

Keberkesanan Penggunaan Mesin Pengorek Terowong (*Tunnel Boring Machine*) bagi Projek MRT di Malaysia : Perspektif Kontraktor

Nuradilaizzah Mazlan¹, Roshartini Omar^{1*}, Norliana Sarpin¹ & Sulzakimin Mohamed¹

¹Department of Construction Management, Faculty of Technology Management & Business,
Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, Parit Raja, Batu Pahat, Johor, 86400,
MALAYSIA

*Corresponding Author Designation

DOI: <https://doi.org/10.30880/rmtb.2020.01.01.043>

Received 30 September 2020; Accepted 01 November 2020; Available online 01 December 2020

Abstract: Tunnel Boring Machine (TBM) is a machine used by contractors to dig tunnels for MRT construction projects in Malaysia. However, the use of TBM machines causes problems of soil structure and soil conditions become unstable and problems in machine proofread. This study was conducted to identify the problems encountered in the use of TBM machines use and to enhance the effectiveness of the use of TBM machines. Qualitative data collection methods in terms of semi-structured interviews were conducted with contractors that using of TBM machines. Data analysis was carried out by project managers and tunnel machine operators including experienced Chinese skilled workers that using TBM machines. The results found that the construction of tunnels using TBM machines has problems with soil structure as well as difficulties in operating the machine. These problems affect the effectiveness of the TBM machine in terms of machine usage capacity, cost, time and quality. The results of the research could provide an insight into the Malaysian construction project organisations and will provide valuable guidelines, in particular to public and private sectors in Malaysia that are looking forward to participating in the global construction market.

Keywords: Tunnelling Boring Machine, Tunnel Construction, Effectiveness

Abstrak: Mesin Pengorek Terowong atau *Tunneling Boring Machine* (TBM) adalah mesin yang digunakan oleh kontraktor untuk mengorek terowong bagi projek pembinaan MRT di Malaysia. Penggunaan mesin TBM menimbulkan masalah struktur tanah dan keadaan tanah menjadi tidak stabil dan masalah dalam penyediaan mesin. Kajian ini dilaksanakan bagi mengenal pasti masalah yang dihadapi dalam penggunaan mesin TBM serta mengkaji keberhasilan penggunaannya dan langkah-langkah yang boleh diambil bagi meningkatkan keberkesanan penggunaan mesin

TBM. Kaedah pengumpulan data secara kualitatif secara temu bual telah dipilih bagi mengumpulkan maklumat-maklumat daripada kontraktor yang menggunakan mesin TBM. Analisis data dilaksanakan dengan menyasarkan kontraktor yang menggunakan mesin TBM iaitu syarikat KVMRT Gamuda Sdn. Bhd melalui sesi temu bual terhadap pengurus projek dan pengendali mesin terowong termasuk tenaga mahir daripada negara China yang berpengalaman. Hasil kajian mendapati pembinaan terowong menggunakan mesin TBM mengalami masalah struktur tanah serta kesukaran dalam mengendalikan mesin. Masalah-masalah ini memberi kesan kepada keberkesanan mesin TBM dari segi kapasiti penggunaan mesin, kos, masa dan kualiti. Hasil penyelidikan dapat memberikan gambaran mengenai organisasi projek pembinaan Malaysia dan akan memberikan garis panduan berharga, khususnya kepada sektor awam dan swasta di Malaysia yang ingin meluaskan pasaran pembinaan global.

Kata kunci: Mesin Pengorek Terowong, Pembinaan Terowong, Keberkesanan

1. Pengenalan

MASS Rapid Transit (MRT) ialah kemudahan infrastruktur di bawah *Mass Rapid Transit Corporation Sdn. Bhd* (MRT Corp, 2012) merupakan antara projek pertama yang dijalankan oleh MRT Corp iaitu projek MRT Lembah Klang-Sungai Buloh dan projek MRT Corp sedang dijalankan bermula di Sungai Buloh - Serdang – Putrajaya (Othman, 2016). Menurut Ismail (2018), antara bahagian terpenting dalam pembinaan laluan MRT ialah pembinaan terowong bawah tanah yang menggunakan teknologi mesin pengorek terowong atau *Tunnelling Boring Machine* (TBM). Secara amnya, pembinaan terowong dilaksanakan di bawah tanah atau kawasan berbukit dan mesin pengorek terowong (TBM) digunakan untuk membina terowong (Singh, 2015).

1.1 Latar Belakang Kajian

Projek infrastruktur yang menjadi tarikan pembangunan ialah projek pembinaan MRT dan kini telah memasuki fasa kedua dengan menggunakan teknologi dari negara China iaitu mesin pengorek terowong (*Tunnelling Boring Machine*) TBM. Dalam kajian ini, keberkesanan mesin TBM amat penting untuk dikaji bagi mengetahui tahap keberhasilan penggunaan mesin TBM terutamanya dalam kalangan kontraktor.

