendidikan Fizik
Institut Leibniz untuk Pendidikan Sains dan Matematik
Universiti Keil, Jerman

Mendiang Prof. Emeritus Dr. Peter Fensham

Mantan Pengerusi Pendidikan Sains Fakulti Pendidikan
Universiti Monash, Australia

Prof. Dr. Marisa Michelini

Presiden Kumpulan Penyelidikan Antarabangsa Pengajaran Fizik (GIREP)
Universiti Udine, Itali

Prof. Dr. Claudia Haagen-Schützenhöfer

Ketua Jabatan Didaktik Fizik
Universiti Graz, Austria

Dr. Marta Kuhnová

Ketua Pusat Projek Penyelidikan
Universiti St. Cyril dan Methodius, Slovakia

RUJUKAN

- Abd-El-Khalick, F., Bell, R., & Lederman, N. G. (1998). The nature of science and instructional practices: Making the unnatural natural. *Science Education*, 82, 417 – 436.
- Aiello-Nicosia, M. L., & Sperandeo-Mineo, R. M. (2000). Educational reconstruction of physics content to be taught and of pre-service teacher training: a case study. *International Journal of Science Education*, 22(10), 1085 – 1097.
- Anderson, T., & Shattuck, J. (2012). Design-based research: A decade of progress in education research? *Educational researcher*, 41(1), 16 – 25.
- Artigue, M. (1992) Didactic engineering. *Recherche en didactique des mathématiques*, 13(3), 41–66.
- Azlinah, I. (2021). Conceptual reconstruction of energy concepts using the model of educational reconstruction in the German didaktik tradition. PhD Thesis, Universiti Malaysia Sabah.
- Ausubel, D. P., Novak, J. D., & Hanesian, H. (1968). *Educational psychology: A cognitive view* (Vol. 6). New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Bécu-Robinault, K., & Tiberghien, A. (1998). Integrating experiments into the teaching of energy. *International Journal Science Education*, 20(1), 99 – 114.
- Buchberger, F., & Buchberger, I. (1999). Didaktik/fachdidaktik as integrative transformation science (-s)—a science/sciences of/for the teaching profession? *TNTEE Publications*, 2(1), 67.

- Buty, C., Tiberghien, A., & Le Maréchal, J. F. (2004). Learning hypotheses and an associated tool to design and to analyse teaching–learning sequences. *International Journal of Science Education*, 26(5), 579 – 604.
- Chabalengula, V. M., Sanders, M., & Mumba, F. (2012). Diagnosing students’ understanding of energy and its related concepts in biological context. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 10, 241 – 266.
- Chai, T. Y., Wan, F., Shima, B., Ismayatim, Seng, Y. K., Ragavan, R., & Roslina, A. (2006). *Form Four Physics Textbook*. Curriculum Development Center, Ministry of Education Malaysia.
- Coelho, R. L. (2014). On the concept of energy: eclecticism and rationality. *Science & Education*, 23(6), 1361 – 1380.
- Colomb, J. (1999). School knowledge and didactic analysis: A research perspective in comparative didactics. *Instructional Science*, 27, 53 – 71.
- Constantinou, C. P., & Papadouris, N. (2012). Teaching and learning about energy in middle school: An argument for an epistemic approach. *Studies in Science Education*, 48(2), 161 – 186.
- Cotignola, M. I., Bordogna, C., Punte, G., Cappannini, O. M. (2002). Difficulties in learning thermodynamic concepts: are they linked to the historical development of this field? *Science and Education*, 11, 279–291.
- Dawson-Tunik, T. L. (2006). Stage-like patterns in the development of conceptions of energy. In X. Liu & W. J. Boone (Eds.), *Applications of Rasch measurement in science education*, 111 – 136.
- Diethelm, I., Hubwieser, P., & Klaus, R. (2012). Students, teachers and phenomena: educational reconstruction for computer science education. In *Proceedings of the 12th Koli Calling International Conference on Computing Education Research*, 164 – 173.
- Doménech, J. L., Gil-Pérez, D., Gras-Martí, A., Guisasola, J., Martínez-Torregrosa, J., Salinas, J., Trumper, R., Valdés, P., Vilches, A. (2007). Teaching of energy issues: a debate proposal for a global reorientation. *Science and Education*, 16, 43–64.
- Driver, R., & Easley, J. (1978). Pupils and paradigms: A review of literature related to concept development in adolescent science students. *Studies in Science Education*, 5(1), 61 – 84.
- Driver, R., & Millar, R. (Eds.) (1986). *Energy matters: Proceedings of an invited conference: Teaching about energy within the secondary science curriculum*. Leeds (England): University of Leeds, Centre for Studies in Science in Science and Mathematics Education.
- Driver, R., & Oldham, V. (1986). A constructivist approach to curriculum development in science. *Studies in Science Education*, 13(1), 105 – 122.
- Driver, R., Squires, A., Rustworth, P., & Wood-Robinson, V. (1994). *Making Sense of Secondary Science Research into Children’s Ideas*. Routledge, London, 143 – 147.
- Duit, R. (1999). Conceptual change approaches in science education. *New perspectives on conceptual change*.
- Duit, R. (2007). Science Education Research Internationally: Conceptions, Research Methods, Domains of Research. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 3(1).
- Duit, R., & Häußler, P. (1994). Learning and teaching energy. In P. Fensham, R. Gunstone, & R. White (Eds.), *The content of science*, 185 – 200. London: The Falmer Press.
- Duit, R., & Treagust, D. (1998). Learning science: From behaviourism towards social constructivism and beyond. In: B. J. Fraser & K. J. Tobin (Eds.), *International handbook of science education*, 3 – 25.
- Duit, R., & Treagust, D. F. (2003). Conceptual change: A powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25(6), 671 – 688.

