

KEPERLUAN KEBOLEHGUNAAN ALATAN PENGESAHBETULAN FORMAL

Rozilawati Razali dan Paul Garratt

ABSTRAK

Tatatanda formal menggunakan simbol dan interpretasi matematik bagi menggambar unsur sistem. Formaliti yang dikenakan oleh tatatanda tersebut membolehkan ketepatan dan ketekalan model sistem disahkan oleh alatan pengesahbetulan. Namun, tatatanda formal secara umum adalah sukar difahami dan diguna. Sebagai instrumen sokongan, alatan pengesahbetulan seharusnya berupaya mengatasi kekangan ini. Kajian ini mempersembahkan satu kajian selidik yang dilaksanakan ke atas dua contoh alatan pengesahbetulan yang menyokong tatatanda formal iaitu ProB dan B-Toolkit. Kajian selidik ini bertujuan mengenal pasti ciri kebolehgunaan yang perlu ada pada sesuatu alatan pengesahbetulan. Kajian selidik ini menggunakan rangka kerja *Cognitive Dimensions of Notations* (CD) dan beberapa kriteria yang dicadangkan oleh piawai *International Organization for Standardization* (ISO) sebagai instrumen kajian. Enam puluh tiga peserta memberi maklum balas terhadap kajian ini. Data dianalisis menggunakan pendekatan *Grounded Theory*. Analisis ini membolehkan pengenalpastian ciri abstrak dan sifat yang membentuk garis panduan bagi mereka bentuk alatan pengesahbetulan yang berguna. Garis panduan ini meliputi tiga kategori ciri utama iaitu Antara muka, Utiliti dan Pengurusan Sumber. Ciri tersebut diperinci dengan pernyataan sifat dan dimensi khusus pelaksanaannya. Garis panduan ini boleh diguna sebagai rujukan oleh pereka bagi mereka bentuk alatan pengesahbetulan yang menggalak penggunaan tatatanda formal.

Kata Kunci: Keperluan kebolehgunaan, Alatan pengesahbetulan formal, Kajian empirikal.

ABSTRAK

Formal notations employ mathematical symbols and interpretation to illustrate system elements. The formality imposed by the notations allows the accuracy and consistency of a system model to be confirmed by verification tools. Formal notations on the other hand are difficult to understand and use by most users. As supporting instruments, verification tools are expected to be as usable as possible to overcome this limitation. This study presents a survey conducted on two instances of verification tools that support formal notations, namely ProB and B-Toolkit. The focus of the survey was to identify the important features that are necessary for verification tools to become usable to users. The survey assessed the tools' usability based on the Cognitive Dimensions of Notations (CD) framework and several criteria suggested by the International Organization for Standardization (ISO). Sixty-three participants responded to the survey. The data were analyzed by using the Grounded Theory. The analysis enabled the identification of abstract features and properties that formed a design guideline for usable verification tools. The

Makalah ini telah terbit dalam *Journal of Computer Science*, 2010, jld.6(10):1189-1198 di bawah tajuk *Usability Requirements of Formal Verification Tools: A Survey*

guideline includes three main categories of feature; Interface, Utilities and Resources Management. The features are further elaborated through the specification of specific properties and dimensions for implementation. The guideline could act as a roadmap for tool designers to design verification tools that promote the use of formal notations.

Key words: Usability requirement, Formal verification tools, Empirical study.

1. PENGENALAN

Model konsepsi menetapkan ciri sistem sedia ada dan masa hadapan. Model tersebut kebanyakannya dihasil melalui penggunaan tatatanda permodelan khusus. Antara contoh tatatanda sedia ada termasuklah tatatanda grafik seperti *Entity-Relationship Diagram* (ERD) (Chen, 1976) dan *Unified Modeling Language* (UML) (Object Management Group, 2012) serta tatatanda formal seperti Z (Spivey, 1992) dan B (Abrial, 1996). Selain daripada itu, terdapat juga tatatanda yang menggabungkan kedua-duanya seperti UML dan Z (Martin, 2003) dan UML dan B (Snook & Butler, 2006).

Tatatanda grafik mengguna objek visual manakala tatatanda formal mengguna simbol dan penterjemahan matematik bagi menggambar sistem yang dibina. Formaliti yang dikenakan oleh tatatanda formal membolehkan sesuatu model ditentukan secara sistematik oleh alatan pengesahbetulan yang direka khusus untuk meningkat kepersisan dan ketekalan model. Sebagai contoh, tatatanda B mengguna alatan pengesahbetulan seperti ProB (Leuschel & Butler, 2008), Atelier-B (ClearSy, 2011) dan B-Toolkit (B-Core, 2002). Proses penentuan bermula apabila keperluan sistem dinyatakan sebagai model konsepsi dengan mengguna tatatanda formal. Model tersebut seterusnya disalurkan ke dalam alatan pengesahbetulan bagi penyemakan sintaks dan semantik.

Walaupun berupaya meningkat kepersisan dan ketekalan model, tatatanda formal dianggap sukar difahami oleh pengguna (Carew et al., 2005). Secara tidak langsung, alatan pengesahbetulan diharap dapat mengatasi halangan ini. Ini bermakna alatan pengesahbetulan bukan sahaja seharusnya menyokong penggunaan tatatanda formal, tetapi juga meningkatkan penerimaan pengguna terhadap tatanda tersebut. Kajian ini mengemuka kaji selidik yang dijalankan ke atas dua contoh alatan pengesahbetulan iaitu ProB dan B-Toolkit. Kaji selidik ini bertujuan memeriksa dengan teliti apakah ciri yang perlu bagi menjadikan alatan pengesahbetulan mempunyai tahap kebolegunaan yang diterima pengguna. Kaji selidik ini mengguna rangka kerja *Cognitive Dimensions of Notations* (CD) (Green, 1989; Green & Petre, 1996) dan beberapa kriteria kebolegunaan yang dicadangkan oleh piawaian *International Organization for Standardization* (ISO) (ISO 9126-1, 2001) sebagai instrumen. Instrumen ini diguna sebagai alat perantara bagi mengenal pasti ciri umum, bukan untuk menilai kebolegunaan alatan tersebut secara individu.

