

Pembangunan dan Penilaian Prototaip Tapak Ujian Mudah Alih Sebagai Diagnostik Pantas Alat *Electromagnetic Locator (EML)*

Nur Syamsinar Fadhilah Mohamad Jaya^{1*}, Helmi Abd Kadir ²,
Che Ku Ahmad Fuad Che Ku Abdullah ²

¹Jabatan Kejuruteraan Awam, Politeknik Sultan Mizan Zainal Abidin, 23000 Dungun, Terengganu

^{2,3}Jabatan Kejuruteraan Awam, Politeknik Kuching Sarawak, 93500 Kuching, Sarawak

*Corresponding author E-mail: nursyamsinar@psmza.edu.my

Abstrak

Electromagnetic Locator (EML) merupakan alat digunakan untuk kerja pengesanan dan pengukuran utiliti bawah tanah bagi tujuan pemetaan. Bagi memastikan alat dalam kondisi yang baik dan memberikan ketepatan dalam pengukuran bacaan kedalaman, ia perlu dilakukan pengujian dan kalibrasi sekurang-kurang sekali dalam tempoh setahun. Namun begitu, lokasi tapak ujian alat EML di Malaysia adalah sangat terhad sedangkan alat perlu diuji dengan kadar segera. Kekangan ini juga memerlukan peruntukan kos untuk ke lokasi tapak ujian sediaada atau pembinaan makmal tapak ujian baharu. Oleh itu, inisiatif diambil dengan membangunkan prototaip Tapak Ujian Mudah Alih bagi menguji dan diagnostik alat EML dengan lebih pantas, fleksibel dan tepat. Ia dinilai keberkesannya dengan melaksanakan pengujian alat EML RD8100 menggunakan prototaip tersebut. Prosedur pengujian dilaksanakan merujuk kepada piawaian yang telah ditetapkan oleh Jabatan Ukur dan Pemetaan Malaysia (JUPEM). Dari pengukuran yang dilaksanakan didapati bahawa EML RD8100 telah dapat membuat pengesanan dan pengukuran kedalaman di Tapak Ujian Mudah Alih dengan baik dan pantas. Selain itu dari perbandingan antara kedalaman sebenar dan kedalaman yang diukur terhadap 2 jenis medium iaitu tanah laterit dan pasir menunjukkan bahawa, nilai *Root Mean Square Error (RMSE)* bagi kesemua pengukuran berada dalam julat 0.017 meter dan 0.057 meter. Ini menunjukkan tahap ketepatan boleh diterima dalam pengukuran utiliti bawah tanah ($RMSE \leq 0.100$ meter) dan menandakan prestasi pengukuran yang konsisten dan boleh dipercayai. Kesimpulannya, prototaip ini telah membantu dalam diagnostik alat EML dengan lebih pantas, pengujian dapat dilaksanakan lebih fleksibel dan mengurangkan kebergantungan kepada makmal atau fasiliti tetap. Selain itu, tapak ujian juga lebih mudah dikawal dan diselenggara.

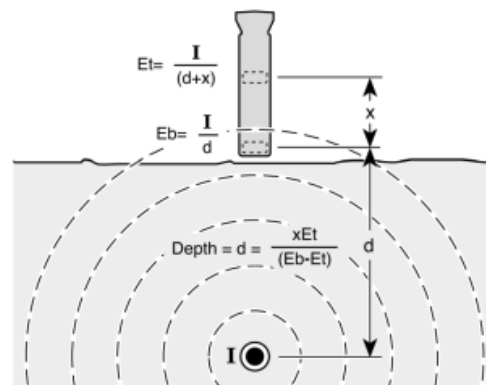
Kata Kunci : Prototaip Tapak Ujian Mudah Alih, *Electromagnetic Locator (EML)*

1.0 Pengenalan

Pemetaan utiliti bawah tanah adalah merujuk kepada proses pengesanan, penentuan kedudukan dan mengenalpasti maklumat utiliti yang telah ditanam seperti paip, kabel dan lain-lain infrastruktur bawah tanah. Akhirnya maklumat berkaitan utiliti akan dipersembahkan di dalam sebuah peta sebagai output. Pemetaan utiliti adalah sangat penting untuk memastikan kesahihan maklumat utiliti bagi kerja-kerja pembangunan, penyenggaraan dan menaiktaraf infrastruktur utiliti bawah tanah. Selain itu, peta atau plan utiliti akan dijadikan panduan semasa pemasangan dan sebelum kerja pengorekan dilakukan.