- Duit, R., Gropengiesser, H., Kattmann, U., Komorek, M., & Parchmann, I. (2012). The model of educational reconstruction—A framework for improving teaching and learning science. In *Science education research and practice in Europe*, 13 – 37. Brill Sense.
- Duit, R., Komorek, M., & Wilbers, J. (1997). Studies on educational reconstruction of chaos theory. *Research in Science Education*, 27, 339–357.
- Duit, R., Treagust, D. F., & Widodo. (2013). Teaching science for conceptual change: theory and practice. In S. Vosniadou (Ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change*, 487 – 503. New York: Routledge.
- Eger, M. (1992). Hermeneutics and science education: An introduction. *Science and Education*, 1(4), 337 – 348.
- Fensham, P. J. (2001). Science content as problematic—issues for research. In H. Behrendt, H. Dahncke, R. Duit, W. Graber, M. Komorek, A. Kross & P. Reiska, Eds., *Research in Science Education—past, present, and future*, 27 – 41. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publisher.
- Fensham, P. J. (2004). *Defining an identity: The evolution of science education as a field of research*, 20. Springer Science & Business Media.
- Feynman, R. P., Leighton, R. B., & Sands, M. (2011). *The Feynman lectures on physics*. The new millennium edition: mainly mechanics, radiation, and heat, 1. Basic books.
- Goldring, H., & Osborne, J. (1994). Students' difficulties with energy and related concepts. *Physics Education*, 29(1), 26. IOP Publishing Ltd.
- González, R. E. D., Vaneg, E. M., & Raesfeld, L. (2019). The curriculum: origin, evolution and trends in the 21st century. *Revista Conrado*, 15(68), 37 – 43.
- Gropengießer, H. (1998). Educational reconstruction of vision. In H. Bayrhuber & F. Brinkman, Eds., *What-Why-How? Research in Didaktik of Biology. Proceedings of the First Conference of European Researchers in Didaktik of Biology (ERIDOB)*, 263–272. Kiel, Germany: IPN – Leibniz- Institute for Science and Mathematics Education.
- Grusche, S. (2017a). Students' ideas about prismatic images: teaching experiments for an image-based approach. *International Journal of Science Education*, 39(8), 981 – 1007.
- Grusche, S. (2017b). Developing students' ideas about lens imaging: teaching experiments with an image-based approach. *Physics Education*, 52(4), 044002.
- Guisasola, J., Zusa, K., Ametller, J., & Gutierrez-Berraondo, J. (2017). Evaluating and redesigning teaching learning sequences at the introductory physics level. *Physical Review Physics Education Research*, 13(2), 020139.
- Gundem, B. B., & S. Hopmann. (1998). *Didaktik and/or curriculum*. An international dialogue. New York: Peter Lang.
- Gyberg, P., & Lee, F. (2010). The Construction of Facts: Preconditions for meaning and teaching energy in Swedish classrooms. *International Journal of Science Education*, 32(9), 1173 – 1189.
- Hamilton, D., & Gudmundsdottir, S. (1994). Didactic and/or Curriculum? *Curriculum Studies*, 2(3), 345 – 350.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2006). Teaching and learning with analogies. In Aubusson, P. J., Harrison, A. G., & Ritchie, S. M. (Eds.), *Metaphor and analogy in science education*, 11–24. Netherlands: Springer.
- Hewitt, P. G. (2002). *Touch this! conceptual physics for everyone*. Addison-Wesley.
- Hinrichs, R., & Kleinbach, M. (2002). *Energy: Its use and the environment*. Boston, MA: Thomson Learning.
- Hopmann, S., & Riquarts, K. (2000). Starting a dialogue: A beginning conversation between Didaktik and the curriculum traditions. *Teaching as a Reflective Practice. The German Didaktik Tradition*. Mahwah.

