



Integrasi konsep dan teori beban kognitif dalam pendidikan kejuruteraan di Malaysia: Satu kajian literatur

Yusniza Yusof¹, Lee Ming Foong¹, Lai Chee Sern¹

¹Fakulti Pendidikan Teknikal dan Vokasional, Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, 86400 Batu Pahat, Johor, Malaysia.

Correspondence: Yusniza Yusof (email: yus0312@gmail.com)

Abstrak

Bidang pendidikan kejuruteraan telah menyaksikan pertumbuhan yang mampan kebelakangan ini. Namun, kurangnya penyelidikan dalam bidang ini menyebabkan sukar menemui empirikal dan teoritikal yang boleh dijadikan panduan bagi membantu pelajar kejuruteraan menyerap kandungan pembelajaran dengan lebih efektif. Secara dasarnya, reka bentuk kejuruteraan merupakan satu aktiviti kognitif yang kompleks, disebabkan pembelajaran domain ini kebanyakannya memerlukan keupayaan pelajar untuk menggunakan beban mental yang tinggi dalam pembelajaran. Bagaimanapun, salah satu kunci untuk membantu pelajar menghadapi cabaran ini adalah dengan membantu mereka menyesuaikan diri dalam membina pengetahuan dan kemahiran dengan mudah untuk menguasai kandungan pembelajaran yang berbentuk novel atau kompleks. Mujurlah, Teori Beban Kognitif kaya dengan pelbagai maklumat dan berupaya menjana kaedah pengajaran yang lebih berkesan dalam menyediakan garis panduan untuk reka bentuk pengajaran. Merujuk kepada teori ini, sebahagian besar sifat-sifat pembelajaran dan ciri-ciri pelajar telah ditekankan dalam menguruskan beban ingatan kerja melalui reka bentuk pengajaran. Oleh itu, kajian literatur ini bertujuan untuk mengkaji dan meneliti kajian empirikal terdahulu dalam prospek Teori Beban Kognitif dengan membandingkan keberkesanan pembelajaran pelajar bagi mendapatkan satu pendekatan yang relavan dengan domain kejuruteraan. Hasil kajian mendapati, pembelajaran berasaskan contoh kerja adalah lebih relavan dilaksanakan dalam pembelajaran kejuruteraan berbanding penyelesaian masalah terutamanya pada fasa awal pembelajaran. Seterusnya, dua jenis pendekatan pengajaran berasaskan contoh kerja dicadangkan dalam kajian ini. Pertama, pendekatan contoh kerja mudah ke sukar dan kedua adalah sebaliknya.

Katakunci: contoh kerja, domain kejuruteraan, pendekatan pengajaran, penyelesaian masalah, reka bentuk pengajaran kejuruteraan, teori beban kognitif

Integration of cognitive load theory and concepts in Malaysia's engineering education: A literature study

Abstract

The field of engineering education has seen a sustained growth in recent years. However, the theoretical and empirical foundations that assist engineering students in grasping the learning content more effectively are still vague due to lack of research in this area. Engineering design involves complex cognitive activities because the learning of this domain requires the students to exert higher mental effort in the learning process. One of the keys of aiding students in facing up to this challenge is to help them build up knowledge and acquire skills related to novel or complex learning contents. In this vein, the Cognitive Load Theory which is rich in information can be used as a referential theory to generate more effective teaching methods and to provide guidelines for the design of lessons. This literature study examined previous empirical studies from the perspective of Cognitive Load Theory. The existing empirical findings were also compared in order to attain an approach that is relevant to the engineering

domain. The findings suggest that example-based learning could be one of the approaches that is more effective to be applied in engineering lessons compared to problem-solving methods especially at the beginning of the learning phase. Two types of worked examples formats are proposed in this article. The first is 'easy-to-difficult' worked example; the second, 'difficult-to-easy'.

Keywords: cognitive load theory, engineering domain, engineering instructional design, learning approach, problem solving, worked example

Pengenalan

Dalam era teknologi kini, pelbagai kaedah instruksional yang berinovasi telah berjaya dibangunkan untuk pengajaran dan pembelajaran. Bagaimanapun, kebanyakan pelajar masih tidak dapat memindahkan pengetahuan dan kemahiran yang dipelajari kepada situasi atau masalah baru. Gambaran ini memperlihatkan pendekatan pembelajaran banyak dilaksanakan tanpa merujuk kepada kerangka kognitif pelajar. Justeru, berpandukan kepada Teori Beban Kognitif, sebahagian besar sifat-sifat tugas pembelajaran dan ciri-ciri pelajar, telah ditekankan dalam menguruskan beban ingatan kerja bagi mengoptimalkan pembelajaran melalui reka bentuk pengajaran (Paas & Ayres, 2014).

Teori Beban Kognitif adalah satu model pengajaran yang dibentuk daripada bidang penyelidikan sains kognitif. Teori instruksional ini bertujuan membantu pereka bentuk pengajaran mengurangkan beban ke atas pelajar yang disebabkan oleh kesan reka bentuk pengajaran yang lemah. Secara dasarnya, teori ini menerangkan pembelajaran dari segi sistem pemprosesan maklumat yang terdiri daripada (i) memori jangka panjang untuk menyimpan pengetahuan dan kemahiran secara kekal atau kurang kekal serta (ii) ingatan kerja yang berfungsi melakukan tugas intelektual yang berkaitan dengan pembelajaran (Burkes, Allen & Yeatts, 2007). Menariknya lagi, teori ini berupaya menjana kaedah pengajaran yang lebih berkesan dan sangat berpengaruh dalam bidang psikologi pendidikan, semenjak dekad yang lalu dalam menyediakan garis panduan bagi reka bentuk pengajaran (Schnotz & Kurschner, 2007; Wittwer & Renkl, 2010).

Sebaliknya, Kirschner, Sweller dan Clark (2006) berpendapat bahawa prosedur pengajaran yang mengabaikan struktur yang membentuk kerangka kognitif manusia tidak mungkin berkesan. Namun bagaimanapun, hanya sebilangan kecil berkemungkinan rawak dalam keberkesanan tersebut (Sweller, 2009). Hujah ini menunjukkan bahawa beban kognitif memainkan peranan utama dalam menentukan bagaimana keberkesanan strategi pembelajaran yang digunakan. Maka, pentingnya pembangunan sesebuah bahan instruksional yang dilaksanakan mempertimbang dan merujuk kepada kerangka kognitif pelajar. Oleh itu, dengan mengambil kira bagaimana Teori Beban Kognitif menangani variasi maklumat yang kompleks, artikel ini secara khusus membincangkan dan mengenalpasti reka bentuk pengajaran yang bersesuaian dengan keupayaan kognitif pelajar kejuruteraan supaya proses pemerolehan pengetahuan, perkembangan idea, kreativiti dan prestasi pembelajaran terutamanya kepada golongan novis, dapat dijana secara optimum.

