

THOUGHT EXPERIMENTS

Sebuah Kajian Teori Dan Praktis Dalam Pembelajaran Sains

HARTONO BANCONG
NURAZMI
SIRAJUDDIN



PT. PENA PERSADA KERTA UTAMA

THOUGHT EXPERIMENTS
Sebuah Kajian Teori Dan Praktis Dalam Pembelajaran Sains

Penulis:

Hartono Bancong
Nurazmi
Sirajuddin

Editor:

Dian Pramana Putra, M. Pd.

ISBN : 978-623-455-458-8

Design Cover :

Retnani Nur Brilliant

Layout :

Hasnah Aulia

PT. Pena Persada Kerta Utama

Redaksi:

Jl. Gerilya No. 292 Purwokerto Selatan, Kab. Banyumas
Jawa Tengah. Email: penerbit.penapersada@gmail.com
Website: penapersada.id. Phone: (0281) 7771388

Anggota IKAPI: 178/JTE/2019

All right reserved
Cetakan pertama: 2022

Hak Cipta dilindungi oleh undang-undang. Dilarang
memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa
izin penerbit

KATA PENGANTAR

Thought Experiments (TEs) telah menarik perhatian banyak peneliti tidak hanya dalam sejarah dan filsafat sains tetapi juga pendidikan sains. Sepanjang sejarah sains, ada beberapa contoh kasus di mana para ilmuwan menggunakan TEs baik untuk merumuskan teori baru atau untuk menyangkal teori yang sudah ada. Misalnya, Einstein menggunakan TEs yang melibatkan magnet dan konduktor untuk menggambarkan konsep gerak relatif. Dalam komunitas fisika, ada beberapa TEs yang populer, seperti Galileo's free-falling body, Newton's bucket and cannon, Maxwell's demon, Einstein's magnet and conductor dan Schrodinger's cat. Ini hanyalah beberapa contoh yang menggambarkan peran penting TEs dalam mengembangkan teori ilmiah. Karena peranan TEs yang penting baik dalam sains maupun pendidikan sains maka buku ini menyajikan kajian teori dan praktis dalam pembelajaran sains.

Buku ini terdiri atas 7 bab. Bab 1 menjelaskan Pendahuluan yang terdiri atas latar belakang, rumusan masalah dan novelty penelitian. Bab 2 terdiri atas kajian teori dan praktis penggunaan TEs dalam pembelajaran sains. Bab 3 terdiri atas desain dan metode penelitian yang terdiri atas konteks, partisipan, metode pengumpulan data dan metode analisis data. Bab 4 mendeskripsikan hasil penelitian tentang proses TEs yang menonjolkan pada langkah-langkah TEs dalam melakukan TEs. Bab 5 mendeskripsikan hasil penelitian berupa tujuan dalam melakukan TEs: prediksi, verifikasi dan penjelasan. Bab 6 menjelaskan sumber evaluasi yang digunakan dalam TEs: pemahaman konseptual, pengalaman sebelumnya, penalaran logis dan inference konseptual-logis. Bab 7 terdiri dari kesimpulan dan saran.

Kami mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam peneulisan buku ini. Kami menyadari buku ini tidak bebas dari berbagai kekurangan. Semua kekurangan yang ada menjadi tanggung jawab kami secara pribadi. Saran dan kritik dari para pembaca adalah nutrisi yang sangat diharapkan untuk memperbaiki buku ini di masa yang akan datang.

Makassar, 15 Oktober 2022

Tim Penulis

CONTENTS

KATA PENGANTAR	iii
CONTENTS	v
BAB 1 PENDAHULUAN	1
A. Latar belakang	1
B. Rumusan masalah	7
C. Novelti Penelitian	8
BAB 2 THOUGHT EXPERIMENTS	10
A. Definisi Thought Experiments	10
B. Thought experiments dan real experiments	14
C. Langkah-langkah thought experiments	16
D. Peranan thought experiments dalam sains	19
E. Peranan thought experiments dalam pendidikan sains	23
F. Penggunaan thought experiment dalam pengajaran sains	26
G. Penggunaan thought experiments dalam buku teks sains	29
BAB 3 DESAIN DAN METODE PENELITIAN	31
A. Context	31
B. Partisipan	32
1. Kelompok Master	33
2. Kelompok Campuran	33
3. Kelompok Sarjana	34
C. Pengumpulan Data	34
D. Analisis data	38
1. Mengidentifikasi TEs	38
2. Mengidentifikasi Kolaboratif TEs	43
3. Pengkodean untuk langkah-langkah kolaboratif TEs	46
4. Pengkodean untuk tujuan dan sumber evaluasi TEs	48
BAB 4 PROSES THOUGHT EXPERIMENTS	52
A. Arti dari kolaboratif TEs	52
1. TEs sebagai alat untuk pemecahan masalah	52
2. Kolaboratif TEs sebagai konstruksi sosial pengetahuan	57
B. Langkah-langkah TEs secara kolaboratif	65
1. Memvisualisasikan dunia imajiner	66
2. Melakukan percobaan	68
3. Menjelaskan hasil	70

4. Berbagi dan mengevaluasi eksperimen.....	71
5. Menarik kesimpulan	72
BAB 5 TUJUAN THOUGHT EXPERIMENTS	75
A. Prediksi.....	76
B. Verifikasi	78
C. Penjelasan.....	80
BAB 6 SUMBER EVALUASI THOUGHT EXPERIMENTS.....	83
A. Pemahaman Konseptual	85
B. Pengalaman sebelumnya	87
C. Penalaran logis	88
D. Inferensi konseptual-logis.....	90
BAB 7 KESIMPULAN DAN SARAN.....	94
DAFTAR PUSTAKA	97
BIODATA PENULIS	103

BAB 1

PENDAHULUAN

A. Latar belakang

Inkuiri ilmiah telah dianggap sebagai salah satu tujuan utama dalam pendidikan sains sejak tahun 1960-an (National Research Council, 2000). Inkuiri ilmiah pada awalnya digunakan sebagai upaya untuk melibatkan partisipan dalam proses berpikir dan kegiatan yang serupa dengan yang dilakukan oleh para ilmuwan (National Research Council, 2000; Hofstein & Lunetta, 2004; Bell et al., 2010; Lederman & Lederman, 2012). Meskipun hanya sebagian kecil partisipan yang bercita-cita menjadi ilmuwan (Yager, 1996), membiasakan partisipan dengan praktik membangun pengetahuan seperti yang dilakukan oleh para ilmuwan adalah salah satu inti dari pengajaran sains (Atkins & Helms, 1993; Roth 1995). Partisipan, seperti ilmuwan sejati, harus mempelajari fenomena alam, membuat pengamatan sendiri, dan memberikan penjelasan berdasarkan bukti dari pekerjaan mereka sendiri (National Research Council, 2000; Bell et al., 2010; Lederman & Lederman, 2012). Melalui inkuiri ilmiah, partisipan akan didorong untuk mengembangkan proses berpikir yang terlibat dalam proses mencari fakta, menghasilkan penjelasan baru, atau membuktikan kebenaran suatu hipotesis (Bell et al., 2010; Reiner & Gilbert, 2000).

Ada dua jenis eksperimen yang digunakan untuk membenarkan fakta atau menguji suatu hipotesis: real experiments (REs) dan thought experiments (TEs) (Mach, 1976; Kuhn, 1977; Brown, 1991; Sorenson, 1992; Reiner, 1998). REs telah diterima secara luas oleh pendidik sains sebagai alat pembelajaran dan telah terintegrasi dengan baik ke dalam kurikulum hampir di seluruh negara. Di sisi lain, TEs masih kurang mendapat perhatian meskipun secara inheren TEs tertanam dalam budaya sains (Reiner, 1998; Galili, 2009;

Asikainen & Hirvonen, 2014). Peran TEs tidak dapat digantikan oleh REs karena TEs memungkinkan situasi yang tidak mungkin direproduksi oleh REs terlepas dari kecanggihan peralatan (Cooper, 2005; Galili, 2009). TEs juga mengidealkan kondisi eksperimen nyata dengan detail teknis yang kompleks, kesalahan eksperimen, dan faktor penghambat (panas, gesekan) (Cooper 2005; Galili, 2009). Selain itu, TEs sangat diperlukan dalam pengajaran fisika modern: teori relativitas dan mekanika kuantum, di mana REs secara praktis sulit diimplementasikan dalam kegiatan pembelajaran di kelas reguler, dan seringkali alat multimedia gagal menjelaskan konsep yang sebenarnya (Galili, 2009).

TEs, sebagai metodologi ilmiah (Mach, 1976; Reiner, 1998; Asikainen & Hirvonen, 2014), memainkan peran epistemik khusus dalam membangun teori ilmiah. Sepanjang sejarah sains, ada beberapa contoh kasus di mana para ilmuwan menggunakan TEs baik untuk merumuskan teori baru atau untuk membantah sebuah teori yang ada. Misalnya, di awal makalahnya "On the electrodynamics of moving bodies" (1905), Einstein menggunakan TEs yang melibatkan magnet dan konduktor untuk menggambarkan konsep gerak relatif. Dengan menggunakan TEs tentang magnet dan konduktor ini, Einstein kemudian mengangkat status prinsip relativitas menjadi postulat dan memperkenalkan postulat lain: prinsip cahaya (Einstein, 1905). TEs tidak hanya ada di era evolusi fisika tetapi jauh sebelumnya, Galileo telah menggunakan TEs tentang benda jatuh untuk menyangkal teori gravitasi Aristoteles (1638/1914), atau Newton menggunakan TEs tentang bola meriam untuk mendukung hipotesisnya bahwa gaya gravitasi adalah universal, dan itu adalah kekuatan utama gerakan planet (Newton, 1687/1962). Dalam komunitas fisika, ada beberapa TEs yang populer, seperti Galileo's free-falling body (Galileo, 1638/1914), Newton's bucket and cannon (Newton, 1687/1962), Maxwell's demon (Maxwell, 1871/2001), Einstein's magnet and conductor (Einstein, 1905), Einstein's train (Einstein, 1905), and Schrodinger's cat (Schrödinger, 1935). Ini hanyalah beberapa

contoh yang menggambarkan peran penting TEs dalam mengembangkan teori ilmiah.

Mengenai pendidikan sains, beberapa penelitian telah menyelidiki kontribusi TEs untuk pengajaran dan pembelajaran sains. Mach (1976) berpendapat bahwa dengan menggunakan TEs sebagai metode pengajaran, partisipan dapat belajar menebak masalah mana yang dapat dipecahkan dan mana yang tidak. Studi lain menunjukkan bahwa penggunaan TEs dapat membiasakan siswa dengan budaya sains (Reiner, 1998; Galili, 2009), menginspirasi siswa untuk menyediakan sumber yang kaya untuk ide-ide mereka (Lattery, 2001), dan mengembangkan intuisi siswa (Georgiou, 2005; Tortop, 2016). TEs juga dapat mengungkap reasoning tersembunyi siswa (Clement, 2009; Kösem & zdemir, 2014), mempromosikan simulasi imagistik (Stephens & Clement, 2012) dan membantu imajinasi siswa untuk berkembang (Galili, 2009). Klassen (2006) percaya bahwa dengan merancang TEs secara mandiri, siswa secara mental terlibat dalam membangun konsep, dan pada gilirannya, mereka akan memahami konsep ilmiah lebih dalam. Penggunaan sejarah TEs sebagai alat dalam pengajaran fisika modern dapat membantu mengembangkan kemampuan silogistik siswa dan membantu mereka membayangkan situasi di luar pengalaman sehari-hari (Velentzas & Halkia, 2013). Untuk memahami bagaimana TEs telah disajikan dalam buku teks fisika sekolah menengah, beberapa peneliti telah memeriksa buku teks dan mengevaluasi apakah TEs sudah sesuai sebagai pengantar dalam pengajaran fisika (Gilbert & Reiner, 2000; Velentzas et al., 2007; Bancong & Song, 2018). Semua kekhawatiran ini menunjukkan pentingnya TEs dalam pengajaran dan pembelajaran sains.

Meskipun konsensus tentang pentingnya TEs untuk pengajaran dan pembelajaran sains, beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa sebagian besar guru dan siswa sains mengalami kesulitan dalam merancang dan melakukan TEs (Reiner & Burko, 2003; Asikainen & Hirvonen, 2014a; Kossem & Ozdemir, 2014). Bahkan ketika siswa memvisualisasikan dunia

imajiner dengan tepat, dan merancang dan menjalankan eksperimen di kepala mereka secara struktural, mereka mungkin masih menarik kesimpulan yang salah dari TEs (Reiner & Burko, 2003). Norton (2004) dan Brown (2006) juga menunjukkan bahwa TEs dapat dan sering menghasilkan hasil yang salah meskipun mereka dapat memberikan hasil yang berguna dalam pengembangan teori ilmiah. Rekomendasi kepada guru fisika tentang bagaimana menerapkan TEs dengan cara yang bermakna dan bagaimana membantu siswa menemukan prosedur berpikir yang efektif dalam menjalankan TEs masih jarang. Reiner (1998) telah mengusulkan penggunaan simulasi komputer saat mengajar TEs. Namun, beberapa peneliti (misalnya, Galili, 2009) telah membantah strategi ini karena kebanyakan simulasi TEs gagal menjelaskan konsep, menderita konten yang dangkal dan tidak relevan secara konseptual. Klassen (2006) menyarankan guru fisika untuk menggunakan teknik naratif dan menulis ulang TEs dalam format cerita. Menurut kami solusi semacam ini, di mana siswa hanya menulis ulang TEs dalam bentuk narasi, tidak mungkin mengembangkan kemampuan imajinatif siswa dalam mengkonstruksi TEs. Velentzas dan Halkia (2011; 2013) melaporkan hasil positif ketika mereka menerapkan sejarah dari TEs tentang Heisenberg's microscope sebagai alat dalam mengajarkan "prinsip ketidakpastian" kepada siswa sekolah menengah, dan sejarah dari TEs tentang Einsteins' elevator dan Einsteins' train untuk mengajarkan dasar-dasar relativitas. Mereka mengklaim bahwa historis dari TEs memiliki potensi besar sebagai alat untuk mengajarkan topik fisika yang menuntut konsep. Namun, itu saja tidak cukup. Masih banyak pekerjaan yang harus dilakukan untuk mengidentifikasi strategi yang lebih baik untuk menerapkan TEs dalam pengajaran sains. Asikainen dan Hirvonen (2014b) berpendapat bahwa selama ini peneliti yang berpartisipasi dalam penelitian ini masih sedikit, dan oleh karena itu rekomendasi tentang bagaimana menerapkan TEs dalam pembelajaran sains sangat diperlukan.

Reiner (1988) menganalisis proses siswa dalam membangun TEs saat mereka mengerjakan masalah dalam pengaturan kolaboratif dan mengusulkan lima tahap TEs: visualisasi, hipotesis, eksperimen, hasil, dan kesimpulan. Reiner kemudian berpendapat bahwa TEs lebih mudah dibangun dengan cara kolaboratif di mana jumlah kontribusi siswa dapat menghasilkan TEs yang lengkap. Namun, bagaimana TEs dibangun secara kolaboratif, bagaimana siswa berbagi dan menegosiasikan makna selama membangun TEs dalam pembelajaran kolaboratif, dan bagaimana siswa memvalidasi pengetahuan yang dihasilkan dari TEs tidak dijelaskan dengan jelas baik oleh Reiner (1988) atau studi selanjutnya. Selain itu, langkah-langkah TEs yang dikemukakan oleh Reiner (1988) tidak mencerminkan adanya kegiatan kolaboratif.

Di bidang pendidikan sains, masih sedikit penelitian tentang faktor-faktor yang mempengaruhi siswa dalam membangun TEs. Meskipun Reiner dan Burko (2013) telah menganalisis dan merilis beberapa faktor yang mungkin mempengaruhi siswa dalam melakukan TEs: intuisi, ketidaklengkapan, dan tidakrelevanan, mereka fokus pada TEs yang dibangun oleh siswa secara individu. Demikian pula Asikainen dan Hirvonen (2014a) mengeksplorasi kemampuan individu guru fisika untuk memahami TEs celah ganda. Bagaimana TEs dibangun dalam kelompok dan faktor apa yang mempengaruhi siswa dalam membangunnya belum mendapat perhatian serius.

Sejauh ini masih ada beberapa pertanyaan yang belum terjawab dengan jelas, seperti bagaimana mengajarkan TEs secara tepat terutama dalam pembelajaran kolaboratif, dan apakah TEs yang sering dibangun oleh ilmuwan individu (Kuhn, 1977; Brown, 1991; Sorensen, 1992), dapat dibagikan dan dikomunikasikan dengan anggota lain dalam pembelajaran kelompok. Studi sebelumnya lebih berfokus pada proses TEs di tingkat individu daripada dalam kelompok (misalnya, Georgiou, 2005; Clement, 2009; Asikainen & Hirvonen, 2014a; Bademci & Sari, 2014; Kösem & zdemir, 2014). Hal ini mungkin

karena sebagian besar filsuf dan sejarawan melihat TEs sebagai proses eksperimen pribadi dan diam-diam dengan citra pribadi, yang sulit untuk diwakili dan dikomunikasikan. Sebagai contoh, Brown (1991) berpendapat bahwa TEs adalah eksperimen yang dirancang dan dijalankan dalam pikiran seorang, dan sulit untuk diimplementasikan sebagai eksperimen nyata. Mereka didasarkan pada derivasi logis dan pengetahuan tentang pengalaman individu (Kuhn, 1977), dan hanya terjadi dalam pikiran seseorang, yang diamati menggunakan mata pikiran (Sorensen, 1992).

Namun, dalam perspektif lain, belajar dipandang sebagai proses sosial (Vygotsky, 1978) yang mencakup partisipasi dalam komunitas praktik (Lave & Wenger, 1991; Wenger, 1998). Pandangan belajar Vygotskian (Vygotsky, 1978) menegaskan bahwa makna dibangun melalui negosiasi terus menerus dalam lingkungan sosial. Konsep pembelajaran kolaboratif didasarkan pada konstruksionisme sosial (Roschelle & Teasley, 1995; Dillenbourg, 1999), yang memandang pengetahuan lebih sebagai properti yang diciptakan oleh sekelompok siswa yang berbagi praktik daripada gagasan bahwa pengetahuan adalah residu kognitif dalam pembelajaran kepala siswa individu (Lave & Wenger, 1991; Hennessy, 1993). Vygotsky (1978) menekankan pentingnya belajar melalui komunikasi dan interaksi dengan orang lain daripada belajar secara mandiri. Dalam pembelajaran kolaboratif, peserta saling memanfaatkan sumber daya dan keterampilan, misalnya, saling bertanya, saling memvalidasi ide, dan saling mendukung dan mengklarifikasi ide (Dillenbourg, 1999; Chiu, 2000).

Beberapa studi dalam pendidikan sains telah menunjukkan bahwa siswa yang bekerja secara kolaboratif tampil secara signifikan lebih baik daripada mereka yang bekerja sendiri (misalnya, Chang & Mao, 1999; Hofstein & Lunetta, 2004; Sampson & Clark, 2009; Bell et al., 2010; Gijlers & Jong, 2013). Dalam inkuiri pembelajaran kolaboratif, siswa diberikan kesempatan untuk berbagi dan mendiskusikan ide, memperjelas dan membenarkan perspektif mereka, dan terus

menyempurnakan ide satu sama lain dengan membandingkan berbagai sudut pandang (Sampson & Clark, 2009; Gijlers & Jong, 2013). Pembelajaran kolaboratif lebih unggul dalam mendorong prestasi dan sikap siswa terhadap sains karena memungkinkan siswa memecahkan masalah dalam kelompok, berbagi informasi, memanfaatkan berbagai proses inkuiri.

Oleh karena itu, konsep kolaborasi digunakan dalam penelitian ini untuk menganalisis TEs yang dibangun bersama oleh siswa. Meskipun TEs adalah proses eksperimen secara pribadi oleh para ilmuwan dalam membangun teori ilmiah, kami berpikir bahwa TEs memiliki kemungkinan untuk dikomunikasikan dengan siswa lain dalam pengaturan kelompok. Ketika siswa diberi kesempatan untuk bekerja sama untuk memecahkan masalah yang berarti, kami percaya bahwa mereka akan melakukan TEs dan kemudian membaginya dengan anggota kelompoknya untuk dipoles dan divalidasi sebagai upaya kolektif untuk mencapai kesepakatan. Dari perspektif ini, komunikasi dengan anggota lain dalam membangun TEs dapat dimungkinkan.

B. Rumusan masalah

Fokus utama dari studi ini adalah untuk menyelidiki apakah TEs dapat dibangun dengan cara kolaboratif. Jika demikian, kami akan mengeksplorasi lebih lanjut bagaimana siswa menghasilkan eksperimen dalam pikiran mereka berdasarkan gambar pribadi dan bagaimana eksperimen ini dibagikan dan dievaluasi dengan siswa lain sebagai upaya kolektif untuk mencapai kesimpulan. Kami akan merujuk pada TEs yang dibangun bersama oleh siswa sebagai kolaboratif TEs. Kami percaya bahwa kolaboratif TEs lebih unggul daripada individu TEs karena, dalam kolaboratif TEs, siswa memiliki kesempatan untuk berbagi, mengkritik dan mengevaluasi ide satu sama lain dari berbagai perspektif sehingga TEs yang diperoleh merupakan pemikiran kumulatif dari semua anggota kelompok. Untuk mencapai tujuan ini, rumusan masalah dalam pertanyaan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimanakah proses dari membangun TEs secara kolaboratif?
2. Apa tujuan siswa dalam melakukan TEs?
3. Bagaimana cara siswa memvalidasi hasil dari TEs?

C. Novelti Penelitian

Secara khusus, terdapat penelitian yang terbatas tentang TEs dalam kaitannya dengan pembelajaran kolaboratif. Studi sebelumnya lebih berfokus pada proses TEs di tingkat individu daripada dalam kelompok (misalnya, Georgiou, 2005; Clement, 2009; Asikainen & Hirvonen, 2014a; Bademci & Sari, 2014; Kösem & zdemir, 2014). Meskipun Reiner (1998) berpendapat bahwa TEs lebih mudah dibangun dengan cara kolaboratif, bagaimana TEs dibangun secara kolaboratif tidak dijelaskan dengan jelas baik oleh Reiner (1988) atau studi selanjutnya. Selain itu, langkah-langkah TEs yang dikemukakan oleh Reiner (1988) – visualisasi, hipotesis, eksperimen, hasil, dan kesimpulan – tidak mencerminkan adanya kegiatan kolaboratif. Brown (2006) juga mengusulkan langkah-langkah TEs: (a) memvisualisasikan situasi, (b) melakukan operasi, dan (c) menggambarkan hasilnya. Baik Reiner (1998) dan Brown (2006) berfokus pada langkah-langkah TEs dari perspektif individu sambil mengabaikan aspek kelompok. Oleh karena itu, pemahaman kita masih terbatas tentang bagaimana siswa terlibat dalam proses mengkonstruksi TEs dalam pembelajaran kelompok, bagaimana siswa berbagi dan menegosiasikan makna selama mengkonstruksi TEs, bagaimana siswa memvalidasi pengetahuan yang dihasilkan dari TEs dalam belajar kelompok.

Oleh karena itu, novelti dari penelitian ini adalah ditemukannya konsep dasar kolaboratif TEs mulai dari langkah-langkah yang dilakukan siswa dalam melakukan TEs secara kolaboratif, tujuan siswa melakukan TEs dan cara siswa memvalidasi hasil dari TEs yang sedang dibangun. Dengan demikian, kolaboratif TEs memberikan banyak manfaat bagi siswa karena siswa dapat mengakses berbagai jenis pengalaman, sumber daya, dan pemahaman. Dengan kolaboratif TEs, siswa

dapat belajar sesuatu yang baru dari orang lain, dan juga belajar untuk menghargai perspektif yang berbeda. Selain itu, karena TEs adalah aktivitas model mental yang dilakukan dalam pikiran individu (Nersessian, 1992; Gilbert & Reiner, 2000), beberapa siswa mengalami kesulitan dalam membangun TEs secara mandiri (Köseme & zdemir, 2014). Dengan kolaboratif TEs, siswa yang mengalami kesulitan atau siswa yang memiliki kemampuan kurang akan dibantu oleh siswa lain dalam membangun TEs.

BAB 2

THOUGHT EXPERIMENTS

A. Definisi Thought Experiments

Sejumlah besar penelitian telah dilakukan di berbagai bidang seperti filsafat, sejarah, dan pendidikan yang telah berkontribusi pada literatur thought experiments (TEs) dengan memeriksa signifikansi, fungsi, dan perannya dalam pembelajaran dan pengajaran. Namun demikian, konsensus masih belum tercapai pada definisi yang tepat dari TEs. Seperti yang dikatakan Brown (2006):

Kita tahu thought experiments ketika kita melihatnya. Tetapi tidak ada gunanya mencoba mendefinisikan thought experiments seperti halnya mencoba mendefinisikan kesetiaan, agama, atau kehidupan yang bermakna. Dengan keberuntungan, suatu hari nanti kita mungkin dapat menggambarannya dengan cara yang cukup tepat untuk menyebutnya sebagai definisi. Tapi hari itu masih jauh (hal. 63).

Istilah TEs, terjemahan langsung dari istilah Jerman *Gedankenexperimente*, telah banyak dibahas dalam filsafat ilmu sejak Ernst Mach (1838-1916). Meskipun beberapa peneliti berpendapat bahwa istilah tersebut telah digunakan oleh fisikawan Denmark Hans Christian Orsted pada tahun 1811 (Witt-Hansen, 1976; Klassen, 2006), Mach dianggap sebagai orang pertama yang memperkenalkan konstruksi ini ke penggunaan aktif, khususnya dalam pendidikan (Matthews, 1988; Galili, 2009). Dalam makalahnya "On Thought Experiments" (1976), Mach berkata:

Selain eksperimen fisik, ada eksperimen lain yang banyak digunakan pada tingkat intelektual yang lebih tinggi, yaitu thought experiments. Perencana, pembangun istana di udara, novelis, penulis utopia sosial dan teknologi sedang bereksperimen dengan pikiran (hal. 136).

Mach (1976) menekankan nilai-nilai TEs sebagai teknik untuk menyelidiki profesional dan untuk menebak hasil eksperimen laboratorium

Meskipun para ilmuwan tidak menggunakan istilah TEs ketika menggambarkan suatu teori atau mendiskusikannya dengan orang lain, pada kenyataannya mereka sering menggunakannya dengan ekspresi lain. Misalnya, Bohr (1949) menggunakan kata-kata "pseudo-realistic style" dan "perangkat yang diusulkan oleh Einstein" ketika membahas TEs dari Einstein. Dalam evolusi Fisika, Einstein dan Infeld (1938) menggunakan istilah "eksperimen ideal" untuk menggambarkan TEs seperti yang mereka katakan, "Kami menyadari pentingnya eksperimen ideal yang diciptakan oleh pemikiran . . . Meskipun ini mungkin terdengar sangat fantastis, bagaimanapun, mereka akan membantu kita untuk memahami sebanyak mungkin tentang relativitas dengan metode sederhana" (hal. 226). Galili (2009) mengklaim bahwa karena para ilmuwan menganggap TEs begitu jelas, dan menahan diri untuk mendefinisikan TEs meskipun mereka sering menggunakannya dalam ekspresi yang berbeda.