1.2 Penyataan Masalah

Di Malaysia, penggunaan mesin TBM sedia ada yang diperoleh daripada negara China mempunyai beberapa masalah yang turut menyukarkan proses pembinaan terowong (Syed I,2018). Antara permasalahan yang dikaji dalam kajian ini ialah struktur tanah yang tidak stabil dan tidak bersesuaian serta masalah dalam penyediaan mesin TBM yang mempengaruhi keberkesanan mesin TBM (Tan, 2016). Terdapat beberapa jenis tanah yang sering ditemui semasa proses pembinaan terowong seperti batu granit, batu keras serta batu berongga yang menyebabkan kesukaran dalam pembinaan terowong.

Penurunan tahap keberkesanan mesin TBM juga sering berpunca daripada keupayaan mesin itu tersendiri yang juga dikaitkan dengan beberapa faktor seperti masalah kandungan air dalam tanah, tahap keupayaan mesin serta faktor kewangan.

Terdapat beberapa cara lain yang digunakan bagi mengatasi masalah kelewatan mesin TBM seperti *Jacked Box* dan *Cut and Cover* (Arshad, 2016). Namun, kedua-dua kaedah ini juga turut memberikan masalah kepada kontraktor kerana kaedah-kaedah ini hanya lah mampu menjadi kaedah tambahan sahaja. Penggunaan *Jacked Box* hanya boleh digunakan untuk membina ruangan bawah tanah yang

terhad dan kecil seperti jalan, landasan dan laluan berjalan kaki. Manakala kaedah *Cut and Cover* pula adalah kaedah yang digunakan bagi membina terowong yang rendah dan pendek sahaja.

1.3 Persoalan Kajian

Terdapat beberapa persoalan kajian mengenai projek MRT di Malaysia yang boleh dibincangkan. Antara persoalan tersebut ialah:

- i. Apakah masalah yang dihadapi oleh kontraktor dalam penggunaan mesin pengorek terowong (TBM) bagi projek MRT di Malaysia?
- ii. Sejauh manakah keberkesanan mesin pengorek terowong (TBM) dalam projek MRT di Malaysia?
- iii. Apakah langkah yang boleh diambil bagi meningkatkan keberkesanan mesin pengorek terowong dalam projek MRT di Malaysia?

1.4 Objektif Kajian

Kajian ini mempunyai tiga (3) objektif kajian yang telah dikenal pasti bagi mengkaji keberkesanan mesin TBM dalam kalangan kontraktor iaitu:

- i. Menenal pasti masalah yang dihadapi oleh kontraktor dalam penggunaan mesin pengorek terowong (TBM) bagi projek MRT di Malaysia.
- ii. Mengkaji keberkesanan mesin pengorek terowong (TBM) yang digunakan oleh kontraktor bagi projek MRT di Malaysia.
- iii. Mengkaji langkah-langkah yang boleh diambil oleh kontraktor bagi meningkatkan keberkesanan mesin pengorek terowong (TBM) dalam projek MRT di Malaysia.

1.5 Kepentingan Kajian

Kajian kes ini penting bagi mengetahui keberkesanan yang diperolehi oleh kontraktor dalam menggunakan mesin TBM sedia ada dan mesin TBM baharu bagi projek MRT di Malaysia. Menerusi kajian ini, ia memberi manfaat kepada kontraktor, pemaju dan pihak akademik dalam meningkatkan pengetahuan dan penyelesaian dalam keberkesanan menggunakan mesin TBM.

1.6 Skop Kajian

Kajian kes ini melibatkan kontraktor yang terlibat dengan penggunaan mesin pengorek bagi projek MRT di Malaysia iaitu syarikat KVMRT Gamuda. Responden yang terpilih adalah pihak pengurusan tapak bina, pengendali mesin serta operator yang terlibat dengan penggunaan mesin pengorek. Maklumat dikumpul melalui kaedah kualitatif dengan menggunakan temu bual bagi mendapatkan maklumat daripada kontraktor.

2. Kajian Literatur

Kajian menerangkan mengenai mesin pengorek yang merangkumi keterangan mengenai mesin ini, jenis-jenis mesin serta kelebihan serta keburukan mesin ini. Kajian ini juga menerangkan mengenai penggunaan mesin TBM bagi projek pembinaan terowong dan projek MRT di Malaysia. Senario dalam penggunaan mesin TBM di negara-negara lain dan masalah-masalah yang dihadapi oleh kontraktor dalam menggunakan mesin TBM keberkesanan dalam menggunakan mesin TBM bagi sesuatu projek MRT di Malaysia turut dikaji dan diketengahkan dalam kajian ini.

2.1 Mesin Pengorek Terowong (TBM)

Terowong dibina dengan menggunakan kaedah tradisional bermula dengan pengorekan menggunakan tangan dan kini kerja-kerja pengorekan telah mencapai peningkatan yang baik dengan menggunakan teknologi tinggi seperti mesin TBM (Lee, 2016). Menurut Arshad (2016), pembinaan terowong haruslah direka dan dibina menggunakan teknologi yang tinggi seperti penggunaan mesin TBM bagi mengurangkan risiko kepada tanah di kawasan tersebut. Terowong dibina mengikut kegunaan dalam kesesuaian seperti untuk kegunaan kerja-kerja perlombongan, kerja-kerja umum dan tujuan pengangkutan (Lee, 2016). Pembinaan terowong yang paling utama ialah pembinaan terowong untuk tujuan pengangkutan bagi mengurangkan kesesakan lalu lintas dan kemudahan pengangkutan seperti MRT dan LRT.

