

# Kajian geologi dan geofizik untuk penilaian pelbagai geobencana di kawasan perumahan, Puchong, Selangor

## (Geological and geophysical studies for multiple hazards assessments in an occupied residential area, Puchong, Selangor)

TAJUL ANUAR JAMALUDDIN<sup>1</sup>, MOHD HARIRI ARIFIN<sup>1</sup>, HAMZAH HUSSIN<sup>1,2,\*</sup>  
& MOHD AMIR ASYRAF SULAIMAN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Geologi, Pusat Pengajian Sains Sekitaran & Sumber Alam, Fakulti Sains & Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi, Selangor

<sup>2</sup>Program Geosains, Jabatan Geosains, Fakulti Sains Bumi, Universiti Malaysia Kelantan, 17600 Jeli, Kelantan

\*Corresponding author email address: hamzah.h@umk.edu.my

**Abstrak:** Kawasan perumahan yang diduduki di Puchong, Selangor telah terjejas teruk oleh geobencana berganda iaitu hakisan sub-permukaan, pemendapan tanah dan kegagalan cerun tambakan. Kejadian geobencana berganda ini mula disedari penduduk apabila dinding penahan dan jalan raya di atasnya yang disempadani benteng cerun sebelah hujung selatan, telah runtuh pada Mei 2011. Tembok penahan dan jalan yang runtuh berkaitan telah dibaik-pulih dan digunakan semula sekitar Ogos-September 2011. Walau bagaimanapun, pergerakan tanah (menegak dan mendatar) masih terus berlaku. Retakan tegangan baharu mula muncul di kaki lima jalan raya dan merebak secara meluas hingga ke dalam rumah-rumah dan struktur tegar yang lain. Tanda-tanda tegasan lain, seperti pemendapan permukaan jalan, tiang lampu condong, kolam ikan bocor dan pembentukan retakan pada dinding semakin bertambah dari semasa ke semasa. Kajian geologi dan kajian geofizik telah dijalankan pada bulan Februari 2012 atas permintaan persatuan penduduk. Pemetaan lapangan melibatkan cerapan di permukaan dan tertumpu kepada pemetaan tanda-tanda pergerakan dan kerosakan-kerosakan lain. Berdasarkan maklumat literatur dan cerapan lapangan, geologi bahan tambakan yang digunakan terdiri daripada campuran tanah dan bongkah/blok batuan pelbagai saiz dan bentuk yang menyerupai Formasi Kenny Hill, seperti kuarzit, meta-batupasir, filit dan meta-batu lumpur. Kajian keberintangan elektrik juga dijalankan di kawasan perumahan. Tafsiran imej satelit Google Earth, bertarikh 2001, 2004, 2007, 2008 dan 2010, juga telah dijalankan untuk mengesan perubahan geomorfologi dan topografi sepanjang kerja penyediaan dan pembinaan tapak perumahan. Hasil kajian menunjukkan bahawa kawasan perumahan tersebut dibina di atas sebuah lembah yang ditambak dan menutupi dua alur sungai. Kewujudan alur sungai bawah tanah digambarkan dalam keratan pseudo-seksyen keberintangan elektrik. Kesimpulannya, kejadian geobencana berganda di kawasan perumahan ini adalah berpunca daripada kesilapan dan kejahilan manusia. Platform stabil dan rata untuk kawasan perumahan atau sebarang struktur kejuruteraan kekal yang lain, tidak boleh dilakukan dengan sewenang-wenangnya dengan hanya melambakkan batuan dan bahan bumi untuk menutupi sesebuah lembah yang bersungai. Aliran sungai semula jadi sepatutnya dialihkan dengan betul atau disediakan dengan sistem saluran sub-permukaan sebelum kerja-kerja tambakan untuk mengelakkan risiko geobencana yang tidak diingini. Kajian kes ini memberikan satu pengajaran yang berharga bahawa pengetahuan asas geologi amat penting apabila bekerja melibatkan bahan bumi air, batu dan tanah.

**Kata kunci:** Geobencana berganda, hakisan sub permukaan, tanah mendap, kegagalan cerun

**Abstract:** A residential area in Puchong Selangor has been badly affected by multiple geohazards, i.e. sub-surface erosion, ground settlement and embankment slope failure. The multiple geohazards incident was first noticed by the residents when the retaining wall and the associated road which bordered the southern end of the area had collapsed in May 2011. The collapsed retaining wall and road have been rehabilitated and reinstated back in around August-September 2011. However, ground movement (lateral and vertical) continued to occur. As a result, new tension cracks emerged on the road pavements, side walks and propagated into the houses and other rigid structures. Other signs of distress include differential settlement of road surfaces, tilted lamp posts, leaked fish ponds and wide spreading cracks in the walls over the time. Geological and geophysical studies were carried out in February 2012 upon request by the residential association. Field mapping was carried out by “walk-over” survey and focused on the mapping of signs of movements and other structural damages. Based on the literatures and field observation, geology of the embankment materials comprised of chaotic mixture of soils and rock blocks/boulders of various sizes and shapes. The rock chunks resemble much to the quartzite, phyllite, meta-sandstones and meta-mudstones of the Kenny Hill Formation. An electrical resistivity survey was also conducted to investigate and to characterise the sub-surface geology. A total of six survey lines was carried out in the residential area. Interpretation of Google Earth’s satellite images, dated 2001, 2004, 2007, 2008 and 2009, has also been carried out to visualise and assess the geomorphological and topographical changes that took place during site preparation and construction works. Results of the studies showed that the residential area was actually built up in a valley that has been filled up and buried two stream channels. The existence of the buried channels is well-illustrated

in the pseudo-sections of the electrical resistivity. In conclusion, the multiple geohazard incident in the residential area was largely attributed to human errors and blunders. Stable and flat platform for residential area or any other permanent engineering structures, shall not be constructed by simply dumping rocks and earth materials to fill up a stream-flowing valley. Natural stream flows should be properly diverted or provided with adequate sub-surface drainage system before hand to avoid unwanted risks of geohazard. This case study presents a great lesson on the importance of basic geological knowledge when dealing with earth materials, water, soils and rocks.