Menurut salah satu definisi yang paling banyak dikutip (Brown, 1991), TEs adalah eksperimen di laboratorium pikiran yang melibatkan manipulasi mental, bukan hanya konsekuensi dari perhitungan berbasis teori, dan seringkali tidak mungkin diimplementasikan dalam laboratorium nyata. Brown (1991) kemudian mengklasifikasikan TEs menjadi tiga jenis: destruktif, konstruktif, dan platonis. Dengan mendukung argumen Brown, Sorensen (1992) berpendapat bahwa TEs merupakan simulasi secara mental dalam pikiran individu dan hanya dapat diamati dengan mata pikiran. TEs dapat mengajari kita apa pun yang tidak diketahui sebelumnya, dan TEs didasarkan pada derivasi logis dan pengetahuan dari pengalaman individu (Kuhn, 1977). Dalam pemahaman Kuhn, TEs bertindak untuk memicu ingatan para ilmuwan tentang anomali yang telah mereka lihat sebelumnya tetapi sejauh ini diabaikan. Oleh karena itu, menurut Kuhn (1997), pengetahuan baru yang diperoleh dalam

TEs bukanlah hal yang benar-benar baru, melainkan pengetahuan yang diingat.

Beberapa penulis mengklaim bahwa TEs adalah penalaran berbasis model mental (Nersessian, 1992; Mišćević, 1992, Coper, 2005). Nersessian (1992) berkata:

Sementara kami setuju dengan Norton bahwa thought experiments seringkali dapat direkonstruksi sebagai argumen, fungsi pemodelan [mental] [dari thought experiments] tidak dapat digantikan oleh argumen . . . Menurut pandangan saya, thought experiments adalah bentuk penalaran kompleks yang mengintegrasikan berbagai bentuk informasi - proposisi, model, dan persamaan - ke dalam model mental yang dinamis. (hal. 297).

Mišćević (1992) juga berpendapat bahwa melakukan TEs terdiri dari membangun model mental dan penalaran di atasnya. Ini menjelaskan sifat data dan menunjukkan keterampilan yang digunakan dalam memanipulasi item dalam model. Coper (2005) memandang TEs sebagai kegiatan untuk membangun model yang menggunakan serangkaian pertanyaan "bagaimana jika":

Thought experiments memberi kita serangkaian pertanyaan "bagaimana jika". Misalnya, kita mungkin mencari tahu apa yang akan terjadi jika tidak ada gesekan, atau apa yang akan terjadi jika orang terbelah seperti amuba. Dalam melakukan thought experiments, kita untuk sementara menyesuaikan pandangan dunia kita untuk membangun model yang sesuai dengan jawaban atas pertanyaan "bagaimana jika" ini (hal. 336).

Model mental dalam TEs terdiri dari serangkaian proposisi yang menggambarkan situasi. Coper (2005) mengatakan, "Satu thought experiment akan dapat memvisualisasikan situasi, yang lain akan menggunakan diagram coretan, dan yang ketiga perlu menggunakan objek konkret untuk mewakili aktor. Ketiganya memodelkan situasi" (hal. 338). Nersessian (1992) juga memberi tahu kita bahwa model mental dalam membangun TEs sebagai "analog struktural dari situasi yang dijelaskan" (297). Namun, model mental yang

disajikan oleh Nersessian (1992) dan Mišćević (1992) terbatas pada simulasi fenomena dunia nyata. Sebaliknya, Coper (2005) memandang bahwa fenomena yang dimodelkan tidak dibatasi oleh dunia nyata, karena para thought experimenter dapat membuat model dunia mereka sendiri di mana beberapa hukum alam ditanggihkan atau diubah.

Reiner dan Gilbert (2000) mendefinisikan TEs sebagai "proses penalaran yang didasarkan pada hasil eksperimen yang dilakukan dalam pemikiran" (hal. 489). Dalam pandangan Reiner dan Gilbert, TEs terdiri dari dua aspek: pemikiran dan eksperimen. Aspek pemikiran melibatkan penciptaan dunia imajiner yang dapat direkonstruksi dan diatur ulang tetapi dibatasi oleh keinginan dari thought experimenter. Konstruksi yang dibuat, oleh karena itu, terkait dengan pengetahuan dan pengalaman thought experimenter. Dalam aspek eksperimen, mengacu pada kegiatan eksperimen di dunia nyata, seperti memanipulasi variabel untuk mencapai koherensi dengan teori yang diuji.

Pendapat yang lain, seperti Norton (1996), tidak menerima klaim bahwa TEs menyediakan beberapa cara baru dan bahkan misterius untuk sampai pada pengetahuan. Norton (1991; 1996) percaya bahwa TEs hanyalah argumen yang indah untuk menyangkal atau menciptakan teori baru dan bahwa mereka harus diklasifikasikan menjadi dua bagian: argumen deduktif dan induktif. Menurut Norton (1996), jika TEs hanya direorganisasi, itu adalah argumen deduktif di mana kesimpulan spesifik mengikuti deduktif dari premis, tetapi jika TEs digeneralisasi pada skala yang lebih luas, itu adalah argumen induktif.

Beberapa literatur juga biasanya menggambarkan TEs dalam hal fungsinya. Sebagai contoh, Sorensen (1992) memandang TEs sebagai kasus terbatas dari eksperimen nyata yang dapat mencapai tujuan eksperimen nyata tanpa benar-benar mengeksekusinya, melainkan mensimulasikannya secara mental dalam pikiran. Setelah menganalisis episode TEs yang relevan sepanjang sejarah fisika, Galili (2009) mengklaim bahwa

TEs adalah perangkat logis bagi para ilmuwan tidak hanya untuk mengembangkan teori ilmiah tetapi juga untuk mengklarifikasi, dan mengkritik teori yang ada. Serupa dengan itu, Stephens dan Clement (2012) berpendapat bahwa TEs adalah kegiatan yang dapat digunakan untuk mengevaluasi konsep, model, dan teori ilmiah dan bahkan untuk memprediksi aspek sistem yang konkret.

Oleh karena itu, berdasarkan penjelasan tersebut, dapat ditarik benang merah bahwa TEs adalah kegiatan eksperimen yang dilakukan dalam pikiran individu dengan citra pribadi yang biasanya digunakan oleh para ilmuwan dalam merumuskan teori baru, mendukung atau menyangkal teori yang ada. Dalam melakukan TEs, penalaran memainkan peran penting, dan memungkinkan *thought experimenter* untuk menghasilkan pengetahuan baru.

B. Thought experiments dan real experiments

Menurut Irvine (1991), ada lima kesamaan antara TEs dan real experiments (REs). Pertama, REs dan sebagian besar TEs harus dikonfirmasi secara independen oleh pengamatan empiris. Kedua, mereka harus memiliki latar belakang teori yang cukup berkembang. Ketiga, mereka harus memiliki pengaruh tentang bagaimana menjawab pertanyaan itu. Keempat, mereka harus memiliki variabel yang terisolasi secara independen. Terakhir, hasil TEs dan REs harus memiliki konsekuensi untuk sebuah teori.

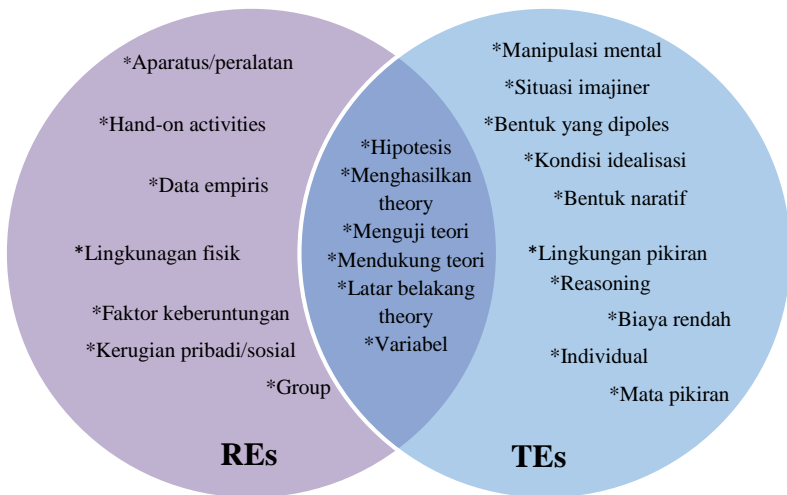
Reiner dan Gilbert (2000) juga mengklasifikasikan kesamaan antara REs dan TEs. Pertama, mereka bertujuan untuk membangun atau menguji teori. Kedua, hasil TEs dan REs dapat dibagikan dengan komunitas ilmiah. Ketiga, baik TEs maupun REs mungkin memiliki konsekuensi tambahan yang tidak terduga. Galili (2009) berpendapat bahwa TEs, seperti di laboratorium nyata, menyajikan teori dasar yang diperlukan untuk setiap kegiatan eksperimental. Melewatkan TEs dan langsung ke REs sering menghilangkan makna dan nilai bagi siswa (misalnya, sebagai alat untuk menebak hasil). Oleh karena

itu, menurut Galili (2009), TEs efektif digunakan untuk siswa sebelum melakukan eksperimen di laboratorium nyata.

Sedangkan menurut Irvine (1991), perbedaan antara TEs dan REs adalah: (1) TEs tidak melibatkan lingkungan fisik; (2) Biaya tinggi dan kurangnya peralatan dapat menjadi masalah bagi REs tetapi tidak untuk TEs; (3) REs bergantung pada intervensi aktual di alam sementara TEs bergantung pada argumen berdasarkan premis hipotetis. Dalam pengertian yang sama, Reiner dan Gilbert (2000) mengklaim lima perbedaan antara TEs dan REs. Pertama, TEs dilakukan secara mental. Kedua, TEs membutuhkan satu eksperimen mental, sedangkan REs umumnya membutuhkan sekelompok ilmuwan. Ketiga, perancang dan peneliti adalah orang yang sama di TEs, tetapi REs umumnya memiliki perancang dan peneliti yang terpisah. Keempat, TEs tidak melibatkan faktor keberuntungan atau kebetulan dalam menentukan hasil, namun, REs mungkin memiliki masalah tentang reproduktifitas dapat dikaitkan dengan faktor kebetulan. Terakhir, karena TEs dilakukan dalam pikiran, mereka tidak dapat menyebabkan kerugian pribadi dan sosial.

Pendapat lainnya, seperti Galili (2009) mengungkapkan bahwa TEs sering dibuat lebih sederhana dengan menghilangkan detail teknis dan mengesampingkan faktor penghambat REs seperti panas dan gesekan, tetapi model perwakilan tetap fokus pada aspek penting dari subjek. Demikian pula, Park et al. (2001) berpendapat bahwa kondisi ideal diperlukan ketika merancang TEs untuk menghilangkan kompleksitas teknis atau manipulatif dari TEs dan untuk menyederhanakan konteks eksperimental. Mereka juga mengatakan bahwa TEs dimulai dari teori yang sudah dikenal dan familiar, di mana tidak ada data empiris yang dihasilkan, dan penalaran memainkan peran penting dalam menarik kesimpulan. TEs tidak pernah dilakukan selain dalam pikiran (Brown, 1991; Sorensen, 1992), dan hanya diamati dengan mata pikiran (Sorensen, 1992).

Nersession (1992) merilis fitur spesifik TEs terkait dengan pemahamannya: TEs sebagai spesies penalaran berbasis model simulatif. Pertama, TEs disajikan dalam bentuk narasi yang bersifat simulasi. Kedua, saat TEs dihadirkan ke publik, TEs sudah dalam bentuk dipoles. Ketiga, narasi TEs menggambarkan sebuah abstraksi. Misalnya, fitur tertentu dari objek dalam eksperimen dunia nyata tidak disertakan, seperti warna batu dan karakteristik fisik pengamat. Diagram perbedaan antara TEs dan REs dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Diagram perbedaan antara TEs dan REs

C. Langkah-langkah thought experiments

Secara umum, struktur TEs dibagi menjadi lima tahap, dan setiap tahap mencakup kegiatan yang berbeda (Reiner, 1998). Pertama, thought experimenter membangun dunia imajiner dan menggambarkan fitur dunia yang mereka bayangkan, seperti objek, aturan, dan kondisi. Fokus utama pada tahap ini adalah membiasakan diri dengan objek, kondisi, dan kejadian di dunia imajiner dalam merumuskan model fisik yang akan digunakan. Kedua, thought experimenter menetapkan hipotesis atau asumsi umum yang akan digunakan,

seperti menggunakan teori ilmiah. Fase ini meliputi proses menerjemahkan masalah dan mengajukan hipotesis yang dapat diuji. Ketiga, thought experimenter merancang dan melakukan eksperimen dalam pikirannya. Keempat, thought experimenter mendeskripsikan hasil dari pelaksanaan eksperimen, dan kelima, thought experimenter menulis kesimpulan.

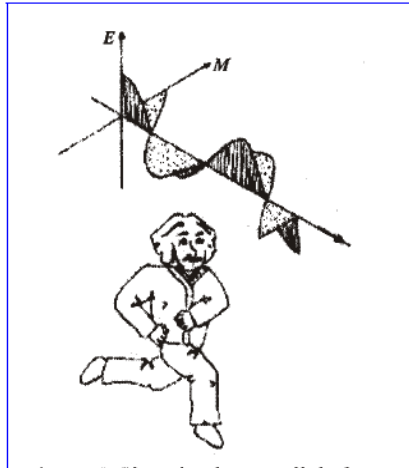
Brown (2006) menganalisis beberapa TEs yang dilakukan oleh para ilmuwan, seperti Galileo's free-falling body, Newton's bucket, Stevin's problem in statics, and Einstein's chasing a light beam, dan mengklaim bahwa TEs memiliki setidaknya tiga struktur atau fitur: (a) memvisualisasikan situasinya, (b) melakukan percobaan, dan (c) menggambarkan hasilnya. Misalnya, menurut teori elektrodinamika Maxwell, cahaya adalah osilasi dalam medan elektromagnetik. Teori tersebut mengatakan bahwa cepat rambat gelombang cahaya dalam medium sepanjang sumbu x , y , dan z baik arah rambat maupun arah perpindahan listriknnya akan selalu sama meskipun nilai k dan berbeda (Maxwell, 1865) . Artinya, cahaya selalu bergerak dengan kecepatan konstan ke segala arah dalam medium terhadap eter.

Sebuah paradoks yang telah kami alami pada usia enam belas tahun: Jika kami mengejar seberkas cahaya dengan kecepatan c (kecepatan cahaya dalam ruang hampa), kami harus mengamati seberkas cahaya sebagai medan elektromagnetik diam meskipun secara spasial berosilasi. Tampaknya tidak ada hal seperti itu, bagaimanapun, baik berdasarkan pengalaman maupun menurut persamaan Maxwell (Einstein, 1949, hlm. 53).

Menurut Brown (2006), ada tiga komponen yang terlihat dalam TEs ini. Pertama, Einstein memvisualisasikan situasi dengan mengejar seberkas cahaya yang melaju dengan kecepatan c . Kedua, saat mengejar berkas cahaya, Einstein kemudian mengamati keadaan berkas cahaya, apakah diam atau bergerak dengan kecepatan c . Ketiga, Einstein kemudian menggambarkan hasil pengamatannya yang melihat seberkas cahaya seperti medan elektromagnetik yang tampak statis meskipun berosilasi secara spasial. TEs ini menunjukkan bahwa

kecepatan cahaya tidak selalu sama dengan c . Einstein berasumsi bahwa kecepatan cahaya akan menjadi 0 ketika ia mampu menangkap berkas cahaya. Demikian pula, pemain ski air atau pelari di pantai akan melihat gelombang air yang diam ketika bergerak bersama, seperti yang dikatakan Brown:

Ketika dia baru berusia 16 tahun, Einstein bertanya-tanya bagaimana rasanya berlari begitu cepat untuk dapat mengejar seberkas cahaya di depan. Mungkin itu seperti berlari menuju pantai dari ujung dermaga yang terbentang ke laut dengan gelombang datang di sampingnya. Akan ada punuk di air yang tetap diam sehubungan dengan pelari (Brown, 2006, hal. 67).

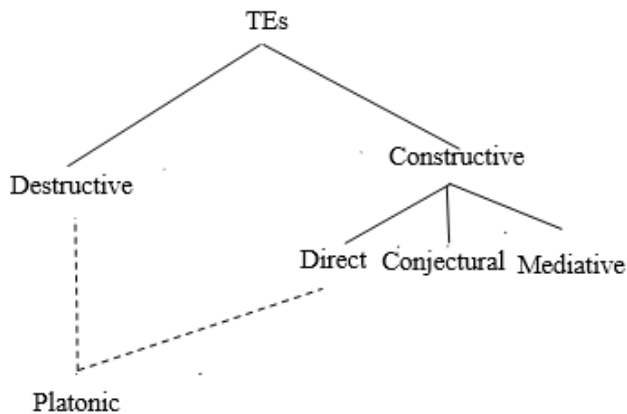


Gambar 2.2. Einstein mengejar seberkas cahaya

Berdasarkan penjelasan di atas, untuk membedakannya dari TEs kolaboratif, TES didefinisikan sebagai proses terstruktur memvisualisasikan dunia imajiner di mana eksperimen akan dirancang dan dijalankan di kepala seorang individu, dan kemudian hasil dari melakukan eksperimen dijelaskan. Oleh karena itu, ketiga kegiatan tersebut digunakan untuk mendeteksi TEs dalam penelitian ini: memvisualisasikan dunia imajiner, melakukan eksperimen, dan mendeskripsikan hasil.

D. Peranan thought experiments dalam sains

Brown (1991) mengklasifikasikan TEs menurut perannya dalam membangun teori ilmiah sebagai destruktif, konstruktif, dan platonis. TEs destruktif adalah jenis TEs yang bertujuan untuk menghancurkan sebuah teori atau setidaknya menunjukkan masalah serius bagi sebuah teori ilmiah. Schrödinger's cat adalah contoh dari jenis TEs ini dimana Erwin Schrödinger menyajikan seekor kucing dalam sebuah kotak dalam superposisi dua keadaan: mati atau hidup (Schrödinger, 1935), yang bertujuan untuk mempertanyakan keterbatasan dan kesulitan konseptual mekanika kuantum. Sebaliknya, TEs konstruktif bertujuan untuk mendukung atau membangun teori ilmiah, seperti Maxwell's demon dan Einstein's elevator. Brown (1991) kemudian membagi TEs konstruktif menjadi tiga jenis lebih lanjut: TEs direct, conjectural, dan mediative. TEs Platonic adalah kelas kecil TEs yang secara bersamaan membantah teori yang ada dan menghasilkan teori baru. TEs dari Galileo's free falling body adalah contoh yang membantah pandangan Aristoteles bahwa benda yang lebih berat jatuh lebih cepat dan secara bersamaan menetapkan gagasan baru bahwa semua benda jatuh pada kecepatan yang sama. Taksonomi TEs ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Taksonomi TEs

Norton adalah seorang filsuf yang dalam banyak karyanya telah mencoba meyakinkan kita bahwa TEs hanyalah argumen yang indah untuk mendukung atau menolak sebuah teori ilmiah. Misalnya dengan menganalisis beberapa TEs dalam karya Einstein, Norton (1991) mengklaim bahwa TEs hanyalah argumen yang indah karena TEs tidak melibatkan data empiris baru tetapi hanya menata ulang atau menggeneralisasi data lama. Menurut Norton (1991), TEs dari Einstein's elevator dapat dikonstruksikan sebagai argumen sebagai berikut:

1. Dalam sebuah elevator, pengamat akan melihat benda bebas bergerak secara identik dalam kasus di mana kotak dipercepat secara seragam di ruang bebas gravitasi dan di mana kotak diam di medan gravitasi homogen.
2. Langkah induktif: (a) kasusnya khas dan akan berlaku untuk semua fenomena yang dapat diamati dan (b) kehadiran kotak dan pengamat tidak penting untuk kesetaraan.
3. Sebuah kerangka berakselerasi seragam di ruang bebas gravitasi dan kerangka diam di medan gravitasi homogen secara observasi identik tetapi dibedakan secara teoritis, yang saling bertentangan.
4. Heuristik verifikasiabilitas untuk konstruksi teori. Karena itu
5. Kerangka yang berakselerasi seragam di ruang bebas gravitasi dan kerangka diam di medan gravitasi homogen adalah hal yang sama (yang menjadi postulat teori baru).

Untuk mendukung asumsinya bahwa TEs hanyalah argumen yang indah, Norton (1996) menguraikan epistemologis TEs dengan memberikan beberapa contoh TEs yang terkenal, seperti Galileo's free-falling body and Newton's bucket. Pada tahun 2014, Norton kemudian mengilustrasikan beberapa TEs yang menghasilkan hasil yang salah, yang menunjukkan bahwa itu hanya argumen biasa, yang disamarkan dalam bentuk gambar atau narasi yang jelas. Norton (2014) mengatakan bahwa "thought experiments dalam sains hanyalah argumentasi yang

indah. Kami mendukung pandangan ini dengan berbagai cara, termasuk klaim yang mengikuti fakta bahwa thought experiments bisa salah tetapi masih bisa digunakan dengan andal” (hal. 1139).

Park dkk. (2001) menganalisis proses berpikir beberapa TEs dalam sejarah fisika, termasuk TEs dari Galileo’s free-falling body, Leibniz’s vis viva, Newton’s bucket, dan Schrodinger’s cat. Berdasarkan analisis, mereka menggambarkan tiga fungsi TEs: memalsukan pengetahuan yang ada, mewujudkan pengetahuan yang ada, dan menciptakan pengetahuan baru. Mereka juga menggambarkan beberapa karakteristik TEs: idealisasi situasi, dimulai dengan teori yang terkenal, tidak ada data empiris yang dihasilkan, dan penalaran memainkan peran penting.

Reiner dan Burko (2003) menganalisis beberapa TEs terkait dengan evolusi bintang dan relativitas umum dan menjelaskan tiga proses kognitif yang mengarahkan para ilmuwan dan siswa pada kesimpulan yang salah. Pertama, karena thought experimenter tidak memiliki pengalaman sebelumnya untuk mendukung intuisi mereka, mereka menggunakan intuisi yang tidak produktif dalam merancang TEs yang membawa mereka pada kesimpulan yang salah. Kedua, ketika thought experimenter membangun dunia imajiner, mereka menetapkan asumsi umum yang tidak lengkap (yaitu, beberapa elemen penting mungkin hilang atau salah). Ketiga, terkadang para thought experimenter menggunakan konsep yang terfragmentasi, sehingga asumsi umum dan ciri-ciri dunia imajiner tidak relevan.

Selain itu, Reiner dan Burko (2003) mengklaim bahwa TEs lebih rentan terhadap kesalahan daripada eksperimen laboratorium karena, dalam TEs sangat sulit untuk memahami properti sistem mana yang tidak boleh dikompromikan dan mana yang hanya merupakan komplikasi.

Tentu saja, juga dalam eksperimen laboratorium seseorang dapat sampai pada kesimpulan yang salah. Namun, ketika menyangkut eksperimen laboratorium, alam mengurus termasuk semua hukum dan efek alam yang relevan, termasuk efek yang mungkin dianggap tidak relevan oleh

fisikawan. Misalnya, ketika seseorang benar-benar membangun peralatan jam dalam kotak [TEs dari Einstein's light box] dan mencoba melakukan eksperimen laboratorium, semua efek akan dimasukkan oleh peralatan dan lingkungannya. Para fisikawan mungkin tidak menyadari bahwa efek pergeseran merah gravitasi relevan, tetapi eksperimen itu sendiri tidak dapat keliru tentang hal ini. Oleh karena itu, ada lebih banyak kemungkinan untuk melakukan kesalahan dengan TEs daripada dengan eksperimen laboratorium (Reiner & Burko, 2003, hal. 381-383)

Rescher (2005) juga menemukan tiga faktor yang terkadang menyebabkan TEs gagal. Pertama, kurangnya informasi yang dibutuhkan untuk membangun TEs. Kedua, kesalahan dalam proses penalaran yang mengarah pada kesimpulan yang salah. Ketiga, kesalahan dalam memahami soal yang akan menjadi sasaran dalam mengerjakan TEs.

Brown (2006) mengilustrasikan peluang dan bahaya TEs dan menggambarkan dua moral yang jelas dalam TEs. Pertama, "thought experiments dapat memberi kita pengetahuan sejati. Mereka bisa sangat berguna, baik secara heuristik dan pedagogis, dalam memberikan wawasan asli" (hal. 71). Ada beberapa contoh, seperti TEs dari Galileo's free-falling body yang melibatkan dua benda berbeda sebenarnya berhasil membuktikan bahwa semua benda jatuh dengan laju yang sama. TEs ini benar-benar memberi kita pengetahuan sejati. Kedua, thought experiments dapat secara serius menyesatkan kita. TEs tidak selalu memberi kita pengetahuan baru, dalam beberapa kasus, mereka bisa salah dan memberikan pengetahuan yang salah. Norton (2004) juga berpendapat bahwa TEs seringkali menghasilkan hasil yang salah meskipun dapat memberikan hasil yang berguna dalam pengembangan teori ilmiah.

Pendapat yang lainnya, seperti Galili (2009), mengklarifikasi arti TEs dengan mengikuti episode TEs yang relevan sepanjang sejarah sains, dan mengklaim bahwa TEs adalah perangkat logis yang menengahi antara teori dan eksperimen dengan simulasi mental. Galili (2009) menekankan

bahwa TEs sebagai konstruksi teoritis khusus bagi para ilmuwan tidak hanya untuk mengembangkan teori-teori ilmiah tetapi juga untuk mengklarifikasi, dan mengkritik teori-teori yang ada. Setelah menelusuri makalah Mach, Arcangeli (2010) berpendapat bahwa imajinasi memiliki peran yang sangat penting dalam TEs. TEs bukanlah "gambaran percobaan" yang sederhana, tetapi proses kompleks yang melibatkan imajinasi.

E. Peranan thought experiments dalam pendidikan sains

Ernst Mach dianggap sebagai orang pertama yang memperkenalkan istilah TEs ke dalam penggunaan aktif, khususnya dalam pendidikan (Matthews 1988; Galili 2009). Dalam makalahnya "On Thought Experiments" (1976), Mach menyatakan bahwa:

Kami telah melihat metode [TEs] ini bekerja baik dalam kasus guru sekolah menengah kami sendiri, H. Phillipp, dan juga ketika mengunjungi sekolah F. Pisko, pengajar lain yang mengagumkan. Tidak hanya murid tetapi juga guru memperoleh keuntungan yang tak terukur dengan metode ini: ini adalah cara terbaik untuk mengenal murid-muridnya.(hal. 142).

Selain efektif digunakan sebagai metode untuk menebak masalah mana yang dapat diselesaikan dan mana yang tidak dapat, TEs penting untuk para penanya profesional dan juga untuk perkembangan mental (Mach 1976).

Mencoba memahami peran TEs dalam pembelajaran fisika, Reiner (1988) menganalisis proses alami siswa dalam membangun TEs dalam konteks simulasi berbasis komputer dan mengusulkan lima tahap TEs: visualisasi, hipotesis, eksperimen, hasil, dan kesimpulan. Reiner (1998) kemudian menyarankan agar guru fisika menggunakan simulasi komputer saat mengajar TEs karena memungkinkan siswa untuk melihat proses fisik dan membangun pemahaman yang mendalam tentang konsep fisika. Reiner dan Gilbert (2000) menyelidiki serangkaian TEs yang dilakukan oleh guru dan siswa ketika mereka mengerjakan masalah. Mereka mengklaim bahwa baik guru dan siswa

memecahkan masalah menggunakan TEs sebagai alat logis yang mengacu pada tiga sumber epistemologis: kesimpulan konseptual-logis, citra visual, dan pengalaman motorik tubuh.