- Hudson, B. (2002). Holding complexity and searching for meaning: teaching as reflective practice. *Journal of Curriculum Studies*, 34(1), 43 – 57.
- Hudson, B. (2003). Approaching educational research from the tradition of critical constructive Didaktik. *Pedagogy, Culture and Society*, 11(2), 173 – 187.
- Kansanen, P. & Meri, M. (1999) The Didactic Relation in the Teaching-Studying-Learning Process, in B. Hudson, F. Buchberger, P. Kansanen & H. Seel (Eds) *Didaktik/Fachdidaktik as Science(-s) of the Teaching Profession?* TNEE Publications, 2(1), 107 – 116. <http://tnee.umu.se/publications/publications>.
- Kansanen, P. (1995). *Discussion on Some Educational Issues VI. Research Report 145*. Department of Teacher Education, University of Helsinki, Helsinki, Finland.
- Kariotoglou, P., & Tselfes, V. (2000). Science curricula: epistemological, didactical and institutional approach. *Physics Review*, 31, 19 – 28.
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H., & Komorek, M. (1996). Educational Reconstruction—Bringing together issues of scientific clarification and students’ conceptions. *Paper presented at the Annual Meeting of the National Association of Research in Science Teaching (NARST)*, St. Louis.
- Kertz-Welzel, A. (2004). Didaktik of music: A German concept and its comparison to American music pedagogy. *International Journal of Music Education*, 22(3), 277 – 286.
- Klette, K. (2007). Trends in research on teaching and learning in schools: Didactics meets classroom studies. *European Educational Research Journal*, 6(2), 147 – 160.
- Komorek, M. & Duit, R (2004). The teaching experiment as a powerful method to develop and evaluate teaching and learning sequence in the domain of non-linear system. *International Journal of Science Education*, 26(5), 619 – 633.
- Komorek, M., & Kattmann, U. (2008). The model of educational reconstruction. *Four decades of research in science education—from curriculum development to quality improvement*, 171 – 188.
- Kortland, K., & Klaassen, K. (2010). Designing theory-based teaching-learning sequences for science education. *FSME, Utrecht*.
- Krummel, R., Sunal, D. W., & Sunal, C. S. (2007). Helping students reconstruct conceptions of thermodynamics: energy and heat. *Science Activities*, 44(3), 106 – 112.
- Leach, J. & Scott, P. (2002). Designing and evaluating science teaching sequences: An approach drawing upon the concept of learning demand and a social constructivist perspective on learning. *Studies in Science Education* 38, 115 – 142.
- Leach, J. & Scott, P. (2003). Individual and sociocultural views of learning in science education. *Science and Education*, 12(1), 91–113.
- Leach, J., Scott, P., Ametller, J., & Hind, A. (2006). Implementing and evaluating teaching interventions: Towards research evidence-based practice? In *Improving Subject Teaching*, 93–113. Routledge.
- Lee, H. S., & Liu, O. L. (2010). Assessing learning progression of energy concepts across middle school grades: The knowledge integration perspective. Wiley Periodicals, Inc. *Science Education*, 94, 665 – 688.
- Lijnse, P. (2000). Didactics of science: the forgotten dimension in science education research? In R. Millar, J. Leach and J. Osborne (eds.) *Improving Science Education: The Contribution of Research* (Buckingham: Open University Press), 308–326
- Lijnse, P. L. (1990). Energy between the life-world of pupils and the world of physics. *Journal of Science Education*, 74(1), 571–583.
- Lijnse, P. L. (1995). “Developmental research” as a way to an empirically based “didactical structure” of science. *Science Education*, 79(2), 189 – 199.