**Keywords:** Multiple geohazards, sub-surface erosion, ground settlement, slope failure

## PENGENALAN

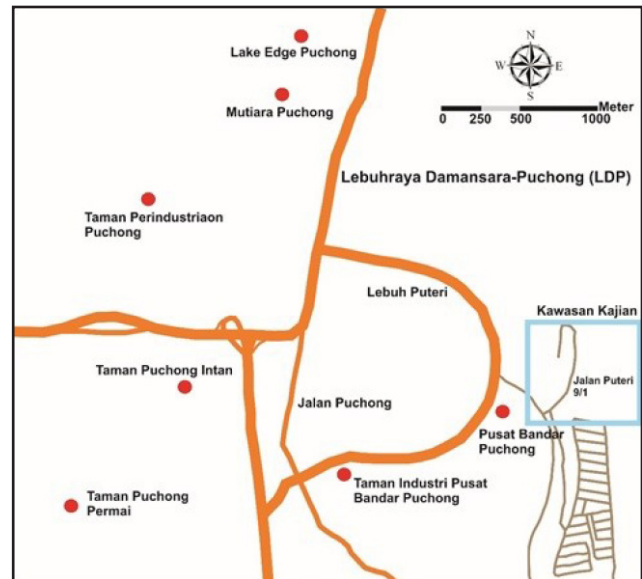
Permintaan terhadap unit-unit kediaman sentiasa meningkat setiap tahun terutamanya di kawasan pesat membangun. Proses penghijrahan penduduk dalam mencari peluang pekerja yang lebih baik telah meningkatkan populasi di sesebuah kawasan. Jumlah tanah rendah dan sesuai untuk dijadikan kawasan kediaman semakin berkurangan mengikut tempoh masa. Keadaan ini menyebabkan kawasan yang duhulunya dikategorikan tidak sesuai dan terdedah kepada potensi geobencana telah menjadi pilihan untuk pembinaan unit perumahan baharu (Hussin *et al.*, 2017; Tajul Anuar Jamaluddin, 2010; Lee *et al.*, 2014; Mustaffa Kamal Shuib & Tajul Anuar Jamaluddin, 2004).

Kawasan berbukit tidak mempunyai ruang lapang yang luas untuk memuatkan binaan unit perumahan komersil. Keadaan ini menyebabkan perlunya kerja tanah yang intensif bagi menyediakan ruang tersebut. Proses pemotongan dan penambakan bagi menyamakan ketinggian kawasan perlu dilakukan. Kerja penambakan lembah/lurah boleh mendatangkan masalah untuk jangka masa panjang jika tidak dikawal selia dengan baik. Kawasan lurah merupakan kawasan laluan air permukaan yang membentuk sistem sungai di sesebuah kawasan. Penambakan ke dalam sistem sungai boleh menghalang aliran air permukaan jika laluan baharu yang sempurna tidak disediakan.

Pengaruh kesilapan manusia banyak mempengaruhi kejadian kegagalan cerun yang pernah berlaku di Malaysia (Kazmi *et al.*, 2017; Muhamad *et al.*, 2013; Qasim *et al.*, 2014; Tajul Anuar Jamaluddin, 2006). Kajian kes dilakukan di Taman Puteri 9, Puchong, Selangor (Rajah 1). Taman perumahan ini merupakan sebuah perumahan siap dibina pada tahun 2007. Kerja-kerja awalan seperti pembersihan tapak dan penyediaan platform telah bermula sejak 2001. Selepas beberapa tahun unit perumahan siap dibina, pelbagai kejadian geobencana iaitu hakisan sub-permukaan yang kemudiannya diikuti dengan pemendapan tanah dan kegagalan cerun telah berlaku. Kertas kerja ini akan mengupas kesan penambakan sungai terhadap kestabilan jasad tambakan untuk tempoh masa yang panjang akibat kesilapan dan kejahilan manusia semasa pembinaan.

## KAEDAH KAJIAN

Kajian ini dibahagikan kepada tiga peringkat iaitu kajian awalan, pemetaan geologi dan survei keberintangan elektrik. Kajian awalan merangkumi penilaian dan tafsiran imej satelit dan peta topografi. Imej satelit yang dimuat turun daripada Google Earth digunakan dalam kajian ini. Kualiti imej satelit yang baik sangat membantu dalam proses penyiasatan geologi kerana kemampuannya memberi maklumat seperti



**Rajah 1:** Lokasi kawasan kajian iaitu Taman Puteri 9, Puchong, Selangor.

perubahan keadaan topografi, saliran semulajadi, bentuk rupabumi, struktur geologi major (lineamen negatif), elemen geobahaya, sejarah aktiviti manusia dan perubahan-perubahan fizikal yang berlaku (Hu *et al.*, 2013; Lageson *et al.*, 2012; Rana *et al.*, 2016; Yu & Gong, 2012).

Pemetaan geologi dilakukan secara “walk over” pada singkapan yang boleh dicerap dalam kawasan kajian. Data yang diukur dan dicerap termasuklah geologi kawasan, geologi kejuruteraan cerun (jenis bahan pembentuk jasad batuan, hidrogeologi, sistem pengukuhan cerun) serta bukti-bukti kejadian geobencana. Tanda-tanda pergerakan pada cerun seperti retakan pada jalan dan unit perumahan diberi perhatian khusus kerana menjadi bukti kukuh tanda berlakunya pergerakan cerun.