Pembelajaran domain kejuruteraan

Asas pengetahuan konseptual kejuruteraan terdiri daripada dua komponen utama iaitu (i) asas prinsip fizikal dan (ii) prosedur analisis. Gabungan kedua-dua komponen ini akan menghasilkan asas dalam menyelesaikan masalah kejuruteraan. Asas prinsip fizikal adalah pemahaman bagaimana dan mengapa sesebuah sistem beroperasi. Manakala, prosedur analisis pula merupakan perwakilan yang pada asasnya simbolik kepada prinsip-prinsip fizikal (Kapli, 2010). Sebagai contoh, dalam bidang reka bentuk kejuruteraan elektrik, asas prinsip adalah elektromagnet yang merujuk kepada bagaimana medan magnet dihasilkan oleh arus elektrik. Sebaliknya, prosedur analisis pula merujuk kepada arus elektrik yang mengalir dalam wayar dengan mewujudkan medan magnet di sekeliling dawai berpandukan hukum

Ampere (Sadiku, 2007). Walau bagaimanapun, bagi kebanyakan pelajar kejuruteraan, walaupun aplikasi prosedur analisis kebiasaannya menemui kejayaan dalam menyelesaikan masalah kejuruteraan, namun tidak semestinya dapat diterjemahkan kepada pemahaman fenomena fizikal yang mewakili prosedur ini. Akhirnya, konsep pemahaman yang tidak lengkap ini akan menghalang pembangunan kompetensi kejuruteraan (Kapli, 2010).

Menurut Streveler et al. (2008), pengetahuan konseptual adalah kritikal terhadap pembangunan kompetensi kejuruteraan. Ini kerana, kompetensi kejuruteraan melibatkan aplikasi pengetahuan konseptual sama ada dalam melaksanakan sesuatu tugas atau dalam penyelesaian masalah. Pengetahuan konseptual boleh didefinisikan sebagai kategori, klasifikasi dan hubungan termasuk skema, model mental dan teori yang mewakili kefahaman seseorang individu bagaimana subjek tertentu berstruktur dan teratur, serta bagaimana bahagian-bahagian sistem saling berkaitan dan berfungsi (Anderson & Krathwohl, 2001). Pengetahuan ini sangat penting untuk menyelesaikan masalah. Malah, seseorang individu tidak akan menjadi kompeten sekiranya individu tersebut tidak menguasai pengetahuan konseptual.

Tambahan pula, dalam domain ini, pelajar seringkali terlibat untuk menggunakan dan mengintegrasikan konsep-konsep dan prinsip yang kompleks bukan sahaja secara teoritik malahan secara praktikal. Ini kerana, pelajar bukan sahaja mengetahui berkenaan sains dan matematik tetapi juga benar-benar faham mengapa mereka perlu tahu dalam sesuatu domain pembelajaran (Everett, Imbrie & Morgan, 2000). Hal ini menggambarkan, pelajar kejuruteraan sering berhadapan dengan tahap beban kognitif yang tinggi dalam pembelajaran. Maka, tidak hairanlah dikatakan bahawa penyelesaian masalah yang kompleks adalah situasi yang sinonim dalam kalangan pelajar kejuruteraan.

Sehubungan itu, kesan pembelajaran ini tidak hanya kepada pelajar yang mempelajari domain ini, tetapi turut terkesan kepada pereka-peraka bahan pengajaran. Hal ini kerana, reka bentuk kejuruteraan adalah satu aktiviti kognitif yang kompleks (Lammi & Becker, 2013; Rangel, 2010) yang mensasarkan sesuatu perubahan ke arah matlamat yang dikehendaki, melalui proses yang dirancang dan dianjurkan serta boleh melibatkan pelbagai disiplin, kerjasama sosial, masalah terbuka, pengetahuan teknikal dan kemahiran (Rangel, 2010). Seiring itu, sifat-sifat kandungan pembelajaran yang berbeza dan mempunyai pelbagai disiplin tersendiri ini, mampu mencetuskan tanggapan bahawa reka bentuk kejuruteraan boleh menjadi pedagogi yang tidak mudah untuk disampaikan.

Maka, cabaran besar pendidik reka bentuk kejuruteraan adalah untuk memupuk kemahiran reka bentuk dan kebolehan pelajar bagi mencapai tahap kecekapan tertinggi, selain memastikan konsep dan prinsip sesuatu domain pembelajaran yang jelas dan fokus terhadap situasi topik pembelajaran yang akan disampaikan. Sebaliknya, jika hal ini tidak ditekankan, kesannya, pelajar sukar untuk mengembangkan kemahiran dalam aktiviti pembelajaran (Rangel, 2010). Dengan itu, satu cabaran umum yang dihadapi oleh pendidik kejuruteraan dan teknologi adalah bagaimana memperkenalkan dan mengajar reka bentuk kejuruteraan dengan cara yang lebih efektif bersesuaian dengan tahap kecekapan pelajar.

Konsep teori beban kognitif

Idea asas pembangunan Teori Beban Kognitif adalah berpunca daripada ingatan jangka pendek seseorang individu yang mampu memproses bilangan elemen yang terhad secara serentak. Lebih khusus, memori manusia hanya boleh memegang sekitar tujuh item maklumat pada sesuatu masa secara serentak dengan tidak lebih daripada beberapa saat (Sweller, 2009; Kapli, 2010). Dengan itu, jika had ini dilampaui, memori kerja pelajar akan terbeban dan seterusnya menghalang pembelajaran (Kalyuga, 2011). Oleh yang demikian, seseorang pelajar perlu digalakkan untuk menggunakan memori kerja yang terhad dengan cekap, terutamanya apabila belajar sesuatu tugas yang kompleks (Van Gerven, Paas, Van Merriënboer, Hendriks & Schmidt, 2003). Berbeza dengan memori kerja, kapasiti ingatan jangka panjang boleh menyimpan maklumat dengan hampir tidak terhad (Kapli, 2010). Oleh itu, teori ini menggambarkan kesan reka bentuk pengajaran ke atas model kerangka kognitif manusia berdasarkan kepada asas pengetahuan

yang kekal dalam ingatan jangka panjang dan pemprosesan sedar sementara sesuatu maklumat dalam ingatan kerja (Kalyuga, 2011).