2.2 Jenis-jenis Mesin Pengorek Terowong (TBM)

Mesin TBM dikategorikan kepada beberapa jenis mengikut kesesuaian dan keperluan tanah di kawasan pembinaan seperti mesin buburan pengorek terowong, mesin keseimbangan tekanan bumi dan mesin pengorek terowong kepadatan berubah (Garry, 2015).

(a) *Mesin Buburan Terowong (Slurry Tunnel Boring Machine)*

Mesin buburan pengorek terowong atau *Slurry Tunnel Boring Machine* ialah mesin yang digunakan di kawasan tanah yang mengandungi granit dan jisim tanah yang sedikit atau tanah berlumpur kerana ia mampu mengimbangi tekanan air dan tanah (Arshad, 2016). Mesin *Slurry* yang digunakan dalam mengorek terowong di kawasan tanah yang berlumpur dan mampu mengisar tanah berlumpur atau bergranit yang lebih lembut.

(b) *Mesin Keseimbangan Tekanan Bumi (Earth Pressure Balance Machine)*

Mesin keseimbangan tekanan bumi pula ialah mesin yang digunakan untuk menyokong permukaan terowong dengan cara mengorek tanah dengan sendirinya semasa kerja-kerja pengorekan terowong (Arshad, 2016). Rajah 2.2 di dalam lampiran menunjukkan mesin EPB yang digunakan dalam projek MRT di kawasan Pelabuhan Klang sehingga ke Sungai Buloh.

(c) *Mesin Pengorek Terowong Ketumpatan Berubah (Variable Density Tunnel Boring Machine)*

Mesin Pengorek Terowong Ketumpatan Berubah atau *Variable Density Tunnel Boring Machine* merupakan mesin pertama yang digunakan dalam projek MRT Pelabuhan Klang bagi jajaran Klang-Sungai Buloh yang berfungsi untuk mengawal tekanan dengan menggunakan gelombang udara dan teknik jumlah kotoran (Arshad, 2016). Mod operasi mesin ini boleh berubah-ubah sama ada untuk mod buburan ke mod EBP atau sebaliknya. Rajah 2.3 seperti di dalam lampiran menunjukkan Mesin Pengorek Terowong Ketumpatan Berubah yang digunakan dalam projek MRT di Malaysia.

2.3 Kelebihan dan Kelemahan Penggunaan Mesin Pengorek Terowong (TBM)

Mesin pengorek terowong (TBM) mempunyai banyak kelebihan serta kelemahan dalam penggunaan untuk membina terowong dan kerja-kerja infrastruktur (Hiren, 2013). Antara kebaikan mesin TBM adalah:

- i. Mampu beroperasi dalam pelbagai jenis tanah (Arshad, 2016).
- ii. Dapat mengurangkan kos-kos kerja pengorekan serta kos buruh pembinaan (Marzouk, 2013).
- iii. Mampu untuk beroperasi secara berterusan dalam jangka masa yang panjang. (Abdullah, 2013).
- iv. Mengurangkan masalah-masalah persekitaran yang kerap berlaku seperti pencemaran bunyi dan pencemaran udara (Abdullah, 2013)

Namun, terdapat juga beberapa kelemahan mesin TBM seperti mempunyai tahap fleksibiliti yang terhad dalam bertindak balas terhadap keadaan geologi tanah yang melampau dan kos penggunaan mesin TBM juga mahal walaupun mesin TBM mampu mengurangkan kos projek dari segi kos kerja. Selain itu, mesin TBM juga memerlukan masa yang panjang bagi sesuatu operasi serta penggunaan mesin TBM juga adalah terhad kepada beberapa jenis terowong sahaja.

2.4 Penggunaan Mesin Pengorek Terowong 2 (TBM 2) sebagai pengganti Mesin Pengorek Terowong 1 (TBM 1)

Mesin TBM 1 yang digunakan hanya dapat menampung keperluan projek mengikut kepakaran mesin jadi MMC Gamuda telah menaiktaraf empat (4) mesin TBM jenis Ketumpatan Berubah bagi projek MRT 2 untuk meningkatkan keberkesanan mesin TBM 1. Penaiktarafan mesin TBM 2 ini adalah bertujuan untuk meningkatkan tahap kecekapan operasi pembinaan terowong bagi jajaran Sungai Buloh-Serdang-Putrajaya (Syed I, 2018). Antara pengubahsuaian yang dilaksanakan ialah peningkatan dalam petak penghancur berputar. Selain itu, masalah penggunaan mesin yang singkat dan terhad juga menyebabkan mesin TBM 2 diperkenalkan kerana mesin TBM 2 direka bagi mengatasi masalah penggunaan yang singkat. Jadi, pengenalan mesin TBM 2 mampu mengatasi masalah serta kekurangan yang terdapat pada mesin TBM 1.