Survei keberintangan elektrik turut dilakukan di sekitar kawasan kajian bagi mendapatkan maklumat bawah permukaan. Survei keberintangan elektrik merupakan salah satu kaedah yang boleh digunakan untuk mendapatkan maklumat seperti keadaan ruang lohong, struktur geologi dan air bawah tanah (Arifin *et al.*, 2016; Nazaruddin *et al.*, 2017; Selvarani *et al.*, 2016). Kaedah ini mampu memberikan maklumat bawah permukaan secara cepat, kos yang murah dan merangkumi kawasan yang luas. Survei ini menggunakan sistem Terameter ABEM SAS1000 dan ABEM LUND ES464 sistem pemilihan elektrod. Susun atur jenis Wenner telah digunakan dalam kajian ini. Panjang setiap garis survei ialah 200m kecuali garis survei 2-3 yang sepanjang 400m. Hasil daripada survei ini boleh memberikan

maklumat keadaan bawah permukaan sehingga kedalaman sekitar 30m hingga 60m bergantung kepada panjang garis survei.

## HASIL

### a) Geologi

Batuan di lapangan terdiri daripada batu metasedimen Formasi Kenny Hill yang berusia Silur Akhir – Devon (Jabatan Mineral dan Geosains, 2014). Jasad batuan pembentuk cerun di kawasan kajian dibentuk oleh selang lapis batuan kuarzit dan filit. Batuan ini dicerap pada bongkah-bongkah batu yang dilonggokkan untuk membina cerun tambakan terutamanya di kawasan yang menjadi laluan keluar air bawah tanah. Batuan kuarzit umumnya berwarna kuning cerah hingga kelabu cerah dan berbutir halus hingga sederhana. Permukaan bahan batuan yang berwarna kuning kemerahan disebabkan oleh proses luluhawa dan pempadapan oksida besi (Rajah 2).

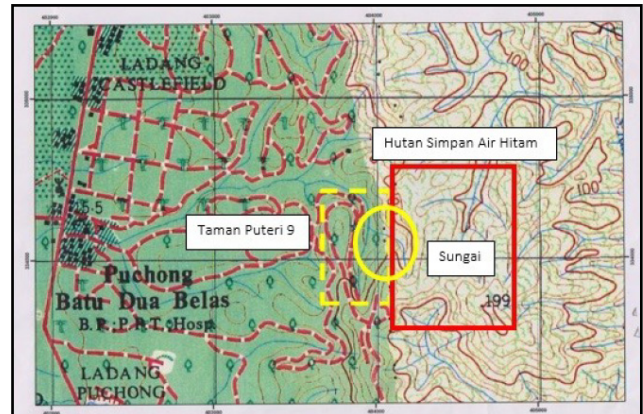
### b) Topografi, geomorfologi dan corak saliran

Peta topografi kawasan Kuala Lumpur dan Petaling Jaya yang di keluarkan oleh Pengarah Pemetaan Negara Malaysia (1991) menunjukkan kawasan kajian (Taman Puteri 9, Puchong) terletak di atas kawasan perbukitan yang mempunyai lembah berbentuk V dan bercuram. Peta topografi terperinci untuk kawasan ini tidak diperolehi semasa kajian ini dilakukan. Walau bagaimanapun, berdasarkan peta topografi, ketinggian kawasan kajian berjalut daripada 40m hingga 120m dari aras laut. Keadaan ini mencadangkan kedalaman lurah berjalut antara 20m hingga 60m yang diukur dari puncak bukit berhampiran.

Analisis peta topografi menunjukkan 2/3 daripada unit perumahan di Taman Puteri 9 dibina di atas titik pertemuan dua alur anak sungai. Alur sungai ini mewakili kawasan tadahan air paling atas yang mengalir ke Sungai Kelang. Pertemuan antara dua anak sungai membentuk sambungan tidak simenter berbentuk “Y” di dalam peta. Alur sungai di sebelah kiri umumnya lurus dan airnya mengalir ke arah utara di bawah unit perumahan (sepanjang Jalan Puteri

9/2 dan Jalan Puteri 9/2A). Alur sungai di sebelah kanan pula mengalir ke arah utara dari Hutan Simpan Air Hitam dan melencong ke arah barat laut. Aliran dari alur kanan kemudian bercantum dengan alur kiri dan seterusnya mengalir ke arah utara di bawah Taman Puteri 9. Keadaan ini menyokong pemerhatian lapangan bahawa pengaliran keluar mata air dari cerun tambakan berasal daripada sistem sungai yang telah ditambah bagi memberi ruang untuk pembinaan unit perumahan (Rajah 13). Rajah 3 menunjukkan kedudukan unit perumahan dan sistem sungai yang mengalir di bawah lot perumahan Taman Puteri 9.

Pemetaan lapangan menunjukkan sistem saliran sungai yang mengalir dari Hutan Simpan Air Hitam (Rajah 4) sebelum meresap masuk ke dalam jasad tambakan.



**Rajah 3:** Peta topografi asal Taman Puteri 9 (di tanda dalam kotak kuning) sebelum kerja pembinaan dilakukan oleh pihak pemaju (Jabatan Pemetaan Negara, 1991).



**Rajah 2:** Keadaan bahan penambak yang digunakan untuk membina cerun tambakan dan platform bagi pembinaan unit perumahan. Bahan tambakan terdiri daripada campuran tanah dan batuan metasedimen yang longgar, terisih buruk dan tidak padat serta mempunyai saiz dan bentuk yang pelbagai.