Berdasarkan konsep teori ini, maklumat pembelajaran akan memasuki memori kerja sama ada melalui memori deria (*sensory memory*) atau diambil daripada memori jangka panjang (Sweller, 2004). Setelah maklumat berada dalam memori kerja, maklumat tersebut adalah berstruktur dan disusun mengikut cara yang membolehkan pelajar menyimpan maklumat baru dalam ingatan jangka panjang, di samping membolehkan maklumat yang sedia ada diambil semula daripadanya sekiranya diperlukan di masa hadapan (Brooks, 2009). Oleh yang demikian, pemahaman terhadap batasan kapasiti struktur memori kerja dan stor pengetahuan yang luas dari ingatan jangka panjang adalah penting untuk membangunkan pengajaran yang lebih berkesan bersesuaian dengan domain sesuatu pembelajaran. Prinsip-prinsip ini adalah teras kepada kerangka kognitif bagi Teori Beban Kognitif yang mengklasifikasikan jenis memori manusia berdasarkan fungsi dan keupayaan, sekaligus membawa kepada implikasi pengajaran (Rourke & Sweller, 2009). Hal ini menjelaskan proses beban yang terlibat apabila skema berkembang atau perubahan pemerolehan pengetahuan.

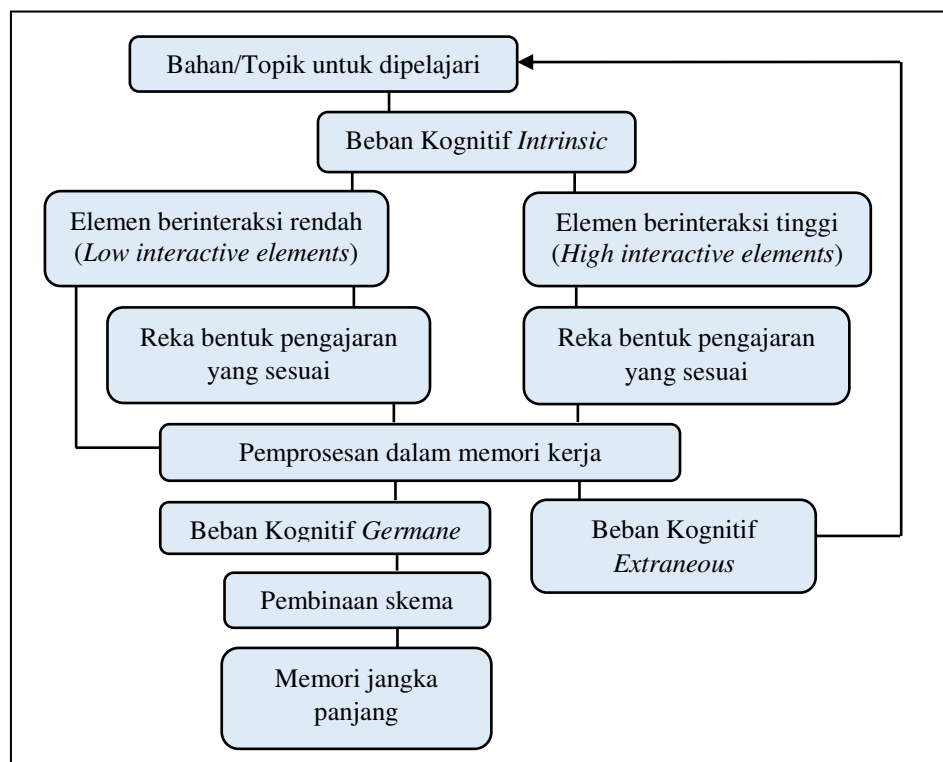
Menurut Sweller et al. (1998), pembinaan skema dan peranan automasi merupakan dua prinsip utama yang membimbing kepada pemerolehan pengetahuan untuk pelajar novis. Perbezaan antara pakar dan novis adalah, novis belum mendapat skema seperti yang diperolehi oleh pakar. Pembelajaran memerlukan perubahan struktur ingatan jangka panjang dan dibentuk melalui kegagalan yang dihadapi sepanjang proses pembelajaran. Perubahan prestasi berlaku disebabkan pelajar semakin memahami dan membiasakan diri dengan bahan pembelajaran dan sifat-sifat kognitif yang berkaitan dengan bahan pembelajaran yang telah diubahsuai untuk memudahkan ingatan jangka pendek dalam memproses maklumat yang diterima (Sweller, 1988). Sekiranya tiada sebarang perubahan dalam memori jangka panjang, bermakna, tiada apa yang telah dipelajari (sweller, 2009). Oleh itu, bagi memastikan proses perolehan skema berlaku, pengajaran yang berkesan perlu direka demi mengurangkan ingatan kerja (Sweller, 1988).

Walau bagaimanapun, kapasiti memori kerja boleh ditingkatkan jika maklumat disusun menjadi skema. Skema berupaya berkhidmat bagi kedua-dua proses iaitu untuk (i) menyimpan maklumat yang dipelajari dalam ingatan jangka panjang dan (ii) mengurangkan permintaan kognitif pada ingatan kerja (Kapli, 2010). Strategi pengajaran yang memerlukan pelajar untuk melibatkan diri dalam aktiviti-aktiviti pembelajaran dengan meletakkan tuntutan yang berlebihan pada memori kerja dan tidak berkesan dalam mengatur maklumat dengan cara yang meningkatkan pembangunan skema, mungkin menghasilkan keputusan yang tidak berkesan (Brooks, 2009). Tuntutan kognitif pelajar yang berlebihan boleh ditentukan berdasarkan tahap unsur interaktiviti yang berkaitan dengan kemahiran atau tugas tertentu yang perlu dipelajari. Penyelidik beban kognitif mencadangkan bahawa beban kognitif yang berkaitan pembelajaran adalah berkaitan dengan sejauh mana elemen-elemen berinteraksi antara satu sama lain (Sweller & Chandler, 1994).

Oleh yang demikian, memandangkan ingatan kerja tidak boleh mengendalikan terlalu banyak maklumat pada sesuatu masa, pengajaran tidak wajar direka bentuk dengan mengenakan tuntutan kognitif yang berat kepada pelajar. Banyak ahli-ahli Teori Beban Kognitif menumpukan kajian bagi mengenal pasti reka bentuk pengajaran yang lebih baik untuk mengelakkan lebih beban ingatan kerja (Ayles, 2006). Kesannya, apabila beban kognitif dikurangkan, memori kerja pelajar lebih berkeupayaan dalam pembinaan skema dan automasi (Hsiao, 2010). Seperti yang difahami, Teori Beban Kognitif berbeza daripada teori-teori pengajaran lain dengan penekanan kepada kerangka kognitif manusia. Teori ini mentakrifkan, beban kognitif sebagai jumlah memori kerja yang digunakan dalam proses pembelajaran atau sebagai pemprosesan maklumat yang berlaku di dalam ingatan kerja (Hogg, 2006). Seterusnya, bagi menerangkan bagaimana pembelajaran berlaku, Teori Beban Kognitif (Sweller, 1988) membezakan beban kognitif mengikut tiga kategori yang berbeza iaitu (i) *intrinsic*, (ii) *extraneous* dan (iii) *germane* (Sweller, van Merriënboer, Paas & 1998; Anastasiade, 2009) seperti Rajah 1.