Dengan menggunakan gambar-gambar yang bersifat visual, dan gambaran-gambaran pengalaman tubuh, eksperimen pikiran mengakses pengetahuan tacit, yang belum tentu disadari oleh orang tersebut, dan yang hanya sebagian kecil yang dapat diartikulasikan secara verbal. Pengetahuan tacit seperti itu, ketika digabungkan dengan proses logis dalam TEs, secara tidak sadar direkrut untuk menghasilkan pengetahuan baru (Reiner & Gilbert, 2000, hal. 502).

Georgiou (2005) menyelidiki peran intuisi dan simulasi imajiner dalam proses membangun TEs sementara siswa memecahkan masalah fisika secara kolaboratif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa siswa biasanya mengabstraksi fenomenologi dunia fisik ke dalam intuisi yang akan digunakan untuk menentukan fenomenologi dunia imajiner, dan oleh karena itu, intuisi merupakan penghubung penting antara eksperimen fisik dan TEs. Georgiou (2005) juga mengklaim bahwa simulasi imagistik dalam TEs adalah bagian yang tidak dapat dipisahkan karena tanpanya prediksi akan tetap “hanya dugaan”. Reiner (2006) menganalisis konteks TEs dalam pembelajaran fisika berdasarkan beberapa literatur yang relevan, mengklaim bahwa ada tiga jenis masalah dalam konteks pembelajaran atau learning context problems (LCP) yang memicu TEs. Pertama, LCPs—TEs teknologi muncul dari interaksi dengan membangun perangkat teknologi. Kedua, LCPs—TEs empiris muncul dari eksperimen nyata yang memicu konstruksi representasi spontan. Ketiga, LCPs—TES imajiner muncul dari pengalaman masa lalu yang akrab dan memicu pengetahuan implisit yang telah diatur dalam skema tubuh.

Clement (2009) menganalisis protokol berpikir-keras dari profesor dan mahasiswa pascasarjana dalam fisika, matematika, dan ilmu komputer. Hasilnya menunjukkan bahwa peserta yang menggunakan TEs hampir mirip dengan ilmuwan; misalnya, keduanya menggunakan TEs untuk mengkonfirmasi dan mendiskreditkan teori. Selain itu, hasil menunjukkan bahwa

simulasi imajiner memainkan peran sentral dalam TEs, dan dapat menghasilkan pengetahuan baru dengan menggunakan beberapa sumber, termasuk pengetahuan sebelumnya implisit dan operasi penalaran spasial. Setelah meninjau beberapa penelitian terkait peran TEs dalam pengajaran sains dan menerapkan analisisnya di kelas, Stephens & Clement (2012) juga berpendapat bahwa siswa sekolah menengah dan atas dapat menjalankan TEs yang dihasilkan oleh guru, yang menunjukkan bahwa TEs siswa dapat mirip dengan para ahli dalam banyak hal.

Kösem dan Ozdemir (2014) menyelidiki peran TEs melalui aktivitas pemecahan masalah fisika. Hasil menunjukkan bahwa ada tiga sumber yang digunakan oleh siswa selama proses TEs: fakta yang diamati/dialami, prinsip intuitif, dan teori ilmiah. Hasil menarik lainnya menunjukkan bahwa dalam beberapa kasus, peserta melakukan lebih dari satu TEs sementara peserta lain tidak dapat melakukan TEs. Hal ini menunjukkan bahwa melakukan TEs tergantung pada kemampuan individu peserta. Ince dkk. (2016) menyelidiki pengaruh TEs pada keterampilan pemecahan masalah logis siswa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa TEs membantu siswa dalam memahami hukum fisika dan dalam memodifikasi ide-ide mereka terkait dengan konsep fisika. Myhrehan dan Bungum (2016) melaporkan hasil dari proyek ReleQuant tentang bagaimana siswa fisika Norwegia di sekolah menengah atas menafsirkan TEs. Mereka mengklaim bahwa kurangnya pengetahuan tentang tujuan dan konteks sejarah TEs membatasi pemahaman siswa tentang konten fisika.

Asikainen dan Hirvonen (2014a) mengeksplorasi pemahaman guru fisika tentang TEs double-slit. Studi mereka melibatkan 9 guru pre-service dan 18 guru in-service dengan pengalaman berbeda dalam mengajar fisika modern di sekolah menengah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa guru berpengalaman yang pernah mengajar fisika modern di tingkat menengah atas lebih mampu melakukan TEs double-slit daripada guru prajabatan atau guru yang tidak berpengalaman.

Mereka juga mengatakan bahwa sebagian besar peserta dalam studi mereka gagal melakukan TEs karena kesalahpahaman dan kesenjangan yang terjadi dengan pengetahuan sebelumnya:

Dalam penelitian kami, hanya sebagian kecil peserta (4 dari 27) yang mampu menggambarkan asumsi dasar thought experiment dengan benar. Sisanya mengungkapkan kesalahpahaman dan kesenjangan dalam pengetahuan mereka sebelumnya, yang mungkin menghambat thought experiment mereka (hal. 1828).

F. Penggunaan thought experiment dalam pengajaran sains

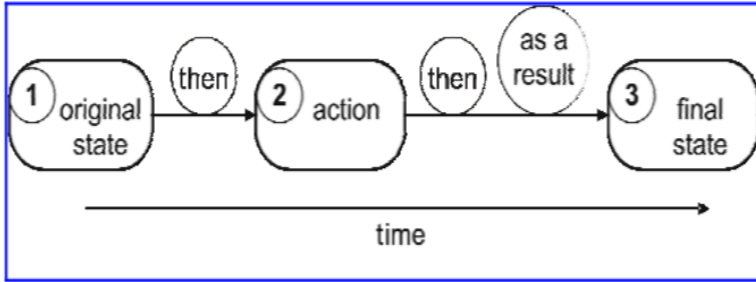
Dalam dua puluh tahun terakhir, TEs telah digunakan dalam pengajaran sains dengan cara yang berbeda, dan beberapa kemungkinan telah dilaporkan. Berikut ini kami uraikan beberapa implementasi TEs dalam pengajaran sains: menggunakan simulasi komputer (Reiner, 1998), melalui pendekatan historis (Velentzas dan Halkia, 2011; 2013), dan melalui tugas tertulis (Lattery, 2001; Klassen, 2006; Asikainen & Hirvonen, 2014a).

Reiner (1998) menganalisis TEs yang dirancang dan dikembangkan oleh siswa kelas 11. Sebanyak 12 siswa diberi tugas merancang periskop dengan bidang visual yang luas menggunakan simulator berbasis komputer. Untuk menyelesaikan tugas yang diberikan, siswa bekerja dalam kelompok yang terdiri dari tiga orang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa TE, ketika dilakukan dalam konteks simulasi berbasis komputer, adalah alat yang ampuh untuk mengajar sains. Dia kemudian berpendapat bahwa TEs lebih mudah dibangun dengan cara kolaboratif di mana jumlah kontribusi siswa dapat menghasilkan TEs yang lengkap. Reiner (1998) menyarankan bahwa guru fisika menggunakan simulasi komputer ketika mengajar TEs karena memungkinkan siswa untuk melihat proses fisik dan membangun pemahaman yang mendalam tentang konsep fisika.

Velentzas dan Halkia (2011) melaporkan hasil positif ketika mereka menerapkan TEs historis mikroskop Heisenberg sebagai alat dalam mengajarkan "prinsip ketidakpastian" kepada

siswa sekolah menengah. Dalam penelitiannya, 40 siswa peserta dibagi menjadi 11 kelompok. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan TEs dapat membantu siswa untuk menjelaskan prinsip-prinsip konsep ketidakpastian dengan lebih baik dan lebih dapat memperoleh rumus prinsip ketidakpastian. Velentzas dan Halkia (2013) juga melaporkan hasil positif ketika mereka menerapkan TEs historis elevator dan TEs kereta api Einstein untuk mengajarkan dasar-dasar relativitas. Mereka berpendapat bahwa penggunaan sejarah TEs sebagai alat dalam pengajaran fisika modern dapat membantu mengembangkan kemampuan silogistik siswa dan membantu mereka membayangkan situasi di luar pengalaman sehari-hari.

Lattery (2001) menggunakan TEs tentang hukum akord Galileo sebagai dasar untuk proyek siswanya dalam kursus fisika di universitas. Dalam tugas proyek mereka, siswa akan menghafal kertas, menyiapkan poster, dan membuat presentasi lisan untuk rekan-rekan mereka. Lattery (2001) berpendapat bahwa penggunaan TEs sebagai tugas proyek menawarkan pengalaman belajar yang positif bagi siswa. Klassen (2006) juga percaya bahwa dengan merancang TEs mereka sendiri, siswa secara mental terlibat dalam membangun konsep, dan pada gilirannya, mereka akan memahami konsep ilmiah lebih dalam. Dia berpendapat bahwa TEs mengandung argumen dan elemen naratif, dan oleh karena itu, efektif untuk mengajarkan TEs dalam cerita. Untuk menguji asumsinya, dia menulis sebuah cerita tentang kehidupan dan eksperimen Benjamin Franklin dan mengundang siswa untuk mengubah eksperimen Franklin menjadi TEs. Klassen (2006) kemudian menyarankan guru fisika untuk menggunakan teknik naratif dan menulis ulang TEs dalam format cerita saat mengajar TEs. Struktur cerita minimal ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Urutan cerita minimal untuk pengajaran TEs

Asikainen dan Hirvonen (2014a) juga menggunakan tugas tertulis ketika mengeksplorasi pemahaman guru fisika tentang TES celah ganda. Dalam penelitian mereka, pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan tes kertas dan pensil dan wawancara. Para peserta diminta untuk menggambar distribusi intensitas pada layar di belakang celah menggunakan partikel klasik, cahaya, dan elektron. Seharusnya untuk membentuk distribusi intensitas, peserta perlu melakukan TEs. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar peserta dalam studi mereka gagal melakukan TEs karena kesalahpahaman dan kesenjangan yang terjadi dengan pengetahuan sebelumnya.

Singkatnya, sejumlah penelitian telah dilakukan di berbagai bidang, seperti dalam sains (misalnya, Brown, 1991; Norton, 1991; Galili, 2009), dalam pendidikan sains (misalnya, Reiner, 1998; Velentzas & Halkia), 2013; Asikainen & Hirvonen, 2014), dalam buku teks sains (misalnya, Reiner & Gilbert, 2000; Velentzas et al., 2007; Bancong & Song, 2018) yang telah berkontribusi pada literatur TEs. Namun, rekomendasi kepada guru fisika tentang bagaimana menerapkan TEs dalam pengajaran sains, dan bagaimana membantu siswa menemukan prosedur berpikir yang efektif dalam menjalankan TEs masih jarang. Asikainen dan Hirvonen (2014b) berpendapat bahwa selama ini peneliti yang berpartisipasi dalam penelitian ini masih sedikit, oleh karena itu rekomendasi tentang bagaimana menerapkan TEs dalam pembelajaran sains sangat diperlukan.

Selain itu, ada sedikit penelitian mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi siswa dalam membangun TEs, dan juga sebagian besar penelitian sebelumnya menyelidiki proses TEs dalam aktivitas individu siswa.

G. Penggunaan thought experiments dalam buku teks sains

Mencoba memahami bagaimana TEs disajikan dalam buku teks fisika umum, Gilbert dan Reiner (2000) mempelajari dan berfokus pada tiga buku teks fisika populer. Salah satunya, *Understanding Physics for Advanced Level* yang ditulis oleh Jim Breithaupt ditujukan untuk siswa berusia 16-18 tahun di sekolah menengah di Inggris dan Wales. Dua lainnya, *Fisika* (edisi ke-2) yang ditulis oleh Hans C. Ohanian dan *Fisika Konseptual* (edisi ke-7) yang ditulis oleh Paul G. Hewitt banyak digunakan dalam kursus universitas tahun pertama di AS dan di tempat lain. Hasil penelitian menunjukkan bahwa buku teks fisika populer sering melewatkan kesempatan untuk memperkenalkan TEs meskipun ada berbagai peluang yang wajar untuk melakukannya. Selain itu, TEs dalam buku teks tersebut sering berubah menjadi simulasi pemikiran. Gilbert & Reiner (2000) berpendapat bahwa penulis buku teks fisika populer ini mungkin tidak memahami potensi sebenarnya dari penggunaan TEs. Faktanya, TEs dapat menjadi pendekatan yang bermanfaat untuk meningkatkan keterlibatan kognitif siswa dalam proses pembelajaran.

Velentzas dkk. (2007) secara khusus menyelidiki TEs pada teori relativitas dan mekanika kuantum di kedua buku teks fisika dan buku sains populer di Yunani. Ada 10 buku teks dan 15 buku sains populer dalam studi mereka. Buku-buku pelajaran fisika yang mereka analisis kebanyakan dari buku-buku universitas dan hanya satu dari sekolah menengah. Buku-buku sains populer ditujukan kepada masyarakat umum. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penulis buku teks fisika dan buku sains populer menganggap TEs sebagai alat penting dalam presentasi teori relativitas dan mekanika kuantum. Penulis kedua jenis buku tersebut juga menyesuaikan bahasa dan formalisme matematika TEs menjadi lebih sederhana.

Selanjutnya, Bancong and Song (2018) mengevaluasi TEs yang disajikan dalam buku teks fisika Indonesia. Mereka menganalisis 30 buku teks fisika SMA dari kelas 10 sampai 12 yang banyak digunakan baik oleh guru maupun siswa di Indonesia. Buku pelajaran fisika terbitan Kemendikbud menjadi fokus utama (buku pelajaran fisika SADARI). Namun, analisis juga dilakukan pada beberapa buku teks fisika, yang tersedia melalui persetujuan pemerintah (buku teks fisika Non-BSE). Hasil penelitian menunjukkan bahwa buku teks fisika terbitan 2009 hingga 2017 di Indonesia pada umumnya kekurangan TEs, meskipun beberapa TEs populer, seperti benda jatuh bebas Galileo, relativitas Galileo, kereta Einstein, dan paradoks kembar Einstein disajikan pada tingkat yang memuaskan. Ketidakpuasan TEs dalam buku teks fisika mungkin karena banyak penulis buku teks fisika di Indonesia mengabaikan atau tidak cukup menyajikan TEs. Beberapa TEs diperkenalkan dalam bentuk pemecahan masalah, esai, bahkan tugas proyek yang mengakibatkan hilangnya latar belakang dan hasil eksperimen.

BAB 3

DESAIN DAN METODE PENELITIAN

A. Context

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan informasi sebanyak mungkin tentang proses TEs. Kegiatan pemecahan masalah fisika digunakan untuk menetapkan kondisi yang diperlukan untuk mengamati proses siswa dalam membangun TEs secara kolaboratif. Selama sesi pemecahan masalah, kami mengamati dengan cermat aktivitas dan interaksi yang terjadi antara siswa di setiap kelompok. Pemilihan masalah yang digunakan dalam penelitian ini didasarkan pada kriteria sebagai berikut: **harus** (1) memicu dan mengaktifkan dunia imajiner siswa, (2) tidak memerlukan perhitungan aljabar, (3) terkait dengan situasi dalam kehidupan sehari-hari, dan (4) menarik bagi siswa.

Beberapa peneliti yang berhubungan dengan topik TEs (misalnya, Georgiou, 2005; Kösem & zdemir, 2014; Tortop, 2016) telah mengadaptasi masalah fisika dari buku Epstein 1995 berjudul "*Thinking Physics Is Gedanken Physics*" ketika menyelidiki proses TEs siswa saat menyelesaikan masalah fisika. Istilah "Gedanken experiments" digunakan dalam tersebut sebagai sinonim untuk TEs. Buku tersebut berisi serangkaian soal fisika yang dapat memicu dan mengaktifkan dunia imajiner siswa sehingga memungkinkan mereka melakukan TEs sambil memecahkan masalah. Oleh karena itu, dalam penelitian ini, kami mengadopsi masalah fisika dari Epstein (1995) dan memodifikasi bahasanya menjadi sederhana dan mudah dipahami oleh partisipan. Masalah potensial didiskusikan dan kemudian diujicobakan dengan beberapa mahasiswa lainnya untuk memeriksa apakah mereka akan bekerja sesuai dengan kriteria yang diharapkan.

B. Partisipan

Mengingat letak geografis Indonesia, maka partisipan dalam penelitian ini dipilih di pulau Sulawesi. Sulawesi dianggap mewakili Indonesia karena letaknya yang berada di tengah-tengah Indonesia, seperti terlihat pada Gambar 3.1. Sulawesi juga memiliki latar belakang sosial ekonomi dan etnis yang beragam. Selain itu, terdapat 114 bahasa asli yang dituturkan di Sulawesi, yang kesemuanya termasuk dalam subkelompok Melayu-Polinesia dari rumpun bahasa Austronesia (Lewis, 2009). Kota terbesar di pulau Sulawesi adalah Makassar yang terletak di provinsi Sulawesi Selatan, Indonesia.



Gambar 3.1 Letak geografis penelitian

Ada 12 peserta sukarela dalam penelitian ini. Mereka adalah guru fisika yang tersebar di Sulawesi Selatan. Ada enam yang berpendidikan magister dan enam sarjana. Untuk menangkap variasi proses TEs secara mendalam dan detail, para peserta dibagi menjadi tiga kelompok kecil sesuai dengan tingkat pendidikan. Setiap kelompok terdiri dari empat peserta. Kelompok-kelompok ini diberi nama sebagai kelompok master, kelompok campuran, dan kelompok sarjana. Informasi rinci tentang peserta diberikan di bagian berikut.

1. Kelompok Master

Tujuan pengumpulan data dari kelompok ini adalah untuk mendeteksi peran TEs bagi para ahli. Kriteria pemilihan peserta adalah (1) merupakan mahasiswa atau lulusan pascasarjana pada jurusan pendidikan fisika atau fisika dan (2) menerima pendidikan sarjana dari universitas keguruan. Awalnya, Ph.D. mahasiswa akan dipilih sebagai peserta dalam kelompok ini, namun karena sulitnya mendapatkan mahasiswa doktor yang ingin menjadi peserta secara sukarela, maka dipilih guru dengan pendidikan magister.

Dalam penelitian ini, kami memilih masalah fisika yang berkaitan dengan hukum fisika dasar mekanika klasik yang dirancang untuk siswa sekolah menengah dan mahasiswa tahun pertama di universitas dengan asumsi bahwa keahlian peserta pada kelompok master pada topik ini lebih tinggi daripada kelompok sarjana. Informasi rinci tentang peserta dalam kelompok ini disajikan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Sekilas informasi peserta pada kelompok master

Kode	Nama	Jenis Kelamin	Umur	Asal Universitas	
				Sarjana	Master
H1	Nunu	Female	28	Unismuh	Unhas
H2	Anis	Female	26	Unismuh	Unhas
H3	Evi	Female	27	Unismuh	UNM
H4	Fifi	Female	27	Unismuh	UNM

'H' menunjukkan peserta pada kelompok master

2. Kelompok Campuran

Kelompok ini merupakan gabungan dari kelompok master dan kelompok sarjana. Kami berharap kelompok master memiliki pemahaman konsep fisika yang lebih dalam daripada kelompok sarjana. Oleh karena itu, kelompok ini dibentuk untuk mengamati interaksi yang mungkin terjadi antara peserta kelompok master dan kelompok sarjana dalam

membangun TEs secara kolaboratif. Informasi lengkap tentang peserta kelompok campuran disajikan pada Tabel 3.2

Tabel 3.2. Sekilas informasi peserta pada kelompok campuran

Kode	Nama	Jenis kelamin	Usia	Asal Universitas	
				Sarjana	Master
M1	Yusuf	Pria	25	Unismuh	UNM
M2	Ahmad	Pria	26	Unismuh	UNM
M3	selvi	Perempuan	23	Unismuh	-
M4	Dewi	Perempuan	22	Unismuh	-

'M' menunjukkan peserta pada kelompok campuran

3. Kelompok Sarjana

Kelompok ini terdiri dari lulusan sarjana pada jurusan pendidikan fisika. Kriteria utama pemilihan peserta dalam kelompok ini adalah mereka menjadi guru fisika dan berasal dari perguruan tinggi keguruan. Informasi lengkap tentang peserta kelompok sarjana disajikan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3. Sekilas informasi peserta pada kelompok sarjana

Kode	Nama	Jenis kelamin	Usia	Asal Universitas	
				Sarjana	Master
L1	Imma	Perempuan	22	Unismuh	-
L2	Rini	Perempuan	23	Unismuh	-
L3	Indah	Perempuan	23	Unismuh	-
L4	Adi	Pria	24	Unismuh	-

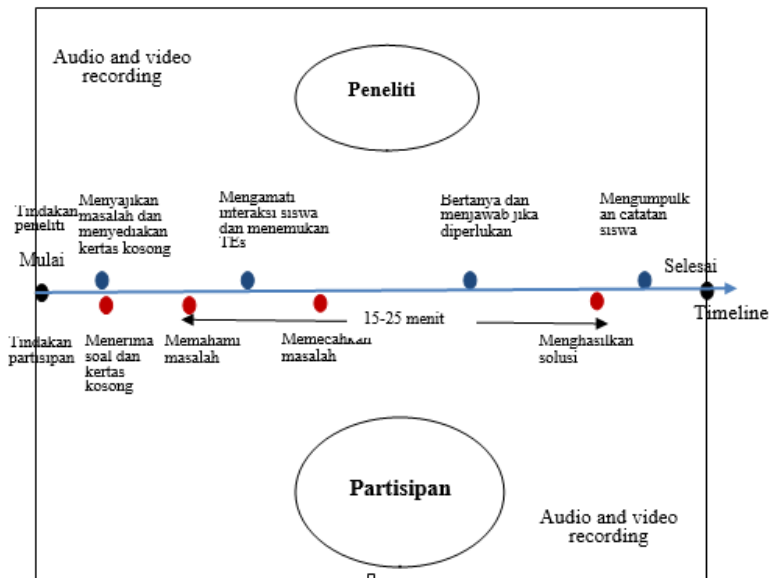
'L' menunjukkan peserta pada kelompok sarjana

C. Pengumpulan Data

Observasi kelompok dan catatan lapangan adalah metode utama untuk mengumpulkan data. Beberapa literatur terkait berpendapat bahwa TEs adalah alat kognitif untuk memecahkan masalah tidak hanya untuk para ahli tetapi juga untuk siswa (Reiner, 1998; Stephens & Clement, 2006; Kösem & zdemir, 2014).

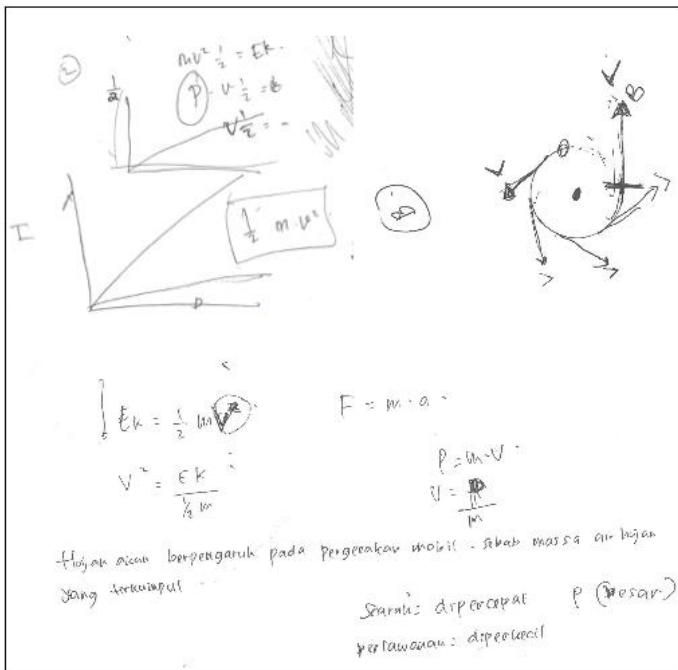
Oleh karena itu, kegiatan pemecahan masalah fisika dalam bentuk kelompok kecil digunakan untuk mengamati proses dalam membangun TEs secara kolaboratif. Ke-12 peserta dibagi menjadi tiga kelompok kecil. Audio dan video kegiatan ketiga kelompok tersebut direkam sebagai sumber data.

Selain itu, untuk menjamin keabsahan data, kami juga mengumpulkan catatan-catatan yang ditulis dan disimpulkan secara bebas oleh para partisipan saat memecahkan masalah dan catatan observasi peneliti sebagai sumber data. Catatan observasi peneliti meliputi catatan tentang tahapan TEs secara kolaboratif yang diamati saat partisipan menyelesaikan soal fisika. Catatan observasi oleh peneliti dan catatan partisipan digunakan untuk mengkonfirmasi proses TEs dalam transkrip rekaman audio dan video. Jadi, dalam penelitian ini, data yang dikumpulkan adalah rekaman audio dan video, catatan partisipan, dan catatan observasi oleh peneliti. Gambar 3.2 menunjukkan diagram yang menggambarkan proses pengumpulan data.



Gambar 3.2. Proses pengumpulan data

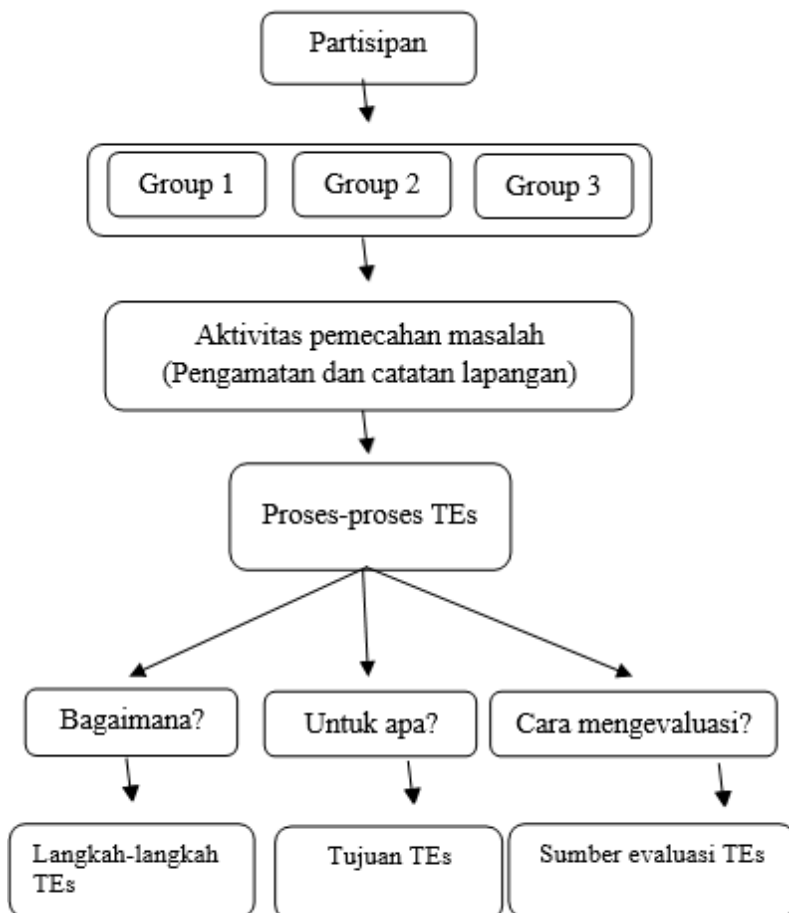
Pertama, peneliti mempresentasikan masalah fisika dan memberikan selembar kertas kosong kepada setiap anggota kelompok untuk digunakan menulis dan/atau menggambar pemikiran mereka selama kegiatan pemecahan masalah fisika. Selama kegiatan pemecahan masalah, kami kemudian dengan cermat mengamati kegiatan dan interaksi yang terjadi antara peserta di setiap kelompok, dengan fokus terutama pada mengidentifikasi proses TEs secara kolaboratif yang terjadi saat menyelesaikan masalah fisika. Untuk setiap kelompok, observasi dan pencatatan dilakukan lima kali, satu kali untuk masing-masing lima soal fisika yang tersedia. Gambar 3.3 menunjukkan beberapa catatan yang ditulis dan digambar secara bebas oleh peserta saat menyelesaikan soal.