**Rajah 4:** Sistem anak sungai yang mengalir dari Hutan Simpan Air Hitam dan hilang di bawah bahan penambak yang digunakan untuk membina cerun. Semasa musim hujan, kedalaman air meningkat mendadak dan bertakung di tepi cerun tambakan kerana tiada laluan untuk mengalir keluar.

Semasa musim kering, kedalaman anak sungai ini hanya beberapa inci dan mengalir secara berterusan tetapi hilang daripada pandangan apabila tiba di bawan cerun tambakan. Kedalaman anak sungai ini meningkat sehingga 1.5-2.0m semasa musim hujan kerana air yang bertakung disebabkan kadar pengaliran air yang perlahan.

### c) Perubahan topografi

Pembangunan yang berterusan biasanya akan merubah keadaan asal sesebuah kawasan berbukit kerana kerja-kerja pemotongan dan penambakan jasad batuan. Sejarah perubahan yang berlaku dalam satu tempoh masa boleh diimbak kembali menggunakan beberapa siri imej satelit (Alqurashi & Kumar, 2014; Fraser *et al.*, 2011; Hussain *et al.*, 2013) dan fotograf udara (Hölbling *et al.*, 2016; Tajul Anuar Jamaluddin *et al.*, 2011). Kajian ini menggunakan imej satelit yang dimuat turun daripada Google Earth untuk menilai tahap perubahan yang berlaku di Taman Puteri 9 dari tahun 2001 hingga 2010. Lima keping imej satelit yang bertarikh 7 Januari 2001, 26 Februari 2004, 24 Januari 2007, 7 May 2007 dan 23 Januari 2010 telah digunakan. Hasil analisis setiap imej satelit dibincangkan seperti berikut:

#### i) Imej satelit - 7 Januari 2001

Pada awal tahun 2001, kerja tanah sedang rancak dilaksanakan di kawasan ini (Rajah 5). Kerja pemotongan puncak bukit sedang dilakukan dan sisa daripada kerja tanah ini dibuang pada bahagian sisi bukit untuk meningkatkan aras lembah dan bahagian rendah lain. Jelas kelihatan lurah berbentuk “V” yang merentasi dari bahagian kiri (proto Taman Puteri 12) ke kanan di mana Taman Puteri 9 dicadangkan untuk dibina. Anak panah biru menunjukkan arah pengaliran



**Rajah 5:** Keadaan Taman Puteri 9 dan kawasan sekitarnya pada 7 Januari 2001.



**Rajah 6:** Keadaan Taman Puteri 9 dan kawasan sekitarnya pada 26 Februari 2004.

air dari bahagian hulu ke hilir. Walau bagaimanapun, aliran ini terganggu kerana kerja-kerja penimbusan di bahagian hilir sungai telah menyekat laluan.

#### ii) Imej satelit – 26 Februari 2004

Pada bulan Februari 2004, secara keseluruhannya kerja tanah untuk membina ruang tapak perumahan hampir siap (Rajah 6). Unit-unit rumah di sepanjang Jalan Puteri 9/1 dan Jalan Puteri 9/1A boleh dilihat jelas dalam imej satelit. Morfologi kawasan ini telah mengalami satu perubahan yang drastik. Lereng-lereng bukit telah ditarah dan ditukar menjadi cerun potongan dan tambakan. Cerun ini dibina berdasarkan rekebentuk kejuruteraan. Cerun tambakan di bahagian utara pula (ditanda di dalam kotak kuning) telah siap dibina dan permukaannya telah ditanam dengan rumput. Orientasi cerun dibina pada arah timur-barat. Pada masa ini, tiada dinding penahan (RE wall) yang dibina untuk menyokong cerun ini. Proses tambakan yang berterusan di bahagian timur berhampiran dengan Hutan Simpan Air Hitam (bertanda bulatan) semakin besar berbanding sebelumnya.

#### iii) Imej satelit – 24 Januari 2007

Imej satelit menunjukkan kerja-kerja pembinaan unit perumahan telah siap sepenuhnya. Satu unit dinding penahan telah dibina pada cerun tambakan di bahagian utara (ditanda dengan kotak kuning) dan orientasi muka cerun telah mengalami sedikit perubahan (Rajah 7). Pembinaan dinding penahan bertujuan untuk menambah ruang bagi pembinaan jalan dan tambahan beberapa unit perumahan. Pada bahagian hujung cerun tambakan (ditandai dengan bentuk heksagon kuning) menunjukkan tanda berlakunya kegagalan cerun pada bahagian bawah teres. Pandangan dekat kegagalan cerun yang berlaku ditunjukkan pada Rajah 8. Saiz kegagalan yang melibatkan tiga teres dan panjang sekitar 75m boleh dikelaskan sebagai kegagalan yang bersaiz besar.

#### iv) Imej satelit – 23 Januari 2010

Imej satelit yang bertarikh 23 Januari 2010 menunjukkan tiada sebarang perubahan major yang berlaku di sekitar kawasan kajian. Kesan kegagalan cerun yang berlaku pada cerun tambakan pada tahun 2007 telah diliputi oleh tumbuhan (Rajah 9).