2.5 Masalah yang dihadapi oleh kontraktor dalam penggunaan Mesin Pengorek Terowong (TBM).

Penggunaan mesin TBM 1 mempunyai beberapa masalah yang menyukarkan proses pembinaan terowong serta mengurangkan tahap keberkesanan mesin TBM seperti:

- i. Struktur tanah dan keadaan tanah yang tidak stabil dan sama dalam sesuatu kawasan (Tan, 2016).
- ii. Pemilihan peralatan atau jentera yang tidak bersesuaian (Cigla, 2015).
- iii. Peranan kajian geoteknik dan ujian tanah yang tidak efektif (Awang, 2014).
- iv. Kekurangan tenaga mahir dalam mengendalikan mesin TBM (Jaled, 2015).
- v. Reka bentuk terowong dan keupayaan mesin TBM yang terhad (Hamdan, 2018).

2.6 Keberkesanan Mesin TBM Dalam Projek MRT di Malaysia.

Keberkesanan sesuatu mesin boleh diukur dari pelbagai aspek yang tidak tetap serta mengikut pembinaan yang dilaksanakan. Menurut Arshad (2016), kegunaan mesin yang tidak terancang memberi kesan kepada keberkesanan sesuatu mesin TBM di mana lebih besar kapasiti mesin, lebih berat nilai batu yang perlu dikendalikan. Keberkesanan mesin TBM boleh diukur melalui faktor masa, keadaan tanah serta faktor operasi mesin tersebut.

Faktor masa mempengaruhi keberkesanan sesuatu mesin kerana apabila mesin TBM memerlukan masa yang lama untuk mengorek sesuatu terowong, masa pembinaan terowong itu akan meningkat dan seterusnya penggunaan mesin TBM tersebut tidak efektif (Jamal, 2016). Keberkesanan mesin TBM juga boleh dilihat daripada faktor keadaan tanah di kawasan tersebut kerana kesukaran mesin TBM untuk mengorek terowong disebabkan oleh keadaan tanah itu sendiri. Tanah yang keras dan mengandungi batu keras akan menyukarkan mesin pengorek untuk beroperasi. Seterusnya, keberkesanan mesin TBM juga boleh dilihat menerusi faktor operasi mesin tersebut kerana jika mesin TBM perlu beroperasi dengan lebih lama, kadar penyelenggaraan perlu ditingkatkan bagi memastikan mesin tersebut dapat beroperasi dengan baik.

2.7 Langkah bagi mengatasi masalah keberkesanan Mesin Pengorek Terowong (TBM) oleh Kontraktor

Kini, pembinaan terowong boleh menggunakan mesin pengorek TBM secara gabungan dalam satu masa yang sama. Mesin EPB digunakan di kawasan yang berbukit kerana mesin ini mampu mengorek batu-batu yang besar. Manakala mesin Ketumpatan Berubah pula mampu beroperasi di semua jenis tanah terutamanya kawasan yang karst dan granit keras. Jadi, mesin TBM boleh digunakan bersama kaedah tradisional seperti *Jacked Box* dan *Cut and Cover* sebagai penyokong atau gabungan mesin TBM dalam sesuatu projek mengikut kawasan dan kesesuaian kawasan tersebut tanpa berlakunya kelewatan.

3. Metodologi Kajian

Metodologi kajian bagi kajian kes ini menerangkan kaedah kualitatif yang dipilih dan menggunakan kaedah temu bual bagi mengumpulkan maklumat kajian. Populasi responden yang dipilih terdiri daripada kontraktor yang terlibat dalam projek MRT.

3.1 Reka Bentuk Kajian

Reka bentuk kajian ialah satu proses di mana ia dilaksanakan bagi mendapatkan langkah-langkah bagi menganalisis data. Dalam proses reka bentuk kajian, terdapat 2 jenis pengumpulan data yang digunakan iaitu data primer dan data sekunder bagi menganalisis data dalam sesuatu kajian. Reka bentuk kajian ialah satu proses di mana ia dilaksanakan bagi mendapatkan langkah-langkah bagi menganalisis data. Dalam proses reka bentuk kajian, terdapat 2 jenis pengumpulan data yang digunakan iaitu data primer dan data sekunder bagi menganalisis data dalam sesuatu kajian.

Data primer dalam kajian ini diperolehi daripada kaedah temu bual dan merangkumi maklumat utama mengenai kajian (Chua, 2010). Data primer yang dikumpulkan merangkumi kegunaan mesin pengorek terowong, masalah-masalah yang dihadapi oleh kontraktor dalam penggunaan mesin TBM serta langkah-langkah yang diambil dalam penggunaan mesin TBM. Manakala Data sekunder pula diperolehi daripada maklumat-maklumat yang didapati daripada kajian terhadap jurnal, buku rujukan, artikel, tesis, laporan dan sumber-sumber lain yang berkaitan melalui pembacaan pengkaji (Jasmi K, 2012). Dalam kajian ini, kawasan yang telah dipilih bagi menjalankan kajian untuk mendapatkan maklumat-maklumat yang diperlukan dalam kajian ini adalah Kuala Lumpur, Pelabuhan Klang, Petaling Jaya serta Damansara dan Sungai Buloh. Kawasan yang telah dipilih ini merupakan kawasan yang melibatkan pembinaan terowong dalam projek MRT yang dilaksanakan oleh syarikat KVMRT Gamuda.