- Liu, X., & McKeough, A. (2005). Developmental Growth in Students' Concept of Energy: Analysis of Selected Items from the TIMSS Database. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(5), 493 – 517.
- Liu, X., Ebenezer, J., & Fraser, D. M. (2002). Structural characteristics of university engineering students' conception of energy. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(5), 423 – 441.
- Loverude, E. M., Kautz, H. C., & Heron, P. R. L. (2002). Students understanding of the first law of thermodynamics: Relating work to the adiabatic compression of an ideal gas. *American Journal of Physics*, 70(2), 137 – 148.
- Méheut, M. & Psillos, D. (2000). Designing and validating teaching–learning sequences in a research perspective. *An International Symposium*, Paris.
- Michellini, M. (2021). Innovation of Curriculum and Frontiers of Fundamental Physics in Secondary School: Research-Based Proposals. In *Fundamental Physics and Physics Education Research*, 101 – 116. Springer, Cham.
- Mikelskis-Seifert, S., Ringelband, U., & Brückmann, M. (2008). *Four decades of research in science education: from curriculum development to quality improvement*, 221 – 238. Münster, Germany: Waxmann.
- Millar, R. & Osborne, J. (1999). *Beyond 2000: Science education for the future*. London: KCL.
- Neumann, K., Viering, T., Boone, W. J., & Fischer, H. E. (2013). Towards a learning progression of energy. *Journal of Research in Science Teaching*, 50(2), 162 – 188.
- Nordine J., Krajcik, J., & Fortus, D. (2010). Transforming energy instruction in middle school to support integrated understanding and future learning. *Science Education*, 95(4), 670 – 690.
- Palomo, J. R. (2008). Americans' knowledge about energy improving, but their energy IQ remains low. *Oil and Gas Journal*, 106(36), 37 – 39.
- Pfundt, H., & Duit, R. (1994). *Students' alternative frameworks and science education*. Bibliography: Institute for Science Education at the University Kiel.
- Psillos, D., & Kariotoglou, P. (Eds.). (2015). *Iterative design of teaching-learning sequences: introducing the science of materials in European schools*. Springer.
- Psillos, D., & Méheut, M. (2001). Teaching-learning sequences as a means for linking research to development. In *Proceedings of the third international conference on science education research in the knowledge based society*, 1, 226.
- Riemeier, T., & Gropengießer, H. (2008). On the roots of difficulties in learning about cell division: process-based analysis of students' conceptual development in teaching experiments. *International Journal of Science Education*, 30(7), 923 – 939.
- Rizaki, A., & Kokkatos, P. (2013). The use of history and philosophy of science as a core for socioconstructivist teaching approach of the concept of energy in primary education. *Science and Education*, 22(5), 1141 – 1165.
- Rizaki, A., & Kokkatos, P. (2013). The use of history and philosophy of science as a core for socioconstructivist teaching approach of the concept of energy in primary education. *Science and Education*, 22(5), 1141 – 1165.
- Ruthven, K., Laborde, C., Leach, J., & Tiberghien, A. (2009). Design tools in didactical research: Instrumenting the epistemological and cognitive aspects of the design of teaching sequences. *Educational Researcher*, 38(5), 329 – 342.
- Sağlam-Arslan, A. (2010). Cross-grade comparison of students' understanding of energy concepts. *Journal of Science Education and Technology*, 19, 303 – 313.
- Sağlam-Arslan, A., & Kurnaz, M. A. (2009). Prospective physics teachers' level of understanding energy, power and force concepts. In *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 10(1), 1 – 18. The Education University of Hong Kong, Department of Science and Environmental Studies.