Gambar 3.3. Contoh catatan partisipan

Dalam penelitian ini, peneliti berperan sebagai partisipan-pengamat. Merriam dan Tisdell (2016) berpendapat bahwa "menggunakan metode ini (pengamat sebagai partisipan), peneliti mungkin memiliki akses ke banyak orang dan berbagai informasi, tetapi tingkat informasi yang diungkapkan dikendalikan oleh anggota kelompok yang diselidiki". Adler dan Adler (1998) menyebut metode ini sebagai "peran keanggotaan perifer", yang berbeda dengan memiliki peran keanggotaan aktif. Di sini peran peneliti adalah untuk "mengamati dan berinteraksi cukup dekat dengan anggota untuk membangun identitas orang dalam tanpa berpartisipasi dalam kegiatan yang merupakan inti dari keanggotaan kelompok" (hal. 85). Dengan menjadi anggota kelompok yang dipelajari, dimungkinkan untuk memperoleh akses dan memperoleh informasi yang dapat dipercaya daripada hanya menjadi pengamat yang lengkap (Merriam & Tisdell,

Meskipun partisipasi peneliti dapat memiliki efek, kami mencoba meminimalkan intervensi untuk meminimalkan dorongan wacana interaktif. Kami hanya berdialog pada saat-saat tertentu, misalnya bertanya kepada mereka apakah masalahnya jelas atau tidak jelas, menanggapi pertanyaan peserta terkait dengan masalah yang diberikan, dan menanyakan kesimpulan yang mereka ambil setelah menyelesaikan masalah yang diberikan. Selain itu, untuk memahami pemikiran partisipan, kami juga menggunakan pertanyaan hanya pada saat-saat tertentu selama kegiatan pemecahan masalah fisika, menanyakan apa yang mereka pikirkan tentang sesuatu atau mengapa mereka memikirkan sesuatu? Seperti yang ditunjukkan pada contoh di bawah ini. Gambar 3.4 menunjukkan prosedur pengolahan data dalam penelitian ini.



Gambar 3.4. Prosedur pengumpulan data

D. Analisis data

1. Mengidentifikasi TEs

Sumber data utama untuk analisis dalam penelitian ini adalah transkrip rekaman audio dan video dari masing-masing kelompok selama kegiatan pemecahan masalah fisika. Pengolahan data untuk memilih episode TEs adalah sebagai berikut. Pertama, semua percakapan yang dilakukan partisipan selama menyelesaikan masalah ditranskrip. Kedua, berdasarkan apa yang telah diidentifikasi sebagai TEs

dari transkrip kegiatan pemecahan masalah fisika, rekaman audio dan video ditinjau untuk mengidentifikasi TEs secara rinci. Ketika kami mengidentifikasi wacana yang tampak seperti TEs, kami menonton dan mendengarkan video dengan seksama beberapa kali. Ketiga, episode TEs terpilih pada langkah kedua dicek silang dengan catatan observasi dan catatan partisipan. Proses TEs yang telah ditulis dalam catatan observasi dan catatan yang ditulis dan digambar secara bebas oleh partisipan digunakan untuk mengkonfirmasi episode TEs dalam transkrip rekaman audio dan video. Selain itu, kami memeriksa dengan cermat apakah ada episode TEs yang terlewat dari langkah kedua dengan menonton dan mendengarkan video berulang kali.

Berdasarkan tinjauan literatur, kami mendefinisikan TEs sebagai aktivitas terstruktur untuk memvisualisasikan dunia imajiner di mana eksperimen akan dirancang dan dijalankan di kepala seorang individu, dan kemudian hasil dari pelaksanaan eksperimen tersebut dijelaskan. Oleh karena itu, dalam penelitian ini, ketiga aktivitas tersebut – memvisualisasikan dunia imajiner, melakukan eksperimen, dan mendeskripsikan hasil yang digunakan sebagai indikator TEs. Untuk mengidentifikasi visualisasi TEs, kerangka kerja untuk "indikator pengamatan terkait citra" yang disediakan oleh Clement et al. (2007) dan Clement (2009) digunakan dalam penelitian ini. Indikator-indikator tersebut disajikan pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Daftar indikator pengamatan terkait visualisasi

No	Kategori	Rincian
1	Laporan visualisasi	Subjek mengatakan 'membayangkan', 'melihat', 'merasa', 'anggap itu', 'pikirkan itu' (atau mengalami sensasi lainnya).
2	Gerakan tangan	Subjek menggambarkan objek, gaya, lokasi, atau peristiwa dinamis sambil menggerakkan tangannya.
3	Analogi	Subjek menggunakan analogi pribadi dengan mengacu pada situasi analog yang melibatkan kekuatan tubuh.

Kutipan transkrip berikut adalah contoh bagaimana proses TEs yang dilakukan oleh seorang partisipan terdeteksi.

R	OK. Mari kita mulai dari pertanyaan pertama. . . Sekarang, bayangkan efek yang mungkin dari akumulasi air hujan pada kecepatan troli seperti yang ditunjukkan pada gambar. Bagaimana menurutmu?	1
	[...]	
H1	Jadi, kami pikir tidak ada gaya eksternal dan tidak ada gesekan.	2
H4	Aaa, kekuatan eksternal.	3
H2	Apa efeknya?	4
H1	Itu akan bergerak terus menerus [Tidak akan pernah berhenti bergerak].	5
H2	Tapi ada hujan berarti ada gaya luar, otomatis troli pasti berhenti. Misalnya, <u>¹seandainya kami mendorong troli ini saat hujan [sambil menunjuk gambar troli pada soal yang diberikan]. ²Kami mendorong troli ini ke depan untuk menggelinding di jalan lurus dan hujan turun secara vertikal dan menyimpannya, ³sehingga massa troli ini akan bertambah, sehingga ada gaya eksternal, yang berarti troli akan otomatis berhenti pada waktu tertentu pada kondisi bahwa air hujan sedang dikumpulkan di troli.</u>	6

1 = memvisualisasikan dunia imajiner; 2 = melakukan percobaan; 3 = menjelaskan hasilnya

Dalam kutipan transkrip di atas, kata “seandainya” (baris 6) dikodekan sebagai indikator laporan visualisasi/citra. Ini menunjukkan bahwa H2 mulai memvisualisasikan TEs. Selain menggunakan laporan citra (seandainya), H2 juga menggunakan indikator gerakan tangan. Seperti yang diharapkan, H2 memvisualisasikan mendorong troli dan menunjukkannya dengan meletakkan tangannya di gambar troli pada pertanyaan yang diberikan. Setelah tahap visualisasi, H2 kemudian melakukan eksperimen dalam pikirannya. Pertama, H2 membayangkan mendorong troli ke depan untuk menggelinding di jalan yang lurus. Saat troli menggelinding, hujan turun secara vertikal dan mengenai troli. H2 kemudian mengamati gerak dan kecepatannya di mata pikirannya. Dalam pengamatannya, H2 melihat tetesan air hujan mengenai troli

dan terakumulasi di troli sehingga menyebabkan massa troli bertambah (massa troli + air hujan tertampung).

Dalam contoh ini, seperti yang terlihat, karena H2 melakukan aktivitas terstruktur yang dimulai dari memvisualisasikan dunia imajiner, melakukan eksperimen, dan kemudian mendeskripsikan hasilnya, H2 dianggap melakukan TEs. Kutipan transkrip berikut adalah contoh lain dari TEs dan bukan TEs, yang kami ambil dari kutipan transkrip Grup 1 saat menanggapi Soal 2.

H2	Ooo, itu berarti ilmuwan ada di dalam kotak, dan kotak itu bergerak.	1
H1	Ya, tapi apakah kotaknya bergerak? Jadi, kita bisa berbalik atau terbentur jika kita berjalan.	2
H2	<u>¹Asumsikan kotak itu seperti ruangan ini [menunjukkan ruang laboratorium fisika] yang sedang bergerak dan kita berada di dalamnya. Kami sekarang bergerak tetapi kami tidak sadar jika kami bergerak karena kami tidak dapat melihat ke luar.</u> [...]	3
H4	Oo, ya, <u>coba ingat ²saat kita bepergian dengan kereta api dan menjatuhkan sesuatu. Ketika relnya lurus dan kereta bergerak terus-menerus, ³kereta itu akan jatuh kan? Hal ini mirip dengan itu.</u> [...]	4
H2	Ya benar [H2 setuju dengan H4].	5
H4	Ya, bagaimana menurutmu, H3?	6
H3	Bagi saya, ini [menunjuk kotak yang berputar].	7
H4	Ahh, <u>¹bayangkan ketika kita berada di dalam kereta api dengan kecepatan tinggi dan konstan. Misalnya, di kereta api yang bergerak lurus ke depan dan temboknya gelap [kita tidak bisa melihat ke luar]. Saat itu, kami tidak tahu apakah kami akan pindah atau tidak. ²jika kita menjatuhkan koin ke dalam gelas, ³koin itu pasti akan masuk ke dalam gelas, kan? ¹Jika, misalnya, kita berputar, seperti baling-baling, dan ²kita mencoba menjatuhkan koin [ke dalam gelas], ³maka akan lebih sulit untuk menjatuhkan koin langsung ke dalam gelas, benar?</u>	8
H3	Ya, logikanya seperti itu.	9
H4	Aa, jadi, akan lebih sulit untuk memasukkan koin ke dalam gelas saat kotak berputar daripada saat bergerak lurus ke depan. Oleh karena itu, menurut saya, ilmuwan yang dapat merasakan bahwa dia bergerak adalah yang berada di dalam kotak pemintal.	10

1. = memvisualisasikan dunia imajiner;
2. = melakukan percobaan;
3. = menjelaskan hasilnya

Seperti dapat dilihat, selama Kelompok 2 menyelesaikan Soal 2, H4 melakukan TEs (Baris 8). Pertama, H4 memvisualisasikan dirinya dalam kereta super cepat yang bergerak lurus dengan kecepatan konstan. Dia kemudian melakukan eksperimen dalam pikirannya dengan menjatuhkan koin ke dalam gelas. Dengan menggunakan mata pikirannya, H4 melihat bahwa koin yang dijatuhkannya jatuh tepat di dalam kaca (hasil eksperimen). Dia kemudian membayangkan situasi yang berbeda ketika dia berada di atas baling-baling (sesuatu yang bergerak) dan menjatuhkan koin. Dia kemudian menggambarkan hasil percobaan dengan mengatakan bahwa koin yang dia jatuhkan sangat sulit untuk masuk ke dalam gelas. Berdasarkan contoh tersebut, terlihat jelas bahwa H2 melakukan aktivitas terstruktur yang dimulai dari memvisualisasikan dunia imajiner, kemudian melakukan eksperimen, dan mendeskripsikan hasilnya.

Namun ada beberapa kegiatan yang dilakukan partisipan saat menyelesaikan soal yang dikategorikan bukan TEs. Misalnya, seperti yang terlihat dalam transkrip kutipan di atas, H2 memvisualisasikan dunia imajiner (baris 3) dengan asumsi bahwa kotak tempat ilmuwan itu berada seperti ruang laboratorium fisika, tempat H2 dan mahapartisipan lainnya berada di dalamnya. Kotak itu bergerak, tetapi mereka tidak dapat merasakan jika mereka bergerak karena mereka tidak dapat melihat ke luar. Dalam kegiatan ini, H2 memvisualisasikan dunia imajiner, tetapi tidak diikuti dengan kegiatan eksperimen. Oleh karena itu, aktivitas yang dilakukan oleh H2 bukanlah TEs.

Selanjutnya pada baris 4, H4 mengatakan bahwa ketika kita bepergian dengan kereta api yang bergerak dengan kecepatan konstan di jalan lurus sambil menjatuhkan sesuatu, kita akan melihat bahwa sesuatu yang dijatuhkan akan jatuh. Walaupun dalam kegiatan ini H4 melakukan eksperimen dan mendeskripsikan hasilnya, namun kegiatan ini bukan merupakan TEs karena tidak ada kegiatan

memvisualisasikan dunia imajiner. Kegiatan yang dilakukan oleh H4 ini hanya sebagai pengingat dari kegiatan yang telah dilakukan di masa lalu. Oleh karena itu, dalam penelitian ini, jika peserta hanya melakukan satu atau dua kegiatan yang telah disebutkan sebagai indikator TEs maka dikategorikan bukan TEs.

2. Mengidentifikasi Kolaboratif TEs

Setelah menemukan TEs, kami kemudian mengidentifikasi TEs secara kolaboratif. Seperti yang kami katakan sebelumnya bahwa TEs secara kolaboratif dalam penelitian ini didefinisikan sebagai kegiatan di mana satu atau lebih individu memvisualisasikan dunia imajiner di mana eksperimen akan dirancang dan dihasilkan di laboratorium pikiran mereka sendiri kemudian dibagikan kepada anggota kelompok untuk dijalankan dan dievaluasi sebagai upaya kolektif untuk mencapai kesimpulan. Kolaboratif TEs dimulai dengan satu partisipan menghasilkan eksperimen dalam pikiran kemudian membagikannya dengan anggota kelompok. Anggota kelompok kemudian menjalankan dan mengevaluasi eksperimen, seperti yang disarankan oleh produsernya. Dalam proses evaluasi TEs, semua partisipan terlibat dalam diskusi dengan bertanya dan menjawab pertanyaan, mendukung dan mengklarifikasi argumen, memberikan persamaan, memvalidasi hasil TEs, dan sebagainya. Dalam evaluasi TEs, baik proses maupun hasil akan diperiksa. Proses ini dilakukan terus menerus sampai partisipan mencapai pemahaman bersama dan menemukan bukti kuat untuk mendukung TES mereka. Oleh karena itu, Kolaboratif TEs adalah hasil dari kegiatan kolektif yang dilakukan oleh partisipan dalam membangun TEs.

Kutipan transkrip berikut adalah contoh bagaimana proses TEs kolaboratif yang dilakukan oleh partisipan terdeteksi.

H2	Tapi ada hujan berarti ada gaya luar, otomatis trolis pasti berhenti. Misalnya, ¹ bayangkan kami mendorong trolis ini saat hujan [<u>sambil menunjuk gambar trolis pada soal yang diberikan</u>]. ² Kami mendorong trolis ini ke depan untuk <u>mengelinding di jalan lurus dan hujan turun secara vertikal dan menyimpannya</u> , sehingga ³ massa trolis ini akan bertambah, sehingga ada gaya luar, yang berarti ³ trolis akan otomatis berhenti pada waktu tertentu pada kondisi bahwa air hujan sedang dikumpulkan di trolis. [. . .]	1
H4	Ooo, itu akan berhenti, mengapa?	2
H2	Ya . . . ⁴ Karena jika tidak ada aksi gaya eksternal, itu akan terus bergerak. Tetapi jika, misalnya, ada kekuatan eksternal, itu akan berhenti pada waktu tertentu.	3
H1	Ya, kami setuju [H1 setuju dengan H2] . . . [. . .]	4
H2	$E_k = 1/2mv^2$	5
H1	Karena penambahan massa.	6
H3	Ya, massa bertambah. [. . .]	7
H1	⁴ Kecepatannya berkurang, kan? Karena awalnya massanya kecil dan <u>kecepatannya lebih tinggi, maka massanya bertambah</u> , jadi itu berarti . . .	8
H3	Jadi, 5 itu berpengaruh.	9
H1	⁵ Ya, itu berpengaruh, trolis akan berhenti.	10
H4	⁵ Ya, awalnya mengelinding terus menerus maka ini [<u>menunjukkan trolis</u>] akan diisi air. Sering waktu kecepatan menjadi lebih lambat dan lebih lambat sampai mungkin berhenti.	11

1. = memvisualisasikan dunia imajiner;
2. = melakukan percobaan;
3. = menjelaskan hasilnya;
4. = mengevaluasi percobaan;
5. = menarik kesimpulan

Seperti yang terlihat, setelah H2 menghasilkan TEs (baris 1), ia kemudian membagikan TEs-nya kepada anggota grup sehingga dapat dijalankan dan dievaluasi bersama. Dalam situasi seperti itu, ada proses diskusi lebih lanjut oleh partisipan dalam kelompoknya untuk memoles dan memvalidasi TEs mereka. Selama mengevaluasi TEs, semua partisipan terlibat dalam diskusi dengan bertanya dan menjawab pertanyaan, mendukung dan mengklarifikasi argumen, memberikan persamaan, dan sebagainya. Mereka juga memvalidasi hasil TEs mereka menggunakan beberapa sumber evaluasi. Misalnya, H2 memvalidasi hasil TEs

menggunakan hukum pertama Newton (baris 3), dan H1 menggunakan inferensi konseptual-logis (baris 8). Proses ini dilakukan terus menerus hingga mencapai suatu kesepakatan sebagai kesepakatan bersama (baris 9-11). Singkatnya, karena semua partisipan terlibat aktif dalam menjalankan, memoles, dan memvalidasi TEs hingga mereka menarik kesimpulan sebagai kesepakatan bersama, maka kami menyebut TEs yang dibangun bersama oleh partisipan ini sebagai kolaboratif TEs.

Untuk keandalan analisis dalam penelitian ini dilakukan member checking (Miles & Huberman, 1994; Miles et al., 2014). Setelah pengumpulan data periode pertama selesai, kami dan dua pakar pendidikan sains lainnya secara rekursif mengkategorikan proses TEs dari 9 kegiatan pemecahan masalah fisika. Sebagai langkah pertama, kami mengidentifikasi dan mengkodekan TEs yang muncul dalam transkrip rekaman audio dan video dari masing-masing kelompok selama kegiatan pemecahan masalah fisika. Sebagai langkah kedua, kami mengundang dua peneliti pendidikan sains untuk secara terpisah mengidentifikasi TEs dalam transkrip rekaman audio dan video. Sebelum dicek, kami jelaskan dulu arti dari TEs, contoh TEs ilmuwan, dan indikator TEs yang digunakan dalam penelitian ini. Selama diskusi, wacana dianalisis lebih lanjut dengan menonton video bersama dengan transkrip rekaman audio dan video, catatan partisipan, dan catatan observasi oleh peneliti untuk keandalan yang lebih baik. Kami mendiskusikan wacana tersebut hingga mencapai kesepakatan sekitar 95% dalam mengklasifikasikan langkah-langkah kolaboratif TEs. Kami juga memberikan kesempatan kepada partisipan untuk memeriksa apakah interpretasi terdistorsi atau tidak untuk meningkatkan keandalan analisis data.

3. Pengkodean untuk langkah-langkah kolaboratif TEs

Pengkodean adalah "deep reflection about and, thus, deep analysis and interpretation of the data's meanings" (Miles et al., 2014, hlm. 79). Saldaña (2015), dalam bukunya yang berjudul "The Coding Manual for Qualitative Researchers", membagi pengkodean menjadi dua tahap utama: siklus pertama dan siklus kedua. Dia berpendapat bahwa pengkodean siklus pertama adalah cara untuk meringkas segmen data pada awalnya, sedangkan pengkodean siklus kedua adalah cara mengelompokkan ringkasan data tersebut ke dalam kategori atau tema.

Dalam penelitian ini, langkah-langkah TEs secara kolaboratif dianalisis menggunakan pengkodean deduktif. Miles dkk. (2014) berpendapat bahwa pengkodean deduktif adalah metode yang mengembangkan "daftar awal" kode sebelum kerja lapangan, yang diturunkan dari kerangka konseptual atau variabel kunci yang peneliti bawa ke penelitian. Menurut Reiner (1998), ada lima tahapan dalam melakukan TEs: (a) konstruksi dunia imajiner, (b) hipotesis, (c) eksperimen, (d) hasil, dan (e) kesimpulan. Brown (2006) juga berpendapat bahwa TEs dilakukan di laboratorium pikiran dan memiliki setidaknya tiga langkah: (a) memvisualisasikan situasi, (b) melakukan eksperimen, dan (c) menggambarkan hasilnya. Oleh karena itu, dalam studi ini, langkah-langkah pelaksanaan TE yang diusulkan oleh Reiner (1998) dan Brown (2006) digunakan sebagai kerangka kerja konseptual untuk mengkodekan langkah-langkah TE kolaboratif.

Namun, ketika menganalisis lebih banyak data, kami menemukan ada kategori langkah TEs yang diusulkan oleh Reiner (1998) yang tidak solid. Selain itu, kami juga menemukan kategori baru yang kami anggap sebagai bagian dari langkah TEs. Saat kami melangkah lebih jauh dalam analisis data, kami menemukan tren pola langkah TEs yang sedikit berbeda dari tinjauan literatur. Saat kami mendekati akhir studi saya, di mana tidak ada hal baru yang ditemukan,

kami kemudian fokus untuk menemukan lebih banyak bukti untuk mendukung rangkaian kategori terakhir yang kami temukan. Akibatnya, lima kategori dikelompokkan secara deduktif sebagai langkah-langkah TEs kolaboratif: memvisualisasikan dunia imajiner, eksperimen kinerja, menggambarkan hasil, berbagi dan mengevaluasi eksperimen, dan menarik kesimpulan. Tabel 3.5 berikut adalah contoh bagaimana kami mengkodekan langkah-langkah TEs secara kolaboratif.

Tabel. 3.5 Contoh pengkodean langkah-langkah kolaboratif TEs

	Data mentah dari transkripsi	Kode	Kategori
	Bagian transkripsi Kelompok 3 pada Soal 2]		
H2	Tapi ada hujan berarti ada gaya luar, otomatis troli pasti berhenti. Sebagai contoh, ¹ kami <u>bayangkan mendorong troli ini saat hujan [sambil ²menunjukkan gambar troli pada soal yang diberikan]. ³Kami mendorong troli ini ke depan untuk menggelinding di jalan lurus dan hujan turun secara vertikal dan menyimpannya, sehingga ⁴massa troli ini akan bertambah, sehingga ada gaya luar, ⁵yang berarti troli akan otomatis berhenti pada waktu tertentu pada kondisi bahwa air hujan sedang dikumpulkan di troli. [...]</u>	¹ visualisasi (laporan citra) ² visualisasi (gerakan tangan) ³ kegiatan percobaan ⁴ hasil percobaan ⁵ hasil percobaan ⁶ evaluasi	¹ memvisualisasikan dunia imajiner ² melakukan eksperimen ³ menggambarkan hasil ⁴ berbagi dan mengevaluasi eksperimen ⁵ Menarik kesimpulan
H4	Ooo, itu akan berhenti, mengapa?		
H2	Ya, ⁶ Karena jika tidak ada aksi gaya eksternal, itu akan terus bergerak. Tetapi jika, misalnya, ada kekuatan eksternal, itu		

	<u>akan berhenti pada waktu tertentu.</u>	
H1	Ya, kami setuju [H1 setuju dengan H2] . . .	
H1	Karena penambahan massa.	
H3	Ya, massa bertambah. [. . .]	
H1	⁷ <u>Kecepatannya berkurang, kan? Karena awalnya massanya kecil dan kecepatannya lebih tinggi, maka massanya bertambah, jadi itu berarti . . .</u>	⁷ evaluasi
H3	Jadi, ⁸ itu berpengaruh.	⁸ kesimpulan
H1	⁹ <u>Ya, itu berpengaruh, troli akan berhenti.</u>	⁹ kesimpulan
H4	¹⁰ <u>Ya, pada awalnya berguling terus menerus kemudian ini [menunjukkan troli] akan diisi air. Seiring waktu kecepatan menjadi lebih lambat dan lebih lambat, sampai mungkin berhenti.</u>	¹⁰ kesimpulan

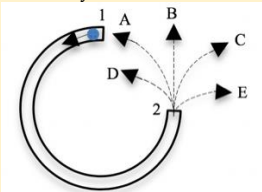
4. Pengkodean untuk tujuan dan sumber evaluasi TES

Setelah mengidentifikasi, mendiskusikan, dan menentukan langkah-langkah TES kolaboratif, tujuan dan sumber evaluasi TES kemudian dianalisis. Beberapa literatur terkait berpendapat bahwa para ilmuwan menggunakan TES untuk mengkonfirmasi atau menyangkal beberapa teori, postulat, atau asumsi (Reiner & Gilbert, 2000; Gendler, 2004). TES adalah perangkat logis dalam pikiran kita untuk mengembangkan, mengklarifikasi, dan mengkritik konsepsi teoretis (Galili, 2009). Serupa dengan itu, Stephens dan Clement (2012) berpendapat bahwa TES adalah kegiatan yang dapat digunakan untuk mengevaluasi konsep, model, dan teori ilmiah dan bahkan untuk memprediksi aspek sistem yang konkret. Oleh karena itu, dalam penelitian ini, tujuan melakukan TES dianalisis secara mandiri dengan

mempertimbangkan tujuan TES ilmuwan, seperti yang dijelaskan oleh para peneliti di atas.

Pertama, kami menemukan TES yang dilakukan oleh partisipan dalam transkrip kegiatan pemecahan masalah. Setelah itu, kami fokus untuk mengidentifikasi tujuan partisipan dalam melakukan TES. Prosedur analisis data dimulai dengan pengkodean siklus pertama untuk meringkas segmen data dalam transkripsi awal, seperti yang disarankan oleh Saldana (2015). Kode-kode tersebut kemudian kami kelompokkan pada pengkodean siklus pertama yang sepertinya memiliki kategori yang sama. Ketika kami bergerak lebih jauh dalam analisis dan tidak menemukan hal baru, kami kemudian fokus untuk menemukan lebih banyak bukti untuk mendukung rangkaian kategori terakhir yang kami temukan. Akibatnya, tiga kategori dikelompokkan secara deduktif sebagai tujuan partisipan dalam melakukan TES: prediksi, verifikasi, dan penjelasan. Tabel 3.6 menunjukkan bagaimana kami menganalisis tujuan partisipan melakukan TES. Kalimat yang dicetak miring pada tabel menunjukkan TES.

Tabel 3.6. Contoh pengkodean untuk tujuan TES

Data mentah dari transkripsi	Kode	Kategori
[Bagian transkripsi Kelompok 2 pada Soal 3]		
R . . . Misalkan ada saluran setengah lingkaran yang telah terpasang dengan aman, pada bidang horizontal. Sebuah bola memasuki saluran pada 1 dan keluar pada 2. Jadi, representasi jalur mana yang paling sesuai dengan jalur bola setelahnya keluar di titik 2?		Untuk memberikan penjelasan atas hipotesis atau asumsi
		

M1	¹ <u>kami pikir B</u>	Hipot esis
M4	Ya, B	
R	Mengapa?	
M1	² <u>Karena vektor kecepatan. . . Berdasarkan pengalaman saat belajar fisika, ³jika misalnya bola digantung dan berputar ke _____ atas _____ [sambil mendemonstrasikan dengan tangannya] kemudian tiba-tiba dilepaskan; ternyata bolanya mengarah ke luar, seperti B.</u>	² Aasan menganpa ³ TEs

Analisis sumber evaluasi yang digunakan oleh partisipan yang membatalkan hasil TEs mereka juga menggunakan pengkodean deduktif. Reiner dan Gilbert (2000) menyatakan bahwa TEs menggunakan tiga sumber epistemologis: kesimpulan konseptual-logis, citra visual, dan pengalaman motorik-tubuh. Kösem dan Ozdemir (2014) berpendapat bahwa ada tiga sumber yang digunakan oleh partisipan selama proses TEs: fakta yang diamati/dialami, prinsip intuitif, dan teori ilmiah. Beberapa peneliti (misalnya, Fournier, 1995; Schwandt, 1997) telah menekankan penggunaan logika umum dalam mengevaluasi argumen atau asumsi yang terjadi dalam pembelajaran kolaboratif. Menurut Fournier (1995), logika umum mencakup semua bidang dalam evaluasi, yang merupakan penalaran dasar yang secara khusus menentukan makna kegiatan.