**Rajah 7:** Keadaan Taman Puteri 9 dan kawasan sekitar pada 24 Januari 2007.



**Rajah 8:** Pandangan dekat pada lokasi cerun tambahan yang telah mengalami kegagalan cerun.



**Rajah 9:** Keadaan Taman Puteri 9 dan kawasan sekitar pada 23 Januari 2010.

**d) Pergerakan tanah dan cerun daripada pemetaan lapangan**

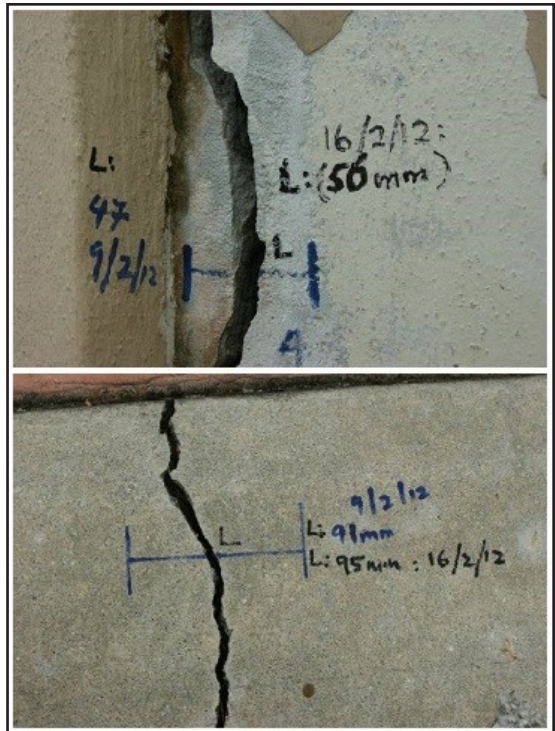
Pemetaan lapangan dilakukan untuk mencerp sebarang tanda pergerakan cerun atau mendapan yang telah berlaku. Tanda-tanda pergerakan cerun boleh dilihat berdasarkan kesan retakan pada binaan struktur tegar seperti jalan bertar, dinding konkrit, lantai perumahan, dinding penahan atau lain-lain yang berkaitan. Cerapan dilakukan pada tiga bahagian yang berbeza iaitu bahagian atas, bahagian tengah dan bahagian bawah cerun tambahan.

Bahagian atas cerun menunjukkan banyak bukti jelas berlakunya pergerakan pada cerun tambahan. Kawasan yang paling terjejas ialah unit perumahan yang berada sekitar Jalan Puteri 9/2 dan Jalan Puteri 9/2A. Retakan regangan terbentuk pada bahagian permukaan jalan bertar sepanjang Jalan Puteri 9/2 dan mempunyai saiz yang pelbagai (Rajah 10). Pergerakan ini menyebabkan permukaan jalan menjadi tidak rata dan beralun. Kesan retakan juga boleh dilihat pada pagar konkrit perumahan penduduk. Kadar pergerakan retakan ialah 4mm-9mm/minggu (Rajah 11). Retakan yang berlaku bukan hanya melibatkan unit perumahan yang berada dekat dengan tebing cerun tambahan, malah merebak sehingga ke hampir keseluruhan unit perumahan ini.

Retakan tegangan juga boleh dijumpai pada bahagian tengah cerun tambahan terutamanya pada sistem saliran teres (Rajah 12). Pemeriksaan pada bahagian kaki cerun menemukan tiga mata air yang mengalir laju. Kadar aliran yang laju telah menghakis bahan tambahan yang bersaiz halus seperti tanah dan kelikir (Rajah 13). Lokasi dan jumlah



**Rajah 10:** Retakan tegangan jelas kelihatan pada permukaan Jalan Puteri 9/2 berdasarkan kesan tampalan bitumen untuk membaikinya. Proses pergerakan yang berterusan telah mewujudkan retakan tegangan baru. Proses pengawasan pergerakan yang dilakukan oleh penduduk menunjukkan berlaku pergerakan cerun pada kadar yang berbeza, antara 4mm/minggu hingga 9mm/minggu.



**Rajah 11:** Pembentukan retakan kesan daripada pergerakan cerun diukur pada dua unit perumahan yang berada paling hampir dengan cerun tambahan. Rumah No.1, dan No. 2, Jalan Puteri 9/2A menunjukkan pergerakan 9mm dan 4mm masing-masing dari 9/2/12-16/2/2012.



**Rajah 12:** Retakan tegangan yang terbentuk pada sistem saliran pada bahagian tengah cerun tambakan.



**Rajah 13:** Tiga mata air yang dicerap pada bahagian kaki cerun tambakan. Kadar pengaliran air yang laju telah menghakis bahan tambakan yang bersaiz halus terutamanya tanah.

aliran air yang berterusan jelas menunjukkan kaitan rapat dengan aliran sungai yang ditimbus semasa pembinaan berlaku. Keadaan ini menunjukkan pelencongan aliran sungai asal tidak diuruskan dengan baik. Arah aliran sungai ini perlu diberi perhatian dan dialirkan dengan sempurna bagi menghentikan proses pergerakan cerun dan pemedapan daripada terus berlaku.

#### e) Survei keberintangan elektrik

Enam garis survei keberintangan elektrik telah dilaksanakan di bahagian timur, barat dan tengah kawasan

kajian. Survei keberintangan elektrik dilakukan untuk mengesan dan mengesahkan lokasi serta arah pengaliran anak sungai yang telah ditimbus. Empat garis survei dilakukan sekitar unit perumahan dan baki dua garis survei dilakukan di bahagian cerun tambakan. Perisian Res2DINV digunakan untuk menganalisis data. Perisian ini menggunakan kaedah *least squares inversion* untuk menentukan nilai keberintangan dan seterusnya menghasilkan keratan rentas pseudo bagi tujuan pengimejan. Nilai keberintangan elektik setiap bahan bumi yang dicadangkan oleh Telford *et al.* (1990) menjadi asas untuk menafsirkan menghasilkan keratan rentas pseudo. Lokasi dan keratan rentas pseudo setiap garis survei ditunjukkan dalam Rajah 14.