2. LATAR BELAKANG

Kaedah formal ditakrif sebagai pendekatan berasaskan matematik dalam pembangunan sistem perisian. Ia dilihat sebagai teknik pencegahan kesalahan yang bertujuan mengurangi pengenalan ralat ke dalam sistem. Kaedah tersebut diguna pada peringkat awal pembangunan terutamanya

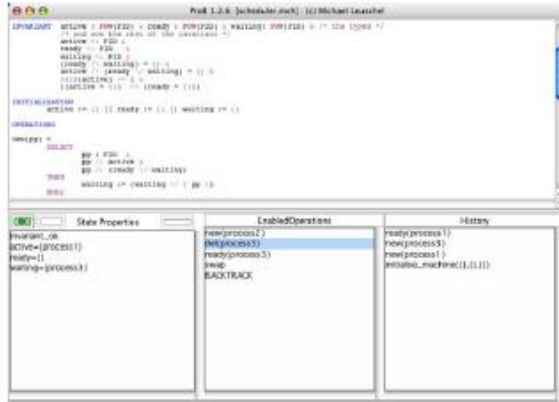
pada peringkat pernyataan keperluan sistem. B (Abrial, 1996) adalah contoh kaedah formal yang berasaskan matematik untuk permodelan, reka bentuk dan pelaksanaan sistem. Ia memasti ketekalan sesuatu model dan menjamin pelaksanaan sistem mengikut permodelan yang dihasil. Terdapat dua aktiviti penentusahan utama yang terlibat dalam kaedah B iaitu penyemakan ketekalan dan penyemakan penghalusan. Penyemakan ketekalan memasti model sentiasa mengekal keadaan sebenarnya manakala penyemakan penghalusan memasti model adalah sah pada setiap peringkat perincian.

Beberapa alatan industri menyokong aktiviti penentusahan yang melibatkan penggunaan kaedah B. Rajah 1 menunjukkan contoh antara muka alatan pengesahbetulan industri iaitu B-Toolkit (B-Core, 2002). B-Toolkit menjana tetapan bukti dan membuktikannya secara automatik dan interaktif. Pembukti automatik mengeluarkan bukti secara langsung manakala pembukti interaktif memerlukan campur tangan pengguna bagi melengkapkan aktiviti pembuktian. Pembukti automatik selalunya mampu membuktikan sebahagian besar tetapan bukti. Pembuktian selebihnya perlu dilakukan secara interaktif oleh pengguna melalui pembukti interaktif. Membukti tetapan bukti secara interaktif adalah rumit tetapi dapat memberi lebih pemahaman kepada pengguna tentang sifat dan perilaku model yang dibangun.

Selain daripada industri, terdapat juga alatan pengesahbetulan kaedah B yang dibina dalam kalangan komuniti penyelidikan. ProB (Leuschel & Butler, 2008) contohnya menyokong penyemakan ketekalan dan penghalusan berautomasi melalui penyemakan model (*Model Checking*) (Clarke et al., 1999). Tidak seperti alatan kaedah B yang lain, ProB mengandungi penyemak yang meneroka secara menyeluruh akan perilaku sehingga sesuatu model, juruanimasi yang melaksana operasi serta paparan grafik yang mengambar peralihan keadaan yang dilalui oleh penyemak model. Alatan ini menjalankan semakan dengan menentusah model terhadap sifat tertentu. Ia merentasi setiap keadaan model yang mampu dan mungkin dicapai serta menerokai keadaan model yang bermasalah. Animasi membolehkan simulasi perilaku sesuatu model diperhati. Pengguna diperlihatkan gambaran keadaan semasa, jujukan acara yang menyebabkan keadaan tersebut serta operasi yang dilaksana. Rajah 2 menunjukkan contoh antara muka ProB (ProB, 2012).



Rajah 1: Antara muka B-Toolkit



Rajah 2: Antara muka ProB

3. METOD

Kaji selidik ini tidak bertujuan menyiasat setiap contoh alatan pengesahbetulan dan menonjolkan kekuatan dan kelemahannya. Ini kerana alatan sedia ada sentiasa menjalani penambahbaikan dan alatan baharu turut diperkenal dari semasa ke semasa. Sebaliknya, kaji selidik ini bertujuan mengenal pasti ciri asas yang perlu ada pada alatan pengesahbetulan bagi menjadikannya berguna. Penerokaan ini dimulai dengan mengguna dua contoh alat pengesahbetulan kaedah formal iaitu ProB dan B-Toolkit. Memandangkan kajian ke atas dua contoh berkenaan tidak mungkin dapat mendedah semua ciri, hasil penemuan kaji selidik ini dibuka untuk siasatan lanjut dan perbincangan masa hadapan untuk perkembangannya.

Kaji selidik ini bersifat kualitatif yang mana analisisnya adalah berdasarkan tafsiran. Analisis ini mengenal pasti ciri yang dipercayai penting bagi memasti kebolegunaan alatan pengesahbetulan melalui pengalaman pengguna. Ia mengambil kira faktor kebolegunaan daripada perspektif pengguna baharu. Pengguna baharu merujuk kepada pembangun perisian yang bukan sahaja baru diperkenal kepada alatan bahkan tugas pengesahbetulan model. Untuk mencapai matlamat tersebut, berikut adalah persoalan kajian ini:

Apakah ciri yang patut tersedia dalam alatan pengesahbetulan untuk menjadikannya berguna (mudah difahami, boleh dipelajari, mudah dikendali dan menarik) kepada pengguna baharu?

Instrumen kajian ini adalah berdasarkan rangka kerja *Cognitive Dimensions of Notations* (CD) (Green, 1989; Green and Petre, 1996). CD mengandungi empat belas dimensi seperti yang disenarai dalam Jadual 1. Selain dimensi CD, beberapa kriteria kebolegunaan piawaian ISO juga diambil kira iaitu mudah difahami, boleh dipelajari, mudah dikendali dan menarik. Dimensi CD dan kriteria kebolegunaan piawaian ISO ini bertindak sebagai pemboleh ubah kajian.