Menurut Kamus Dewan edisi keempat, utiliti adalah perkakasan atau kemudahan awam yang digunakan oleh pengguna seperti bekalan air, elektrik, gas, telekomunikasi dan lain-lain. Utiliti bawah tanah pula adalah perkakasan kemudahan awam seperti disebutkan yang berada dikedudukan di bawah tanah seperti saluran paip air, gas, kabel elektrik atau telekomunikasi. Secara dasarnya, pemegang taruh utiliti bawah tanah di Malaysia adalah terdiri dari pemilik utiliti Jurukur dan Jabatan Ukur dan Pemetaan Malaysia (JUPEM). Pemilik utiliti di Malaysia adalah pihak atau agensi Kerajaan atau bukan Kerajaan yang bertanggungjawab menguruskan utiliti seperti Tenaga Nasional Berhad (TNB), Syarikat Air, Petronas, Esso, Indah water Konsortium Sdn. Bhd, Telekom Malaysia dan lain-lain. Mengambil kira kepada peningkatan kerosakan utiliti di bawah tanah yang berpunca dari kerja-kerja pengorekan, pihak Jurukur Tanah Bertauliah dan JUPEM telah mengambil tanggungjawab untuk mengenalpasti kedudukan dan data lain berkaitan utiliti bawah tanah adalah tepat melalui kerja-kerja pengukuran dan pengesanan. Sehingga hari ini, pemetaan utiliti telah menjadi sebahagian dari skop tugas jurukur yang sangat mencabar (Khadijah et al., 2020).

Terdapat dua alat yang biasa digunakan oleh jurukur untuk mengesan utiliti bawah tanah iaitu *Elektromagnetic Locator* (EML) dan *Ground Penetrating Radar* (GPR) yang mana mengaplikasikan teknik *non-invasive geophysical*. EML atau dikenali juga sebagai *Pipe and Cable Locator* (PCL) merupakan alat yang berkemampuan untuk mengesan dan mengenalpasti paip logam dan wayar yang dijajarkan pada utiliti bukan logam seperti paip fiber (Lai, 2019). Ia juga mampu untuk mengesan besi, keluli and tembaga, jajaran paip air, gas, wayar pengesan pada paip plastik, kabel telefon, kabel elektrik, jajaran fiber optik dan banyak lagi. EML berfungsi secara serentak diantara penghantar (transmitter) dan penerima. Prinsip asas pengesanan utiliti bawah tanah menggunakan EML adalah, penghantar akan mendorong arus elektrik yang terhasil dari gelombang magnet pada objek dan gelombang magnet akan dapat dikesan oleh penerima. Kedudukan kabel boleh dikenalpasti dengan memahami corak medan magnet yang dijana dari pemancar (Kijima & Hattori, 2016). Oleh yang demikian, pengesanan utiliti menggunakan alat EML amat memerlukan arus elektrik bagi memudahkan kerja-kerja pencarian. (Khadijah et al., 2020). Kedalaman utiliti boleh diukur pada bahagian tengah kabel atau paip metal sehingga bahagian tapak penerima seperti Rajah 1.