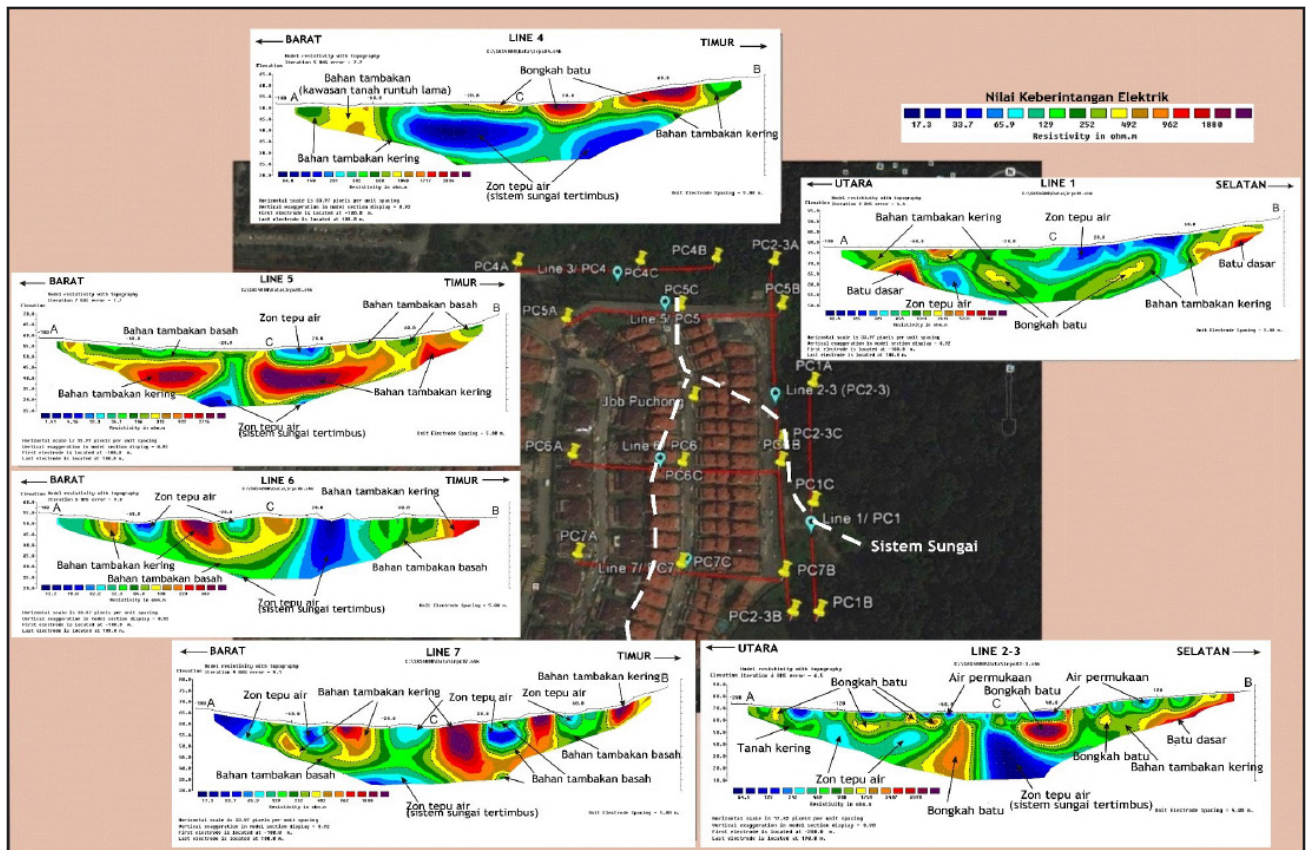
Hasil analisis daripada survei menunjukkan kewujudan dua bahan bumi utama. Bahan yang mempunyai nilai keberintangan elektrik yang tinggi ditafsirkan sebagai bahan tambakan (campuran tanah dan batu). Bahan tambakan ini boleh dijumpai pada semua profil survei bermula dari permukaan sehingga kedalaman 60m. Blok-blok batuan yang bersaiz besar dan bahan tambakan yang bersifat kering memberikan nilai keberintangan elektrik paling tinggi iaitu melebihi 1,000 $\Omega$ m.

Selain bahan tambakan, terdapat zon tepu air yang berkeirintangan elektrik kurang daripada 500 $\Omega$ m. Dua keadaan ditafsirkan sebagai zon tepu air iaitu air dari sistem saliran (air permukaan) dan sistem aliran sungai yang telah ditimbus. Air dari sistem saliran ditafsirkan berada pada atau hampir dengan permukaan manakala sistem sungai lama berada lebih dalam. Korelasi daripada enam garis survei ini menunjukkan kesamaan dengan arah aliran dua anak sungai yang telah ditimbus. Profil garis survei 1 dan 2-3 menunjukkan arah pengaliran anak sungai dari Hutan Simpan Air Hitam. Aliran permukaan anak sungai ini boleh dilihat pada garis survei 1, di mana zon tepu air wujud di bahagian permukaan atau hampir dengan permukaan. Sistem sungai kemudian mengalir ke bahagian bawah bahan tambakan seperti ditafsirkan pada garis survei 2-3. Garis survei ini merupakan permulaan kepada resapan air sungai ke bahagian bawah permukaan. Resapan air mengalir pada kedalaman 5m sehingga 60m dan kelebarannya ialah 40m.