Jadual 1: *Cognitive Dimensions* (Green, 1989)

Dimensi	Penerangan
<i>Abstraction gradient</i>	Tahap mekanisme pengkelasan yang dikuatkuasa oleh tatatanda
<i>Closeness of mapping</i>	Pemetaan di antara tatatanda dan domain masalah
<i>Consistency</i>	Semantik yang serupa dipersembah dalam sintaks yang serupa
<i>Diffuseness</i>	Kekompleksan atau bahasa tatatanda yang berjela untuk menyampaikan maksud
<i>Error-proneness</i>	Kecenderungan tatatanda untuk melakukan kesilapan
<i>Hard mental operations</i>	Kadar pemprosesan mental yang diperlu oleh pengguna bagi memahami tatatanda dan menjejaki apa yang sedang berlaku
<i>Hidden dependencies</i>	Hubungan di antara dua entiti yang bergantung tetapi kebersandarannya tidak kelihatan sepenuhnya
<i>Premature commitment</i>	Pembuatan keputusan sebelum maklumat yang diperlu disedia dan kekangan aturan tugas
<i>Progressive evaluation</i>	Kebolehan menilai kerja semasa pada bila-bila masa
<i>Provisionality</i>	Kelenturan tatatanda untuk pengguna bermain dengan idea
<i>Role-expressiveness</i>	Tujuan entiti dan hubungannya dengan seluruh komponen adalah nyata dan boleh dikaitkan secara langsung
<i>Secondary notation</i>	Keupayaan mengguna tatatanda selain daripada semantik rasmi bagi menyampaikan maklumat atau maksud tambahan
<i>Viscosity</i>	Kadar usaha yang diperlu untuk melakukan perubahan
<i>Visibility/juxtaposibility</i>	Keupayaan melihat setiap komponen secara serentak atau melihat dua komponen yang berkaitan seiringan pada satu masa

CD dipilih kerana merupakan alatan penilaian kebolehgunaan artifak berdasarkan maklumat (Green & Blackwell, 1998). Sebagai alatan kebolehgunaan, CD bertumpu kepada proses penggunaan artifak serta persekitarannya daripada pandangan pengguna. Sungguhpun kajian ini mengkhusus ke arah persekitaran alatan daripada artifak, pemilihan CD adalah sesuai dan relevan. Ini kerana alatan pengesahbetulan seperti ProB dan B-Toolkit direka untuk menyokong artifak yang menerang fungsian perisian. Alatan tersebut berinteraksi secara aktif dengan artifak bagi memasti ia menyatakan fungsian dengan tepat dan tekal. Oleh yang demikian, agak janggal mengkaji alatan tanpa mengambil kira artifak yang berinteraksi bersama dengannya. Artifak dalam konteks ini bermaksud model konsepsi yang mengandungi maklumat dalam bentuk tatatanda formal.

Terdapat beberapa pendekatan yang berbeza bagi menganalisis data kualitatif (Cassell & Symon, 1994; Denzin & Lincoln, 1994; Strauss & Corbin, 1998). Kaji selidik ini memilih *Grounded Theory* (Strauss & Corbin, 1998) kerana selari dengan matlamat kajian, sistematik dan terpandu. Ia mengandungi prosedur berstruktur bagi menghasil teori berdasarkan kepada persoalan kajian yang dinyatakan. Teori dalam kajian ini berupa pernyataan ciri alatan pengesahbetulan bersama sifat dan dimensi khusus pelaksanaannya.

Soalan kaji selidik ini dirangka berdasarkan soal selidik CD (Blackwell & Green, 2000). Namun, soal selidik CD diubah suai supaya menepati ciri dan persekitaran alatan

pengesahbetulan. Kaji selidik ini mengandungi sembilan belas soalan. Empat belas soalan mencerminkan empat belas dimensi CD, empat soalan mewakili kriteria kebolegunaan piawaian ISO dan satu soalan cadangan penambahbaikan. Beberapa contoh soalan untuk gambaran secara ringkas adalah seperti berikut. Soalan pertama adalah tentang dimensi *Visibility* yang juga berkait dengan kriteria mudah dikendali/menarik ISO. Soalan kedua dan ketiga melibatkan dimensi *Hard Mental Operations* yang berkait dengan kriteria mudah difahami/boleh dipelajari ISO. Sebelum soal selidik kajian diedar, kesahan dan ketepatan soalan terlebih dahulu dinilai oleh kumpulan fokus. Empat peserta yang merupakan pakar domain terlibat dalam proses ini. Sesi tersebut bertujuan mengenal pasti soalan yang tertinggal atau tidak perlu serta memperbetul soalan dan arahan yang tidak jelas.

1. Adakah mudah memapar dan mencari berbagai fungsi dalam ProB/BToolkit ketika anda sedang melakukan permodelan B? Mengapa?
2. Adakah ProB/BToolkit membenarkan anda melakukan tindakan yang diinginkan dengan mudah? Jika tidak, apakah tindakan yang memerlukan masa dan usaha yang lebih untuk dilaksanakan? Mengapa?
3. Sekiranya anda mengesahbetul model B di dalam ProB/BToolkit, semudah manakah untuk memahami apa yang sedang berlaku? Kenapa?

Sejumlah 63 daripada 100 orang peserta memberi maklum balas kepada kaji selidik ini menjadikan kadar sambutan sebanyak 63 peratus. Mereka ialah pelajar peringkat ijazah sarjanamuda dan ijazah sarjana yang mengikuti kursus Sains Komputer dan Kejuruteraan Perisian di dua buah universiti di selatan United Kingdom. Satu pertiga penyertaan adalah pelajar peringkat ijazah sarjana. Separuh daripada penyertaan adalah pelajar daripada luar United Kingdom. Nisbah peserta lelaki dan perempuan adalah 1:4.

Soal selidik diedar kepada peserta tersebut kerana mereka adalah pengguna bebas ProB dan B-Toolkit yang mengguna alatan tersebut buat kali pertama bagi tugas pengesahbetulan model. Para peserta memperoleh pengalaman praktikal mengguna alatan tersebut semasa mengambil bahagian dalam kaji selidik ini. Mereka mengguna alatan ini bagi menganimasi dan menentusah model yang dibina semasa kursus. Para peserta berada dalam semester akhir kursus masing-masing justeru, mempunyai pengalaman dan pengetahuan pembangunan perisian yang bersesuaian. Sebahagian daripada pelajar ijazah sarjana mempunyai sekurang-kurangnya satu tahun pengalaman industri.

Penyertaan adalah secara sukarela. Soal selidik disempurna dan diserahkan pada akhir semester. Para peserta dimaklum tentang tujuan penyelidikan. Kaji selidik ini mematuhi dasar dan etika menjalankan penyelidikan yang melibatkan peserta manusia. Bahan dan prosedur yang digunakan telah disemak dan diluluskan oleh Jawatankuasa Etika Universiti yang terlibat.