Oleh karena itu, dalam penelitian ini, setiap momen evaluasi yang diidentifikasi selama partisipan mengevaluasi TEs mereka dianalisis secara independen sambil mempertimbangkan sumber evaluasi yang disajikan oleh peneliti ((Reiner & Gilbert, 2000; Fournier, 1995; Schwandt, 1997; Kösem & Ozdemir, 2014). Akibatnya, empat kategori inti dikelompokkan secara deduktif sebagai sumber evaluasi TEs: pemahaman konseptual, pengalaman masa lalu, penalaran logis, dan kesimpulan konseptual-logis. Tabel 3.7 menunjukkan bagaimana kami menganalisis sumber evaluasi yang digunakan oleh partisipan yang membatalkan

TEs mereka. Kalimat yang dicetak miring pada tabel menunjukkan TEs.

Table 4.7 Contoh pengkodean untuk sumber evaluasi TEs

Data mentah dari transkripsi	Kode	Kategori
[Bagian transkripsi Kelompok 1 pada Soal 1]		
H2 . . . misalkan kami mendorong troli ini saat hujan [sambil menunjuk gambar troli pada soal yang diberikan]. Troli ini kami dorong ke depan untuk menggelinding di jalan lurus dan hujan turun secara vertikal dan menyimpannya, sehingga massa troli ini akan bertambah, sehingga ada gaya luar, ini berarti troli akan otomatis berhenti pada waktu tertentu pada kondisi bahwa air hujan sedang dikumpulkan di troli. [. . .]		Pemahaman konseptual
H4 Ooo, itu akan berhenti, mengapa?		
H2 Ya . . . Karena <u>1jika tidak ada aksi gaya eksternal, ia akan terus bergerak. Tetapi jika, misalnya, ada kekuatan eksternal, itu akan berhenti pada waktu tertentu.</u>	1Hukum pertama Newton	
[Bagian transkripsi Kelompok 2 pada Soal 3]		
M1 Karena vektor kecepatan. . . Berdasarkan pengalaman ketika belajar fisika, jika misalnya bola digantung dan berputar ke atas [sambil mendemonstrasikan dengan tangannya] maka tiba-tiba dilepaskan; ternyata bolanya mengarah ke luar, seperti B. [. . .]		
M2 Ya, <u>2arah kecepatan selalu seperti itu. Arahnya selalu tegak lurus terhadap percepatan radial. 3Itu dapat bergerak dalam gerakan melingkar karena ada gaya yang diberikan, gaya sentripetal, tetapi, 4vektor kecepatannya selalu menunjuk ke arah gerak.</u> Seperti ini	2Konsep gaya sentripetal 3,4Konsep gerak melingkar	

BAB 4

PROSES THOUGHT EXPERIMENTS

Bab ini bertujuan untuk menyelidiki proses TEs kolaboratif selama kegiatan pemecahan masalah fisika. Sebelum menelusuri prosesnya, kami terlebih dahulu menjelaskan pengertian TEs secara kolaboratif berdasarkan hasil penelitian ini. Pertanyaan-pertanyaan berikut yang digunakan untuk memandu analisis dan diskusi pada bab ini adalah (1) apa arti dari TEs secara kolaboratif? dan (2) Apa saja langkah-langkah TEs secara kolaboratif? Apa yang kami temukan di bab ini adalah saat memecahkan masalah fisika, partisipan membangun, berbagi, dan mengevaluasi TEs. Ini menunjukkan bahwa TEs dapat dirancang dan dibangun dalam konteks kolaboratif, meskipun TEs sebagian besar bersifat individual. Kami menyebut kolaboratif TEs sebagai kegiatan memvisualisasikan dunia imajiner di mana eksperimen dirancang dan dihasilkan oleh satu atau lebih individu di laboratorium pikiran mereka kemudian dibagikan dengan anggota kelompok untuk dijalankan dan dievaluasi bersama sebagai upaya kolektif untuk mencapai kesimpulan. Dalam proses membangun TEs kolaboratif, partisipan melakukan lima kegiatan: memvisualisasikan dunia imajiner, melakukan eksperimen, mendeskripsikan hasil, berbagi dan mengevaluasi eksperimen, dan menarik kesimpulan. Kami menyebut kegiatan ini sebagai langkah-langkah TEs secara kolaboratif. Langkah-langkah TEs yang diperoleh dalam penelitian ini sedikit berbeda dari langkah TEs yang diusulkan oleh Reiner (1998) dan Brown (2006).

A. Arti dari kolaboratif TEs

1. TEs sebagai alat untuk pemecahan masalah

Berdasarkan analisis data, saat memecahkan masalah fisika, semua partisipan melakukan TEs, setidaknya sekali. Semua kelompok – terlepas dari latar belakang pendidikan anggotanya – mampu melakukan eksperimen dalam pikirannya. Seperti terlihat pada Tabel 4.1, jumlah TEs yang

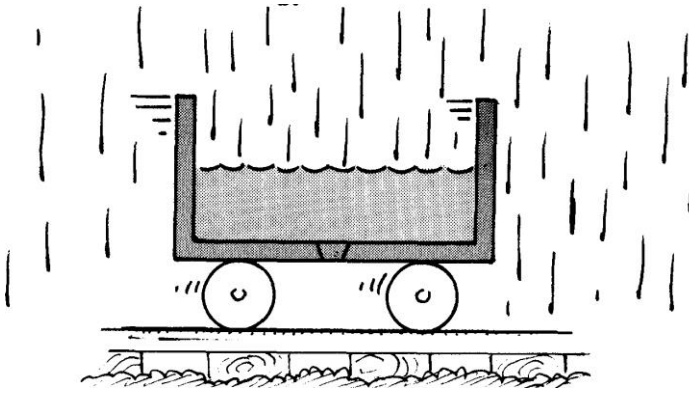
dilakukan oleh partisipan tidak jauh berbeda antar kelompok. Jumlah TEs yang dilakukan oleh kelompok 1 berjumlah delapan, sedangkan kelompok 2 dan kelompok 3 masing-masing tampil sebanyak tujuh dan sembilan kali.

Tabel 4.1 Distribusi frekuensi penggunaan TEs saat memecahkan masalah fisika

Grup	Masalah (P)					Total
	P1	P2	P3	P4	P5	
Grup 1	*	***	*	*	**	8
Grup 2	*	**	*	**	*	7
Grup 3	*	***	**	*	**	9

TEs terjadi secara tiba-tiba sebagai reaksi terhadap masalah yang dihadapi partisipan. Jika suatu masalah merangsang partisipan untuk melakukan TEs, partisipan melakukan sebanyak mungkin. Tabel 4.1 menunjukkan bahwa untuk masalah pertama, hanya satu TEs yang dihasilkan oleh setiap kelompok, sedangkan untuk masalah kedua, kelompok 1 dan 3 masing-masing menghasilkan tiga TEs, dan kelompok 2 menghasilkan dua TEs. Tidak seperti eksperimen nyata, TEs diproduksi oleh partisipan secara spontan dan tanpa rencana, preseden, dan desain yang elegan sebelumnya. Ini mungkin menunjukkan bahwa TEs adalah proses alami dalam pembelajaran fisika dalam arti bahwa karena terjadi secara tiba-tiba sebagai reaksi terhadap suatu masalah, mereka tidak memerlukan desain apriori.

Berikut ini adalah contoh TEs yang terjadi saat partisipan sedang menyelesaikan suatu masalah. Cuplikan transkrip diambil dari transkrip sesi pemecahan masalah di Kelompok 1 mengerjakan Soal 1, menanyakan kemungkinan efek pengumpulan hujan di troli saat troli bergerak seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Ilustrasi Soal 1

R	OK. Mari kita mulai dari pertanyaan pertama. . . Sekarang, bayangkan kemungkinan efek dari akumulasi air hujan pada kecepatan troli seperti yang ditunjukkan pada gambar [Gambar 4.1]. Bagaimana menurutmu?	1
H4	Apakah jalurnya lurus?	2
H1	Apakah didorong seperti ini [sambil mendorong ponsel]?	3
R	Ya, jalannya adalah garis lurus. Ya, itu didorong. [. . .]	4
H1	Jadi, kami pikir tidak ada gaya eksternal dan tidak ada gesekan.	5
H4	Aaa, kekuatan eksternal.	6
H2	Apa efeknya?	7
H1	Itu akan bergerak terus menerus [Tidak akan pernah berhenti bergerak].	8
H2	Tapi ada hujan berarti ada gaya luar, otomatis troli pasti berhenti. Sebagai contoh, <u>misalkan bayangkan kami mendorong troli ini saat hujan [sambil menunjuk gambar troli pada soal yang diberikan]. Troli ini kami dorong ke depan untuk menggelinding di jalan yang lurus dan hujan turun secara vertikal dan menyimpannya, sehingga massa troli ini akan bertambah, sehingga ada gaya luar yang berarti troli akan otomatis berhenti pada waktu tertentu pada kondisi bahwa air hujan sedang dikumpulkan di troli.</u>	9

Seperti terlihat pada transkrip di atas, sebelum H2 mulai melakukan TEs, partisipan terlebih dahulu melibatkan diri secara aktif dalam memahami masalah. Pada awal wacana, H1 dan H4 meminta peneliti untuk mengklarifikasi masalah (baris 2-3). Setelah itu, H1 mengasumsikan bahwa tidak ada gaya luar maupun gaya gesekan yang bekerja pada troli (baris 5). H4 mendukung asumsi yang dibangun oleh H1 dengan mengatakan, "Aaa, gaya luar" (baris 6). Namun, H2

bertanya pada H1 dan H3 apa pengaruh gaya luar. H1 kemudian menjawab bahwa tidak adanya kekuatan eksternal akan memungkinkan troli bergerak terus menerus (Jalur 7-8). Dengan kata lain, H1 mengasumsikan bahwa tidak ada pengaruh akumulasi air hujan terhadap kecepatan troli. Tibatiba, H2 menolak asumsi yang dibangun oleh H1 dan H3, mengatakan bahwa hujan menimpa troli, artinya ada gaya luar yang bekerja pada troli (baris 9). Karena gaya luar yang bekerja pada troli, troli tidak akan bergerak terus menerus, tetapi akan berhenti pada waktu tertentu. H2 kemudian mulai memvisualisasikan TES untuk menjelaskan asumsinya.

Kata-kata “bayangkan” (baris 9) diberi kode sebagai indikator visualisasi. Ini menunjukkan bahwa H2 mulai memvisualisasikan TES. Selain menggunakan laporan citra (bayangkan), H2 juga menggunakan indikator gerakan tangan. Seperti yang diharapkan, dia memvisualisasikan mendorong troli dan menunjukkannya dengan meletakkan salah satu tangannya pada gambar troli pada masalah yang diberikan. Setelah tahap visualisasi, H2 kemudian melakukan eksperimen dalam pikirannya. Pertama, dia membayangkan mendorong troli ke depan untuk menggelinding di jalan yang lurus. Saat troli menggelinding, hujan turun secara vertikal dan mengenai troli. Dia kemudian mengamati gerakan dan kecepatannya di mata pikirannya. Dalam pengamatannya, H2 melihat tetesan air hujan mengenai troli dan terakumulasi di troli sehingga menyebabkan massa troli bertambah (massa troli + air hujan tertampung). H2 kemudian menjelaskan hasil TES-nya bahwa massa troli akan bertambah dan akan berhenti pada waktu tertentu. Kegiatan ini menunjukkan bahwa H2 melakukan TES dengan melakukan kegiatan terstruktur, mulai dari memvisualisasikan dunia imajiner, melakukan eksperimen, dan kemudian mendeskripsikan hasilnya.

Saat menyelesaikan Soal 1, Kelompok 2 juga melakukan TEs yang berbeda dengan TEs Kelompok 1, padahal kedua TEs tersebut digunakan untuk membuktikan bahwa air hujan berpengaruh terhadap kecepatan troli. Berikut ini adalah TEs Kelompok 2 yang kami ambil dari kutipan transkrip Kelompok 2 saat menjawab Soal 1.

R . . . OK. Kita mulai dari pertanyaan pertama [peneliti membaca 1 masalah]. Menurut Anda, apakah ada pengaruh air hujan terhadap kecepatan troli? [. . .]

M3 Jadi, bagaimana ini? [sambil menunjuk masalah yang diberikan] 2

M2 Menurut pendapat saya, kecepatan troli akan terpengaruh. 3
 Cobalah untuk mengingat ketika kita masih anak-anak; kami sering bermain dengan mobil mainan. Sekarang, bayangkan jika mobil mainan diluncurkan pada bidang miring. Jika kami menggulung troli ini, anggap mobil mainan [menunjuk gambar troli pada masalah yang diberikan], maka itu akan meluncur ke bawah, bukan? Namun kecepatannya rendah jika dibandingkan dengan mobil yang dipenuhi batu, misalnya. Jadi, mobil mainan yang diisi dengan batu akan meluncur lebih cepat daripada yang tidak diisi, bukan?

Seperti dapat dilihat, kata-kata “bayangkan jika” (baris 3) diberi kode sebagai indikator visualisasi. Ini menunjukkan bahwa M2 mulai memvisualisasikan TEs. Selain menggunakan laporan citra (bayangkan jika), M2 juga menggunakan indikator gerakan tangan. Seperti yang diharapkan, dia memvisualisasikan meluncurkan mobil mainan di bidang miring. Setelah langkah visualisasi, M2 kemudian melakukan eksperimen dalam pikirannya. Pertama, dia membayangkan meluncurkan mobil mainan pada bidang miring. Saat mobil mainan itu bergerak turun, dia kemudian mengamati gerakan dan kecepatannya di mata pikirannya. M2 kemudian mengisi mobil mainan dengan batu dan meluncurkannya kembali sambil mengamati gerak dan kecepatannya. Setelah melakukan percobaan, M2 kemudian menjelaskan hasil TEs-nya bahwa mobil mainan yang diisi batu akan meluncur lebih cepat daripada yang tidak diisi batu. Karena H2 melakukan kegiatan terstruktur,

2. Kolaboratif TES sebagai konstruksi sosial pengetahuan

TES adalah proses eksperimen pribadi dan diam-diam yang dilakukan para ilmuwan dalam citra mereka sendiri dalam merumuskan teori baru atau menyangkal teori yang ada. Misalnya, Einstein merancang, menjalankan, dan mengevaluasi TES tentang magnet dan konduktor dalam mengembangkan teori relativitas secara sendiri (Einstein, 1905). Namun, dengan melihat pembelajaran sebagai proses sosial, penelitian ini berusaha untuk menguji apakah TES dapat dibagikan dan dikomunikasikan dalam pembelajaran kelompok.

Analisis data menunjukkan bahwa saat memecahkan masalah fisika, partisipan tidak hanya membuat TES tetapi juga berbagi dan mengevaluasi TES mereka dalam kerja kelompok. Ini menunjukkan bahwa TES dapat dirancang dan dibangun dalam pengaturan kolaboratif bahkan TES adalah kegiatan individu oleh para ilmuwan. Ketika partisipan diberi kesempatan untuk bekerja sama memecahkan masalah yang bermakna, mereka melakukan TES dan membaginya dengan anggota kelompoknya untuk dipoles dan divalidasi sebagai upaya kolektif untuk mencapai saling pengertian. Berikut ini adalah contoh TES kolaboratif yang diambil dari transkrip sesi pemecahan masalah di Kelompok 1 mengerjakan Soal 1 (lihat Gambar 4.1).

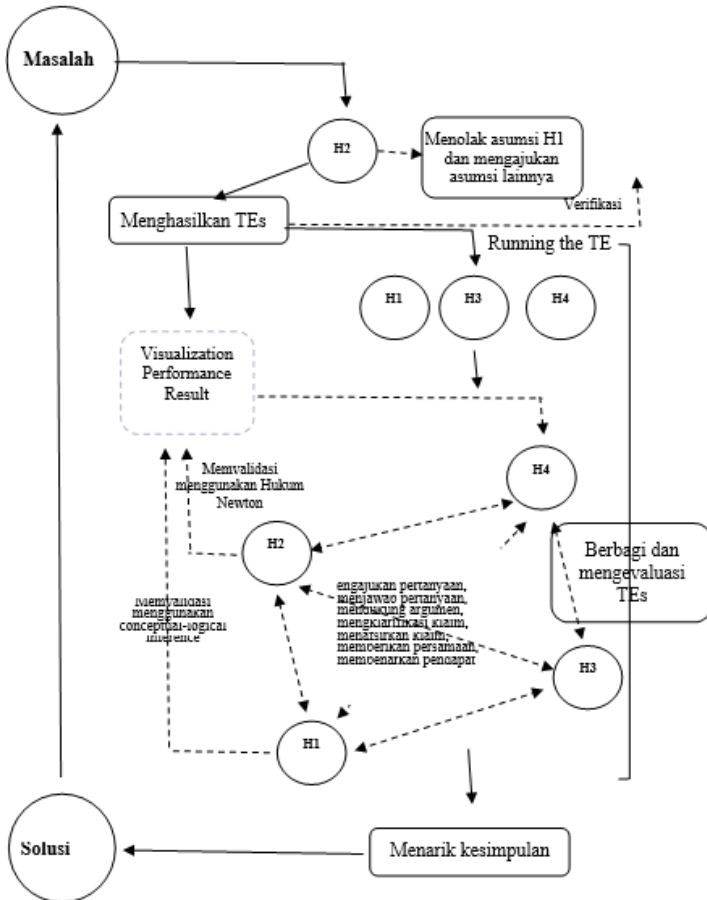
H2	Tapi ada hujan berarti ada gaya luar, otomatis troli pasti berhenti. Sebagai contoh, <u>misalkan bayangkan kami mendorong troli ini saat hujan [sambil menunjuk gambar troli pada soal yang diberikan]. Troli ini kami dorong ke depan untuk menggelinding di jalan yang lurus dan hujan turun secara vertikal dan menyimpannya, sehingga massa troli ini akan bertambah, sehingga ada gaya luar yang berarti troli akan otomatis berhenti pada waktu tertentu pada kondisi bahwa air hujan sedang dikumpulkan di troli.</u>	1
	[. . .]	
H4	Ooo, itu akan berhenti, mengapa?	2
H2	Ya . . . <u>Karena jika tidak ada aksi gaya eksternal, ia akan terus bergerak. Tetapi jika, misalnya, ada kekuatan eksternal, itu akan berhenti pada waktu tertentu.</u>	3
H1	Ya, kami setuju [H1 setuju dengan H2] . . .	4

H3	Berhenti? [H3 bertanya H2]	5
H2	Ya. Ini akan berhenti. Seiring waktu, pasti. [...]	6
H1	Tunggu, pertanyaannya di sini apakah hujan yang terkumpul akan mempengaruhi gerak trolis?	7
H2	Ini akan mempengaruhinya. Jika, misalnya, massa bertambah, kecepatannya berkurang. . . Itulah efeknya. [...]	8
H4	Tunggu, jika memaksa, bukan, energi kinetik [sambil menulis rumus]	9
H2	$E_k = 1/2mv^2$	10
H1	Karena pertambahan massa.	11
H3	Ya, massa bertambah. [...]	12
H1	<u>Kecepatannya berkurang, kan? Karena awalnya massanya kecil dan kecepatannya lebih tinggi, maka massanya bertambah, jadi itu berarti . . .</u>	13
H3	Jadi, ada efeknya.	14
H1	<u>Ya, itu berpengaruh, trolis akan berhenti.</u>	15
H4	<u>Ya, pada awalnya berguling terus menerus kemudian ini [menunjukkan trolis] akan diisi air. Seiring waktu kecepatan menjadi lebih lambat dan lebih lambat sampai mungkin berhenti.</u>	16
H2	<u>Ya, trolis akan menjadi lebih lambat dan akan berhenti.</u>	17
H1	<u>Itu benar.</u>	18

Seperti dapat dilihat pada transkrip di atas, saat menyelesaikan soal 1, H2 melakukan TEs (baris 1). Kata-kata “bayangkan” dikodekan sebagai indikator visualisasi yang menunjukkan bahwa H2 mulai memvisualisasikan TEs. Setelah melakukan TEs, H2 kemudian membagikan TEs-nya kepada anggota kelompok agar bisa dijalankan dan dievaluasi bersama. Selama evaluasi TEs, semua partisipan terlibat dalam diskusi dengan bertanya dan menjawab pertanyaan, mendukung dan mengklarifikasi argumen, memberikan persamaan, dan sebagainya (baris 2-13). Mereka juga memvalidasi hasil TEs mereka menggunakan beberapa sumber evaluasi. Misalnya, H2 memvalidasi hasil TEs menggunakan hukum Newton pertama (baris 3), dan H1 menggunakan inferensi konseptual-logis (baris 13). Proses ini dilakukan terus menerus hingga mencapai suatu kesepakatan sebagai kesepakatan bersama (Baris 14-18). Singkatnya, karena semua partisipan terlibat aktif dalam menjalankan, memoles, dan memvalidasi TEs pertama hingga mereka menarik kesimpulan sebagai kesepakatan

bersama, kami menyebut TEs yang dibangun bersama oleh partisipan ini sebagai kolaboratif TEs.

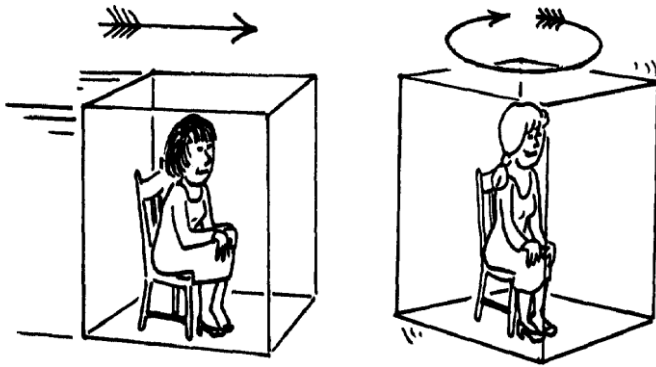
Gambar 4.2 menunjukkan ilustrasi kolaboratif TEs yang terjadi ketika Kelompok 1 menanggapi Soal 1. Seperti dapat dilihat, TEs secara kolaboratif dimulai dengan satu partisipan menghasilkan eksperimen dalam pikiran kemudian membagikannya dengan anggota kelompok. Anggota kelompok kemudian menjalankan dan mengevaluasi TEs, seperti yang disarankan oleh produsernya. Dalam proses evaluasi TEs, semua partisipan terlibat dalam diskusi dengan bertanya dan menjawab pertanyaan, mendukung dan mengklarifikasi argumen, memberikan persamaan, memvalidasi hasil TEs, dan sebagainya. Proses ini dilakukan terus menerus hingga mereka mencapai saling pengertian dan menemukan bukti kuat untuk mendukung TEs mereka.



Gambar 4.2 Ilustrasi kolaboratif TEs oleh Kelompok 1 pada Soal 1

Saat memecahkan masalah fisika, partisipan juga memiliki kemungkinan melakukan lebih dari satu TEs seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.1. Hal ini dikarenakan TEs yang telah dihasilkan oleh seorang partisipan dibagikan kepada anggota kelompok untuk dijalankan dan dievaluasi bersama. Dalam evaluasi TEs, baik proses maupun hasil akan diperiksa. Bahkan, ketika mereka gagal memberikan bukti

TEs yang dihasilkan, mereka tidak segan-segan mendesain ulang TEs baru. partisipan melakukan kegiatan evaluasi ini secara terus menerus sampai mereka mendapatkan bukti yang kuat untuk mendukung kebenaran TEs mereka. Alasan lain mengapa partisipan melakukan lebih dari satu TEs saat menyelesaikan masalah fisika adalah untuk mendukung TEs yang sedang dievaluasi sehingga mereka mendapatkan bukti yang kuat untuk mendukung argumen mereka. Potongan transkrip di bawah ini adalah contoh yang menunjukkan tiga TEs yang terjadi ketika partisipan memecahkan masalah.



Gambar 5.3. Ilustrasi Soal 2

- R Sekarang. Kami pindah ke masalah kedua [peneliti kemudian 1
membaca pertanyaan]. Jadi, ilmuwan mana yang bisa merasakan
bahwa dia bergerak? Apakah ilmuwan di dalam kotak yang
bergerak lurus atau yang berada di dalam kotak yang berputar?
[...]
- H2 Contohnya seperti kasus ini, kami coba berimajinasi [sambil 2
memegang keningnya], mungkin kasus ini serupa, ketika kami
berada di dalam mobil yang bergerak lurus ke depan kemudian
kami menjatuhkan pena ke dalam gelas, jadi kita akan melihat
pena itu akan bergerak ke bawah.



- H4 Tapi bagaimana seseorang di luar mobil melihat situasinya? 3
- H2 Orang yang berada di luar mobil akan melihat hal ini secara 4
berbeda.
- H1 Tapi ada gravitasi di sana. Situasi ini akan berbeda jika tidak ada 5
gravitasi. Mungkin yang dimaksud H4 adalah gerak semu.
- H2 Apa artinya? [gerakan nyata] 6
- H1 Saat kita berada di dalam mobil, kita bisa melihat pepohonan di 7
pinggir jalan seolah-olah bergerak, sebenarnya kitalah yang
bergerak. Disebut gerak semu.
- H2 Jadi di sini [menunjuk pertanyaan]: Yang mana yang merasa dia 8
bergerak?
[. . .]
- H1 Oke. Misalkan, jika kami berada di dalam kotak yang bergerak 9
lurus ke depan, kemudian kami menjatuhkan koin atau pena,
dan tidak ada gravitasi, maka jika kami bergerak maju, pena
yang kami jatuhkan akan tertinggal.



- H4 Ya, itu akan terjadi jika tidak ada gravitasi. Bagaimana jika 10
gravitasi itu ada? Koin akan masuk ke gelas, kan?
- P [Semua peserta diam sambil berpikir]. 11
- H1 Selama kecepatan [kotak] konstan 12
- H4 Oo, ya, ingat ketika kami bepergian dengan kereta api dan 13
menjatuhkan sesuatu. Ketika relnya lurus dan kereta bergerak
terus-menerus, kereta itu akan jatuh. bukan? Hal ini mirip
dengan itu.
- H2 Jadi, kami pikir ilmuwan di kotak berputar akan merasakan jika 14
dia bergerak karena jika kita menjatuhkan pena.
- H3 Ya, pena akan jatuh secara acak [tidak akan jatuh lurus ke 15
bawah].
[. . .]
- H4 Ahh, bayangkan ketika kita berada di dalam kereta api dengan 16
kecepatan tinggi dan konstan. Misalnya, di kereta api yang
bergerak lurus ke depan dan temboknya gelap [kita tidak bisa
melihat ke luar]. Saat itu, kami tidak tahu apakah kami akan
pindah atau tidak. Jika kita menjatuhkan koin ke dalam gelas,

	koin itu pasti akan masuk ke dalam gelas, kan? Kalau misalnya kita sedang berputar, seperti baling-baling, dan kita mencoba menjatuhkan sebuah koin [ke dalam gelas], maka akan lebih sulit untuk menjatuhkan koin itu langsung ke dalam gelas, bukan?	
H3	Ya, logikanya seperti itu.	17
H4	Aa, jadi, akan lebih sulit untuk memasukkan koin ke dalam gelas saat kotak berputar daripada saat bergerak lurus ke depan. Oleh karena itu, menurut saya, ilmuwan yang dapat merasakan bahwa dia bergerak adalah yang berada di dalam kotak pemintal.	18
H2	Ya, kami pikir begitu.	19
R	Bagaimana denganmu, H1?	20
H1	Ya, kami setuju dengan mereka (sambil tersenyum).	21

Seperti yang terlihat pada transkrip di atas, saat menyelesaikan Soal 2, Kelompok 1 melakukan 3 TEs (baris 2, 9 dan 20). Kata-kata “coba berimajinasi” (baris 2) diberi kode sebagai indikator visualisasi, yang menunjukkan bahwa H2 mulai memvisualisasikan TE. Seperti yang diharapkan, dia memvisualisasikan dirinya di dalam mobil yang bergerak lurus ke depan. Dia kemudian melakukan eksperimen dalam pikirannya dan menggambarkan hasilnya (baris 2). Dengan menggunakan mata pikirannya, H2 melihat bahwa pena yang dijatuhkannya saat mobil bergerak lurus ke depan akan masuk tepat ke dalam kaca. H2 kemudian membagikan TEnya kepada anggota kelompok agar bisa dijalankan dan dievaluasi bersama.