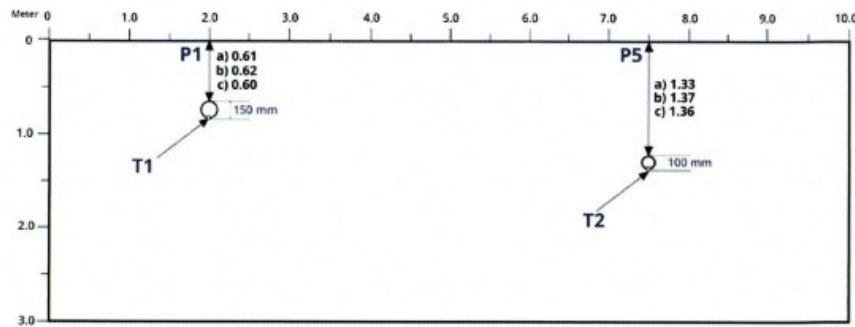


Rajah 1 : Prinsip pengukuran PCL atau EML

Terdapat dua kaedah pengukuran yang digunakan menggunakan alat EML atau PCL iaitu secara signal pasif atau aktif. Signal aktif adalah kaedah dimana pemancar mengalirkan arus elektrik kepada paip, kabel atau konduktor logam. Seterusnya, medan magnet akan dihasilkan dan ia akan dikesan oleh penerima yang diletakkan berhampiran berkedudukan di atas tanah. Penerimaan isyarat boleh sama ada dalam mod puncak (peak mode) atau mod nul (null mode) yang mana hendaklah sepadan dengan medan magnet maksima yang dijana (Lai, 2019). Melalui signal aktif ini, terdapat tiga kaedah yang boleh digunakan iaitu sambungan terus, signal *clamping* dan induksi. Kesesuaian penggunaan ketiga-tiga kaedah ini adalah bergantung kepada jenis dan keadaan utiliti yang hendak dikesan dan menggunakan gabungan aksesori dan komponen yang berbeza. Menurut Syed et al., (2022), kabel elektrik lebih mudah dikesan menggunakan kaedah clamping melalui *peak mode* pada frekuensi 8KHz hingga 33KHz. Signal pasif pula adalah kaedah yang berlaku secara semulajadi yang mana arus dijana dari kabel hidup yang sedia ada di bawah tanah. Kaedah ini hanya menggunakan penghantar sahaja dan kebiasaan untuk mengesan corak kabel di bawah tanah.

Berdasarkan garis panduan yang dikeluarkan oleh JUPEM melalui Pekeliling Bilangan 3 Tahun 2021, alat pengesan utiliti hendaklah dibuat ujian sekali setahun bagi memastikan alat mampu mengesan kedalaman dengan tepat dan dalam keadaan baik. Di dalam garis panduan tersebut alat EML diuji dengan membuat pengesanan kepada tiga (3) bebola isyarat yang di tanam di tapak ujian (Rajah 2). Semua kedudukan bebola yang telah ditandakan di atas permukaan tapak ujian hendaklah dibuat pengesanan secara sambungan terus. Data

pengesanan akan dicatatkan di dalam borang khas. Nilai perbezaan kedalaman bacaan ujian dengan sebenar akan dihitung. Analisa pembedaan akan dibuat untuk menentukan kejituan atau ketepatan berdasarkan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE). Alat EML diterima dalam keadaan baik sekiranya hasil ujian menunjukkan ketepatan berdasarkan nilai RMSE iaitu lebih kecil atau sama dengan nilai 0.100 meter (≤ 0.100 meter). Jika bacaan ujian mendapat keputusan sebaliknya, maka peralatan tersebut perlu dihantar kepada pembekal untuk dibaiki. (KPUP, 2021).



Rajah 2 : Keratan Rentas Tapak Ujian dan Kedalaman Sebenar di Tapak Ujian JUPEM Kuala Lumpur (Sumber : KPUP Bil.3 Tahun 2021).

Lokasi tapak ujian alat EML sedia ada di Malaysia adalah terhad di beberapa tempat sahaja seperti di JUPEM Kuala Lumpur dan Institut Tanah dan Ukur Negara (INSTUN). Kekangan kepada lokasi yang terhad telah menyukarkan untuk membuat ujian alat dan memerlukan kos tinggi untuk ke lokasi tapak ujian. Selain itu, tapak ujian alat sedia ada yang dibina juga menggunakan ruangan yang besar iaitu makmal berkeluasan 10 kaki x 10 kaki, yang mana memerlukan kos yang tinggi sekiranya perlu dibina di lokasi pemilik alat EML. Selain itu, masa juga perlu diperuntukkan untuk melaksanakan ujian di lokasi yang telah ditetapkan sedangkan alat EML amat diperlukan segera untuk kerja pengukuran selain kalibrasi dan pembaikan perlu dibuat sekiranya alat mengalami kerosakan.