Jadual 1. Tiga jenis sub beban kognitif dalam Teori Beban Kognitif

Jenis Beban Kognitif	Spesifikasi
<i>Intrinsic</i>	Beban yang disebabkan oleh sifat kompleks atau kesukaran yang wujud daripada bahan pengajaran (Brooks, 2009). Beban ini berkaitan sifat sesuatu tugas, unsur interaktiviti dan kepakaran pelajar (Kalyuga, 2006; Sweller et al., 1998; Van Merriënboer et al., 2006).
<i>Extraneous</i>	Beban pengajaran yang tidak berkesan (van Gog, Paas, & van Merrienboer, 2004) disebabkan oleh pengajaran yang direka dengan lemah serta gagal untuk mengenali batas-batas memori kerja dan keperluan untuk memudahkan pembangunan skema dan automasi (Sweller, 2005).
<i>Germane</i>	Beban yang berkesan dalam pembelajaran (Renkl, 1997; Paas & van Merrienboer, 1994). Beban ini dipengaruhi oleh format pengajaran atau aktiviti pembelajaran luaran (Paas, Renkl & Sweller, 2003).



Sumber: Hogg (2006)

Rajah 1. Perhubungan antara beban kognitif, sistem memori manusia dan bahan pembelajaran

Pendekatan contoh kerja (*worked example*) dalam konteks teori beban kognitif

Pendekatan contoh kerja atau pembelajaran berasaskan contoh adalah satu pendekatan pengajaran dan pembelajaran melalui kemahiran menyelesaikan masalah (Merriënboer & Sweller, 2005). Contoh kerja adalah strategi pengajaran yang merangkumi demonstrasi langkah demi langkah untuk menyelesaikan masalah pembelajaran (Van Gog, Paas & Van Merriënboer, 2004; Clark, Nguyen & Sweller, 2006) dan digunakan oleh pereka pengajaran bagi mengurangkan beban kognitif pelajar dalam tugas pembelajaran yang kompleks (van Gog & Rummel, 2010; Jones, 2014). Sesungguhnya, kajian dalam bidang ini berjaya

mencipta pelbagai ideologi yang membantu meningkatkan pemerolehan pengetahuan dalam dunia pendidikan.

Strategi contoh kerja biasanya berpasangan dengan masalah yang sama untuk pelajar selesaikan. Banyak kajian menunjukkan bahawa pendekatan ini lebih unggul (Sweller, 2009) kerana, strateginya seolah-olah mampu membuat kesimpulan yang rasional untuk langkah-langkah penyelesaian walaupun pelajar tidak diberikan ulasan yang jelas untuk penyelesaian masalah tersebut (Darabi et al., 2010). Kesenambungannya, contoh kerja berupaya menyediakan pelajar idea awal bagaimana untuk menerapkan teori, konsep atau formula dalam keadaan tertentu seterusnya membantu pelajar memahami konsep-konsep baru dan sukar supaya pembelajaran lebih mudah untuk difahami dan diingati (Schworm & Renkl, 2006). Dengan itu, pelajar boleh belajar daripada model pakar mental (*expert mental models*) yang disediakan dalam contoh kerja untuk menyelesaikan masalah dengan betul tanpa percubaan dan kesilapan serta dapat membebaskan lebih banyak keupayaan memori kerja yang ada untuk pembinaan skema dan automasi (Atkinson, Derry, Renkl & Wortham, 2009; Sweller, 2006; Sweller et al., 1998; Van Merriënboer & Sweller, 2005).

Di samping itu, contoh kerja bukan sahaja menggalakkan pembinaan skema dan automasi yang penting sebagai keberkesanan pembelajaran, tetapi juga mengurangkan bebanan (*burden*) masalah pada memori kerja dengan adanya langkah-langkah penyelesaian dan jawapan yang akhir dalam strategi ini (Kim, 2013). Tambahan pula, banyak kajian mengesahkan contoh kerja lebih berkesan untuk meningkatkan kemahiran menyelesaikan masalah pelajar daripada melibatkan diri dalam penyelesaian masalah terutamanya bagi novis (contohnya, Cooper & Sweller, 1987; Kalyuga, Chandler, Tuovinen & Sweller, 2001; Paas, 1992; Paas & van Merriënboer, 1994). Malah, pelajar yang diberikan contoh kerja dalam pembelajaran berupaya menunjukkan prestasi pemindahan (*transfer*) yang lebih baik dan kurang menghabiskan masa sewaktu latihan (Van Gog, Paas & Merriënboer, 2004). Situasi ini disebabkan perhatian pelajar ditumpukan kepada operator yang sepatutnya untuk menyelesaikan masalah dan pelajar boleh mengesan perbezaan antara jenis masalah dan operator yang berkaitan.

Selain itu, pembelajaran yang menggunakan contoh kerja menunjukkan struktur maklumat yang dipelajari berupaya disimpan dengan lebih lama. Ini kerana, contoh kerja menyebabkan pelajar mesti memasang semua maklumat yang diberikan ke dalam ingatan kerja dan kemudian memadankannya dengan struktur pengetahuan dan skema yang disimpan dalam memori jangka panjang (Lai et al., 2001). Biasanya, pelajar yang menerima senario pembelajaran berasaskan contoh, cenderung untuk bertanya banyak soalan pada permulaan bagi urutan penyelesaian masalah dan kemudian berkurangan pada akhirnya. Hal ini menunjukkan pelajar lebih cenderung untuk memanfaatkan sedikit masa pada mulanya bagi mengurangkan sempadan masalah, sekali gus memberi kesan penurunan terhadap beban kognitif *extraneous* pada senario seterusnya, apabila konsep yang lebih kompleks perlu ditangani (Bunch, 2009).