Anak sungai ini kemudian mengalir ke arah barat laut dan dikesan wujud pada profil garis survei 6 dan seterusnya bergabung dengan anak sungai ke-2 yang mengalir di sebelahnya. Kewujudan aliran sungai ke-2 yang mengalir ke arah utara dikesan pada profil garis survei 7 pada kedalaman 25m. Sungai induk hasil percantuman kedua-dua anak sungai terus mengalir ke arah utara melalui profil survei 5 pada kedalaman 25m dan seterusnya keluar ke permukaan melalui hujung cerun tambakan. Zon tepu air yang ditafsirkan pada garis survei 4 menunjukkan tempat pengaliran keluar air dari cerun tambakan.

#### PERBINCANGAN

Aliran air di bawah cerun tambakan secara tidak terkawal menyebabkan berlakunya pergerakan pada cerun tambakan dan pemedapan. Analisis imej satelit menunjukkan unit-unit perumahan telah dibina di atas sebuah sistem sungai yang



Rajah 14: Kompilasi enam garis survei keberintangan elektrik di Taman Puteri 9.

telah ditimbus. Campuran tanah dan batuan telah digunakan sebagai bahan utama untuk tambakan. Cerapan lapangan menunjukkan kualiti tambakan yang kurang baik kerana sifatnya yang berisihan buruk, tidak dipadatkan dengan betul dan campuran bahan pelbagai saiz. Kesan daripada kaedah pembinaan yang kurang teliti telah menyebabkan cerun tambakan mengalami kegagalan bermula pada tahun 2007 dan berterusan sehingga kajian ini dilakukan. Kadar pergerakan cerun antara 4-9mm/minggu semasa kajian dilakukan menjadi bukti pergerakan berterusan pada cerun tambakan. Kesan-kesan pergerakan terutamanya retakan regangan boleh dilihat pada struktur binaan tegar seperti jalan bertar, lantai, dinding, dan sistem saliran.

Survei keberintangan elektrik yang dijalankan membantu mengesahkan kewujudan sistem aliran sungai lama yang terus mengalir di bawah unit-unit perumahan. Sungai ini mengalir pada kedalaman minimum 5m dari permukaan dan boleh mengunjur sehingga kedalaman 60m. Walau bagaimanapun, kedalaman ini bukan kedalaman mutlak tetapi kekangan survei keberintangan elektrik untuk menembusi lebih jauh ke dalam telah menghadkan nilai tersebut. Tafsiran data survei keberintangan elektrik telah berjaya mengesahkan kewujudan sistem sungai di kawasan kajian sebelum ditimbus. Arah aliran anak sungai ini selari dengan sungai asal seperti ditafsirkan dalam peta topografi.

Kesilapan paling ketara dalam kes ini ialah kegagalan untuk melencongkan aliran sungai ke laluan baharu. Lurah sungai yang telah ditimbus telah menghalang aliran sungai

pada laluan asalnya. Ketiadaan laluan alternatif untuk mengalir menyebabkan berlaku resapan berterusan air sungai ke dalam jasad tambakan. Air yang meresap mengalir disepanjang jasad tambakan mengikut laluan asal sungai dan keluar di bahagian hujung cerun tambakan. Larian air bawah permukaan telah menghakis bahan tambakan terutamanya yang bersaiz halus, dan membawanya bersama mengalir ke permukaan. Kesan hakisan ini telah meninggalkan ruang kosong di dalam tambakan, sekaligus menyebabkan mandapan berlaku. Kegagalan cerun tambakan dalam kajian kes ini jelas dipengaruhi oleh dua faktor utama iaitu kehadiran sungai tertimbus yang sentiasa mempunyai aliran air di bawah unit perumahan dan kegagalan untuk melakukan proses pemadatan bahan tambakan dengan sempurna. Kunci utama untuk menghentikan geobencana ini daripada terus berlaku ialah untuk menghentikan pengaliran air ke dalam jasad tambakan menggunakan kaedah mitigasi yang sesuai.

### KESIMPULAN

Pembinaan sesebuah projek di kawasan yang berisiko tinggi perlu dilakukan dengan teliti. Penilaian keadaan tapak binaan dari semua aspek termasuk geologi, topografi, geomorfologi, corak saliran dan lain-lain perlu mendapatkan nasihat dan maklumat daripada ahli geologi. Proses penambakan ke dalam lurah yang mempunyai aliran sungai semulajadi perlu mengambil kira jumlah aliran semasa musim kering dan musim hujan. Penutupan laluan air tanpa menyediakan laluan yang baharu boleh

mendedahkan penduduk kepada geobencana untuk jangka masa panjang seperti yang dibuktikan dalam kajian kes ini. Kaedah penambakan yang tidak berkualiti iaitu membuang sisa potongan bukit terus ke dalam lurah untuk membentuk platform tapak projek turut menyumbang kepada permasalahan ini. Kejadian geobencana ini mendedahkan sifat ambil mudah dan cuai oleh mereka yang terlibat secara langsung dalam pembinaan ini dalam mengambil tindakan dan membuat keputusan.

### PENGHARGAAN

Penghargaan kepada Universiti Kebangsaan Malaysia kerana galakan dan peluang untuk berkongsi kemahiran dan kepakaran dengan pihak yang memerlukan. Kajian ini merupakan sebahagian daripada kelangsungan geran penyelidikan UKM-GUP-ASPL-07-05-012 dan STGL-013-2007. Penghargaan juga kepada Persatuan Penduduk Taman Puteri 9, Puchong kerana memberi kepercayaan kepada kami dan membiayai sepenuhnya kajian ini. Pihak Geoteknologi Resources Sdn. Bhd. menyediakan tenaga kerja pembantu lapangan dan sebahagian kelengkapan peralatan penyiasatan geofizik.