Bagi mengatasi isu di atas, satu inisiatif telah diambil dengan menghasilkan prototaip tapak ujian alat EML mudah alih. Tujuan utama adalah untuk memastikan alat EML dapat diuji dengan lebih fleksibel, tepat dan tanpa bergantung kepada fasiliti tetap sedia ada. Secara eksplisit, objektif yang digariskan adalah :

- i) Merekabentuk prototaip tapak ujian alat yang mudah alih dan dapat melakukan diagnostik pada alat EML
- ii) Menilai keberkesanan prototaip tapak ujian mudah alih melalui pengesanan dan pengukuran kedalaman oleh alat EML RD8100.
- iii) Menganalisa ketepatan dan konsistensi tapak ujian mudah alih dari data pengukuran kedalaman paip di medium tanah laterit dan pasir.

Produk inovasi yang dihasilkan fokus kepada pengujian alat EML dari model RD8100 (Rajah 3). Selain itu, pengkaji juga ingin melihat adakah terdapat perbezaan kedalaman yang diukur oleh alat EML RD8100 dari medium yang berbeza iaitu tanah laterit dan pasir yang diletakkan di tapak ujian mudah alih ini.

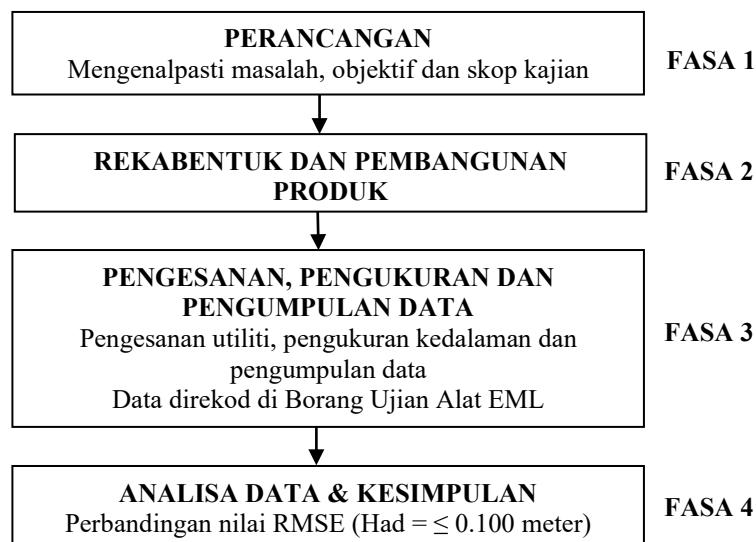


Rajah 3 : *Electromagnetic Locator (EML) RD8100*

Kepentingan projek ini adalah proses diagnostik alat EML dapat dilakukan pantas bagi memastikan alat berada dalam keadaan baik dan tepat sebelum digunakan, terutamanya dalam kerja-kerja kritikal seperti penggalian atau pemasangan utiliti bawah tanah. Pengujian juga dapat dilaksanakan lebih fleksibel dan mengurangkan kebergantungan kepada makmal tetap atau tapak statik. Kondisi alat juga boleh diketahui lebih pantas samada berkeperluan untuk dikalibrasi atau tidak. Alat EML juga boleh diuji dalam pelbagai keadaan seperti medium atau kondisi tanah berbeza. Tapak ujian yang dibangunkan juga lebih mudah dikawal dan diselenggara.

2.0 Metodologi

Perancangan, penghasilan dan dapatan data secara amnya adalah sangat penting dalam suatu kajian atau penghasilan inovasi. Keseluruhan metodologi untuk kajian ini mengandungi empat (4) peringkat utama iaitu fasa perancangan, fasa rekabentuk dan pembangunan, fasa pengukuran dan pengumpulan data dan fasa analisa dapatan data sepertimana ditunjukkan di Rajah 4 berikut.