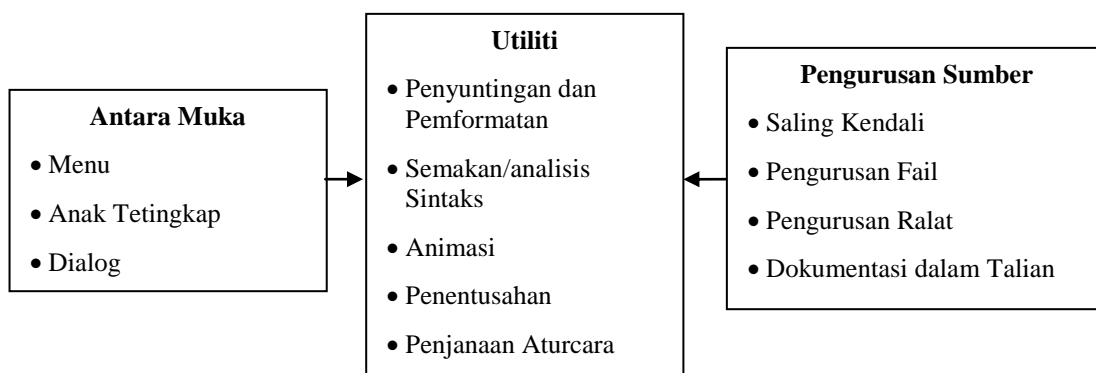
4. HASIL KAJIAN

Kaji selidik ini bertujuan mengenal pasti ciri penting yang harus disediakan oleh alatan pengesahbetulan bagi menjadikannya berguna kepada pengguna baharu. Untuk mencapai objektif ini, kaji selidik ini mengguna pendekatan *Grounded Theory* bagi menganalisis data.

Pendekatan ini membolehkan pengkategorian ciri yang berlandaskan sifat dan dimensi. Dimensi CD dan kriteria kebolegunaan piawaian ISO tidak bertindak sebagai ciri, sebaliknya, diguna sebagai perantara bagi mengenal pasti ciri melalui penemuan sifat yang kerap muncul dalam data. Dalam erti kata lain, CD dan ISO berperanan sebagai alatan bagi analisis umum (*broad brush*). Andaian analisis ini ialah sifat yang kerap muncul adalah yang paling penting dan dijangka oleh pengguna. Sifat yang dikenal pasti tidak semestinya mencukupi, namun merupakan syarat penting untuk alatan pengesahbetulan berguna.

Pendekatan *Grounded Theory* melibatkan tiga peringkat pengkodan dan analisis. Peringkat pertama ialah pengkodan terbuka iaitu maklum balas peserta dianalisis berdasarkan persoalan kajian dengan mengguna teknik analisis mikro (Strauss et al., 1998). Analisis ini bertumpu kepada pengenalanpastian kategori ciri utama mengikut kekerapan penemuannya dalam data pada situasi yang berbeza. Seterusnya, pengkodan paksi dilakukan dengan mengenal pasti hubungan antara kategori melalui perkongsian atau perkaitan sifat. Sifat ditentu berpandu kepada persoalan “apa”, “kenapa”, “bagaimana” dan “di mana”. Pengkodan paksi ini melibatkan pemikiran induktif dan deduktif secara berterusan dengan membanding persamaan dan perbezaan antara sifat setiap kali timbul dalam data. Proses ini berlanjutan sehingga penemuan data dicapai iaitu tiada kategori dan sifat baharu yang ditemui. Akhirnya, pengkodan terpilih dilakukan dengan memilih satu kategori ciri teras yang mengait semua kategori.

Melalui pengkodan terbuka dan paksi, beberapa sifat ditemui daripada data. Gabungan sifat yang setara membolehkan pembentukan beberapa kategori ciri utama. Sifat saling berkait antara satu dengan yang lain. Oleh yang demikian, kategori tersebut dihubungkan melaluinya. Terdapat tiga kategori ciri utama yang ditemui iaitu Antara Muka, Utiliti dan Pengurusan Sumber. Sifat Utiliti mempunyai hubungan dengan sifat Antara Muka dan Pengurusan Sumber secara langsung seperti yang digambarkan dalam Rajah 3. Pengkodan terpilih membolehkan Utiliti dikenal pasti sebagai kategori ciri teras. Secara ringkasnya, Utiliti merupakan keperluan fungsian utama alatan pengesahbetulan. Untuk memasti kebolegunaan, Utiliti memerlukan sokongan Antara Muka dan Pengurusan Sumber yang bersesuaian.



Rajah 3: Hubungan antara Kategori Ciri Kebolegunaan Alatan Pengesahbetulan

Setiap sifat mempunyai dimensi yang menerang perilaku khusus. Perenggan berikut menerang sifat dan dimensi bagi kategori ciri yang dikenal pasti. Sifat yang berkait antara kategori dinyatakan dalam kurungan dalam jadual **Kategori 2 (K2) - Utiliti**.

4.1. Kategori 1 (K1) - Antara Muka

Kategori ini merujuk kepada struktur dan organisasi skrin serta utiliti. Jadual 2 menyenarai sifat dan dimensi yang perlu.

Jadual 2: Sifat dan Dimensi “Antara Muka”

Sifat	Dimensi
Menu	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliti ditakrif dan dikumpul mengguna tajuk yang terang dan jelas tersendiri • Utiliti yang disediakan mudah dicari dan disimpul daripada tajuk • Tiada utiliti yang lewah dan tidak diperlukan • Utiliti diatur dan dikawal oleh aturan tugas (dibenar bergantung kepada tugas) • Utiliti kerap tersedia sebagai arca pada bar alat, kekunci pintasan dan pilihan klik kanan tetikus • Utiliti sepadan dengan prinsip kaedah formal • Utiliti sokongan tersedia dan boleh ditetapkan/diatur/dipilih (cth: tambah nota/komen, pilih keutamaan untuk suntingan/paparan model)
Anak Tetingkap	<ul style="list-style-type: none"> • Saiz kelebaran anak tetingkap boleh diubah • Anak tetingkap boleh ditutup/dikecil dan dibuka semula/dibesar • membenarkan <i>split view</i> untuk melihat bahagian berlainan dalam model yang sama • membenarkan <i>cascade/tile</i> atau tab untuk melihat model berlainan • membenarkan penatalan
Dialog	<ul style="list-style-type: none"> • Mengikuti piawai atau amalan biasa dialog (cth: memaklum status dan mengesah keputusan) • Menggunakan butang piawai (cth: <OK> untuk mengesah dan <CANCEL> untuk menunda/membatal) • Bukan semua dialog perlu ditutup bagi meneruskan tugas (cth: tetingkap bantuan dalam talian boleh dipapar dan kekal ketika suntingan model)