Melalui kajian ini, populasi kajian hanyalah ditumpukan kepada kontraktor yang terlibat dalam projek MRT di Malaysia. Kontraktor yang dipilih adalah menerusi penglibatan serta penggunaan mesin pengorek terowong dalam pembinaan terowong bagi projek MRT di Malaysia. Bagi pensampelan kajian, kontraktor yang telah dipilih adalah syarikat KVMRT Gamuda kerana ia merupakan satu-satunya kontraktor yang menjalankan pembinaan terowong bagi projek MRT serta menggunakan mesin pengorek bagi membina terowong.

3.2 Pengumpulan Data

Kajian ini adalah kajian kes yang dilaksanakan menggunakan pendekatan kualitatif di mana pengkaji menggunakan pendekatan ini bagi memproses serta membentuk hasil dapatan kajian menerusi kaedah analisis yang telah dipilih. Kajian kes dilaksanakan bagi membuat penelitian semula serta menguji hipotesis kajian terdahulu mengikut keberkesanan penggunaan dalam mengumpulkan data (Huberman, 1994). Menurut Abdullah (2010), kajian kes adalah penerangan dan penganalisis terperinci

terhadap sesuatu perkara yang memberi kepentingan kepada fenomena atau unit sosial seperti individu, kumpulan, institusi, organisasi atau komuniti. Proses temu bual dijalankan dalam tempoh yang telah ditetapkan serta dilaksanakan di kawasan yang telah dipilih bagi memudahkan proses pengumpulan data kelak. Kaedah temu bual juga dipilih dalam kajian ini kerana bersesuaian bagi mencapai kesemua objektif kajian. Sesi temu bual dilaksanakan secara maya di mana solan-soalan dikemukakan menerusi *Google Forms* serta berhubung menerusi e-mel responden sahaja disebabkan oleh limitasi tertentu.

3.3 Analisis Data

Dalam kajian kes, proses menganalisis data dilaksanakan menerusi kaedah analisis kandungan sebagai kaedah untuk memproses dan menganalisis data menerusi temu bual yang dilaksanakan bagi mendapatkan data. Semua maklumat yang diperolehi daripada responden haruslah dikaji dan dianalisis dengan teliti dan terperinci bagi mendapatkan hubungan kait bagi mencapai objektif kajian. Melalui soalan yang diberikan, pengkaji dapat mengenal pasti corak jawapan yang akan diberikan oleh responden.

4. Analisis Data dan Dapatan Kajian

Analisis data menggunakan kaedah analisis kandungan dipilih untuk mengumpul data dengan setelah melaksanakan temubual. Kontraktor yang terlibat dengan projek pembinaan terowong bagi projek MRT 1 dan 2 iaitu KVMRT Gamuda Sdn. Bhd telah menjawab keseluruhan soalan kajian. Responden yang dipilih adalah mengikut kesesuaian soalan an projek di mana terdiri daripada pengurus projek, kumpulan operator dan pengendali mesin terowong termasuk tenaga mahir daripada negara China yang berpengalaman. Proses pengumpulan data dilaksanakan melalui kaedah email disebabkan limitasi penyebaran masalah Covid 19. Soalan dijawab menerusi e-mel dan semua urusan temu bual dilaksanakan secara atas talian.

4.1 Dapatan Kajian

Menerusi kajian ini, hasil dapatan kajian mencapai objektif-objektif yang telah dirangka untuk kajian ini dalam mendapatkan kajian. Berdasarkan Jadual 1 di bawah menunjukkan keterangan latar belakang responden yang terlibat.

Jadual 1: Latar belakang responden

Bil. Responden	Agensi/Jabatan	Jawatan	Pengalaman Bekerja
Responden 1	Jabatan Operasi dan Mesin	Jurutera Jentera	1 tahun
Responden 2	Jabatan Operasi dan Binaan	Pengurus Terowong	5 tahun

Kedua-dua responden mempunyai latar belakang yang berbeza bagi projek MRT ini namun terlibat secara langsung bagi projek pembinaan terowong untuk projek MRT di Malaysia. Jadual 2 menunjukkan hasil kajian di mana kedua-dua pembinaan terowong menggunakan mesin Variable Density (VD) dan Earth Pressure Balance (EPB) serta diperbaharui untuk projek terkini.