### RUJUKAN

- Alqurashi, A.F. & Kumar, L., 2014. Land use and land cover change detection in the Saudi Arabian desert cities of Makkah and Al-Taif using satellite data. *Advances in Remote Sensing*, 3(3), 106–119.
- Arifin, M.H., Jamaluddin, T.A., Husin, H., Ismail, A., Abbas, A. A., Nordin, M.N.M. & Othman, N.A., 2016. Comparison of geological mapping with electrical resistivity and ground penetration radar methods for rock fractured system study. *Chiang Mai Journal of Science*, 43 (6 Special Issue 2), 1346–1357.
- Fraser, R.H., Olthof, I., Carrière, M., Deschamps, A. & Pouliot, D., 2011. Detecting long-term changes to vegetation in northern Canada using the Landsat satellite image archive. *Environmental Research Letters*, 6(4), 45502.
- Hölbling, D., Betts, H., Spiekermann, R. & Phillips, C., 2016. Semi-automated landslide mapping from historical and recent aerial photography. In: *Proceedings of the 19th Agile 2016 Conference on Geographic Information Science*, Helsinki, Finland, 14–17.
- Hu, Q., Wu, W., Xia, T., Yu, Q., Yang, P., Li, Z. & Song, Q., 2013. Exploring the use of Google Earth imagery and object-based methods in land use/cover mapping. *Remote Sensing*, 5(11), 6026–6042.
- Hussain, M., Chen, D., Cheng, A., Wei, H. & Stanley, D., 2013. Change detection from remotely sensed images: From pixel-based to object-based approaches. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 80, 91–106.
- Hussin, H., Jamaluddin, T.A. & Fauzi, N., 2017. The Importance of Former Quarry Rock Slope Assessment for Sustainable Infrastructure Development. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12(8), 2703–2709.
- Jabatan Mineral dan Geosains, 2014. *Peta Geologi Semenanjung Malaysia Edisi ke 9. Skala 1:500,000, Edisi Ke-14.*
- Kazmi, D., Qasim, S., Harahap, I.S.H., Baharom, S., Imran, M. & Moin, S., 2017. A Study on the Contributing Factors of Major Landslides in Malaysia. *Civil Engineering Journal*, 2(12), 669–678.
- Lageson, D.R., Larsen, M.C., Lynn, H.B. & Treadway, W.A., 2012. Applications of Google Earth Pro to fracture and fault studies of Laramide anticlines in the Rocky Mountain foreland. *Geological Society of America Special Papers*, 492, 209–220.
- Lee, M.L., Ng, K.Y., Huang, Y.F. & Li, W.C., 2014. Rainfall-induced landslides in Hulu Kelang area, Malaysia. *Natural Hazards*, 70(1), 353–375.
- Muhamad, N., Lim, C.S., Reza, M.I.H. & Pereira, J.J., 2013. Input geologi untuk Sistem Sokongan Membuat Keputusan dalam pengurusan risiko bencana: Kajian kes Universiti Kebangsaan Malaysia. *Bulletin of the Geological Society of Malaysia*, 59, 73–84.
- Mustaffa Kamal Shuib & Tajul Anuar Jamaluddin, 2004. A hazard assessment of a granite cut-slope in a hillside development off Jalan Kuari Cheras, Selangor. *Bulletin of the Geological Society of Malaysia*, 49, 1–4.
- Nazaruddin, D.A., Amiruzan, Z.S., Hussin, H. & Jafar, M.T.M., 2017. Integrated geological and multi-electrode resistivity surveys for groundwater investigation in Kampung Rahmat village and its vicinity, Jeli district, Kelantan, Malaysia. *Journal of Applied Geophysics*, 138, 23–32.
- Pengaruh Pemetaan Negara Malaysia, 1991. *Peta Topografi Kuala Lumpur dan Petaling Jaya. No Siri L7030, Helaian 3757. Skala 1:50,000.*
- Qasim, S., Harahap, I., Baharom, S. & Imran, M., 2014. Human Error Causes in Slope Engineering Practices. *Applied Mechanics & Materials*, 567, 730–735.
- Rana, N., Chakravarthy, C.P., Nair, R. & Kannan, L.G., 2016. Identification of lineaments using Google tools. In: *Recent Advances in Rock Engineering (RARE 2016)*, 124–132. Atlantis Press.
- Selvarani, A.G., Elangovan, K. & Kumar, C.S., 2016. Evaluation of groundwater potential zones using electrical resistivity and GIS in Noyyal river basin, Tamil Nadu. *Journal of the Geological Society of India*, 87(5), 573–582.
- Tajul Anuar Jamaluddin, 2006. Faktor Manusia dan Kegagalan Cerun di Malaysia. *Bulletin of the Geological Society of Malaysia*, 52, 75–84.
- Tajul Anuar Jamaluddin, 2010. Urban Geohazards in Developing Quarried Land. *Buletin SEADPRI Newsletter*, 3.
- Tajul Anuar Jamaluddin, Sian, L.C. & Mariappan, S., 2011. Kepentingan fotograf udara merungkai sejarah gelinciran tanah di Bukit Antarabangsa Hulu Kelang, Selangor Darul Ehsan. In: T. F. Ng (Ed.), *Proceedings National Geoscience Conference. Johor Bahru, Persatuan Geologi Malaysia.*
- Telford, W.M., Geldart, L.P. & Sheriff, R.E., 1990. *Applied geophysics (2nd ed.)*. Cambridge University Press. 289 p.
- Yu, L. & Gong, P., 2012. Google Earth as a virtual globe tool for Earth science applications at the global scale: progress and perspectives. *International Journal of Remote Sensing*, 33(12), 3966–3986.

*Manuscript received 16 September 2017*

*Revised manuscript received 28 March 2018*

*Manuscript accepted 2 April 2018*