Rajah 4 : Kerangka pembangunan dan penilaian produk

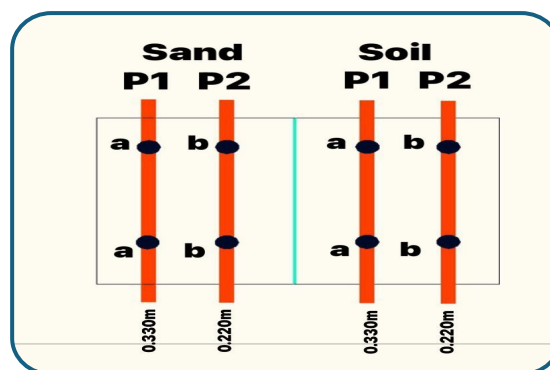
2.1 Fasa perancangan

Fasa perancangan adalah untuk mengenalpasti masalah dan kekangan yang dihadapi bagi kerja pengujian alat EML. Selain itu tujuan dan objektif pembangunan prototaip telah digariskan khususnya untuk membantu mengatasi yang telah dihadapi. Skop kajian juga digariskan supaya pembangunan dan penilaian prototaip lebih terarah dan fokus.

2.2 Fasa rekabentuk dan pembangunan produk

Rekabentuk produk adalah mengambil kira prinsip asas pengukuran alat EML dan merujuk kepada prosidur yang telah ditetapkan dalam garis panduan yang dikeluarkan oleh pihak JUPEM. Rekabentuk produk juga mengambil kira objekif yang telah ditetapkan iaitu produk yang mudah alih dan dapat melaksanakan diagnostik alat EML dengan pantas. Bahan yang digunakan untuk menghasilkan produk ini adalah bekas bersaiz 3x2 kaki, 4 paip metal bersaiz 6 kaki panjang, roda dan tanah. Saluran paip di letakkan di dalam bekas plastik yang diisi tanah sebagai utiliti yang akan dikesan oleh alat EML RD8100.

Rekabentuk tapak ujian di lukis di dalam perisian Autocad 3D. Melalui rekabentuk tersebut, kesesuaian kedalaman saluran paip akan dikenalpasti. Dari rekabentuk yang telah dipersetujui, bekas kotak akan di tebuk 4 lubang bagi meletakkan saluran paip pada kedudukan yang dikehendaki dengan mngambilkira kedalaman tertentu seperti di Rajah 5. Kedalaman paip yang ditanam adalah 0.330m dan 0.220m bagi kedua-dua medium tanah yang berbeza. Bekas akan dibahagikan kepada 2 bahagian yang mana akan diisi tanah dari 2 jenis yang berbeza iaitu tanah liat dan pasir (Rajah 6). Bekas dipasang roda supaya lebih mudah alih (Rajah 7).



Rajah 5 : Kedudukan dan saiz paip yang ditanam di dalam medium tanah laterit dan pasir.



Rajah 6 : Pandangan atas prototaip



Rajah 7 : Pandangan hadapan prototaip

2.3 Fasa pengesanan, pengukuran dan pengumpulan data

Setelah produk dihasilkan, kedalaman paip akan diukur menggunakan alat EML RD8100. Signal yang digunakan adalah aktif dengan kaedah sambungan terus. Frekuensi ditetapkan adalah 33kHz. Setiap paip yang mempunyai kedalaman berbeza akan dikesan sebanyak 3 kali. Nilai kedalaman akan direkodkan di dalam Borang Ujian Alat EML sepertimana dikehendaki di dalam garispanduan oleh JUPEM. Jadual 1 dan 2 dibawah menunjukkan 2 borang berbeza yang mana data diisi mengikut dua jenis medium yang berbeza iaitu tanah laterit dan pasir.

2.4 Fasa analisa data dan kesimpulan

Fasa ini merupakan proses menganalisis dapatan data dari pengukuran dan pengesanan yang dilakukan. Nilai perbezaan kedalaman bacaan ujian dengan sebenar akan dikira dan analisa perbandingan akan dibuat untuk menentukan kejituan atau ketepatan berdasarkan nilai RMSE. Alat EML diterima dalam keadaan baik sekiranya hasil ujian menunjukkan ketepatan berdasarkan nilai RMSE iaitu lebih kecil atau sama dengan nilai 0.100 meter (≤ 0.100 meter). Dapatan data ini membantu mencapai objektif 3 yang telah digariskan.