Strategi penyelesaian masalah dalam konteks teori beban kognitif

Penyelesaian masalah konvensional adalah kaedah pengajaran yang dominan dalam pengajaran kebanyakan bidang berstruktur tinggi seperti matematik, sains fizikal dan sains komputer sejak tahun 1950an dan 1960an. Penyelesaian masalah ini digambarkan sebagai proses menyelaraskan pengalaman lalu, pengetahuan dan gerak hati untuk memperoleh hasil yang dikehendaki (Crissman, 2006). Secara khusus, strategi pengajaran ini adalah untuk pemerolehan dan pemindahan kemahiran, dalam suasana pembelajaran yang kompleks (Darabi, Nelson, Meeker, Liang & Boulware, 2010). Melalui strategi ini, pelajar harus menyelesaikan keseluruhan masalah dalam tugas bagi tujuan penyediaan untuk memindahkan kemahiran mereka dalam situasi masalah yang berbeza-beza (van Merriënboer, 1997).

Bagaimanapun, strategi yang telah dikritik oleh para sarjana yang berminat dalam hubungan di antara beban kognitif dan pengajaran sebagai tidak berkesan untuk pelajar novis (contohnya, Van Gog et al., 2004; 2008). Tambahan lagi, empirikal dalam perspektif Teori Beban Kognitif menyifatkan, strategi ini boleh menghalang pembinaan skema dan automasi, lebih-lebih lagi kepada pelajar novis sebaliknya hanya

memberi manfaat kepada pelajar yang mempunyai domain pengalaman dan skema sedia ada dalam sesuatu domain pembelajaran tersebut (Kalyuga et al., 2001). Situasi ini disebabkan, strategi penyelesaian masalah memerlukan pelajar melaksanakan operasi carian dan padanan yang kemungkinan tidak berkaitan dengan pembelajaran menyebabkan maklumat yang tidak diperlukan diproses semasa aktiviti pembelajaran (Kalyuga, 2011).

Kesannya, pendekatan pembelajaran ini secara tidak langsung meletakkan permintaan yang tinggi ke atas sumber-sumber ingatan kerja untuk menyelesaikan masalah. Malah, dalam masa yang sama mengurangkan sumber-sumber kognitif sedia ada untuk pembelajaran yang dikenali sebagai pembangunan skema dan automasi (Brooks, 2009). Hal demikian berpunca daripada konsep pendekatan ini yang menentang penyelesaian masalah melalui *means-ends analysis* (Sweller, van Merriënboer & Paas, 1998). Keburukannya, beban kognitif yang tinggi membebani novis semasa menyelesaikan masalah kerana pada masa yang sama, pelajar perlu mempertimbangkan masalah, matlamat, perbezaan antara masalah dan matlamat, operator-operator yang berkenaan dan sebarang sub-matlamat yang telah diwujudkan (Kalyuga et al., 2001).

Menurut Kalyuga et al., (2001), secara tidak sedar sebenarnya, situasi ini boleh mengabaikan fokus matlamat sebenar pengajaran yang secara langsung telah mengenakan Beban Kognitif *Extraneous* yang tinggi kepada pelajar (Merriënboer & Ayres, 2005; Hsiao, 2010). Namun, pelajar pertengahan masih mendapat manfaat daripada strategi ini (Darabi, Nelson, Meeker, Liang & Boulware, 2010). Menariknya, strategi ini sangat bermakna kepada pelajar apabila berada di zon mahir dalam pemerolehan pengetahuan. Malahan, pendekatan contoh kerja menjadi tidak bermakna apabila proses pemerolehan pengetahuan pelajar menuju ke tahap mahir (Wittwer & Renkl, 2010; Reisslein, Atkinson, Seeling & Reislies, 2006). Risikonya, sekiranya pelajar terus didedahkan dengan contoh kerja, kesan pembalikan (*expertise-reversal effect*) boleh berlaku (Kalyuga, Ayres, Chandler & Sweller, 2003). Malah, contoh kerja juga berupaya memudaratkan pelajar kerana maklumat dalam contoh kerja boleh dianggap sebagai *redundant* (Jalani & Lai, 2015).

Perbincangan

Berpandukan empirikal yang dikemukakan, perhatian khusus dalam reka bentuk pengajaran amat penting bagi kelancaran pengajaran dan pembelajaran dalam sesuatu domain sama ada mudah ataupun kompleks. Ramai cendekiawan Teori Beban Kognitif tampil dengan pelbagai sokongan untuk pengajaran dan pembelajaran yang lebih bernilai dalam pelbagai domain pembelajaran. Terbukti, teori ini berupaya menjana kaedah pengajaran yang lebih berkesan dan sangat berpengaruh dalam bidang psikologi pendidikan, semenjak dekad yang lalu dalam menyediakan garis panduan bagi reka bentuk pengajaran (Schnotz & Kurschner, 2007; Wittwer & Renkl, 2010). Bagaimanapun, kurangnya penemuan kajian seumpama ini dalam domain kejuruteraan, menyebabkan sukarnya menemui empirikal dan teoritikal yang boleh dijadikan panduan bagi membantu pelajar kejuruteraan menyerap kandungan pembelajaran dengan lebih efektif.

a) Pendekatan pengajaran contoh kerja berbanding strategi penyelesaian masalah

Tiga dekad lalu, kajian instruksional yang membandingkan pendekatan contoh kerja dan penyelesaian masalah melibatkan Teori Beban Kognitif telah merekodkan penemuan penting iaitu, walaupun pelajar biasanya dapat menyatakan kaedah-kaedah yang telah dipelajari, namun keunggulan contoh kerja menunjukkan pelajar lebih mengenal pasti kaedah dan masalah dalam pembelajaran seterusnya mampu mengaplikasikannya untuk penyelesaian masalah berbanding menghafal langkah-langkah yang sepatutnya seperti yang dianjurkan dalam strategi penyelesaian masalah (Zhu & Simon, 1987). Jelas, pembelajaran berlaku kerana pelajar benar-benar faham dan bukanlah hafal semata-mata dalam sesuatu pembelajaran. Kajian sama yang menggunakan 20 pelajar ini bukan sahaja membuktikan pembelajaran contoh kerja

lebih berkesan, malah mengesahkan bahawa pembelajaran yang menerapkan strategi ini menggunakan masa yang kurang berbanding kaedah penyelesaian masalah konvensional. Tambahan lagi, kajian eksperimental yang dijalankan terhadap pelajar sekolah tinggi dalam kelas algebra ini menunjukkan bahawa, pelajar yang menggunakan contoh kerja mendapat keputusan yang lebih baik daripada pelajar yang menggunakan kaedah konvensional.