- Savinainen, A., Mäkynen, A., Nieminen, P., & Viiri, J. (2017). The effect of using a visual representation tool in a teaching-learning sequence for teaching Newton’s third law. *Research in Science Education*, 47(1), 119 – 135.
- Seel, H. (1999). “*Allgemeine Didaktik*” (“*General Didactics*”) and “*Fachdidaktik*” (“*Subject Didactics*”). TNTEE Publications, 13
- Steffe, L. P., & Thompson, P. W. (2000). Teaching experiment methodology: Underlying principles and essential elements. *Handbook of research design in mathematics and science education*, 267 – 306.
- Steffe, L., & D’Ambrosio, B. (1996). Using teaching experiment to understand students’ mathematics. In Treagust, D., Duit, R., & Frase, B. (Eds.), *Improving teaching and learning in science and mathematics*, 65 – 76. New York: teacher College Press.
- Sujarittham, T., & Tanamatayarat, J. (2019, November). A case study of a teaching and learning sequence for Newton’s third law of motion designed by a pre-service teacher. *Journal of Physics: Conference Series* 1380(1), 012102. IOP Publishing.
- Sulistiawati, S. (2020). Langkah–Langkah Pembentukan Bahan Ajar Dalam Merekonstruksi Materi Perkuliahan. In *Prosiding Seminar Nasional Program Pascasarjana Universitas PGRI Palembang*.
- Trumper, R. (1990). Energy and a constructivist way of teaching. *Physics Education*, 25(4), 208 – 212.
- Vásquez-Levy, D. (2002). *Bildung*-centred *Didaktik*: a framework for examining the educational potential of subject matter. *Journal of Curriculum Studies*, 34(1), 117 – 128.
- Warren, J. W. (1982). The nature of energy. *European Journal of Science Education*, 4(3), 295 – 297.
- Watts, D. M. (1983). Some alternatives views of energy. *Physics Education*, 18(5), 213 – 217.
- Wen, L., & Chen, Y. (2018). Reconstruction of the Educational Model for Improving the Practical Teaching Ability of Graduate Students Majoring in Physical Education. In International Seminar on Education Research and Social Science (ISERSS 18), *Advances in Social Science, Education and Humanities Research*, 195, 66 – 68.
- Westbury, I. (2000). Teaching as reflective practice: what might *Didaktik* teaching Curriculum? In Westbury, I., Hopmann, S. and Riquarts, K. (Eds.), *Teaching as a Reflective Practice: The German Didaktik Tradition* (New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers), 15 – 40.
- Westbury, L., Hopmann, S., & Riquarts, K. (Eds.). (2000). *Teaching as reflective practice. The German Didaktik tradition*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- White, R. T. (1994). Dimensions of content. In Peter J. F., Richard, F. G., & Richard, T. W., *The content of science: a constructivist approach to its teaching and learning*, 255 – 262, The Falmer Press.
- Woithe, J., & Kersting, M. (2021). Bend it like dark matter! *Physics Education*, 56(3), 035011.
- Wong, C. L., & Chu, H. E. (2017). The conceptual elements of multiple representations: A study of textbooks’ representations of electric current. In *Multiple representations in physics education*, 183 – 206. Springer, Cham.
- Yusmaita, E., & Nasra, E. (2018). Design of Chemical Literacy Assessment by Using Model of Educational Reconstruction (MER) on Solubility Topic. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 335(1), 012106. IOP Publishing.