3.0 Keputusan dan Perbincangan

Berdasarkan ujian yang telah dijalankan di dalam Rajah 8, dengan menggunakan alat RD8100 pada frekuensi 33kHz, hasil pengesanan menunjukkan min keseluruhan jarak pengesanan adalah 0.000637333 meter. Manakala nilai RMSE (Root Mean Square Error) adalah 0.025245 meter. Nilai-nilai ini menunjukkan bahawa alat pengesanan berfungsi dengan baik dan memberikan ketepatan yang boleh diterima dalam pengesanan utiliti pada kedalaman sekitar 0.2 hingga 0.3 meter. Oleh itu, ujian ini telah lulus berdasarkan kriteria penilaian yang telah ditetapkan.

BORANG UJIAN ALAT ELECTRO-MAGNETIC LOCATOR (EML) (Direct Connection)											
Nama Penguji: Raden Muhd. Syahmi					Model Alat EML: RD8100						
Jabatan/Agensi/Syarikat: POLIKU					No. Serial:						
Tarikh Ujian: 10 November 2023					Frekuensi: 8 kHz ☐		33 kHz ☒				
Catatan Pengesanan (meter (m))											
			Pengesanan 1			Pengesanan 2			Pengesanan 3		
	Nilai Sebenar	Bacaan Ujian	Perbezaan	Perbezaan ²	Bacaan Ujian	Perbezaan	Perbezaan ²	Bacaan Ujian	Perbezaan	Perbezaan ²	
Δ Jarak dari Pemasangan P1	a	0.222	0.210	0.012	0.000144	0.210	0.012	0.000144	0.230	0.008	6.4E-05
	b	0.223	0.260	0.037	0.001369	0.240	0.017	0.000289	0.270	0.047	0.002209
Δ Jarak dari Pemasangan P2	a	0.369	0.360	0.009	0.000081	0.370	0.001	0.000001	0.360	0.009	8.1E-05
	b	0.369	0.317	0.052	0.002704	0.380	0.011	0.000121	0.390	0.021	0.000441
min (mean)				0.017	0.001075		-0.00425	0.00013875		0.02025	0.00069875
Keputusan Ujian :			Analisis :								
Lulus ☒			Min bagi keseluruhan jarak pengesanan = 0.000637333								
Gagal ☐			$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (y_i - y_p)^2}{n}} = 0.025245$								

Rajah 8: Borang ujian alat Electro-Magnetic Locator (EML) terhadap medium tanah laterit

Ujian pengesanan seterusnya adalah ujian terhadap medium jenis pasir sepertimana ditunjukkan di Rajah 9. Hasil ujian menunjukkan nilai purata min keseluruhan jarak pengesanan ialah 0.00115375 meter, manakala *Root Mean Square Error* (RMSE) ialah 0.03397 meter. Ini menunjukkan bahawa alat ini masih boleh memberikan ketepatan bacaan yang boleh diterima untuk pengesanan utiliti cetek, terutama dalam jarak bawah 0.5 meter. Secara keseluruhan, alat ini lulus ujian ketepatan keperluan amalan pengesanan utiliti.