Namun, dalam proses evaluasi TEs, H2 tidak memiliki bukti yang mendukung pernyataan bahwa pena yang dijatuhkannya ke dalam mobil akan jatuh ke bawah. Ketika H1 membantahnya dengan menyatakan bahwa ada gravitasi di sana (baris 5), H2 tidak memiliki jawaban yang tepat untuk membantah H1. Oleh karena itu, mereka tidak melanjutkan TES mereka sampai selesai. Mereka kemudian kembali ke soal fisika yang diberikan dan mencoba cara lain untuk menyelesaikan soal tersebut (baris 8).

Setelah menyanggah TEs H2, H1 kemudian melakukan TES lain dengan asumsi ada gravitasi di dalam kotak (baris 9). TES yang dibangun oleh H1 digunakan untuk memprediksi jawaban dari permasalahan yang mereka

hadapi. Kata-kata "seandainya" dikodekan sebagai indikator visualisasi, yang menunjukkan bahwa H1 mulai memvisualisasikan TE. Seperti yang diharapkan, dia memvisualisasikan dirinya dalam sebuah kotak yang bergerak lurus ke depan. Dia kemudian melakukan eksperimen dalam pikirannya dan menggambarkan hasilnya (baris 9). Dengan menggunakan mata pikirannya, H2 melihat bahwa pena yang dijatuhkannya saat kotak bergerak lurus ke depan tidak akan jatuh tetapi akan tertinggal. H1 kemudian membagikan TE-nya kepada anggota kelompok agar bisa dijalankan dan dievaluasi bersama.

Selama proses evaluasi, H4 setuju dengan hasil TEs H1 dengan syarat tidak ada gravitasi di dalam kotak, tetapi jika ada gravitasi di dalam kotak maka hasilnya akan seperti TEs H2. H1 kemudian menjawab dengan mengatakan bahwa koin akan jatuh jika ada gravitasi di dalam kotak dengan kondisi kotak bergerak dengan kecepatan konstan. Setelah partisipan berdiskusi sebentar, H4 kemudian melakukan TES lagi dengan memvisualisasikan dirinya dalam kereta super cepat yang bergerak lurus dengan kecepatan konstan (baris 16). Dia kemudian melakukan percobaan dan melihat dengan mata pikirannya bahwa koin yang dia jatuhkan jatuh tepat di dalam kaca. Dia kemudian membayangkan bahwa ketika dia berada di atas baling-baling (sesuatu yang bergerak) dan menjatuhkan koin, koin yang dia jatuhkan sangat sulit untuk masuk ke dalam gelas. H4 kemudian membagikan TE-nya untuk dijalankan dan dievaluasi oleh partisipan lain sampai mereka mencapai kesimpulan bahwa seorang ilmuwan yang sepenuhnya terisolasi di dalam kotak yang bergerak mulus yang bergerak lurus tidak akan merasa bahwa dia bergerak (baris 17-21). Kegiatan ini menunjukkan bahwa partisipan membangun kolaboratif TEs. Oleh karena itu, berdasarkan penelitian ini, kolaboratif TEs didefinisikan sebagai kegiatan di mana satu atau lebih individu memvisualisasikan dunia imajiner di mana eksperimen akan dihasilkan kemudian dibagikan kepada anggota kelompok untuk dijalankan dan

dievaluasi sebagai upaya kolektif untuk mencapai kesimpulan.

Menurut Dillenbourg (1999) dan Chiu (2000), aktivitas kolaboratif ditandai dengan aktivitas menegosiasikan makna dan memanfaatkan sumber daya dan keterampilan masing-masing, misalnya saling bertanya, memvalidasi ide satu sama lain., dan mendukung dan mengklarifikasi ide satu sama lain. Singkatnya, karena semua partisipan dalam kolaboratif TEs terlibat aktif dalam membangun dan merekonstruksi pengetahuan melalui proses negosiasi dengan bertanya dan menjawab pertanyaan, mendukung argumen, mengklarifikasi klaim, memvalidasi hasil TEs, dan sebagainya, kolaboratif TEs dianggap sebagai proses membangun pengetahuan secara sosial. Dengan demikian, TEs adalah alat untuk konstruksi pengetahuan pribadi dan sosial.

B. Langkah-langkah TEs secara kolaboratif

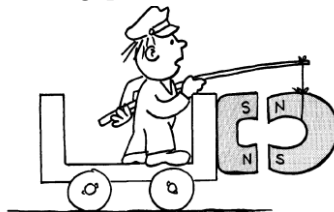
Berdasarkan apa yang kami definisikan sebagai kolaboratif TEs, kami kemudian menganalisis langkah-langkahnya. Pada awal analisis data, kami menggunakan langkah-langkah TEs yang diusulkan oleh Reiner (1998) dan Brown (2006) untuk mengkodekan data hasil penelitian. Namun, ketika menganalisis lebih banyak data, kami menemukan ada langkah-langkah TEs yang diusulkan oleh Reiner (1998) yang tidak solid. Selain itu, kami juga menemukan kategori baru yang kami anggap sebagai bagian dari langkah TEs. Saat kami melangkah lebih jauh dalam analisis data, kami menemukan tren pola langkah TEs yang sedikit berbeda dari tinjauan literatur. Sebagai hasilnya, lima kategori dikelompokkan secara deduktif sebagai langkah-langkah TEs secara kolaboratif: memvisualisasikan dunia imajiner, melakukan eksperimen, menggambarkan hasil, berbagi dan mengevaluasi eksperimen, dan menarik kesimpulan. Pada bagian berikut, disajikan secara rinci tentang setiap langkah-langkah pada kolaboratif TEs.

1. Memvisualisasikan dunia imajiner

Seperti disebutkan sebelumnya, visualisasi adalah langkah pertama dalam melakukan TEs. Berikut ini adalah contoh visualisasi yang diambil dari transkrip sesi pemecahan masalah dengan Kelompok 1 ketika mereka menanggapi Soal 1.

H2 Tapi ada hujan berarti ada gaya luar, otomatis troli pasti berhenti. Sebagai contoh, misalkan bayangkan kami mendorong troli ini saat hujan [sambil menunjuk gambar troli pada soal yang diberikan]. Troli ini kami dorong ke depan untuk menggelinding di jalan yang lurus dan hujan turun secara vertikal dan menyimpannya, sehingga massa troli ini akan bertambah, sehingga ada gaya luar yang berarti troli akan otomatis berhenti pada waktu tertentu pada kondisi bahwa air hujan sedang dikumpulkan di troli.

Dalam kutipan transkrip di atas, kata “bayangkan” dikodekan sebagai indikator citra. Ini menunjukkan bahwa H2 mulai memvisualisasikan TEs. Selain menggunakan laporan citra (bayangkan), H2 juga menggunakan indikator gerakan tangan. Seperti yang terlihat, dia memvisualisasikan mendorong troli dan menunjukkannya dengan meletakkan tangannya di gambar troli pada pertanyaan yang diberikan. Contoh lain dapat dilihat ketika Kelompok 2 menanggapi Soal 5, seperti yang ditunjukkan pada kutipan transkrip di bawah ini. Soalnya menanyakan tentang magnet mobil: “Bayangkan magnet berbentuk U yang dipasang di depan mobil seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5. Akankah menggantung magnet berbentuk U lain yang menghadapnya di kutub yang berlawanan akan membuat mobil bergerak? Mengapa atau mengapa tidak?”



Gambar 4.5. Ilustrasi Soal 5

M1 Oke. Menurut saya, mobil akan bergerak dengan syarat magnet gantung memiliki gaya magnet yang lebih besar sehingga dapat menggerakkan mobil. ... Cobalah mengingat-ingat ketika kita masih kecil dan bermain dengan magnet. Bayangkan jika kita bermain dengan magnet. Jika magnet biasanya diletakkan di atas meja, jika salah satu magnet ditarik dengan cara ini [M1 menunjukkan seolah-olah meletakkan satu magnet lebih dekat dengan magnet lain] maka magnet lainnya akan tertarik. Itu analoginya, itu menurut saya

Kata-kata "bayangkan jika" dikodekan sebagai indikator citra, yang menunjukkan bahwa M1 mulai memvisualisasikan TEs. Memvisualisasikan TEs tidak hanya ditandai dengan partisipan mengucapkan kata-kata (bayangkan jika, misalkan itu, perasaan dan sebagainya) tetapi juga melalui gerakan tangan (menggambarkan objek, lokasi, gaya, dan peristiwa dinamis) dan analogi (menggunakan analogi pribadi dengan mengacu pada situasi analog yang melibatkan kekuatan tubuh).

Dalam kutipan transkrip di atas, M1 menunjukkan contoh indikator analogi di mana dia menggerakkan tangan kirinya (sebagai representasi magnet) karena ditarik oleh magnet lain yang diwakili oleh tangan kanannya. Berikut ini adalah contoh indikator citra gerakan tangan dan analogi yang muncul dalam penelitian ini.



Gambar 4.6. Contoh indikator citra gerakan tangan



Gambar 4.7. Contoh indikator citra analogi

2. Melakukan percobaan

Setelah langkah visualisasi, partisipan mulai melakukan eksperimen dalam pikirannya. Seperti yang dapat kita lihat pada transkrip sebelumnya, ketika Grup 1 menanggapi Soal 1, H2 melakukan TEs untuk menjelaskan bahwa troli akan berhenti karena ada kekuatan eksternal yang mempengaruhinya. Pertama, dia membayangkan

mendorong troli ke depan untuk menggelinding di jalan yang lurus. Saat troli menggelinding, hujan turun secara vertikal dan mengenai troli. Dia kemudian mengamati gerakan dan kecepatannya di mata pikirannya. Dalam pengamatannya, H2 melihat tetesan air hujan mengenai troli dan terakumulasi di troli sehingga menyebabkan massa troli bertambah (massa troli + air hujan tertampung).

Ini adalah contoh kinerja dari TEs, di mana partisipan seolah-olah melakukan eksperimen nyata di dunia nyata. Baik dalam eksperimen nyata maupun eksperimen pikiran, kita dapat mendesain objek, dan variabel terkait, lalu membiarkannya berjalan sambil mengamati hasilnya. Kedua jenis eksperimen, oleh karena itu, sangat mirip:

Kita mungkin tergoda untuk mengatakan hal yang sama tentang eksperimen pikiran, mengingat eksperimen tersebut sangat mirip dengan eksperimen nyata. Di keduanya kami mengatur segalanya, membiarkannya berjalan, lalu kami melihat apa yang terjadi, dan kami menyelesaikannya dengan menggambar beberapa moral (Brown, 2013, hal. 53).

Namun, pada TEs tidak ada data empiris yang diperoleh. Namun, ini tidak berarti bahwa TEs sama sekali tidak terkait dengan dunia nyata. Sebaliknya, dalam beberapa kasus, TEs perlu didukung oleh observasi empiris lain yang relevan dengan isu TEs. Di sini, poin pentingnya adalah bahwa hasil TEs tidak berasal dari pelaporan data empiris baru, tetapi disimpulkan dengan penalaran. Idealisasi juga merupakan dimensi penting dari TEs. Untuk menghilangkan kerumitan teknis atau manipulatif saat merancang TEs, kondisi ideal sangat dibutuhkan. Seperti yang dikatakan Galili (2009), "TEs sering membuatnya melalui model yang disederhanakan tetapi representatif yang tetap fokus pada aspek penting dari subjek, menghilangkan detail teknis, kesalahan eksperimental dan mengesampingkan faktor penghambat dari eksperimen nyata (panas, gesekan, dll.)" (hlm. 19).

3. Menjelaskan hasil

Sekali lagi, ketika Kelompok 1 sedang mengerjakan Soal 1, H2 mengatakan, “massa troli ini akan bertambah, sehingga ada gaya luar, yang berarti troli akan otomatis berhenti pada waktu tertentu dengan syarat air hujan sedang turun. dikumpulkan di troli.” Berdasarkan episode ini, hasil TEs H2 adalah massa troli akan bertambah dan akan berhenti pada waktu tertentu. H2 membayangkan bahwa ada gaya yang bekerja pada troli, baik oleh interaksi antara air hujan dan dinding dan lantai troli atau karena akumulasi massa dari air hujan yang terkumpul. Faktor-faktor ini akan membuat troli berhenti pada waktu tertentu.

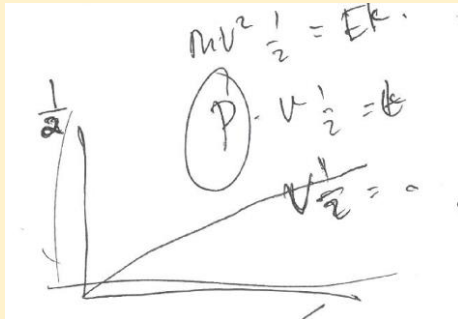
Setelah melakukan TEs, H2 kemudian percaya bahwa troli yang dia dorong melewati hujan akan berhenti seiring waktu. Keyakinan ini diperoleh setelah melakukan proses atau aktivitas model mental itu sendiri. Keyakinan atau pengetahuan semacam ini tampaknya merupakan pengetahuan tacit. Sternberg (1999) dan Nonaka dan Takeuchi (1995) berpendapat bahwa tacit knowledge adalah pengetahuan pribadi tentang model mental yang diikuti individu dalam situasi tertentu. Oleh karena itu, menurut saya, hasil TEs hanya berupa tacit knowledge, yaitu keyakinan atau pengetahuan pribadi yang dimiliki oleh para pelaku eksperimen pikiran setelah melakukan TEs. Namun, ketika pengetahuan tacit ini kemudian dievaluasi menggunakan teori ilmiah atau pengalaman atau penalaran logis, itu akan menjadi pengetahuan baru yang dapat diterapkan ke dunia nyata:

Dengan menggunakan gambar-gambar yang bersifat visual, dan gambaran-gambaran pengalaman tubuh, thought experiments mengakses pengetahuan tacit, yang belum tentu disadari oleh orang tersebut, dan yang hanya sebagian kecil yang dapat diartikulasikan secara verbal. Pengetahuan tacit seperti itu, ketika digabungkan dengan proses logis dalam TEs, secara tidak sadar direkrut untuk menghasilkan pengetahuan baru (Reiner & Gilbert, 2000, hal. 502).

4. Berbagi dan mengevaluasi eksperimen

Seperti yang terlihat pada naskah tadi ketika Kelompok 1 menanggapi Soal 1, terjadi proses sharing dan evaluasi hasil eksperimen yang dihasilkan oleh H2. Setelah mengumumkan hasil TES-nya, H2 kemudian membagikannya kepada seluruh anggota kelompok. Para anggota kemudian menjalankan TES H2 ini dan mencoba mengevaluasi proses dan hasilnya. Berikut adalah naskah wawancara dari Kelompok 1 saat mereka mengevaluasi TES mereka.

- | | | |
|----|---|---|
| H4 | Ooo, itu akan berhenti, mengapa? | 1 |
| H2 | Ya . . . Karena jika tidak ada aksi gaya eksternal, ia akan terus bergerak. Tetapi jika, misalnya, ada kekuatan eksternal, itu akan berhenti pada waktu tertentu. | 2 |
| H1 | Ya, kami setuju [H1 setuju dengan H2] [..] | 3 |
| H4 | Tunggu, jika memaksa, bukan, energi kinetik [sambil menulis rumus]. | 4 |



- | | | |
|----|--|---|
| H2 | $Ek = mv^2$ | 5 |
| H1 | Karena pertambahan massa. | 6 |
| H3 | Ya, massa bertambah. [..] | 7 |
| H1 | <u>Kecepatannya berkurang, kan? Karena awalnya massanya kecil dan kecepatannya lebih tinggi, maka massanya bertambah, jadi itu berarti . . .</u> | 8 |
| H3 | Jadi, ada efeknya. | 9 |

Seperti dapat dilihat, ada proses evaluasi hasil TES yang dihasilkan oleh H2 (baris 2). H2 mencoba mempertahankan argumennya bahwa air hujan yang jatuh akan mempengaruhi kecepatan troli dengan menggunakan

hukum pertama Newton, yang menyatakan bahwa suatu benda akan tetap diam dalam gerakan beraturan dalam garis lurus kecuali ditindaklanjuti oleh gaya eksternal. H1 juga mengevaluasi hasil TEs ini dengan menggunakan inferensi konseptual-logis (baris 8). Dengan menggunakan persamaan energi kinetik yang ditulis oleh H4, $E_k = mv^2$, H1 kemudian digunakan logikanya. Jika awalnya massa troli kecil dan bergerak dengan kecepatan tinggi, maka ketika massa bertambah karena akumulasi air hujan di troli, kecepatannya akan berkurang. Ini adalah proses evaluasi TEs, di mana partisipan mencoba untuk mendukung klaim konstruksi mereka menggunakan berbagai sumber evaluasi untuk mendukung klaim yang mereka konstruksikan. Pada bagian berikutnya, sumber evaluasi yang digunakan oleh partisipan dalam mengevaluasi TEs akan disajikan secara rinci.

H3 dan H4 juga terlibat dalam proses evaluasi TEs. Mereka terlibat dalam diskusi dengan mengajukan pertanyaan, mendengarkan, dan mendukung klaim. Misalnya, H4 terlibat dalam mengevaluasi TEs dengan memberikan persamaan energi kinetik (baris 4). H1 kemudian menggunakan persamaan energi kinetik ini sebagai dasar untuk mengevaluasi TEs menggunakan inferensi konseptual-logis. Sebelumnya, H3 mendukung argumen H1 dengan mengatakan, "ya, massa bertambah" (baris 7). Oleh karena itu, dalam kolaboratif TEs, semua anggota kelompok berkontribusi dalam mengkonstruksi pengetahuan baru baik dengan bertanya dan menjawab pertanyaan, mendukung klaim, memvalidasi hasil TEs, dan sebagainya. Proses ini dilakukan secara terus menerus untuk mengevaluasi tacit knowledge yang diperoleh dari melakukan TES hingga mencapai suatu kesimpulan.

5. Menarik kesimpulan

Kesimpulannya adalah proses akhir dari kolaboratif TEs. Ini adalah kesepakatan atau keputusan yang dibuat setelah mempertimbangkan semua informasi melalui

negosiasi makna. Pengetahuan baru yang diperoleh oleh seorang thought experiemnter melalui serangkaian manipulasi gambar dan kemudian dievaluasi oleh anggota dalam suatu kelompok terletak pada langkah ini. Pengetahuan baru ini kemudian diterapkan oleh partisipan pada situasi dunia nyata.

Pada contoh di atas, dapat dilihat bahwa semua anggota kelompok menarik kesimpulan yang sama bahwa troli yang didorong oleh H2 melewati hujan akan berhenti pada waktu tertentu. Kesimpulan yang dihasilkan melalui TEs kolaboratif ini kemudian diterapkan pada masalah fisika. Partisipan kemudian menetapkan solusi untuk masalah fisika mengingat ada kemungkinan efek hujan yang terakumulasi di troli saat troli bergerak. Tabel 4.2 menunjukkan ringkasan episode ketika Kelompok 1 menanggapi Soal 1.

Tabel 4.2 Ringkuman langkah-langkah kolaboratif TEs oleh Kelompok 1 pada Soal 1

Langkah kolaborasi TEs	Bukti dari episode
Memvisualisasikan dunia imajiner	"Bayangkan" Gerakan tangan 
Melakukan percobaan	Kami mendorong troli ini saat hujan. Kami mendorong troli ini ke depan untuk berguling di jalan lurus dan hujan turun secara vertikal dan menabraknya.
Menjelaskan hasil	Jadi massa troli ini akan bertambah. . . Artinya troli akan otomatis berhenti pada waktu tertentu.
Berbagi dan mengevaluasi eksperimen	Karena jika tidak ada aksi gaya eksternal, ia akan terus bergerak. Tetapi jika, misalnya, ada kekuatan eksternal, itu akan berhenti pada waktu tertentu.

	Kecepatannya berkurang, kan? Karena awalnya massanya kecil dan kecepatannya lebih tinggi, maka massanya bertambah. . .
Menarik kesimpulan	Jadi, ada efeknya. Ya, itu berpengaruh, troli akan berhenti. Ya, pada awalnya berguling terus menerus kemudian. . . menjadi lebih lambat dan lebih lambat, sampai mungkin berhenti. Ya, troli akan menjadi lebih lambat dan akan berhenti.

Gambar 4.8 menunjukkan ilustrasi fase-fase kolaboratif TEs yang terjadi pada penelitian ini ketika partisipan mengerjakan soal fisika. Seperti dapat dilihat, pengetahuan tacit, sebagai hasil dari kinerja TEs, perlu divalidasi. Kegiatan berbagi dan mengevaluasi TEs dengan partisipan lain akan memungkinkan pengetahuan tacit ini menjadi lebih dapat diandalkan daripada ketika hanya dievaluasi secara pribadi. Melalui evaluasi kelompok, partisipan terkadang memodifikasi dan menyempurnakan TEs mereka sebelumnya jika tidak valid sesuai dengan aturan yang mereka tetapkan bersama. Jika tacit knowledge hasil TEs digabungkan dengan pemahaman konseptual, pengalaman masa lalu, penalaran logis, atau inferensi konseptual-logis, maka akan menjadi pengetahuan baru. Pengetahuan baru ini kemudian digunakan partisipan dalam memahami situasi dunia nyata.

BAB 5

TUJUAN THOUGHT EXPERIMENTS

Bagian ini menjelaskan tujuan partisipan dalam melakukan TEs saat menyelesaikan masalah fisika. Setelah mengidentifikasi, mendiskusikan, dan menentukan langkah-langkah TEs secara kolaboratif, tujuan TEs kemudian dianalisis. Seperti yang terlihat pada Tabel 5.1, partisipan dapat melakukan lebih dari satu TEs saat menyelesaikan masalah fisika. Dengan kata lain, dalam kolaboratif TEs diperbolehkan lebih dari satu TEs yang saling mendukung. Oleh karena itu, tujuan TEs partisipan dianalisis dengan melihat tiga kegiatan atau tiga langkah TEs secara kolaboratif: memvisualisasikan dunia imajiner, melakukan eksperimen, dan mendeskripsikan hasilnya. Ketiga kegiatan tersebut merupakan kegiatan TEs yang dilakukan oleh seorang individu.

Berdasarkan analisis data, tujuan partisipan melakukan TEs dapat dikategorikan menjadi tiga jenis: prediksi, verifikasi, dan penjelasan. Jika partisipan membuat prediksi untuk memecahkan masalah menggunakan TEs, maka tujuan TEs dikodekan sebagai "prediksi." Di sisi lain, jika partisipan menggunakan TEs untuk memeriksa apakah hipotesis atau asumsi mereka benar atau salah, maka tujuan TEs dikodekan sebagai "verifikasi." Untuk kategori terakhir, ketika partisipan menggunakan TEs untuk memberikan penjelasan lebih lanjut tentang hipotesis atau asumsi mereka, maka tujuan TEs dikodekan sebagai "penjelasan."

Tabel 5.1 menunjukkan distribusi tujuan penggunaan TEs untuk partisipan dalam memecahkan masalah fisika. Seperti terlihat, Kelompok 1 cenderung melaksanakan TEs yang digunakan untuk memberikan penjelasan lebih lanjut atas hipotesis atau asumsi umum yang telah mereka ajukan sebelumnya sebagai solusi dari permasalahan yang mereka hadapi. Ketika masalah diberikan, anggota Kelompok 1 tidak langsung merancang dan menjalankan TEs melainkan mengajukan hipotesis atau asumsi terlebih dahulu. Hipotesis mereka didasarkan pada pengetahuan atau pengalaman mereka sebelumnya. Demikian pula, Kelompok 2 cenderung

melakukan TEs yang digunakan untuk memberikan penjelasan lebih lanjut atas hipotesis atau asumsi mereka, atau untuk membuktikan apakah hipotesis atau asumsi yang diajukan itu benar atau salah.

Tabel 5.1 Distribusi tujuan partisipan dalam melakukan Tes

Tujuan TEs	Kelompok/Masalah (P)															Total
	Grup 1					Grup 2					Grup 3					
	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5	
Prediksi		**									*	**	**	*	*	9
Verifikasi		*			*	*	**					*				6
Penjelasan	*		*	*	*			*	**	*					*	9

Sebaliknya, Kelompok 3 cenderung melakukan TEs yang digunakan untuk memprediksi solusi dari permasalahan yang diberikan. Ketika masalah diberikan, anggota Kelompok 3 secara langsung memvisualisasikan dunia imajiner dan kemudian merancang dan menjalankan TEs untuk memprediksi solusi dari masalah tersebut. Mereka tidak memiliki hipotesis atau asumsi umum tentang solusi masalah. Dalam penelitian ini, terdapat sembilan TEs yang terjadi selama Kelompok 3 mengerjakan lima soal fisika yang berbeda, dan tujuh di antaranya digunakan oleh Kelompok 3 untuk memprediksi solusi dari soal yang diberikan. Hanya ada satu TEs yang dilakukan oleh kelompok 3 masing-masing untuk membuktikan dan memberikan penjelasan lebih lanjut atas hipotesis atau asumsi yang diajukan sebagai solusi dari masalah yang diberikan. Pada bagian berikut, rincian tentang tujuan partisipan melakukan TE saat memecahkan masalah fisika disajikan.

A. Prediksi

Selama analisis data, ada beberapa kejadian dimana partisipan melakukan TEs untuk memprediksi solusi dari masalah yang diberikan. Pada tujuan ini, partisipan tidak memiliki hipotesis atau asumsi umum tentang solusi masalah. Ketika masalah diberikan, partisipan secara langsung memvisualisasikan dunia imajiner dan kemudian merancang

dan menjalankan TEs untuk memprediksi solusi dari masalah yang diberikan. Ada beberapa reaksi khas yang digunakan oleh partisipan ketika mereka menggunakan TEs sebagai prediksi, seperti "aha", "itu dia", "Kami pikir logikanya seperti ini," atau "mungkin kasusnya mirip dengan ini." Berikut ini adalah contoh di mana seorang partisipan menggunakan TEs untuk memprediksi solusi untuk masalah yang diberikan. Transkrip diambil dari Kelompok 3 sesi pemecahan masalah saat menanggapi Masalah 2.