Jadual 2: Hasil dapatan kajian

Kategori	Perkara	R1	R2
Kegunaan	Jenis Mesin yang digunakan	Mesin VD dan EPB dan diperbaharui	Mesin VD dan EPB dan diperbaharui

	Masalah yang dihadapi	Masalah untuk menggerakkan mesin dan struktur tanah	Lebih kepada penyediaan mesin dan masalah tanah
Jenis dan struktur tanah	Jenis tanah dan struktur tanah	Jenis bukit <i>kenny</i> , batu kapur karst dan granit	Mesin pengorek hanya bersesuaian dengan struktur tanah tertentu
	Jenis mesin dan kesesuaian tanah	VD-batu kapur EPB-kawasan bukit	VD- tanah yang keras dan berbatu EPB- kawasan berbukit
	Jenis tanah yang mempercepatkan proses pembinaan	Tiada	Jenis tanah yang homogen dan konsisten
Kekurangan alat-alatan jentera	Peralatan lain selain mesin TBM	Ada jika tidak merancang dengan baik	Kekurangan peralatan atau teknologi boleh menyebabkan kelewatan
Tenaga buruh	Jenis buruh dan kemahiran	Mahir dan tidak mahir Kemahiran mengendalikan mesin	Mahir Kemahiran mengendalikan mesin 6-20 orang

Antara masalah yang dihadapi adalah struktur tanah dan jenis tanah yang rumit serta masalah dalam mengendalikan serta menyediakan mesin TBM. Masalah kekurangan peralatan tidak dialami namun ia boleh terjadi jika tidak dirancang dengan baik serta tiada penggunaan teknologi bagi memudahkan kerja. Pekerja mahir dan tidak mahir juga turut digunakan dengan keperluan mempunyai kemahiran dalam mengendalikan mesin.

Manakala dalam mencapai objektif seterusnya kajian, tahap keberkesanan mesin pengorek terowong dikaji dan mencapai dapatan kajian menerusi proses menganalisis data. Dapatan daripada Jadual 3 menerangkan keberkesanan penggunaan mesin TBM bergantung pada kapasiti mesin, faktor masa, faktor kos dan faktor kualiti yang memberi peranan kepada tahap keberkesanan mesin tersebut.

Jadual 3: Keberkesanan penggunaan mesin TBM

Kategori	Perkara	R1	R2
Kapasiti Mesin	Faktor mempengaruhi keupayaan mesin	Tiada	Jenis struktur geologi/tanah Penyediaan/susunan bahan/bekalan
Faktor Keberkesanan	Keberkesanan mesin TBM	Kesesuaian mesin	Jenis tanah Pemilihan mesin Keupayaan mesin
Faktor Kos	Perancangan kos		Tiada

		Mengikut perancangan termasuk kos pembelian dan penyelenggaraan	
Faktor Masa	Tempoh penyiapan	Siap pada masa dan kos yang ditetapkan 5 tahun	5 tahun secara keseluruhan
Faktor Kualiti	Penggunaan kaedah konvensional	Tiada	Tiada tetapi hanya sebagai sokongan
	Kualiti terowong menggunakan mesin TBM	Mencapai tahap kualiti klien	Mengikut kehendak projek

Kapasiti dan keupayaan mesin menunjukkan tahap operasi mesin tersebut dalam satu jangka masa di mana ia juga turut bergantung pada jenis dan struktur tanah yang stabil. Pembinaan terowong yang siap dalam jangka masa yang ditetapkan serta tempoh penyiapan selama 5 tahun bagi projek MRT menunjukkan di mana penggunaan mesin TBM amat berkesan tanpa menjejaskan tempoh yang ditetapkan. Kos projek yang mengikut perancangan serta hasil kualiti terowong yang baik turut menggambarkan tahap penggunaan mesin TBM yang berkesan dan mengikut perancangan.

Terdapat beberapa langkah yang diambil oleh kontraktor dalam mengatasi masalah yang dihadapi dalam penggunaan mesin TBM seperti melaksanakan perbincangan dan kajian semula bagi masalah-masalah yang timbul berkaitan dengan penggunaan mesin TBM. Jadual 4 di bawah menunjukkan dapatan kajian menerusi langkah-langkah yang diambil bagi meningkatkan keberkesanan penggunaan mesin pengorek terowong.

Jadual 4: Langkah-langkah meningkatkan keberkesanan penggunaan mesin TBM

Kategori	Perkara	R1	R2
Strategi Organisasi	Penyelesaian masalah	Perbincangan	Perbincangan Kajian semula
Penggunaan Kaedah lain	Jenis Kaedah	Gerudi dan letupan Sistem Autonomi	Gerudi dan letupan
Kombinasi Mesin	Jenis kombinasi	VD dan EPB	VD dan EPB Berkesan
Perancangan Projek	Perancangan projek bagi mengatasi masalah dan penambahbaikan	Tiada	Terdapat plan terperinci Proses perancangan dan penambahbaikan di setiap fasa

Selain itu, kaedah sampingan seperti penggunaan sistem autonomi pada mesin serta kaedah gerudi dan letupan turut digunakan bagi menyokong penggunaan mesin TBM. Sinonimnya, penggunaan mesin

secara kombinasi digunakan oleh kontraktor bagi mempercepatkan proses pembinaan serta mengelakkan berlakunya masalah-masalah yang sering dialami. Perancangan dan pelan terperinci juga dilaksanakan bagi memastikan penggunaan mesin TBM berada dalam keadaan teratur dan terkawal.