Sementara itu, satu empirikal kajian yang berhasil dijalankan oleh Sweller dan Cooper (1985) ke atas kedua-dua pendekatan ini terhadap pelajar-pelajar yang mempelajari masalah algebra menyaksikan, penggunaan contoh kerja menjadikan pelajar lebih cekap dalam pembelajaran. Malah, rentetan lima eksperimen yang dijalankan mendapati, kumpulan pelajar yang belajar menggunakan contoh kerja mengambil masa yang sedikit untuk memproses bahan-bahan pengajaran dan mampu menyelesaikan masalah dalam masa yang singkat. Di samping itu, ralat dalam matematik juga dapat diturunkan. Seterusnya, hasil kajian juga menunjukkan, pencapaian pelajar dalam peperiksaan yang menggunakan pendekatan contoh kerja adalah lebih baik berbanding kaedah konvensional.


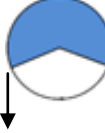
Kini, beralih kepada kajian eksperimental yang dijalankan oleh Nievelstein, van Gog, van Dijck dan Boshuizen (2013) yang menyiasat *expertise-reversal effect* dalam tugas yang kurang berstruktur berkenaan hujah dalam undang-undang terhadap pelajar undang-undang. Kajian tersebut menunjukkan, pembelajaran yang menggunakan contoh kerja adalah lebih berkesan berbanding pembelajaran yang menggunakan penyelesaian masalah. Lebih penting lagi, dapatan mendapati contoh kerja memberi manfaat kepada kedua-dua kumpulan pelajar iaitu novis dan mahir walaupun mereka mempunyai pengetahuan awal yang lebih tinggi.

Lebih spesifik, daripada perbincangan kajian-kajian lalu dalam perbandingan kedua-dua pendekatan ini menunjukkan contoh kerja memberi manfaat kepada novis kerana strategi ini memudahkan pemerolehan skema dan mengurangkan Beban Kognitif *Extraneous* (Sweller et al., 1998; Anastasiade, 2009). Situasi ini disebabkan, pelajar tidak dibebankan dengan aktiviti pencarian penyelesaian masalah bagi memenuhi matlamat sesuatu tugas yang dikemukakan (van Gog, Paas & Sweller, 2010; Lewis, 2008). Maka, tuntutan kapasiti yang berlebihan tidak digunakan dalam aplikasi contoh kerja berbanding penyelesaian masalah konvensional. Sebaliknya, contoh kerja membuatkan lebih kapasiti memori kerja yang ada boleh menangani aspek-aspek masalah yang tidak biasa ditangani. Sementara itu, di samping menggalakkan pembinaan skema dan automasi, contoh kerja juga mampu mengurangkan bebanan masalah pada memori kerja (Kim, 2013).

Jelaslah bahawa, pendekatan contoh kerja lebih efisien (Gerven, Paas, Merrienboer & Schmidt, 2002) dan efektif dalam tuntutan masa dan usaha (van Gog et al., 2006), kerana sifatnya yang menyediakan panduan pengajaran yang banyak berbanding sedikit panduan dalam penyelesaian masalah konvensional. Keseluruhannya, melalui empirikal tersebut, kebanyakan penyelidik mengemukakan bahawa pembelajaran melalui contoh kerja berupaya meningkatkan prestasi pembelajaran pelajar berbanding kaedah konvensional. Ini kerana, strategi penyelesaian masalah konvensional memberi sokongan pengajaran yang sedikit (Tuovinen & Sweller, 1999), mendorong pelajar novis untuk mengambil strategi penyelesaian masalah dengan arahan matlamat yang lemah.

Bertentangan dengan penyelesaian masalah konvensional, penggunaan contoh-contoh dalam pembelajaran menunjukkan peningkatan prestasi pemindahan bagi pelajar novis dengan mengoptimumkan keupayaan kognitif (Brooks, 2009). Prestasi yang lebih baik ini adalah kerana pelajar membebaskan keupayaan kognitif yang digunakan untuk pembinaan skema dan automasi (Sweller et al., 1998) memandangkan prosesnya yang lebih sistematik dan lengkap. Lebih jelas, Jadual 2 menunjukkan secara ringkas perbandingan di antara kaedah konvensional berbanding contoh kerja.

Jadual 2. Model logik perbandingan antara kaedah konvensional dan contoh kerja

Hasil	Konvensional	Contoh Kerja
Beban Kognitif	Mengenakan beban kognitif yang berat kepada pelajar	Mengurangkan beban kognitif
Keupayaan kognitif yang digunakan untuk memproses kandungan pembelajaran		
Memahami keperluan Prestasi	Terhad Terhad Kursif dan dangkal	Lebih banyak Lebih baik Teliti dan reflektif

Sumber: (Jin, 2012)

b) Pendekatan contoh kerja dalam domain kejuruteraan

Sehingga kini, terlalu banyak perhatian diberikan terhadap penggunaan contoh kerja dalam domain pembelajaran seperti matematik, fizik dan kimia, sehingga sukar menemukan kajian ke atas penggunaan contoh kerja dalam domain kejuruteraan. Bagaimanapun, terdapat beberapa penemuan kajian yang menggunakan contoh kerja dalam domain kejuruteraan (seperti Reislein et al., 2006; van Gog et al., 2006; Kapli, 2010). Merujuk kajian yang dijalankan oleh van Gog, Paas dan Merrienboer (2006) ke atas 68 pelajar Program Elektronik di tiga buah sekolah menengah pendidikan vokasional. Hasil kajian tersebut mendapati bahawa, penggunaan sokongan pengajaran yang lebih banyak seperti contoh kerja dalam penyelesaian masalah menyebabkan pengajaran menjadi lebih berkesan dan juga efisien untuk pelajar novis. Walaupun wujud kajian dalam domain kejuruteraan, namun dapatan ini terhad kepada pelajar kejuruteraan di tahap rendah dan tidak memadai untuk tahap pelajar yang lebih tinggi seperti program diploma dan sebagainya. Kedua, pendekatan contoh kerja yang melibatkan pelbagai tahap kesukaran masih tidak dikaji secara meluas menyebabkan, keberkesanan contoh kerja yang pelbagai tahap kesukaran masih tidak diketahui.

Kesimpulan

Pendekatan contoh kerja telah disyorkan dalam proses pengajaran dan pembelajaran oleh kebanyakan penyelidik (seperti Sweller, 2006; van Merriënboer & Sweller, 2005; Kalyuga et al., 2001; van Gog et al., 2004, 2008) terutamanya dalam penyelesaian masalah pembelajaran yang kompleks. Sumbangan ini, secara jelas meyakinkan bahawa contoh kerja berupaya menghasilkan banyak kesan positif antaranya mengurangkan Beban Kognitif *Extraneous* yang tidak diperlukan dalam pembelajaran (Kim, 2013). Kaedah ini membolehkan pelajar menghubungkan langkah-langkah yang sepatutnya dan menghadkan beban kognitif dalam menyelesaikan masalah (Lewis, 2008). Oleh yang demikian, contoh kerja ternyata menjadi salah satu strategi pengajaran yang popular disyorkan untuk menguruskan beban kognitif (Clarke, Ayres & Sweller, 2005). Oleh yang demikian, berpandukan kepada kajian-kajian lepas dalam konteks Teori Beban Kognitif, pendekatan contoh kerja nyata lebih relevan digunakan dalam pembelajaran domain kejuruteraan berbanding penyelesaian masalah.