BORANG UJIAN ALAT ELECTRO-MAGNETIC LOCATOR (EML) (Direct Connection)											
Nama Penguji: HELMI						Model Alat EML • RADIODETECTION CABLE LOCATOR					
Jabatan/Agensi/Syarikat: POLIKU						No. Serial:					
Tarikh Ujian: 10 November 2023						Frekuensi: 8 kHz ☐ 33 kHz ☒					
Catatan Pengesanan (meter (m))											
			Pengesanan 1			Pengesanan 2			Pengesanan 3		
	Nilai Sebenar		Bacaan Ujian	Perbezaan	Perbezaan ²	Bacaan Ujian	Perbezaan	Perbezaan ²	Bacaan Ujian	Perbezaan	Perbezaan ²
Δ Jarak dari Pemasangan P1	a	0.222	0.210	0.012	0.000144	0.380	0.022	0.000484	0.190	0.032	0.001024
	b	0.223	0.220	0.003	0.000009	0.370	0.013	0.000169	0.250	0.027	0.000729
Δ Jarak dari Pemasangan P2	a	0.369	0.300	0.069	0.004761	0.240	0.069	0.004761	0.380	0.011	0.000121
	b	0.369	0.370	0.001	0.000001	0.210	0.039	0.001521	0.380	0.011	0.000121
min (mean)				0.02125	0.001229		0.03575	0.00173375		0.02025	0.00049875
Keputusan Ujian :			Analisis : Min bagi keseluruhan jarak pengesanan = 0.00115375 $RMSE = \sqrt{\frac{\sum (y_i - y_p)^2}{n}} = 0.03397$								
Lulus ☒ Gagal ☐											

Rajah 9: Borang ujian alat Electro-Magnetic Locator (EML) terhadap medium pasir.**Jadual 1:** Penilaian ketepatan terhadap alat EML.

Objek utiliti	Kedalaman sebenar (m)	Kedalaman diukur		Ketepatan, RMSE (±m)	
		Tanah	Pasir		
Paip T1 (a)	0.222	0.217	0.200	0.011	0.023
Paip T1 (b)	0.223	0.257	0.227	0.036	0.017
Paip T2 (a)	0.369	0.363	0.327	0.007	0.057
Paip T2 (b)	0.369	0.362	0.360	0.033	0.023

Jadual 1 di atas menunjukkan perbandingan antara kedalaman sebenar dan kedalaman yang diukur terhadap 2 jenis medium iaitu tanah laterit dan pasir. Bagi paip T1, perbezaan antara bacaan dalam tanah laterit dan pasir menunjukkan variasi yang ketara terutamanya pada lokasi di (b), dengan bacaan dalam tanah 0.257 meter melebihi kedalaman sebenar 0.223 meter. Manakala dalam pasir pula bacaan adalah hampir iaitu 0.227 meter. Paip T2 menunjukkan ketepatan yang lebih baik, khususnya di lokasi (a) dengan nilai ralat RMSE masing-masing serendah 0.007 meter dan 0.057 meter. Secara keseluruhan, nilai RMSE bagi

kesemua pengukuran berada dalam julat 0.017 meter dan 0.057 meter. Ini menunjukkan tahap ketepatan boleh diterima dalam pengukuran utiliti bawah tanah. Nilai ralat yang rendah terutamanya pada paip T2 menandakan prestasi pengukuran yang konsisten dan boleh dipercayai.

4.0 Kesimpulan

Dari kajian ini, penilaian terhadap prototaip tapak ujian mudah alih alat EML telah dilaksanakan. Pengukuran dan pengesanan utiliti dilakukan di tapak ujian tersebut dengan mengambilkira beberapa perkara yang telah digariskan di dalam pekeliling oleh JUPEM dan objektif kajian yang digariskan. Dari ujian yang dilakukan, nilai RMSE (Root Mean Square Error) yang diperolehi adalah 0.025245 meter bagi medium tanah laterit dan Root Mean Square Error (RMSE) ialah 0.03397 meter bagi medium pasir. Ini menunjukkan bahawa alat EML ini boleh memberikan ketepatan bacaan yang boleh diterima untuk pengesanan utiliti cetek, terutama dalam jarak bawah 0.5 meter. Merujuk kepada KPUP Bil. 13 (2021), alat pengesanan utiliti bawah tanah diterima dalam keadaan baik sekiranya hasil ujian menunjukkan ketepatan dengan nilai RMSE lebih kecil atau sama dengan 0.100 meter. Dalam konteks keberkesanan prototaip tapak ujian mudah alih merujuk kepada dapatan dan analisis menunjukkan bahawa tapak tersebut telah dapat menguji keupayaan peralatan mengesan pemasangan utiliti dari nilai ralat yang rendah dan berada pada had RMSE yang dibenarkan yang menandakan prestasi pengukuran yang konsisten dan boleh dipercayai di dalam persekitaran yang terkawal walaupun utiliti di letakkan di dalam medium tanah yang berbeza. Dapat disimpulkan bahawa prototaip ini merupakan satu inisiatif untuk diagnostik alat EML dengan lebih pantas, pengujian dapat dilaksanakan lebih fleksibel dan mengurangkan kebergantungan kepada makmal atau fasiliti tetap. Namun penambahbaikan terhadap prototaip boleh dibuat dengan mengambilkira pengukuran utiliti yang lebih dalam yang mana secara dasarnya lebih realistik dan signifikan terhadap pemilihan frekuensi untuk pengukuran.