Menu mengambil kira persembahan dan susunan utiliti supaya senang dicari dan ditafsir. Utiliti sepatutnya ditakrif dan dikelas secara logik dengan tajuk yang mudah, jelas dan tersendiri. Tugas yang terlibat dengan alatan pengesahbetulan kebiasaannya rumit. Oleh yang demikian, hanya utiliti yang perlu sahaja patut ditunjukkan. Memandangkan pemodelan formal menetapkan peraturan dan jujukan acara tertentu, adalah lebih baik sekiranya utiliti disusun dan dikawal dengan tertib khusus. Ini bagi memasti pengguna jelas dengan apa yang perlu dilaku tanpa diserabuti dengan utiliti yang tidak perlu. Bagi mempercepat tugas, utiliti yang kerap diguna

seharusnya boleh dicapai melalui penggunaan bar alat dan kekunci pintas selain daripada bar menu. Utiliti tersebut juga perlu menggambar sehampir mungkin prinsip kaedah formal supaya pengguna boleh menggunakan kaedah tersebut dengan lancar. Selain daripada itu, utiliti sepatutnya dikawal dengan cara sepatutnya diguna. Oleh kerana pemodelan formal kebanyakannya tegar, pengguna sepatutnya diberi utiliti sokongan yang boleh ditetapkan bila diperlu. Ini bagi memudah kefahaman terhadap model.

Anak tetingkap perlu lentur bagi membolehkan pengguna melihat bahagian dan model yang berlainan. Ciri ini penting ketika melakukan penyuntingan dan pengubahsuaian model. Model formal melibatkan penggunaan ruang paparan yang besar. Alatan tersebut hendaklah memudah proses paparan bahagian model yang berjauhan atau terpisah. Malah, kaedah formal melibatkan beberapa peringkat pembangunan yang mewakili perspektif berbeza. Pengguna selalunya perlu membanding model dari berbagai peringkat. Selain boleh melihat beberapa bahagian atau model berlainan pada masa yang sama, pengguna seharusnya juga boleh mengubah saiz, membuka dan menutup anak tetingkap apabila perlu. Ini bagi mengelak skrin menjadi sesak dengan paparan yang banyak.

Alatan perlu berkomunikasi dengan pengguna ketika operasi dilakukan. Dialog bertujuan memberitahu pengguna mengenai tindakan semasa dan akan datang serta memapar maklumat sebagai rujukan. Untuk memastikan berguna, dialog sepatutnya tersedia hanya jika diperlu. Dialog tersebut perlu mengikut piawaian dan amalan biasa penggunaannya bagi mengelak kekeliruan dan kesesakan mental. Tetingkap dialog kebiasaannya memerlukan pengguna memilih salah satu daripada pilihan atau butang sebelum tindakan seterusnya. Namun, ada sesetengah tetingkap dialog mengandungi maklumat yang membimbing pengguna semasa proses. Tetingkap seperti ini perlu dibiar kekal ketika pengguna sedang melakukan tindakan. Sifat ini penting bagi permodelan formal disebabkan kerumitan tugasan tersebut.

4.2 Kategori 2 (K2) – Utiliti

Kategori ini merujuk kepada utiliti yang diperlu untuk permodelan formal. Jadual 3 menyenarai sifat dan dimensi yang perlu.

Jadual 3: Sifat dan Dimensi “Utiliti”

Sifat	Dimensi
Penyuntingan dan pemformatan	<ul style="list-style-type: none"> Teks boleh diformat (cth: saiz; warna), disunting (cth: <i>cut</i>; <i>paste</i>; <i>undo</i>; <i>redo</i>) dan dicari (cth: <i>find and replace</i>; <i>go to</i>) (K1: Menu) Model/Fail boleh diatur dan dimanipulasi (cth: simpan sebagai fail berlainan; cetak) (K1: Menu; K3: Pengurusan Fail) Utiliti kerap untuk memformat dan menyunting tersedia pada bar alat dan juga kekunci pintas serta pilihan klik kanan tetikus (K1: Menu) Tetingkap suntingan adalah luas untuk memapar sebahagian besar model (K1: Anak Tetingkap) Maklumat tambahan tidak formal boleh dinyatakan pada model dan keutamaan menyunting boleh ditetapkan (K1: Menu) Rujukan tersedia bila diperlu (K3: Dokumentasi dalam Talian)

Semakan/analisis sintaks	<ul style="list-style-type: none"> • Sintaks disemak secara automatik dan segera beserta dengan penjelasan kesilapan (cth: hilang kurungan dan tanda baca; kesilapan menaip kata kunci dan jenis data) (K1: Dialog; K3 Pengurusan Ralat) • Kesilapan sintaks yang tidak dapat diselesai secara automatik dimaklum dengan jelas dan khusus (K1:Dialog; K3: Pengurusan Ralat) • Semakan dilaksana sebelum animasi dan pengesahbetulan (K1: Menu)
Animasi	<ul style="list-style-type: none"> • Rujukan tersedia bila diperlu (K3: Dokumentasi dalam talian) • Automatik dan separa automatik dengan maklumat apa yang terjadi; Animasi separa automatik dibimbing (K1:Dialog; K3 Pengurusan Ralat) • Pendekatan animasi berlainan tersedia untuk melihat animasi dari beberapa perspektif (K1: Menu) • Menggunakan grafik dengan warna kod yang bersesuaian untuk menunjukkan unsur animasi (K1: Menu; K3: Saling Kendali) • Unsur animasi boleh dilihat dengan mudah (cth: penzuman; paparan secara bersebelahan) dan dimanipulasi (cth: cetak dan simpan) (K1: Tetingkap; Menu; K3: Pengurusan Fail) • Ralat yang ditemui dimaklum dengan jelas dan khusus (K1: Dialog; K3; Pengurusan Ralat) • Status terkini dan jangkaan kesan dimaklum (K1: Dialog) • Pematahbalkan adalah dibenar tetapi dibimbing dengan penjelasan (K1: Dialog)
Penentusahan	<ul style="list-style-type: none"> • Rujukan tersedia bila diperlu (K3: Dokumentasi dalam talian) • Automatik dan separa automatik dengan maklumat tentang apa yang berlaku; Pengesahan separa automatik dibimbing (K1: Dialog; K3: Pengurusan Ralat) • Pendekatan pengesahbetulan berbeza tersedia untuk mengesah model daripada beberapa perspektif (C1: Menu) • Menggunakan warna yang bersesuaian atau objek untuk menanda dan menonjol unsur/proses (K1: Menu) • Dilaksana dengan cekap (K3: Saling Kendali) • Unsur pengesahbetulan dapat dilihat dengan mudah (K1: Anak Tetingkap) • Ralat yang ditemui diberitahu dengan jelas dan khusus (K1: Dialog; K3: Pengurusan Ralat) • Status terkini dan jangkaan kesan dimaklum (K1: Dialog)
Penjanaan Aturcara	<ul style="list-style-type: none"> • Rujukan tersedia bila diperlu (K3: Dokumentasi dalam Talian) • Model boleh ditukar ke aturcara secara automatik (K3: Saling Kendali)