Sementara itu, walaupun keberkesanan contoh kerja telah disahkan secara meluas (contohnya Copper & Sweller, 1987; Crissman, 2006; Lee et al., 2004; Shen, 2005; Sweller & Copper, 1985; Zhu & Simon, 1987), namun, beberapa penyelidik menegaskan bahawa hanya reka bentuk contoh kerja yang sesuai, mempunyai keberkesanan yang lebih tinggi. Tambahan pula, penggunaan contoh kerja yang dibina dengan teliti mampu meningkatkan pembelajaran (Jones, 2014). Oleh yang demikian, pereka seharusnya memberikan lebih perhatian kepada reka bentuk contoh kerja dengan mengambil kira ciri-ciri perbezaan individu (Tarmizi & Sweller, 1988; Ward & Sweller, 1990; Hsiao, 2010). Justeru, artikel ini mencadangkan

dua jenis pendekatan pengajaran berasaskan contoh kerja digunakan dalam pembelajaran domain kejuruteraan. Pertama, pendekatan contoh kerja mudah ke sukar dan kedua adalah sebaliknya.

Penghargaan

Penulis ingin merakamkan setinggi-tinggi penghargaan kepada Kementerian Pendidikan Tinggi di atas tajaan Geran ERGS vot E048. UTHM.

Rujukan

- Anastasiade JV (2009) Instructional Strategies For Developing Problem-Solving Skills The Worked-Example Effect Using Ill-Structured Visual Pattern Recognition Problems. (PhD Dissertation). Capella University.
- Anderson LW, Krathwohl DR (2001) A Taxonomy for Learning, Teaching and Assessing: A Revision Of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives: Complete Edition. New York.
- Atkinson RK, Derry SJ, Renkl A, Wortham D (2009) Learning from examples: Instructional principles from the worked examples research. *Review of Educational Research* 70(2), 181–214.
- Ayres P (2006) Using Subjective Measures to Detect Variations of Intrinsic Cognitive Load within Problems. *Learning and Instruction* 16, 389–400.
- Brooks CD (2009) Effects of Process-Oriented and Product-Oriented Worked Examples and Prior Knowledge on Learner Problem Solving and Attitude: A Study in the Domain of Microeconomics. (PhD Thesis). University of Florida State.
- Bunch JM (2009) An Approach To Reducing Cognitive Load In The Teaching of Introductory Database Concepts. *Journal of Information Systems Education* 20(3), 269–276.
- Burkes KME, Allen JM, Yeatts DE (2007) Applying Cognitive Load Theory to The Design of Online Learning. (PhD Dissertation). University of North Texas.
- Clark R, Nguyen F, Sweller J (2006) *Learning in efficiency*. San Francisco: John Wiley & sons, Inc.
- Clarke T, Ayres P, Sweller J (2005) The Impact of Sequencing and Prior Knowledge on Learning Mathematics through Spreadsheet Applications. *Educational Technology Research & Development* 53, 15–24.
- Cooper G, Sweller J (1987) The Effects of Schema Acquisition and Rule Automation on Mathematical Problem-Solving Transfer. *Journal of Education & Psychology* 79, 347-362.
- Darabi A, Nelson DW, Meeker R, Liang X, Boulware W (2010) Effect of Worked Examples on Mental Model Progression in a Computer-Based Simulation Learning Environment. *Journal of Computing in Higher Education* 22(2), 135–147.
- Everett LJ, Imbrie PK, Morgan J (2000) Integrated Curricula: Purpose and Design. *Journal of Engineering Education* 89(2), 167–175.
- Hogg NM (2006) dalam Hsiao EL (2010) The Effectiveness of Worked Examples Associated with Presentation Format and Prior Knowledge: A Web-based Experiment. (PhD Dissertation). University of Ohio.
- Hsiao EL (2010) The Effectiveness of Worked Examples Associated with Presentation Format and Prior Knowledge: A Web-based Experiment. (PhD Dissertation). University of Ohio
- Jalani NH, Lai CS (2015) Perbandingan Kesan Pembelajaran Berasaskan Contoh-Masalah dan Pembelajaran Pemusatan-Guru Terhadap Pemerolehan Pengetahuan Pelajar. *JuKu: Jurnal Kurikulum & Pengajaran Asia Pasifik* 3(1), 1-10.
- Jin L (2012) Example postings' effects on online discussion and cognitive load. (PhD Dissertation). Florida State University.
- Jones EC (2014) Cognitive Load Theory And College Composition: Can worked examples help novice writers learn argumentation. (PhD Dissertation). University of Capella.