Penghargaan

Penulis merakamkan penghargaan dan terima kasih kepada Ketua Program dan Ketua Jabatan Kejuruteraan Awam, Politeknik Kuching Sarawak (PKS) di atas sokongan yang diberikan dalam menghasilkan prototaip ini yang mana untuk memastikan alat EML di PKS berada dalam keadaan baik, boleh digunakan untuk pengukuran dan dapatan data yang diperolehi adalah tepat. Selain itu, terima kasih juga diucapkan kepada pihak industri atas masa dan idea penambahbaikan yang diberikan semasa sesi perkongsian ilmu dilaksanakan. Tidak lupa juga penghargaan untuk pihak JUPEM atas garis panduan yang telah dibangunkan bagi memudahkan prosidur pengujian dilaksanakan berdasarkan piawaian yang telah ditetapkan.

Rujukan

- Jamil, Mohd Yusoff, Nomanbhoy, Mohamed Yusof (2015), *Current Progress on Underground Utility Mapping in Malaysia*, Wisdom of The Age to the Challenges of the Modern World 17 – 21 May 2015., Sofia Bulgaria.
- Kijima, H., & Hattori, T. (2016). *Estimation Results on the Location Error When Using Cable Locator*, 15, 11–18.
- Ketua Pengarah Ukur & Pemetaan (2013), *Pekeliling Ketua Pengarah Ukur dan Pemetaan Malaysia, Bil. 1 Tahun 2013-Garis Panduan Pengukuran Jajaran Laluan Utiliti Baru*.
- Ketua Pengarah Ukur & Pemetaan (2007), *Pekeliling Ketua Pengarah Ukur dan Pemetaan Malaysia Bil. 1 Tahun 2007 - Garis Panduan Ukuran Pemasangan Utiliti*.

- Ketua Pengarah Ukur & Pemetaan (2021), *Pekeliling Ketua Pengarah Ukur dan Pemetaan Malaysia, Bil. 13 Tahun 2021-Garis Panduan Tatacara Pengujian Alat Pengesanan Utiliti Bawah Tanah*.
- Khadijah Saifuddin, Ainon Nisa Othman, Mohamad Hezri Razali, Nafisah Khalid (2020), *Accuracy Assessment on Underground Utility Equipment, Built Environment Journal, Special Issue*, 57 - 66, 2020, Shah Alam, Malaysia
- Lai, W. W. L., (2021), *Underground Utilities Imaging and Diagnosis. In The Urban Book Series.1-422*. <http://www.springer.com/series/14773>
- Lai, W. W. L., (2019), *Specifications for Nondestructive Testing, Surveying, Imaging and Diagnosis for Underground Utilities*. NDTSID spec 1.1 PCL/EML 1st Edition, 2019 Department of Land Surveying and Geo-informatics (LSGI), The Hong Kong Polytechnic University <https://www.polyu.edu.hk/lsgi/uusspec/en/publications>
- Radiodetection Ltd., (2017), *The theory of buried cable and pipe location*.
- Radiodetection Ltd., (2017), *Precision Multifunction Cable & Pipe Locator*
- Syed I.S.S , Asrul Z. , Nor A.N & Sulzakimin M. (2022), *Implementation of EML and GPR Technology for Underground Utilities Detection*, Engineering, Agriculture, Science & Technology Jurnal, Volume 1 Number 1 August 2022, 75 ~ 80 DOI: <https://doi.org/10.37698/eastj.v1i1.129>