- Jenis penjanaan aturcara yang berlainan tersedia (**K1: Menu**)
 - Ralat yang ditemui dimaklum dengan jelas dan khusus (**K1: Dialog; K3: Pengurusan Ralat**)
 - Status terkini dan jangkaan kesan dimaklum (**K1: Dialog**)
 - Rujukan tersedia bila diperlu (**K3: Dokumentasi dalam Talian**)
-

Tatatanda yang diguna dalam model formal selalunya dalam bentuk teks. Oleh itu, penting bagi pengguna berupaya melakukan penyuntingan dan pemformatan teks. Alatan pengesahbetulan secara umum dijangka dapat melaksana operasi yang serupa seperti dalam penyunting teks atau aplikasi pemprosesan kata. Penampilan teks sekurang-kurangnya boleh ditukar, lokasinya boleh diubah dan dicari serta pengguna boleh berbalik ke tindakan sebelumnya. Pengguna juga boleh menjadikan model sebagai fail dokumen yang boleh ditukar ke bentuk dan lokasi yang berlainan. Bagi memudah tugas menyunting dan memformat, utiliti yang kerap diguna mestilah mudah dicapai. Alatan pengesahbetulan juga perlu menyediakan ruang kerja yang mencukupi bagi pengguna melakukan permodelan. Pengguna turut dibenar berkomunikasi secara tidak langsung dengan model melalui maklumat tambahan tidak formal. Rujukan mestilah tersedia apabila diperlu.

Keupayaan memeriksa ketepatan dan ketekalan sesuatu model adalah kelebihan utama permodelan formal. Tatatanda formal adalah tegar dan khusus. Pengguna selalunya cenderung mengguna simbol dan kata kunci yang tidak tepat serta menetapkan jenis data yang tidak sesuai. Justeru, alatan perlu menyemak sintaks secara automatik dan menjelaskan hasilnya. Pengguna perlu dimaklum sewajarnya tentang sebarang penyalahgunaan dan kehilangan unsur. Penyemakan tersebut bertindak sebagai turas ralat pertama sebelum tugas lebih rumit seperti animasi dan penentusahan dilakukan. Rujukan mestilah tersedia apabila diperlu.

Alatan pengesahbetulan seharusnya dilengkapi kemudahan animasi untuk membolehkan pengguna menggambar perilaku model mengikut peraturan dan syarat tertentu. Kemudahan ini boleh disedia dalam beberapa bentuk dan dilakukan secara automatik serta separa automatik. Animasi automatik hanya sesuai untuk model yang tersedia tepat dan tekal. Animasi separa automatik berguna bagi mengenal pasti titik khusus yang menyebabkan berlakunya pencabulan peraturan dan perilaku tidak sengaja. Untuk tujuan ini, pematahbalikan juga seharusnya disedia. Memandangkan pencairsilapan boleh menjadi rumit, alatan ini juga seharusnya mempunyai mekanisme yang membimbing pengguna melalui proses tersebut. Untuk membantu pemahaman, animasi sepatutnya mengguna perwakilan bergraf dengan kod warna yang sesuai. Model boleh menjadi besar, maka paparan graf perlu dipermudah. Melalui animasi, pengguna sepatutnya dimaklum akan sebarang ralat yang ditemui, status semasa dan jangkaan kesan. Rujukan mestilah tersedia apabila diperlu.

Penentusahan dianggap sebagai tugas yang sukar untuk dilaksana ke atas sesuatu model formal. Ia adalah proses yang dapat menentusah ketepatan dan ketekalan model. Oleh itu, alatan pengesahbetulan seharusnya boleh menentusah model secara automatik sebanyak mungkin. Jika tidak, pengguna perlu dibantu supaya memahami model dan proses penentusahan. Pemahaman ini penting kerana beberapa aspek tugas tidak boleh ditentusah secara automatik. Sebagai contoh, model yang tidak lengkap tidak boleh ditentusah yang mana pengguna sendiri perlu menyedari unsur yang hilang. Pengguna juga patut tahu bagaimana memadan unsur baharu dengan yang ditentu dalam model supaya keadaan dan tindakannya tidak bercanggah di antara satu dengan yang lain. Animasi boleh membantu pemahaman ini melalui pemvisualan model.

Beberapa pendekatan berbeza perlu tersedia untuk pengguna menentusah model ini. Penunjuk tampak seperti warna atau objek boleh diguna bagi menunjukkan unsur penting. Unsur yang terlibat dalam tugas penentusahan sepatutnya boleh dilihat. Proses penentusahan pula perlu dilaku secepat yang mungkin. Sebagaimana animasi, pengguna perlu dimaklum akan sebarang ralat yang ditemui, keadaan semasa dan jangkaan kesan. Rujukan mestilah tersedia apabila diperlukan.

Kebanyakan kaedah formal direka bagi menyokong beberapa peringkat pembangunan. Sebagai contoh, B menggalak model konsepsinya diperhalusi. Model halus pada peringkat yang cukup rendah boleh diterjemah secara automatik ke aturcara. Alatan pengesahbetulan yang menyokong kaedah sedemikian sepatutnya memudahkan proses penjanaan aturcara. Secara idealnya, pengguna patut disedia dengan beberapa pilihan pelaksanaan. Alatan tersebut sekurang-kurangnya dilengkapi dengan bahasa pengaturcaraan yang boleh menyokong kaedah formal tersebut dengan baik. Sama seperti tugas lain, pengguna patut diberitahu tentang sebarang ralat yang ditemui, keadaan semasa dan jangkaan kesan. Rujukan mestilah tersedia apabila diperlu.

4.3 Kategori 3 (K3) - Pengurusan Sumber

Kategori ini merujuk kepada pengurusan entiti yang berkaitan dengan perlakuan utiliti. Jadual 4 menyenarai sifat dan dimensi yang perlu.