- Kalyuga S (2006) Rapid Cognitive Assessment of Learners' Knowledge Structures. *Learning and Instruction* 16, 1-11.
- Kalyuga S (2011) Cognitive Load Theory: How Many Types of Load Does it Really Need? *Educational Psychology Review* 23(1), 1-19.
- Kalyuga S, Ayres P, Chandler P, Sweller J (2003) The Expertise Reversal Effect. *Educational Psychologist* 38, 23-32.
- Kalyuga S, Chandler P, Tuovinen J, Sweller J (2001) When Problem Solving is Superior to Studying Worked Examples. *Journal of Educational Psychology* 93, 579-588.
- Kapli NV (2010) The Effects of Segmented Multimedia Worked Examples and Self-Explanations on Acquisition of Conceptual Knowledge and Problem-Solving Performance in an Undergraduate Engineering Course. (PhD Dissertation). Pennsylvania State University.
- Kim YR (2013) *Effects of Worked Examples on Far Transfer*. (Master Thesis). North Carolina University.
- Kirschner PA, Sweller J, Clark RE (2006) Why Minimal Guidance during Instruction does not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching. *Educational Psychologist* 41(2), 75-86.
- Lai K, Griffin P, Mak A, Wu M, Dulhunty M (2001) Modelling Strategies in Problem Solving. The Australian Association for Research in Education.
- Lammi M, Becker K (2013) Engineering Design Thinking. *Journal of Technology Education* 24(2).
- Lewis D (2008) The Acquisition of Procedural Skills: An Analysis of the Worked-Example Effect Using Animated Demonstrations. (PhD Dissertation). South Florida University.
- Merrienboer JJG, Sweller J (2005) Cognitive Load Theory and Complex Learning: Recent Developments and Future Directions. *Educational Psychology Review* 17(2), 147-177.
- Nievelstein F, van Gog T, van Dijck G, Boushuizen HPA (2013) The worked example and expertise reversal effect in less structured tasks: Learning to reason about legal cases. *Contemporary Educational Psychology* 38(2), 118-125.
- Paas F (1992) Training strategies for attaining transfer of problem-solving skill in statistics: A cognitive-load approach. *Journal of Educational Psychology* 84, 429-434.
- Paas FGWC, van Merrienboer JJG (1994) Variability of Worked Examples and Transfer of Geometrical Problem-Solving Skills: A Cognitive-Load Approach. *Educational Psychology* 86(1), 122-133.
- Paas F, Ayres P (2014) Cognitive Load Theory: A Broader View on The Role of Memory in Learning and Education. *Educational Psychology Review* 26(2), 191-195.
- Paas F, Renkl A, Sweller J (2003) Cognitive Load Theory and Instructional Design: Recent Developments. *Educational Psychologist* 38 (1), 1-4.
- Rangel JGD (2010) Engineering Design Educational Model: From Skills to Objectives. (Master Thesis). Texas University.
- Reisslein J, Atkinson RK, Seeling P, Reisslein M (2006) Encountering The Expertise Reversal Effect With a Computer-Based Environment on Electrical Circuit Analysis. *Learning and Instruction* 16(2), 92-103.
- Renkl A (1997) Learning from Worked-Out Examples: A Study on Individual Differences.
- Rourke A, Sweller J (2009) The Worked-Example Effect Using Ill-Defined Problems: Learning to Recognise Designers' Styles. *Learning and Instruction* 19, 185-199.
- Sadiku MNO (2007) *Elements of Electromagnetics*. United State of America Edisi ke 4.
- Schnotz W, Kurschner C (2007) A Reconsideration of Cognitive Load Theory. *Educational Psychology Review* 19(4).
- Schworm S, Renkl A (2006) Computer-Supported Example-Based Learning: When Instructional Explanations Reduce Self-Explanations. *Computers & Education* 46, 426-445.
- Shen CY (2005) The Effectiveness of Worked Examples in a Game-Based Problem-Solving Task. (PhD Dissertation). Southern California University.

- Streveler RA, Litzinger TA, Miller RL, Steif PS (2008) Learning Conceptual Knowledge in The Engineering Sciences: Overview and Future Research Directions. *Journal of Engineering Education* 97(3), 279-294.
- Sweller J (1988) Cognitive Load During Problem Solving: Effects on Learning. *Cognitive Science* 12(2), 257–285.
- Sweller J (2004) Instructional Design Consequences of an Analogy Between Evolution by Natural Selection and Human Cognitive Architecture. *Instructional Science* 32(2), 9–31.
- Sweller J (2005) Implications of Cognitive Load Theory for Multimedia Learning. In Mayer RE (ed) *The Cambridge handbook of multimedia learning*, pp.19-29. New York, NY.
- Sweller J (2006) The Worked Example Effect and Human Cognition. *Learning and Instruction* 16(2), 165–169.
- Sweller J (2009) The Many Faces of Cognitive Load Theory. *ProQuest Education Journals* 63(8), 22.
- Sweller J, Chandler P (1994) Why Some Material is Difficult to Learn? *Cognition and Instruction* 12, 185–233.
- Sweller J, Cooper GA (1985) The Use of Worked Examples as a Substitute for Problem Solving in Learning Algebra. *Cognition and instruction* 2, 59-89.
- Sweller J, van Merriënboer JJG, Paas FGWC (1998) Cognitive Architecture and Instructional Design. *Educational Psychology Review* 10(3), 251–296.
- Tarmizi RA, Sweller J (1988) Guidance during Mathematical Problem Solving. *Journal of Educational Psychology* 80, 424-436.
- Tuovinen JE, Sweller J (1999) A comparison of Cognitive Load Associated with Discovery Learning and Worked Examples. *Journal of Educational Psychology* 91, 334–341.
- Van Gerven PWM, Paas F, Van Merriënboer JJG, Hendriks M, Schmidt HG (2003) The Efficiency of Multimedia Learning Into Old Age. *British journal of educational psychology* 73 (4), 489-505.
- Van Gerven P, Paas F, Van Merrinboer J, Schmidt H (2002) Cognitive Load Theory and Aging: Effects of Worked Examples on Training Efficiency. *Learning and Instruction* 12, 87-105.
- Van Gog T, Paas F, Sweller J (2010) Cognitive Load Theory: Advances in Research on Worked Examples, Animations, and Cognitive Load Measurement. *Educational Psychology Review* 22(4), 375–378.
- Van Gog T, Paas F, Van Merriënboer JJG (2004) Process-Oriented Worked Examples: Improving Transfer Performance through Enhanced Understanding. *Instructional Science* 32, 83–98.
- Van Gog T, Paas F, van Merriënboer JJG (2006) Effects of Process-Oriented Worked Examples on Troubleshooting Transfer Performance. *Learning and Instruction* 16(2), 154–164.
- Van Gog T, Paas F, van Merriënboer JJG (2008) Effects of Studying Sequences of Process-Oriented and Product-Oriented Worked-Out Examples on Troubleshooting Transfer Efficiency, *Learning and Instruction* 3(2), 24-35.
- Van Merriënboer JJG (1997) *Training Complex Cognitive Skills: A Four-Component Instructional Design Model for Technical Training*. Englewood Cliffs, NJ.
- Van Merriënboer JJG, Ayres P (2005) Research on Cognitive Load Theory and its Design Implications for E-Learning. *Educational Technology, Research and Development* 53(3), 5-13.
- Van Merriënboer JJG, Sweller J (2005) Cognitive Load Theory and Complex Learning: Recent Developments and Future Directions. *Educational Psychology Review* 17(2).
- Van Merriënboer JJG, Kester L, Paas F (2006) Teaching Complex Rather than Simple Tasks: Balancing Intrinsic and Germane Load To Enhance Transfer of Learning. *Applied Cognitive Psychology* 20, 343–352.
- Ward M, Sweller J (1990) Structuring Effective Worked Examples. *Cognition and Instruction* 7, 1-39.
- Wittwer J, Renkl A (2010) How effective are Instructional Explanations in Example-Based Learning? A Meta-Analytic Review. *Educational Psychology Review* 22, 393–409.
- Zhu X, Simon H (1987) Learning Mathematics from Examples and by Doing. *Cognit. Instr.* 4, 137-166.