- R . . . Pertanyaannya adalah ilmuwan mana yang bisa 1
merasakan jika dia bergerak? Apakah ilmuwan di
dalam kotak yang bergerak lurus atau yang berada di
dalam kotak yang berputar?
[. . .]
- L4 Aha, situasinya seperti di kapal. Bayangkan ketika kita 2
berada di dalam kapal. Saat itu, kami tidak tahu apakah
kami sedang bergerak atau tidak karena kami tidak
bisa melihat ke luar. Jika kami menjatuhkan sesuatu,
katakanlah gravitasi ada di sana, maka sesuatu yang
kami jatuhkan akan jatuh lurus ke bawah, tidak
tertinggal.
- L3 Aa, ya, kami tidak akan menyadari bahwa kami sedang 3
bergerak.
- L1 Ya, seperti halnya ketika kita berada di dalam mobil 4
yang bergerak maju dengan sangat cepat, biasanya kita
tidak menyadari bahwa kita sedang bergerak.

Seperti dapat dilihat pada transkrip di atas, L4 sedang melakukan TEs untuk memprediksi solusi dari masalah yang diberikan. Ketika masalah diberikan oleh peneliti (baris 1), L4 tidak memiliki pra-asumsi, juga tidak mencoba mencari cara lain untuk menghasilkan prediksi solusi untuk masalah yang diberikan. Dia langsung memvisualisasikan dunia imajiner, dan kemudian merancang dan menjalankan TEs dan mencapai hasilnya. Dalam TEs-nya, L4 membayangkan dirinya berada di dalam kapal yang menyerupai kotak. Dia kemudian melakukan TEs bahwa jika dia berada di kapal yang bergerak dengan kecepatan konstan sambil menjatuhkan benda, benda itu akan

tetap jatuh tegak lurus (baris 2). Hasil TEs ini akan digunakan sebagai solusi dari masalah yang mereka hadapi: ilmuwan yang berada di dalam kotak yang bergerak lurus ke depan tidak akan merasakan bahwa dia bergerak. Oleh karena itu, contoh ini menunjukkan bahwa partisipan melakukan TEs untuk digunakan untuk memprediksi solusi dari masalah.

B. Verifikasi

Berdasarkan analisis data, ada beberapa bukti bahwa partisipan melakukan TEs untuk membuktikan asumsi umum atau hipotesis yang telah mereka ajukan sebelumnya sebagai solusi dari masalah. Hipotesis mereka didasarkan pada pengetahuan atau pengalaman mereka sebelumnya. Mereka merancang dan menjalankan TEs yang akan digunakan untuk membuktikan apakah hipotesis atau asumsi yang diajukan itu benar atau salah. Ada beberapa reaksi khas yang diucapkan partisipan dalam tujuan TEs ini, seperti "mungkin", "bukan?" "bukankah kita?" atau benar?" Berikut ini adalah contoh di mana partisipan menggunakan TEs untuk membuktikan asumsi yang diajukan. Potongan transkrip ini diambil ketika Kelompok 1 menanggapi masalah 2.

- H4 Ketika kita dalam posisi stabil, dan kita menjatuhkan koin ke dalam gelas, koin itu pasti akan masuk ke dalam gelas. Jika kita bergerak maju dengan kecepatan konstan, koin juga akan masuk ke dalam gelas.
- H2 Ya benar [H2 setuju dengan H4]. 2
- H4 Ya, bagaimana menurutmu, H3? 3
- H3 Bagi saya, ini [menunjuk kotak yang berputar]. 4
- H4 Eh, bayangkan ketika kita berada di dalam kereta api dengan kecepatan tinggi dan konstan. Misalnya, di kereta api yang bergerak lurus ke depan dan temboknya gelap [kita tidak bisa melihat ke luar]. Saat itu, kami tidak tahu apakah kami akan pindah atau tidak. Jika kita menjatuhkan koin ke dalam gelas, koin itu pasti akan masuk ke dalam gelas, kan? Kalau misalnya kita sedang berputar, seperti baling-baling, dan kita mencoba menjatuhkan sebuah koin [ke dalam gelas], maka akan

lebih sulit untuk menjatuhkan koin itu langsung ke dalam gelas, bukan?

- H3 Ya, logikanya seperti itu. 6
- H4 Aa, jadi, akan lebih sulit untuk memasukkan koin ke 7
dalam gelas saat kotak berputar daripada saat bergerak
lurus ke depan. Oleh karena itu, menurut saya, ilmuwan
yang dapat merasakan bahwa dia bergerak adalah yang
berada di dalam kotak pemintal.

Seperti yang terlihat pada transkrip di atas, H4 melakukan TEs (baris 5) untuk membuktikan asumsi atau hipotesis bahwa koin yang jatuh saat bergerak maju dengan kecepatan konstan pasti akan masuk ke gelas (baris 1). Situasi ini sama ketika orang yang tidak bergerak dan memasukkan koin ke dalam gelas. Dengan kata lain, H4 berhipotesis bahwa seorang ilmuwan yang benar-benar terisolasi di dalam kotak yang bergerak mulus yang bergerak dalam garis lurus tidak akan merasa bahwa dia bergerak. Di kotak bepergian, jika ilmuwan menjatuhkan koin, maka koin itu akan langsung masuk ke kaca. Ini berbeda dengan kotak pemintal, di mana ilmuwan akan kesulitan memasukkan koin ke dalam gelas (baris 7).

Setelah membangun hipotesis sebagai solusi untuk masalah yang dihadapi (baris 1), H4 melakukan TEs dengan memvisualisasikan dirinya dalam kereta super cepat yang bergerak lurus dengan kecepatan konstan (baris 5). Dia kemudian merancang dan menjalankan TEs dan melihat dengan mata pikirannya bahwa koin yang dia jatuhkan jatuh tepat di dalam kaca. Dia kemudian membayangkan bahwa ketika dia berada di atas baling-baling (sesuatu yang bergerak) dan menjatuhkan koin, koin yang dia jatuhkan sangat sulit untuk masuk ke dalam gelas. Oleh karena itu, contoh ini menunjukkan bahwa partisipan melakukan TEs untuk digunakan untuk memverifikasi hipotesis yang mereka ajukan sebagai solusi untuk masalah.

C. Penjelasan

Tujuan terakhir partisipan dalam melakukan TEs saat memecahkan masalah fisika adalah untuk memberikan penjelasan atas hipotesis mereka. Sama halnya dengan tujuan verifikasi, ketika diberikan soal, partisipan tidak langsung merancang dan menjalankan TEs melainkan mengajukan hipotesis terlebih dahulu. Hipotesis mereka didasarkan pada pengetahuan atau pengalaman mereka sebelumnya. Ada beberapa reaksi khas yang diucapkan oleh partisipan dalam tujuan TEs ini, seperti "misalnya", "misalnya", "untuk mengilustrasikan". Berikut ini adalah contoh di mana partisipan menggunakan TEs untuk memberikan penjelasan lebih lanjut tentang hipotesis mereka. Potongan transkrip diambil ketika Kelompok 2 menanggapi Soal 3, yang menanyakan jalur bola setelah keluar di 2 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.2.

R	. . . Jadi, manakah lintasan bola setelah keluar di titik 2?	1
M1	<u>kami pikir B</u>	2
M4	Ya, B	3
R	Mengapa?	4
M1	<u>Karena vektor kecepatan.</u> . . Berdasarkan pengalaman ketika belajar fisika, jika misalnya bola digantung dan berputar ke atas [sambil mendemonstrasikan dengan tangannya] maka tiba-tiba dilepaskan; ternyata bolanya mengarah ke luar, seperti B.	5

Itu yang ada di pikiran saya, bagaimana dengan Anda?

Seperti terlihat pada transkrip di atas, setelah peneliti membaca soal (baris 1), M1 langsung memberikan solusi dari soal tersebut tanpa mencoba melakukan TEs terlebih dahulu. Dia memilih B dalam menanggapi masalah yang diberikan karena itu adalah arah dari vektor kecepatan (baris 2-5). M1 kemudian memberikan penjelasan atas jawabannya menggunakan TEs.

Kata-kata "misalnya" yang digunakan oleh M1 sebelum mulai merancang dan menjalankan TEs dianggap sebagai indikator penjelasan (baris 5).

Berdasarkan analisis data, tujuan partisipan melakukan TEs saat menyelesaikan masalah fisika dapat dikategorikan menjadi tiga jenis: prediksi, verifikasi, dan penjelasan. Dalam prediksi, partisipan tidak memiliki hipotesis atau asumsi umum tentang solusi masalah. Ketika masalah diberikan oleh peneliti, partisipan secara langsung memvisualisasikan dunia imajiner, dan kemudian merancang dan menjalankan TEs untuk memprediksi solusi dari masalah tersebut. Ada beberapa reaksi khas yang digunakan oleh partisipan ketika mereka menggunakan TEs sebagai prediksi, seperti "aha", "begitulah", "Menurut kami logikanya seperti ini", atau "mungkin kasusnya mirip dengan ini".

Pada tujuan TEs sebagai verifikasi, partisipan pertamanya mengajukan hipotesis atau asumsi, dan kemudian merancang dan menjalankan TEs untuk menentukan apakah hipotesis atau asumsi itu benar atau salah. Hipotesis mereka didasarkan pada pengetahuan atau pengalaman mereka sebelumnya. Ada beberapa reaksi khas yang diucapkan partisipan dalam tujuan TEs ini, seperti "mungkin", "bukan?" "bukankah kita?" atau benar?".

Tujuan terakhir partisipan dalam melakukan TEs saat memecahkan masalah fisika adalah untuk memberikan penjelasan atas hipotesis mereka. Sama halnya dengan tujuan verifikasi, ketika diberikan soal, partisipan tidak langsung merancang dan melakukan TEs melainkan mengajukan hipotesis terlebih dahulu. Hipotesis mereka didasarkan pada pengetahuan atau pengalaman mereka sebelumnya. Kata-kata, seperti "misalnya", "misalnya", "untuk mengilustrasikan", biasanya digunakan oleh partisipan dalam tujuan TEs ini.

Oleh karena itu, berdasarkan bukti yang disajikan di atas, dapat disimpulkan bahwa TEs digunakan oleh partisipan dalam memecahkan masalah fisika untuk tiga tujuan. Pertama, partisipan menggunakan TEs sebagai alat untuk memprediksi

solusi masalah. Kedua, partisipan menggunakan TEs sebagai alat untuk memeriksa apakah hipotesis atau asumsi umum yang diajukan itu benar atau salah. Ketiga, partisipan menggunakan TEs sebagai alat untuk memberikan penjelasan lebih lanjut tentang hipotesis atau asumsi sebagai jawaban sementara dari masalah yang dihadapi. Ilustrasi tujuan partisipan melakukan TEs saat menyelesaikan masalah fisika ditunjukkan pada Gambar 5.3.

BAB 6

SUMBER EVALUASI THOUGHT EXPERIMENTS

Bab ini menjelaskan sumber evaluasi yang digunakan oleh partisipan yang membatalkan hasil TEs. Dalam kolaboratif TEs, setelah partisipan menghasilkan TEs, ia kemudian membagikannya kepada anggota kelompok untuk dijalankan dan dievaluasi bersama. Kegiatan evaluasi ini dilakukan terus menerus hingga mahapartisipan mendapatkan bukti yang kuat untuk mendukung TEs-nya. Bahkan, ketika mereka gagal memberikan bukti TEs mereka, mereka tidak segan-segan mendesain ulang TEs baru. Oleh karena itu, penting untuk menangkap jenis sumber daya apa yang digunakan oleh partisipan untuk membatalkan TEs mereka. Sumber evaluasi TEs dianalisis dalam langkah berbagi dan evaluasi TEs kolaboratif.

Berdasarkan analisis data, empat sumber evaluasi TEs diidentifikasi. Pertama, partisipan menggunakan pemahaman konseptual yang mengacu pada konsep fisika, persamaan, dan hukum seperti hukum Newton. Kedua, partisipan menggunakan pengalamannya, seperti menonton film, bermain bola, dan bepergian dengan sepeda motor. Ketiga, partisipan menggunakan penalaran logis berupa asumsi atau persepsi pribadi. Terakhir, partisipan menggunakan inferensi konseptual-logis yang menggabungkan hukum, prinsip, atau konsep fisika dengan manipulasi logika. Ikhtisar variasi sumber daya evaluasi yang digunakan oleh partisipan yang membatalkan TEs mereka disajikan pada Tabel 6.1.

Seperti dapat dilihat, semua kelompok menggunakan empat sumber evaluasi TEs membatalkan TEs mereka setidaknya sekali. Pengalaman masa lalu dan penalaran logis adalah yang paling sering digunakan oleh partisipan. Kelompok 3 cenderung mengevaluasi TEs mereka dengan terlebih dahulu menghubungkan dengan pengalaman mereka atau menggunakan penalaran logis. Kelompok 3 dideteksi menggunakan penalaran logis dan

pengalaman masa lalu masing-masing 6 dan 5 kali. Dengan kata lain, 85% sumber daya evaluasi TEs yang digunakan oleh Grup 3 adalah penalaran logis dan pengalaman masa lalu. Kelompok 2 juga cenderung menilai TEs mereka menggunakan pengalaman tetapi tidak dengan penalaran yang logis. 50% dari sumber daya evaluasi TEs yang digunakan oleh Grup 2 adalah pengalaman masa lalu.

Sebaliknya, Kelompok 1 cenderung tidak menggunakan pengalaman untuk mengevaluasi TEs mereka. Tetapi mereka mencari konsep ilmiah atau hukum fisika terlebih dahulu dan kemudian menggabungkannya dengan logika. Kelompok 1 dideteksi menggunakan inferensi konseptual-logis dan penalaran logis 4 dan 3, masing-masing. Dengan kata lain, 70% sumber evaluasi TEs yang digunakan oleh Kelompok 1 adalah inferensi konseptual-logis dan penalaran logis.

Selain itu, hasil TEs dapat dievaluasi lebih dari satu kali. Ada beberapa episode dalam penelitian ini dimana partisipan dalam satu kelompok mengevaluasi hasil TEs-nya menggunakan pemahaman konseptual kemudian dilanjutkan dengan sumber evaluasi lainnya. Selama evaluasi TEs mereka, partisipan terlibat dalam proses negosiasi makna. Proses ini dilakukan terus menerus hingga mereka menemukan bukti kuat yang mendukung kebenaran tacit knowledge mereka. Bagian berikut akan membahas masing-masing kategori sumber evaluasi secara rinci.

Tabel 6.1 Sumber evaluasi yang digunakan oleh partisipan dalam mengevaluasi TEs

Jenis	Kelompok/Masalah (P)															Total
	Grup 1					Grup 2					Grup 3					
	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5	
pemahaman konseptual	*							*		*				*		4
Pengalaman masa lalu		*			*	**	*	**		*	*	*	*	*	*	12
Penalaran logis		*		*	*	*				*	*	*	*	*	***	11
Inferensi konseptual-logis	*		*	**					*					*		6

A. Pemahaman Konseptual

Selama evaluasi TEs, beberapa partisipan menggunakan pemahaman konseptual yang mengacu pada konsep fisika, persamaan fisika, dan hukum seperti hukum Newton. Di bawah ini adalah contoh bagaimana partisipan menggunakan pemahaman konseptual untuk mengevaluasi hasil TEs mereka. Contoh ini diambil dari transkrip dari Grup 1 saat menanggapi Soal 1.

- H2 Tapi ada hujan berarti ada gaya luar, otomatis troli pasti berhenti. Sebagai contoh, misalkan bayangkan kami mendorong troli ini saat hujan [sambil menunjuk gambar troli pada soal yang diberikan]. Troli ini kami dorong ke depan untuk menggelinding di jalan lurus dan hujan turun secara vertikal dan menyimpannya, sehingga massa troli ini akan bertambah, sehingga ada gaya luar, ini berarti troli akan otomatis berhenti pada waktu tertentu pada kondisi bahwa air hujan sedang dikumpulkan di troli.
[. . .]
- H4 Ooo, itu akan berhenti, mengapa?
- H2 Ya . . . Karena jika tidak ada aksi gaya eksternal, ia akan terus bergerak. Tetapi jika, misalnya, ada kekuatan eksternal, itu akan berhenti pada waktu tertentu.

Seperti yang terlihat pada kutipan transkrip di atas, TEs H2 mengemukakan bahwa troli akan berhenti pada waktu tertentu. H2 kemudian memvalidasi hasil ini dengan menggunakan hukum pertama Newton, yang menyatakan bahwa suatu benda akan tetap diam atau bergerak beraturan dalam garis lurus kecuali ditindaklanjuti oleh gaya eksternal. Di TE-nya, H2 percaya bahwa troli yang didorongnya saat hujan akan berhenti karena ada kekuatan eksternal di atasnya. Gaya eksternal dapat berupa interaksi antara air hujan dengan dinding dan lantai troli atau karena akumulasi massa yang disebabkan oleh air hujan yang terkumpul. Karena adanya gaya luar yang bekerja pada troli, maka troli tidak akan bergerak terus menerus tetapi akan berhenti pada waktu tertentu.

Berikut ini adalah contoh lain yang diambil dari transkrip sesi pemecahan masalah dengan Kelompok 2 ketika mereka menanggapi Soal 3. Ketika mereka mencoba untuk memecahkan masalah, M1 melakukan TEs, yang menyatakan bahwa “jika,

misalnya, bola ditangguhkan dan berputar di atas [sambil mendemonstrasikannya dengan tangannya] kemudian tiba-tiba dilepaskan, ternyata bola itu menunjuk, seperti B.” TEs ini kemudian dibagikan dan dievaluasi oleh anggota kelompok lainnya. Setelah berdiskusi sebentar, M1 kemudian mengevaluasi hasil TEs-nya menggunakan pemahaman konseptual seperti gambar di bawah ini.

M1 Ya, arah kecepatan selalu seperti itu. Arahnya selalu tegak lurus terhadap percepatan radial. Itu bisa bergerak dalam gerakan melingkar karena ada gaya yang diberikan, gaya sentripetal, tetapi, vektor kecepatannya selalu menunjuk ke arah gerak. Seperti ini

Dalam kutipan transkrip di atas, M1 menggunakan konsep gerak melingkar untuk memvalidasi hasil TEs yang dijalkannya. Dia percaya bahwa bola akan terlempar keluar secara tegak lurus karena ini adalah karakteristik dari vektor kecepatan: Vektor kecepatan selalu menunjuk ke arah gerak, sedangkan vektor percepatan diarahkan ke pusat lingkaran. Jadi, vektor kecepatan dan percepatan radial tegak lurus terhadap setiap titik lintasan untuk gerak melingkar beraturan. Kemudian ia menambahkan bahwa suatu benda yang bergerak dalam gerak melingkar harus memiliki gaya yang diberikan padanya untuk mempertahankan geraknya dalam lingkaran. Gaya ini disebut gaya sentripetal dan selalu diarahkan ke pusat lingkaran.

M1 mempresentasikan argumennya sambil menggambar jalur melingkar disertai dengan arah kecepatan linier, percepatan sudut, dan gaya sentripetal yang dialami benda selama dalam lintasan, seperti yang terlihat pada kutipan transkrip di atas (deskripsi ditambahkan). Kedua bukti ini menunjukkan pemahaman konseptual yang digunakan sebagai sumber untuk mengevaluasi pengetahuan tacit yang dihasilkan dari kinerja TEs.

B. Pengalaman sebelumnya

Selama evaluasi TEs, beberapa partisipan menggunakan pengalaman mereka ketika mengevaluasi hasil TEs yang mereka jalankan. Pengalaman ini bermanifestasi sebagai fakta yang diingat dari pengalaman masa lalu atau kegiatan sehari-hari partisipan. Kutipan transkrip berikut adalah contoh bagaimana partisipan menggunakan pengalaman masa lalu ketika mengevaluasi hasil TEs. Transkripnya berasal dari Kelompok 3 yang menanggapi Soal 5.

- L2 Menurut pendapat saya, mobil akan bergerak. Bayangkan ada magnet di sini (Magnet A) dan di depannya juga ada magnet (Magnet B). Oleh karena itu, jika kami di dalam mobil dan mendekatkan magnet yang digantung (Magnet B), maka magnet di dalam mobil (Magnet A) akan bergerak ke segala arah dari magnet di depannya. . .
- L3 Apakah mereka akan saling tarik?
- L2 Tidak, mobil ini akan mengikuti arah magnet gantung. Kami pernah melihat adegan film kartun seperti itu. Agar mobil berhenti, magnet yang digantung harus diangkat ke atas.

Seperti yang terlihat pada transkrip di atas, L2 mengevaluasi hasil TEs menggunakan pengalaman masa lalunya. Dia berasumsi bahwa mobil tempat magnet digantung akan bergerak ke arah magnet yang digantung. Ini berdasarkan pengalamannya menonton kartun. Dalam sebuah film, dia melihat magnet yang digantung di mobil, yang mirip dengan masalah yang diberikan. Mobil hanya bisa berhenti ketika magnet yang tergantung di depannya diangkat. Pengalaman menonton film kartun digunakan oleh L2 dalam mengevaluasi TEs yang dijalankannya.

Ada contoh lain di Grup 2 ketika mereka menjawab Soal 4, menanyakan tentang kekuatan hambatan udara mana yang paling besar antara seekor gajah dan seekor bulu ketika jatuh dari pohon yang tinggi. M1 melakukan TEs dengan mengatakan “misalnya, jika kami menjatuhkan pesawat dari ketinggian tertentu, udara yang melewati pesawat akan kacau. Ini berarti

bahwa pesawat memiliki gaya gesekan yang sangat besar. Tetapi jika kami menjatuhkan bulu ayam, udara di sekitarnya tidak terlalu kacau". M1 kemudian membagikan TEs-nya kepada semua anggota grup. Setelah berdiskusi sebentar, M1 mengevaluasi hasil TEs seperti gambar di bawah ini.

M1 Ini berdasarkan pengalaman kami sehari-hari ketika kami mengendarai sepeda motor saya. Ketika kami berada di belakang truk, kami merasa aliran udara yang kami lewati lebih kacau daripada aliran udara yang terjadi dari mobil kecil. Itu adalah pengalaman saya.

Berdasarkan kutipan transkrip di atas, terlihat jelas bahwa M1 menggunakan pengalaman sehari-harinya untuk mengevaluasi hasil TEs yang dilakukannya. Dia menggunakan pengalamannya saat mengendarai sepeda motor dan mengendarai di belakang mobil kecil dan truk. Dari pengalaman tersebut, M1 percaya bahwa jika ia menjatuhkan sebuah pesawat dan bulu ayam dari ketinggian tertentu, pesawat tersebut akan mengalami gaya hambatan udara yang akan lebih besar dari pada bulu ayam tersebut. Dalam pikiran M1, arus udara di sekitar pesawat lebih kacau daripada di sekitar bulu ayam. Hal ini menunjukkan bahwa pesawat memiliki gaya hambatan udara yang lebih besar dibandingkan dengan bulu ayam. Kedua bukti ini menunjukkan pengalaman masa lalu yang digunakan sebagai sumber untuk mengevaluasi pengetahuan tacit yang dihasilkan dari kinerja TEs.

C. Penalaran logis

Sumber lain yang digunakan oleh partisipan selama evaluasi TEs dikodekan sebagai penalaran logis. Logika yang dibangun partisipan dalam sumber ini hanya berupa asumsi atau persepsi pribadi. Namun asumsi ini logis, sehingga dapat mendukung argumen yang mereka bangun. Berikut adalah contoh penggunaan penalaran logis dalam mengevaluasi hasil TEs, yang kami ambil dari kutipan transkrip Kelompok 3 saat menanggapi Soal 5

- L3 Misalkan magnet ini tidak diikat dengan tali, misalnya diikat ke truk atau yang lain karena benda penyangga ini kecil [tali dan tongkat].
- L4 Tapi tetap ada kemungkinan, meski sangat kecil, mobil itu akan bergerak.
[. . .]
- L3 Tidak, misalkan kedua magnet ini diikat pada seutas tali, mereka mungkin bergerak dan menarik satu sama lain. Namun di sini situasinya berbeda, satu magnet menempel pada mobil, dan yang lainnya diikat dengan tali. Kami tidak berpikir logis bahwa mobil akan bergerak.

Saat memecahkan Soal 5, L2 melakukan TEs dengan membayangkan dirinya berada di mobil yang dipasang magnet di depannya (lihat bagian di atas tentang pengalaman sehari-hari). Kemudian dia membawa magnet lain, yang tergantung, ke mobil. Dia kemudian merasakan bahwa mobil akan bergerak lebih dekat ke magnet gantung di mana pun magnet itu berada. L2 kemudian mengevaluasi hasil TEs dengan menggunakan pengalamannya saat menonton kartun.

Namun, selama proses negosiasi makna, L3 juga terlibat dalam evaluasi TEs. Dia kemudian menolak argumen L2 karena dia menganggapnya tidak logis. L3 percaya bahwa mobil tidak dapat ditarik oleh magnet gantung karena hanya diikat dengan tali. Dia beralasan, mungkin magnet gantung akan tertarik ke mobil karena tali dan tongkatnya tidak cukup kuat untuk menarik mobil. Jika, menurut L3, magnet gantung diikat ke truk atau benda yang lebih berat dari mobil, maka mobil bisa bergerak. Dia berasumsi bahwa jika kedua magnet diikat menjadi satu pada seutas tali maka mereka mungkin akan saling menarik. Namun, jika satu magnet ditempelkan ke mobil dan yang lain diikat ke tali dan kemudian dibawa ke mobil, tidak masuk akal mobil itu akan bergerak.

Inilah penalaran logis yang dibangun L3 dalam mengevaluasi hasil TEs. Logika yang dibangun oleh L3 tidak didasarkan pada teori, prinsip, atau hukum fisika. Itu hanya asumsi atau persepsi pribadi, tetapi cukup untuk meyakinkan para peneliti pikiran untuk mendukung atau menolak pengetahuan tacit yang mereka evaluasi. Contoh ini menunjukkan penalaran logis untuk menjadi sumber evaluasi yang digunakan oleh partisipan dalam mengevaluasi hasil TEs.

D. Inferensi konseptual-logis

Sumber evaluasi terakhir yang digunakan oleh partisipan selama evaluasi TEs adalah kesimpulan konseptual-logis. Hal ini berbeda dengan pemahaman konseptual, yang juga menekankan penggunaan logika. Hal ini juga berbeda dengan penalaran logis, yang menggunakan unsur-unsur teori, prinsip, atau hukum. Inferensi konseptual-logis adalah sumber evaluasi yang menggabungkan hukum, prinsip, atau konsep fisika dengan manipulasi logis. Kutipan transkrip di bawah ini adalah contoh bagaimana partisipan menggunakan inferensi konseptual-logis dalam mengevaluasi hasil TEs mereka. Contoh ini diambil dari Kelompok 1 saat menjawab Soal 1 (lihat Gambar 4.1).

H2 $E_k = 1/2mv^2$

H1 Karena massanya bertambah.

H3 Ya, massa bertambah.

[. . .]

H1 Kecepatannya berkurang, kan? Karena awalnya massanya kecil dan kecepatannya lebih tinggi, maka massanya bertambah. . .

Seperti yang terlihat pada transkrip di atas, H1 menggunakan inferensi konseptual-logis dalam mengevaluasi hasil TEs mereka. Pertama, H1 menggunakan persamaan energi kinetik, $E_k = 1/2mv^2$, seperti yang dinyatakan oleh H2. Dia kemudian menggunakan logika dengan persamaan (E_k awal = E_k akhir). H1 percaya bahwa jika awalnya massa troli kecil dan

memiliki kecepatan tinggi, maka ketika massa troli meningkat sebagai akibat dari air hujan yang terkandung di dalamnya, kecepatan troli harus berkurang dan troli akhirnya akan berhenti. Di sini, H1 menggunakan logika bersama dengan persamaan energi kinetik.