Jadual 4: Sifat dan Dimensi “Pengurusan Sumber”

Sifat	Dimensi
Saling Kendali	<ul style="list-style-type: none"> Alatan boleh ditetapkan dalam berbagai platform Aplikasi luar diintegrasikan dengan lancar dan beroperasi seperti yang disasar Aplikasi berlainan (dalaman dan luaran) berinteraksi dengan cekap Pemasangan dan tatarajah boleh dilaksana dengan mudah dan disokong oleh dokumentasi terperinci
Pengurusan Fail	<ul style="list-style-type: none"> Fail diurus dan diawasi secara sistematik Ketekalan antara fail yang berkaitan adalah dipasti Perubahan dikawal, disemak dan dilapor
Pengurusan Ralat	<ul style="list-style-type: none"> Mesej ralat adalah deskriptif iaitu pernyataan jenis ralat, bahagian yang terlibat, mengapa terjadi dan penyelesaian yang mungkin Mesaj ralat ringkas dan tepat Mesej ralat dipapar pada waktu dan di tempat yang betul Mesej ralat dipapar dengan terang supaya boleh dibaca Pustaka bukti (<i>proof library</i>) yang lengkap dan boleh dipercayai tersedia dan mengeluarkan mesej ralat yang boleh dipercayai/betul
Dokumentasi dalam Talian	<ul style="list-style-type: none"> Dokumentasi yang ringkas dan terperinci mengenai utiliti yang tersedia Ringkasan sintaks yang diguna dalam model dan pemetaan dengan entri papan kekunci (ASCII dan simbol khas) Pautan luaran/hiperteks mengenai kaedah formal yang disokong,

forum perbincangan atau “Soalan Pertanyaan Kerap”/*Frequently Asked Questions* (FAQ)

- Contoh dan demonstrasi mengenai alatan dan kaedah yang disokong
 - *Tool Text Tip* atau keterangan ringkas utiliti dan unsur tersedia di bar
 - Kekunci pintas untuk bantuan dalam talian tersedia
 - Rujukan tentang pembedaan ralat yang kerap terjadi
-

Pengguna harus diberi beberapa pilihan mengguna alatan. Alatan perlu menyokong penggunaan platform berbeza supaya pengguna boleh memilih yang sesuai dengan persekitaran mereka. Selain daripada itu, alatan pengesahbetulan ada kalanya memerlukan perkhidmatan yang disediakan oleh aplikasi luaran. Animasi contohnya memerlukan perisian pemvisualan. Saling boleh kendali antara aplikasi yang berlainan perlu dipasti dengan menggabung aplikasi tersebut sebagai satu unit operasi. Tambahan pula, aplikasi dalaman dan luaran perlu diserasi di antara satu dengan yang lain bagi memasti kecekapan proses. Jika pengguna perlu mendapat aplikasi luaran sendiri, maklumat mengenai lokasi sumber perlu disediakan. Pemasangan dan tatarajah perlu dibuat semudah mungkin dan harus disokong dengan dokumentasi terperinci.

Model formal biasanya berkembang dari satu peringkat pembangunan ke peringkat yang lain dengan peringkat yang terkemudian bergantung kepada peringkat yang terdahulu. Proses ini dipanggil penghalusan. Justeru, alatan perlu mempunyai mekanisme pengurusan fail bagi mengurus dan memantau pembangunan secara beransur-ansur. Bagi memasti ketekalan model, sebarang perubahan yang dibuat pada sesuatu peringkat perlu diselari dengan peringkat lain yang terlibat. Pengguna seharusnya dimaklum akan proses tersebut dan diberi peluang membuat keputusan sama ada perubahan tersebut diterima.

Pengurusan ralat adalah kritikal kepada alatan pengesahbetulan. Kaedah formal secara umum sukar difahami dengan serta-merta menjadikan kadar pembelajaran pengguna boleh menjadi perlahan. Alatan perlu menjana mesej ralat yang tidak hanya menerang dengan jelas apa yang tidak kena tetapi juga memudah pembelajaran. Untuk mengelak beban mental, mesej ralat perlu mudah, tepat dan kena pada masanya. Sesetengah kesilapan perlu diselesai oleh pengguna sendiri disebabkan oleh pernyataan keperluan yang tidak lengkap. Sungguh pun begitu, pengguna perlu disediakan dengan mesej ralat berpandu bagi membantu mengenal pasti maklumat yang hilang. Selain daripada ralat ketidaklengkapan, alatan sepatutnya boleh menyelesaikannya secara automatik. Untuk menjadi lebih berkesan, alatan seharusnya mempunyai pustaka bukti yang mengandungi sebanyak mungkin peraturan agar dapat mengesan kebanyakan ketidaktekanan dan ketidaktepatan.

Kerumitan tugas pengesahbetulan memerlukan dokumentasi dalam talian mudah dicapai oleh pengguna. Dokumentasi bukan sahaja perlu meliputi fungsian alatan tersebut tetapi juga kaedah formal yang disokong alatan. Penerangan bagaimana alatan menyokong kaedah formal perlu disertakan.

5. PERBINCANGAN

Kategori ciri, sifat dan dimensi yang diterangkan di atas bertujuan menjadi garis panduan bagi mereka alatan pengesahbetulan formal. Memandangkan kajian selidik ini merupakan usaha pertama memahami kebolegunaan alatan sedemikian, maka garis panduan ini jauh daripada

lengkap dan terperinci. Ia hanya mengambil kira ciri penting yang dipercayai mempengaruhi kebolegunaan alatan ini. Untuk meningkat ketepatan garis panduan ini, siasatan dan perbincangan lanjut adalah perlu supaya boleh disah dan diperhalusi.

Garis panduan ini mengutarakan ciri penting secara abstrak supaya dapat merangkumi semua alatan pengesahbetulan yang mungkin. Sebarang pelan reka bentuk bagi alatan pengesahbetulan yang tertentu perlu memperinci ciri abstrak tersebut dengan menerangkan dimensi dengan khusus supaya dapat menepati ketetapan konteks penggunaan alatan. Beberapa keseimbangan keutamaan (*trade-off*) adalah dijangka iaitu dimensi tertentu terpaksa tidak diutamakan untuk mendapat kebaikan dimensi lain yang lebih penting. Dokumentasi dalam talian dan mesej ralat contohnya akan menjadi panjang sekiranya perlu terperinci yang akhirnya mengakibatkan masalah paparan pada skrin. Begitu juga untuk paparan beberapa unsur pada masa yang sama, ruang skrin perlu dibahagi kepada beberapa anak tetingkap yang menyebabkan ruangan skrin menjadi sesak. Oleh itu, pereka alatan perlu memutuskan penyelesaian yang terbaik mengikut konteks dan keperluan penggunaan alatan.