4.2 Perbincangan

Penggunaan mesin pengorek terowong sememangnya memberi keberkesanan kepada pembinaan terowong bagi projek MRT di Malaysia walaupun terdapat pelbagai masalah yang timbul. Mesin *Variable Density*(VD) dan *Earth Pressure Balance*(EPB) diperbaharui serta di baik pulih bagi kegunaan pembinaan MRT jajaran 2. Pihak KVMRT Gamuda lebih terjurus menghadapi masalah tanah serta struktur tanah yang pelbagai seperti tanah jenis bukit *kenny*, batu kapur serta tanah granit dalam menggunakan mesin TBM ini semasa melaksanakan pembinaan terowong. Tahap keberkesanan penggunaan mesin TBM sering menurun kerana terdapat kekurangan atau kelemahan yang lebih terjurus kepada kelemahan mesin itu sendiri dan mengakibatkan kelewatan. Penggunaan tenaga buruh yang mahir dapat membantu memudahkan proses pembinaan terowong dengan menggunakan mesin TBM. Tahap keberkesanan mesin TBM dilihat dari segi kapasiti penggunaan mesin yang memenuhi permintaan operasi dalam satu jangka masa serta menerusi faktor-faktor seperti masa, kos dan kualiti. Beberapa langkah diambil oleh pihak KVMRT Gamuda bagi membantu mengatasi masalah yang dihadapi serta meningkatkan keberkesanan dalam penggunaan mesin pengorek terowong seperti melalukan perbincangan serta kajian semula bagi dan pengenalan sistem autonomi serta penggunaan sistem ini juga turut dilaksanakan bagi memberi sokongan kepada mesin VD dan mesin EPB mengikut kesesuaian mod mesin masing-masing. Perancangan projek dari tiga aspek iaitu aspek masa, kos dan kualiti juga dilaksanakan bagi mengawal pembinaan.

5. Kesimpulan

Kesimpulannya, kajian kes, dilaksanakan bagi mengkaji semula mengenai keberkesanan penggunaan mesin pengorek terowong (TBM) dalam pembinaan terowong bagi projek MRT di Malaysia. Syarikat KVMRT Gamuda merupakan satu-satunya syarikat yang melaksanakan kerja-kerja pembinaan terowong dengan menggunakan mesin pengorek sebagai kaedah pembinaan di Malaysia. Menerusi kajian, mesin *Variable Density*(VD) dan mesin *Earth Pressure Balance*(EPB) merupakan jenis mesin pengorek yang digunakan dalam projek MRT fasa pertama dahulu dan diperbaharui serta ditambahbaik bagi kegunaan pembinaan MRT fasa kedua. Masalah-masalah yang dihadapi oleh kontraktor adalah menjurus kepada masalah tanah dan struktur tanah yang tidak dijangka serta kelemahan dalam penyediaan mesin. Namun masalah-masalah ini tidak menjejaskan keberkesanan mesin kerana pembinaan terowong dan projek MRT secara keseluruhannya berjalan lancar dan mengikut perancangan dan penjadualan tanpa menjejaskan kos projek. Kualiti terowong yang dibina juga memuaskan serta mengikut kehendak projek dan klien serta memenuhi spesifikasi yang ditetapkan. Secara keseluruhannya, penggunaan mesin pengorek terowong sememangnya berkesan serta meningkatkan mutu pembinaan terowong dengan menggunakan teknologi yang bermutu tinggi dan bersesuaian dalam pembinaan sekali gus memudahkan proses pembinaan dalam projek MRT di Malaysia.

Penghargaan

Penghargaan diberikan kepada UTHM serta pihak responden yang terlibat dalam kajian ini iaitu syarikat KVMRT Gamuda Sdn. Bhd di atas kerjasama yang telah diberikan.