Bagian di bawah ini adalah contoh lain dari penggunaan inferensi konseptual-logis dalam mengevaluasi hasil TEs. Cuplikan transkrip di bawah ini diambil dari Kelompok 1 saat menjawab Soal 4 (lihat Gambar 5.11). Dalam proses pemecahan masalah, H2 melakukan TEs dengan membayangkan dirinya menjatuhkan bola dan selebar kertas bukannya gajah dan bulu ayam. Setelah H2 melakukan TEs, anggota kelompok lainnya menjalankannya dan mulai mengevaluasinya.

H1 Kekuatan zigma ($\sum F$) = 0

H2 Artinya jika $F_w + F_u = 0$ maka $F_w = F_u$. Apakah ada kekuatan lain yang berpengaruh?

H3 Hal ini dipengaruhi oleh massa, kan? $F_w = mg$.

H2 Oh ya, benar! Ini berarti mg . Jika misalnya di sini massa [kertas] adalah 10 dikalikan 9,8 = 98. Jika massa [bola] adalah 20, misalkan berarti F_u tertinggi adalah?

H3, Gajah.

H4

Seperti terlihat pada bagian transkrip di atas, anggota Kelompok 1 mencoba menganalisis gaya-gaya yang bekerja pada suatu benda yang jatuh dari ketinggian tertentu. H1 menggunakan hukum pertama Newton tentang gaya resultan yang bekerja pada sebuah benda sama dengan 0 ($\sum F = 0$). H2 kemudian menganalisis gaya-gaya pada benda yang dijatuhkan dan diperoleh gaya gravitasi (F_w) yang arahnya ke bawah searah dengan gerak benda, dan gaya gesekan udara (F_u) yang arah geraknya berlawanan dengan arah gerak benda. objek. Setelah mendapatkan kedua kekuatan tersebut, H2 bertanya kepada anggota kelompok apakah ada kekuatan lain yang mungkin berpengaruh? Anggota kelompok kemudian sepakat bahwa hanya ada dua gaya yang mempengaruhi benda yang jatuh.

H3 kemudian mengatakan bahwa gravitasi ini dipengaruhi oleh massa ($F = mg$). H2 mendukung argumen H3 dan kemudian melakukan permainan logika menggunakan persamaan. Dia mengatakan jika kertas ini (diganti dengan bulu ayam) memiliki massa 10, maka akan memiliki gravitasi 98. Jika massa bola ini (diganti dengan gajah) adalah 20 maka akan memiliki gravitasi yang lebih besar dari kertas. kertas. Artinya benda yang memiliki massa lebih besar ketika dijatuhkan akan memiliki gaya hambatan udara yang lebih besar pula. Itulah logika Grup 1 yang dibangun berdasarkan hukum pertama Newton dan persamaan gravitasi benda. Penggunaan inferensi konseptual-logis membuat anggota Kelompok 1 percaya bahwa seekor gajah yang dijatuhkan dari ketinggian tertentu akan mengalami hambatan udara yang lebih besar daripada bulu ayam.

Penelitian ini telah menunjukkan bahwa partisipan mengevaluasi hasil TEs menggunakan empat sumber. Pertama, beberapa partisipan menggunakan pemahaman konseptual yang mengacu pada konsep fisika, persamaan fisika, dan hukum seperti hukum Newton. Kedua, beberapa partisipan menggunakan pengalaman khusus mereka. Pengalaman masa lalu dan sehari-hari seperti menonton film, bermain bola, dan bepergian dengan sepeda motor atau kereta api adalah contoh yang digunakan oleh partisipan ketika mengevaluasi TEs mereka. Ketiga, partisipan menggunakan penalaran logis berupa asumsi atau persepsi pribadi. Meskipun sumber ini hanya asumsi atau persepsi pribadi, itu cukup untuk meyakinkan para peneliti pikiran untuk mendukung atau menolak pengetahuan tacit yang mereka evaluasi. Terakhir, partisipan menggunakan inferensi konseptual-logis yang menggabungkan hukum, prinsip, atau konsep fisika dengan manipulasi logika. Hal ini berbeda dengan teori ilmiah yang juga menekankan penggunaan logika. Hal ini juga berbeda dengan penalaran logis, yang menggunakan unsur-unsur teori, prinsip, atau hukum.

Berdasarkan analisis data, pengalaman sehari-hari dan penalaran logis yang paling sering digunakan oleh partisipan. Kelompok 3 cenderung mengevaluasi TEs mereka dengan terlebih dahulu menghubungkan dengan pengalaman mereka atau menggunakan penalaran logis. 85% sumber daya evaluasi TEs yang digunakan oleh Grup 3 adalah penalaran logis dan pengalaman masa lalu. Kelompok 2 juga cenderung menilai TEs mereka menggunakan pengalaman tetapi tidak dengan penalaran yang logis. 50% dari sumber daya evaluasi TEs yang digunakan oleh Grup 2 adalah pengalaman masa lalu. Sebaliknya, Kelompok 1 cenderung tidak menggunakan pengalaman untuk mengevaluasi TEs mereka. Tetapi mereka mencari konsep ilmiah atau hukum fisika terlebih dahulu dan kemudian menggabungkannya dengan logika.

Ada beberapa bukti bahwa partisipan tidak hanya mengevaluasi hasil tetapi juga proses TEs. Mereka melakukan kegiatan evaluasi ini secara terus menerus sampai mereka mendapatkan bukti yang kuat untuk mendukung kebenaran tacit knowledge yang telah mereka peroleh. Bahkan, ketika mereka gagal memberikan bukti tentang pengetahuan tacit yang dihasilkan, mereka tidak ragu untuk mendesain ulang TEs baru. Tetapi ketika hasil TEs tidak valid, partisipan mengoreksi hasilnya tanpa mencoba mendesain ulang TEs baru. Oleh karena itu, dalam evaluasi TEs, baik proses maupun hasil akan diperiksa. Gambar 6.4 mengilustrasikan proses pengetahuan baru yang diperoleh melalui TEs kolaboratif.

BAB 7

KESIMPULAN DAN SARAN

Studi ini telah menunjukkan bahwa saat memecahkan masalah fisika, partisipan membangun, berbagi, dan mengevaluasi TEs mereka. Hal ini menunjukkan bahwa TEs dapat dirancang dan dibangun dengan cara kolaboratif meskipun sebagian besar bersifat individual. Dalam proses sharing dan evaluasi TEs, terdapat aktivitas negosiasi makna sebagai ciri utama aktivitas kolaboratif. Setiap individu atau anggota kelompok dalam penelitian ini terlibat dalam diskusi dengan bertanya dan menjawab pertanyaan, mendukung dan mengklarifikasi argumen, memvalidasi hasil TEs, secara terus menerus sampai proses akhir negosiasi makna: kesepakatan dengan semua anggota kelompok. Kesepakatan ini adalah langkah menuju proses akhir TEs secara kolaboratif.

Kolaboratif TEs dimulai dengan satu partisipan menghasilkan TEs kemudian membagikannya dengan anggota kelompok. Anggota kelompok kemudian menjalankan TEs seperti yang disarankan oleh produsernya. Setelah anggota kelompok menjalankannya, mereka mulai mengevaluasi tidak hanya proses tetapi juga hasilnya. Kegiatan evaluasi ini dilakukan terus menerus hingga partisipan mendapatkan bukti yang kuat untuk mendukung TE-nya. Bahkan, ketika partisipan gagal memberikan bukti TEs mereka, mereka tidak ragu untuk mendesain ulang atau mengusulkan TEs baru. TEs baru tersebut kemudian dibagikan kembali kepada anggota kelompok untuk dijalankan dan dievaluasi bersama. Proses evaluasi ini dilakukan secara terus menerus hingga partisipan mencapai kesimpulan sebagai upaya kolektif. Oleh karena itu, berdasarkan penelitian ini, ada lima aktivitas yang dilakukan partisipan dalam mengkonstruksi TEs dalam setting kolaboratif: memvisualisasikan dunia imajiner, melakukan eksperimen, mendeskripsikan hasil, berbagi dan mengevaluasi eksperimen, dan menarik kesimpulan.

Ada tiga tujuan partisipan dalam melakukan TEs ketika mengerjakan soal fisika: prediksi, verifikasi, dan penjelasan. Dalam prediksi, partisipan tidak memiliki hipotesis atau asumsi umum tentang solusi masalah. Ketika sebuah masalah diberikan, partisipan secara langsung memvisualisasikan dunia imajiner, dan kemudian merancang dan menjalankan TEs untuk memprediksi solusi dari masalah tersebut. Dalam verifikasi, partisipan pertama-tama mengajukan hipotesis atau asumsi, dan kemudian merancang dan menjalankan TEs untuk menentukan apakah hipotesis atau asumsi itu benar atau salah. Sama halnya dengan verifikasi, dalam penjelasannya, mahapartisipan tidak langsung merancang dan melakukan TEs melainkan mengajukan hipotesis terlebih dahulu. Mereka kemudian melakukan TEs sebagai alat untuk memberikan penjelasan lebih lanjut tentang hipotesis sebagai jawaban sementara untuk masalah yang dihadapi.

Studi ini juga menunjukkan bahwa partisipan memvalidasi hasil TEs menggunakan empat sumber evaluasi. Pertama, beberapa partisipan menggunakan pemahaman konseptual yang mengacu pada konsep fisika, persamaan fisika, dan hukum seperti hukum Newton. Kedua, beberapa partisipan menggunakan pengalaman khusus mereka. Pengalaman masa lalu dan sehari-hari seperti menonton film, bermain bola, dan bepergian dengan sepeda motor atau kereta api adalah contoh yang digunakan oleh partisipan ketika mengevaluasi TEs mereka. Ketiga, partisipan menggunakan penalaran logis berupa asumsi atau persepsi pribadi. Meskipun sumber ini hanya asumsi atau persepsi pribadi, itu cukup untuk meyakinkan para peneliti pikiran untuk mendukung atau menolak pengetahuan tacit yang mereka evaluasi. Terakhir, partisipan menggunakan inferensi konseptual-logis yang menggabungkan hukum, prinsip, atau konsep fisika dengan manipulasi logika.

Berdasarkan hasil ini, kami merekomendasikan bahwa TEs secara kolaboratif diperkenalkan kepada guru fisika saat ini dan masa depan sebagai alat yang berguna untuk mengajar fisika di sekolah karena beberapa alasan. Pertama, karena TEs dapat menghasilkan hasil yang benar dan salah dalam pengembangan teori ilmiah (Norton, 2004; Brown, 2006; Bancong & Song, 2020b),

komunikasi dan interaksi rekan dalam kolaboratif TEs memiliki potensi besar untuk memperbaiki proses dan hasil untuk mencapaidapat diandalkan kesimpulan. Kedua, dengan kolaboratif TEs , partisipan yang mengalami kesulitan akan dibantu oleh partisipan lain dalam membangun TEs. Ketiga, kolaboratif TEs dapat meningkatkan interaksi sosial dan mendukung keragaman. Dalam TEs kolaboratif, partisipan harus bekerja sama dalam kelompok dengan latar belakang, pengalaman, budaya, dan pengetahuan yang berbeda. Ketika partisipan menghabiskan waktu bersama untuk bekerja, mereka akan belajar bagaimana berhubungan satu sama lain. Selain itu, melalui kolaboratif TEs, partisipan saling mengklarifikasi ide, pandangan, dan pendapat melalui forum diskusi sebelum membuat kesimpulan. Oleh karena itu, TEs kolaboratif dapat memupuk keterampilan berpikir kritis partisipan. Kelima, kolaboratif TEs juga dapat mendekatkan partisipan pada argumentasi ilmiah melalui interpretasi ide, dan penilaian pemikiran dan pandangan partisipan lain.

Ada berbagai kemungkinan untuk memasukkan TEs dalam materi pelajaran yang berkaitan dengan fisika, seperti mekanika, termodinamika, dan relativitas (Asikainen & Hirvonen 2014; Bancong & Song, 2018; Bancong & Song, 2020a). Integrasi ke dalam materi pelajaran akan berguna bagi para guru fisika yang kemudian dapat melihat kemungkinan menggunakan TEs dalam mengajar fisika di sekolah. Selain itu, guru fisika yang berpartisipasi dalam program pendidikan guru khusus, seperti pra-jabatan atau pengembangan profesi guru (PPG), harus ditawarkan pelatihan terkait dengan kolaboratif TEs. Guru-guru ini kemudian dapat memasukkan TEs dalam pengajaran mereka sendiri. Dengan cara ini, calon guru fisika dan guru fisika akan mendapatkan dasar yang kuat untuk menggunakan TEs sebagai bagian dari pengajaran fisika di sekolah.

DAFTAR PUSTAKA

- Arcangeli, M. (2010). Imagination in thought experimentation: Sketching a cognitive approach to thought experiments. In L. Magnani, W. Carnielli, & C. Pizzi (Eds.), *Model-based reasoning in science and technology* (pp. 571-587). Berlin, Germany: Springer.
- Asikainen, M. A., & Hirvonen, P. E. (2014a). Probing pre- and in-service physics teachers' knowledge using the double-slit thought experiment. *Science & Education*, 23(9), 1811-1833.
- Asikainen, M. A., & Hirvonen, P. E. (2014b). Thought experiments in science and in science education. In M. R. Matthews (Ed.), *International handbook of research in history, philosophy and science teaching* (pp. 1235-1256). Dordrecht, Netherlands: Springer.
- Atkin, J. M., & Helms, J. (1993). Getting serious about priorities in science education. *Studies in Science Education*, 21(1), 1-20.
- Bademci, S., & Sarı, M. (2014). Thought experiment in solving physics problems: A study into candidate physics teachers. *Education and Science*, 39, 203-215.
- Bancong, H., & Song, J. (2018). Do physics textbooks present the ideas of thought experiments?: A case in Indonesia. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 7(1), 25-33.
- Bancong, H., & Song, J. (2020a). Exploring how students construct collaborative thought experiments during physics problem-solving activities. *Science and Education*, 29(3), 617-645.
- Bancong, H., & Song, J. (2020b). Investigating the Purposes of Thought Experiments: Based on the Students' Performance. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 9(3), 351-360.
- Bohr, N. (1949). Discussion with Einstein on epistemological problems in atomic physics. In P. A. Schilpp (Ed.), *Albert Einstein: Philosopher-Scientist* (pp. 199-244). LaSalle, IL: The Library of Living Philosophers.
- Brown, J. R. (1991). *The laboratory of the mind: Thought experiments in the natural sciences*. New York, NY: Routledge.

- Brown, J. R. (2006). The promise and perils of thought experiments. *Interchange*, 37(1-2), 63-75.
- Brown, J. R. (2013). What do we see in a thought experiment? In M. Frappier, L. Meynell, & J. R. Brown (Eds.), *Thought experiments in science, philosophy, and the arts* (pp. 53-68). New York, NY: Routledge.
- Clement, J. J. (1998). Expert novice similarities and instruction using analogies. *International Journal of Science Education*, 20(10), 1271-1286.
- Clement, J. J. (2009). The Role of imagistic simulation in scientific thought experiments. *Topics in Cognitive Science*, 1(4), 686-710.
- Clement, J. J., Zietsman, A., & Monaghan, J. (2007). Imagery in science learning in students and experts. In J. K. Gilbert (Ed.), *Visualization in science education* (pp. 169-184). Dordrecht, Netherlands: Springer.
- Cooper, R. (2005). Thought experiments. *Metaphilosophy*, 36(3), 328-347.
- Einstein, A. (1905). On the electrodynamics of moving bodies. *Annalen der Physik*, 17, 891-921.
- Einstein, A., & Infeld, L. (1938). *The evolution of physics: The growth of ideas from the early concepts to relativity and quanta*. Cambridge, England: Cambridge University Press.
- Epstein, L. C. (1995). *Thinking physics is gedanken physics*. San Francisco, CA: Insight Press.
- Erduran, S., Ozdem, Y., & Park, J. Y. (2015). Research trends on argumentation in science education: a journal content analysis from 1998-2014. *International Journal of STEM Education*, 2(5), 1-12.
- Galileo, G. (1638/1914). *Dialogues concerning two new sciences*. (H. Crew, & A. d. Salvio, Transl.) New York, NY: MacMillan.
- Galili, I. (2009). Thought experiments: Determining their meaning. *Science & Education*, 18(1), 1-23.
- Gendler, T. S. (2004). Thought experiments rethought and re-perceived. *Philosophy of Science*, 71(5), 1152-1163.

- Georgiou, A. (2005). *Thought experiments in physics problem-solving: On intuition and imagistic simulation* (Master's Thesis). Cambridge, England: University of Cambridge.
- Gilbert, J. K., & Reiner, M. (2000). Thought experiments in science education: potential and current realization. *International Journal of Science Education*, 22(3), 265-283.
- Gooding, D. C. (1992). What is experimental about thought experiments? *Philosophy of Science*, 2, 280-290.
- Hadzigeorgiou, Y. (2016). *Imaginative science education: The central role of imagination in science education*. Basel, Switzerland: Springer.
- Ince, E., Acar, Y., & Atakan, M. (2016). Investigation of physics thought experiments' effects on students' logical problem solving skills. *SHS Web of Conferences*, 26, 1-5.
- Irvine, A. D. (1991). On the nature of thought experiments in scientific reasoning. In T. Horowitz, & G. J. Massey (Eds.), *Thought experiments in science and philosophy* (pp. 149-166). Savage, MD: Rowman & Littlefield Publishers.
- Klassen, S. (2006). The science thought experiment: How might it be used profitably in the classroom? *Interchange*, 37(1-2), 77-96.
- Köse, Ş. D., & Özdemir, Ö. F. (2014). The nature and role of thought experiments in solving conceptual physics problems. *Science & Education*, 23(4), 865-895.
- Kuhn, T. (1977). A function for thought experiments. In T. Khun (Ed.), *The essential tension: Selected studies in scientific tradition and change* (pp. 240-265). Chicago, IL: University of Chicago Press.
- Lattery, M. J. (2001). Thought experiments in physics education: A simple and practical example. *Science & Education*, 10(5), 485-492.
- Mach, E. (1976). On thought experiments. In E. Mach, & E. N. Hiebert (Eds.), *Knowledge and Error* (pp. 449-457). Dordrecht, Netherlands: Vienna Circle Collection.
- Matthews, M. R. (1998). Ernst Mach and thought experiments in science education. *Research in Science Education*, 18, 251-257

- MMiles, M. B., Huberman, A. M., & Saldaña, J. (2014). *Qualitative data analysis: A methods sourcebook, third edition*. Los Angeles, CA: Sage publications.
- Miščević, N. (1992). Mental models and thought experiments. *International Studies in the Philosophy of Science*, 6(3), 215-226.
- Myhreagen, H. V., & Bungum, B. (2016). From the cat's point of view: upper secondary physics students' reflections on Schrödinger's thought experiment. *Physics Education*, 51(5), 1-8.
- Nersessian, N. J. (1992). In the theoretician's laboratory: Thought experimenting as mental modeling. *PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*, 2, 291-301.
- Newton, I. (1687/1962). *Mathematical principles of natural philosophy and his system of the world*. Berkeley, CA: University of California Press.
- Norton, J. D. (1991). Thought experiments in Einstein's work. In T. Horowitz, & G. Massey (Eds.), *Thought experiments in science and philosophy* (pp. 129-148). Savage, MD: Rowman and Littlefield.
- Norton, J. D. (1996). Are thought experiments just what you thought? *Canadian Journal of Philosophy*, 26(3), 333-366.
- Norton, J. D. (2004). On thought experiments: Is there more to the argument? *Philosophy of Science*, 71(5), 1139-1151.
- Park, J., Kim, I., Kwon, S., & Song, J. (2001). An analysis of thought experiments in the history of physics and implications for physics learning. In R. Pinto, & S. Surinach (Eds.), *Physics teacher education beyond 2000* (pp. 347-351). Paris, France: Elsevier.
- Reiner, M. (1998). Thought experiments and collaborative learning in physics. *International Journal of Science Education*, 20(9), 1043-1058.
- Reiner, M. (2006). The context of thought experiments in physics learning. *Interchange*, 37(1-2), 97-113.

- Reiner, M., & Burko, L. M. (2003). On the limitations of thought experiments in physics and the consequences for physics education. *Science & Education*, 2(4), 365-385.
- Reiner, M., & Gilbert, J. (2008). When an image turns into knowledge: The role of visualization in thought experimentation. In J. K. Gilbert, M. Reiner, & M. Nakhlek (Eds.), *Visualization: Theory and practice in science education* (pp. 295-309). Dordrecht, Netherlands: Springer.
- Rescher, N. (2005). *What if? Thought experimentation in philosophy*. New York, NY: Routledge.
- Roschelle, J., & Teasley, S. D. (1995). The construction of shared
- Saldaña, J. (2015). *The coding manual for qualitative researchers, third edition*. Los Angeles, CA: Sage Publications.
- Schrödinger, E. (1935). Discussion of probability relations between separated systems. *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 31(4), 555-563.
- Sorensen, R. (1992). *Thought experiments*. New York, NY: Oxford University Press.
- Sorensen, R. (2016). Thought experiment and imagination. In A. Kind (Ed.), *The routledge handbook of philosophy of imagination* (pp. 420-436). London, England: Routledge.
- Stephens, A. L., & Clement, J. J. (2006). Designing classroom thought experiments: what we can learn from imagery indicators and expert protocols. *Proceedings of the NARST 2006 Annual Meeting*. San Francisco, CA, United States.
- Stephens, A. L., & Clement, J. J. (2012). The role of thought experiments in science and science learning. In B. Fraser, K. Tobin, & C. McRobbie (Eds.), *Second international handbook of science education* (pp. 157-175). Dordrecht, Netherlands: Springer.
- Sternberg, R. J. (1999). What do we know about tacit knowledge? Making the tacit become explicit. In R. J. Sternberg, & J. A. Horvath (Eds.), *Tacit knowledge in professional practice: Researcher and practitioner* (pp. 231-236). London, England: Lawrence Erlbaum Associates.

- Tortop, H. S. (2016). Why thought experiments should be used as an educational tool to develop problem-solving skills and creativity of the gifted students? *Journal of Gifted Education and Creativity*, 3(3), 35-48.
- Velentzas, A., & Halkia, K. (2011). The 'Heisenberg's microscope' as an example of using thought experiments in teaching physics theories to students of the upper secondary school. *Research in Science Education*, 41(4), 525-539.
- Velentzas, A., Halkia, K., & Skordoulis, C. (2007). Thought experiments in the theory of relativity and in quantum mechanics: Their presence in textbooks and in popular science books. *Science & Education*, 16(3-5), 353-370.
- Velentzas, A., & Halkia, K. (2013). The use of thought experiments in teaching physics to upper secondary-level students: Two examples from the theory of relativity. *International Journal of Science Education*, 35(18), 3026-3049.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. (M. Cole, V. John-Steiner, S. Scribner, & E. Souberman, Eds. and trans.), Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Vygotsky, L. S. (2004). Imagination and creativity in childhood. *Journal of Russian and East European Psychology*, 42(1), 7-97.
- Witt-Hansen, J. (1976). HC Ørsted, Immanuel Kant and the thought experiment. In *Danish Yearbook of Philosophy* (Vol. 13, pp. 48-65). Copenhagen, Denmark: Museum Tusculanum Press.

BIODATA PENULIS



Hartono Bancong, S.Pd., M.Pd., Ph.D. Lahir di Tontonan, Kec. Anggeraja, Kab. Enrekang, pada tanggal 27 Agustus 1988, dari pasangan Bancong dan Judia. Penulis menempuh Pendidikan formal di mulai dari SDN 104 Tontonan, melanjutkan ke MTs. Negeri Baraka dan MA Negeri Baraka, Kab. Enrekang. Setelah itu, penulis menempuh Pendidikan S1 pada Jurusan Pendidikan Fisika, Universitas Negeri Makassar dan selesai dalam rentang waktu 3 tahun dan 5 bulan. Pada tahun 2011, penulis mendapatkan Beasiswa Unggulan (BU) Calon Dosen Indonesia dan melanjutkan Pendidikan S2 pada Jurusan Pendidikan Fisika di Pascasarjana Universitas Negeri Makassar dan selesai pada tahun 2013. Setelah itu, penulis menjadi dosen tetap di Universitas Muhammadiyah Makassar sampai saat ini. Pada tahun 2016, Penulis melanjutkan Pendidikan S3 pada Jurusan Pendidikan Fisika di Seoul National University, Korea Selatan dengan Beasiswa Unggulan Dosen Indonesia (BUDI) Luar Negeri dan selesai pada Desember 2019. Saat ini, penulis kembali aktif mengajar di Universitas Muhammadiyah Makassar. Selain mengajar, penulis juga aktif dalam melakukan penelitian dan menjadi reviewer pada beberapa jurnal baik Nasional maupun Internasional bereputasi tinggi, seperti Cultural Studies of Science Education, dan Science Education.



Nurazmi, S.Pd., M.Pd. Lahir di Limbung Kecamatan Bajeng Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan sebagai anak kedua dari tiga bersaudara dari pasangan H. Basri dan Hj. Nurliah. Pendidikan formal dimulai dari tahun 1996 dan lulus tahun 2002, pada tahun yang sama penulis melanjutkan Pendidikan ke MTs Muhammadiyah Mandalle Kec. Bajeng Barat dan lulus tahun 2005, kemudian melanjutkan ke jenjang SMA tahun 2008 pada SMAN 1

Galesong Utara. Gelar sarjana diperoleh pada studi S1 pada program Pendidikan Fisika tahun 2012 dan Magister Pendidikan Fisika tahun 2016 di Universitas Negeri Makassar. Pernah mengajar di salah satu SMAN di Takalar selama 10 tahun. Kemudian diterima sebagai Dosen Tetap Yayasan di Universitas Muhammadiyah Makassar pada tahun 2017 dan mulai aktif mengajar pada Program Studi Pendidikan Fisika hingga saat ini. Disamping tugas sebagai dosen, tugas lainnya yang dijalani adalah sebagai asesor BANSM Sulawesi Selatan (2022-2027). Karya akademik yang telah dihasilkan adalah (1) peneliti dibidang Pendidikan fisika dengan pendanaan Hibah Internal Unismuh Makassar, (2) membawakan makalah (Oral Presentation) pada Konferensi Internasional Fisika (IConPhy) 2021, (3) menulis buku Pengantar Pendidikan yang diterbitkan Lembaga Perpustakaan dan Penerbit Universitas Muhammadiyah Makassar.



Dr. Sirajuddin, S.Pd., M.Pd. dilahirkan di Sinjai pada tanggal 29 November 1989. Riwayat pendidikan Dasar dan Menengah ditempuhnya di Kabupaten Sinjai, yaitu SD Negeri 142 Borong Ampirie I, Kelurahan Mananti, Kecamatan Tellulimpoe (lulus tahun 2001), SMP Negei 5 Sinjai Selatan (lulus tahun 2004), dan SMA Negeri 1 Sinjai Selatan (lulus tahun 2007). Pendidikan berikut ditempuhnya di Universitas Muhammadiyah Makassar, Jurusan Pendidikan Matematika dan lulus tahun 2012. Gelar Magister Pendidikan (M.Pd) diraihnya pada tahun 2015 di Program Pascasarjana Universitas Negeri Surabaya. Penulis melanjutkan studi S3 Pendidikan Matematika Universitas Negeri Malang pada tahun 2017-2021 dan didaulat sebagai Wisudwan terbaik di Universitas Negeri Malang. Karir sebagai Dosen mulai tahun 2016-sekarang di Universitas Muhammadiyah Makassar. Editor In Chief di Jurnal Abdimas PATIKALA. Founder & Ketua ETDC Indonesia dan sebagai anggota I-MES.