6. KESIMPULAN

Terdapat tiga kategori ciri utama yang boleh memberi kesan kepada kebolegunaan alatan pengesahbetulan iaitu antara muka yang mengatur utiliti alatan, utiliti alatan dan pengurusan sumber yang menyokong utiliti alatan. Setiap kategori ciri mempunyai sifat dan dimensi tertentu untuk menjadikannya berguna. Kategori ciri ini berkait antara satu dengan yang lain melalui sifat dan dimensi. Untuk memenuhi dimensi tertentu, ada kemungkinan dimensi yang lain perlu diabaikan. Oleh itu, ketiga-tiga kategori ciri ini perlu dipertimbangkan bersama ketika mereka alatan pengesahbetulan. Pereka perlu memilih dimensi yang paling sesuai dan penting dengan konteks penggunaan alatan yang direka.

Kajian ini mencadangkan garis panduan reka bentuk untuk alatan pengesahbetulan yang berguna. Memandangkan garis panduan ini dihasilkan berdasarkan kepada dua contoh alatan pengesahbetulan, ia mungkin tidak meliputi semua ciri kebolegunaan yang perlu. Maka, kajian pada masa hadapan adalah digalakkan bagi menyiasat alatan pengesahbetulan untuk kaedah formal yang lain supaya garis panduan ini dapat dilanjutkan dan diperhalusi. Garis panduan ini perlu diperluas dengan mengambil kira aspek rekaan secara lebih teknikal dan khusus. Sebagai contoh, peranti input dan output serta teknik dialog yang terbaik untuk mewakili utiliti patut dikaji. Kajian sedemikian memerlukan teori dan prinsip tertentu daripada disiplin Interaksi Manusia-Komputer.

PENGHARGAAN

Kajian ini ditaja oleh Kerajaan Malaysia dan Universiti Kebangsaan Malaysia. Penulis berterima kasih kepada semua peserta yang telah memberi kerjasama terhadap kajian ini.

RUJUKAN

- Abrial, J. R. 1996. *The B-Method-Assigning Programs to Meanings*. Cambridge: Cambridge University Press.
- B-Core (UK) Limited. 2002. B-Toolkit. <http://web.archive.org/web/20041012141220/http://www.b-core.com/ONLINEDOC/BToolkit.html> [1 November 2012].
- Blackwell, A. F. & Green, T. R. G. 2000. A cognitive dimensions questionnaire optimized for users. *Proceedings of the 12th Annual Meeting of the Psychology of Programming Interest Group*. Cosenza: Memoria. 137-152.
- Carew, D., Exton, C. & Buckley, J. 2005. An empirical investigation of the comprehensibility of requirements specifications. *Proceedings of the International Symposium on Empirical Software Engineering*, Noosa Heads: IEEE. 256-265. doi: 10.1109/ISESE.2005.1541834.
- Cassell, C. & Symon, G. 1994. *Qualitative Methods in Organizational Research*. Thousand Oaks: Sage.
- Chen, P. 1976. The entity-relationship model: Toward a unified view of data. *ACM Transactions on Database Systems*. 1:9-37. doi: 10.1145/320434.320440.
- Clarke, E. M., Grumberg, O. & Peled, D. 1999. *Model Checking*. Massachusetts: MIT Press.
- ClearSy System Engineering. 2011. Atelier B. Aix-en-Provence, France. <http://www.atelierb.eu/#> [1 November 2012]
- Denzin, N. & Lincoln. Y. 1994. *Handbook of Qualitative Research*. Thousand Oaks: Sage.
- Green, T. R. G. & Blackwell, A. F. 1998. Design for usability using cognitive dimensions. *The British Computer Society Conference on Human Computer Interaction*. 1-75.
- Green, T. R. G. & Petre, M. 1996. Usability analysis of visual programming environments: A cognitive dimensions framework. *Journal of Visual Languages Computing*. 7:131-174. doi: 10.1006/jvlc.1996.0009.
- Green, T. R. G. 1989. Cognitive Dimensions of Notations. In A. Sutcliffe and L. Macaulay (Eds.). *People and Computers V*. Cambridge: Cambridge University Press. 443-460.
- ISO 9126-1. 2001. Software Engineering, Product Quality-Part I: Quality Model (Standard No. 9126-1). *International Organization for Standardization (ISO)*. Geneva: ISO.
- Leuschel, M. & Butler, M. 2008. ProB: An Automated Analysis Toolset for the B Method. *International Journal on Software Tools for Technology Transfer (STTT)*. 10:185-203. Springer Berlin/Heidelberg. doi: 10.1007/s10009-007-0063-9.
- Martin, S. 2003. The best of both worlds integrating UML with Z for software specifications. *Journal of Computing and Control Engineering*. 14:8-11. doi: 10.1049/cce:20030201.
- Object Management Group. 2012. Introduction to OMG's Unified Modeling Language (UML). http://www.omg.org/gettingstarted/what_is_uml.htm [1 November 2012].
- ProB. 2012. The ProB Animator and Model Checker. http://www.stups.uni-duesseldorf.de/ProB/index.php5/Main_Page [1 November 2012].
- Snook, C. & Butler, M. 2006. UML-B: Formal modeling and design aided by UML. *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology*. 15:92-122. doi: 10.1145/1125808.1125811.
- Spivey, J. M. 1992. *The Z Notation: A Reference Manual*. 2nd edition, Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- Strauss, A. L. & Corbin, J. 1998. *Basics of Qualitative Research: Techniques and Procedures for Developing Grounded Theory*. 2nd edition, Thousand Oaks: Sage.

NOTA BIOGRAFI:

Dr. Rozilawati Razali adalah Pensyarah Kanan di Pusat Pengajian Sains Komputer, Fakulti Teknologi dan Sains Maklumat, Universiti Kebangsaan Malaysia. Bidang penyelidikan beliau adalah Kejuruteraan Perisian dan Pengurusan Perisian.
e-mel:rozila@ftsm.ukm.my

Dr. Paul Garratt adalah Pensyarah Kanan di *School of Electronics and Computer Science, Faculty of Engineering, Science and Mathematics, University of Southampton, United Kingdom*. Bidang penyelidikan beliau adalah Kejuruteraan Perisian dan Pengurusan Perisian.