Rujukan

- A.S, A. (22 12, 2017). "Cabaran terowong jajaran SSP MRT2" . Kuala Lumpur , Wilayah Persekutuan , Malaysia
- Abdullah, S. B. (2018). "Pengurusan Jentera dan Kelengkapan Pembinaan di Tapak Bina bagi Projek LRT". *Technology and Environment* , 1-136.
- Arshad, A. R. (2016). *A Review on Selection of Tunneling Method and Parameters Effecting Ground Settlements*. Johor : Universiti Teknologi Malaysia .
- Awang Besar J. (2014). " Kuala Lumpur dan Cabaran baru Pembangunan Berterusan" *Malaysian Journal of Society and Space*. ISSN 2180-2491, Issues 6, 1-11.
- Azman M.N, Zaihidee F.M. (2014). "Status dan Tahap Penggunaan Jentera dan Mesin di Kalangan Kontraktor G7 di Malaysia". *Jurnal Teknologi*. Universiti Pendidikan Sultan Idris.
- B, K. (2016). New Developments in TBM Tunnelling for Changing Grounds. *Tunneling and Underground Space Technology* , 18-26, issues 57.
- Bhawani Singh, R. G. (2015). Rock Mass Quality for Open Tunnel Boring Machines . *Engineering Rock Mass*, 1-9.
- BH Online (2017) " Cabaran Terowong Jajaran SSP MRT2", dicapai pada Disember 22, 2017 melalui <https://www.bharian.com.my/bisnes/korporat/2017/12/366322/cabaran-terowong-jajaran-ssp-mrt2>
- BH Online (2019) " MRT 2 tepati jadual", dicapai pada Jun 24, 2019 melalui <https://www.bharian.com.my/berita/nasional/2019/06/577381/mrt-2-tepati-jadual>
- BH Online (2019) " Teknologi Baharu Pengorek Teowong bantu Percepat Projek", dicapai pada November 8, 2019 melalui <https://www.bharian.com.my/berita/nasional/2019/11/626245/teknologi-baharu-pengorek-terowong-bantu-percepat-projek>
- Chua Y.P. (2010). "Kaedah dan Statistik Penyelidikan". Edisi Kedua. Shah Alam : McGraw- Hill
- Cigla M, S. O. (2015). Aplikasi penggunaan TBM bagi pembinaan kerja bawah tanah. *Research Gate*, 1-11.
- Corp, M. (2012). *Laporan Kemajuan*. Kuala Lumpur: MRT Corp.
- Corp, M. (2013). *Buletin MRT: Reka bentuk untuk masa hadapan*. Kuala Lumpur : MRT Corp .
- Corp, M. (2019). "Lawatan Teknikal JKR Ke Tapak MRT" melalui <https://www.mymrt.com.my/ms/aktiviti/jkr-technical-visit-to-mrt-site/>
- Hamdan A, F. M. (2018). The Critical Success Factors for The Technology Transfer in The Klang Valley Mass Rapid Transit Project. *Social Sciences Research* , 166-172, Issues 2.
- Ismail, M. N. (2018). Komponen dan Kos bagi Kerja-kerja Menaiktaraf Landasan Keretapi Konvensional . *Technology and Environment*, 1-144.
- Jaled, D. (2015). Tunnel Boring Machine Performance Prediction in Tropicallly Weather Granite . *Research PaperJournal*, 1-59.
- Jasmi K.A. (2012). " Metodologi Pengumpulan Data Dalam Penyelidikan Kualitatif". *Jurnal Kertas Kajian*, Universiti Teknologi Malaysia, 1-26.
- Junaidi Awang Besar, R. F. (2014). Kuala Lumpur dan Cabaran Baru Pembangunan Berterusan. *Malaysian Journal of Society and Space* , 1-11.
- K, L. (2016). *Managing Tunnelling Construction Risks* . Canada : University of Alberta .
- Keshav Kurlekar, V. S. (2018). Advance Tunnel Construction Technique TBM. *International Reasearch Journal of Engineering and Technology (IRJET)* , 1-5.
- L.A, A. K. (24 6, 2019). MRT 2 tepati jadual. Kuala Lumpur , Wilayah Persekutuan , Malaysia .
- M, A. A. (1 3, 2018). Kos Laluan Kedua MRT rendah daripada jangkauan . Kuala Lumpur , Wilayah Persekutuan , Malaysia .
- Maziah Othman, S. S. (2016). Kepuasan Terhadap Kualiti Perkhidmatan KTM Komuter: Kajian Kes Lembah Klang. *International Conference on Economics & Banking* (pp. 1-11). Selangor : International Conference on Economics & Banking .
- Misnan M.S. (2009). Ppengurusan Projek Pembinaan: Kaedah dan Keberkesanan Komunikasi di Tapak Bina". *International International Conference Paper*. 1-13.
- Terowong di bawah Kuala Lumpur* . Edisi 1. Jilid 2. Berita Projek MRT.
- Mstar (2014) " Terowong MRT Bawah Tanah Di Bukit Bintang Siap", dicapai pada Oktober 27, 2014 melalui <https://www.mstar.com.my/lokal/semasa/2014/10/27/terowong-mrt>.
- Publisher, D. (16 July , 2017). MRT Penanda Aras Masa Depan Pengangkutan Awam. Wilayah Persekutuan , Kuala Lumpur , Malaysia .
- Syed.I. (2018). *Kerja Korek Terowong MRT2 Ditingkatkan Dengan Mesin Baharu TBM* . Kuala Lumpur : Bernama Buletin .

- Taylor, B. S. (2007). *Research Methodology : A guide for researcher in Management & Social Sciences. Management & Social Sciences*, 1-13.
- W.N.H, W. A. (8 11, 2019). Teknologi baharu pengorek terowong bantu percepat projek. Kuala Lumpur , Wilayah Persekutuan, Malaysia .
- Y, Q. (2015). *Analysis of Performance of Tunnel Boring Machine- based on systems* . Austin : University of Texas
- Y.P, C. (2010). *Kajian Dan Statistik Penyelidikan (Edisi Kedua)*. Shah Alam : Mc Graw-Hill.
- Yean Chin Tan, c. m. (2016). Cabaran reka bentuk dan pembinaan penggorekkan dalam projek KWMRT di Kuala Lumpur. *Jurnal Teknologi*, 1-11.
- Yin, R. (2009). Case Study Research: Design and Methods. *Social Research Method Series*, 1-5.
- Zulkiflee M.A.B. (2018). " Pelaksanaan Pengambilan Tanah Bawah Tanah bagi Projek MRT". *Jurnal Kajian Tesis*. Universiti Teknologi Malaysia. 1-79.