

EFEKTIVITAS TUNNEL BORRING MACHINE (TBM) TIPE EARTH PRESSURE BALANCE (EPB) DALAM PELAKSANAAN PROYEK MRT JAKARTA FASE 2A CP 201 MONAS-HARMNONI

Hendro Priyono¹, Fira Irfani^{2*}, Mahdika Putra Nanda

^{1),2),3)} Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Wiralodra, Indramayu, Jawa Barat

*Email: firairfani239@gmail.com

Abstrak

Metode Tunnel Boring Machine (TBM) tipe Earth Pressure Balance (EPB) adalah metode yang efisien dan efektif dalam penggalian terowongan. Metode ini menawarkan kecepatan, efisiensi, presisi, dan akurasi yang tinggi dalam proyek-proyek terowongan. Dalam metode TBM EPB, pemasangan ring segmen dilakukan dengan rata-rata 5 ring per hari, memungkinkan pengembangan terowongan secara cepat dan efisien. Diameter mesin TBM yang besar dan desain segmen yang kuat memungkinkan penggalian terowongan yang lebih lebar dan lebih cepat daripada metode konvensional. Fitur Earth Pressure Balance (EPB) pada TBM memungkinkan pengendalian tekanan tanah dengan efektif, mencegah kegagalan struktur tanah di sekitarnya. Metode TBM EPB juga menekankan pada presisi dan akurasi. Pengendalian tekanan tanah yang efektif dan desain segmen yang tepat menjaga stabilitas dan keakuratan dimensi terowongan. Dalam hal pengurangan dampak lingkungan, metode ini mengelola limbah dengan baik, mengendalikan debu, dan mengoptimalkan penggunaan air. Keselamatan pekerja juga menjadi prioritas dengan perlindungan yang sesuai dan pemeliharaan rutin pada mesin TBM. Dalam penanganan tanah dan air, metode EPB memastikan aliran tanah yang digali dikelola dengan hati-hati untuk menghindari kebocoran air dan keruntuhan. Kolaborasi antara ahli geologi, insinyur, dan tim konstruksi menjadi kunci keberhasilan proyek dengan metode TBM EPB.

Kata kunci: Tunnel Boring Machine (TBM), Earth Pressure Balance (EPB) Kecepatan dan efisiensi, Presisi dan akurasi

Abstract

The Earth Pressure Balance (EPB) type Tunnel Boring Machine (TBM) method is an efficient and effective method in tunnel excavation. It offers high speed, efficiency, precision, and accuracy in tunnel projects. In the EPB TBM method, segment ring installation is done at an average of 5 rings per day, enabling fast and efficient tunnel development. The TBM machine's large diameter and robust segment design allows for wider and faster tunnel excavation than conventional methods. The Earth Pressure Balance (EPB) feature of the TBM enables effective ground pressure control, preventing the failure of surrounding soil structures. The EPB TBM method also emphasizes precision and accuracy. Effective ground pressure control and precise segment design maintain the stability and dimensional accuracy of the tunnel. In terms of environmental impact reduction, the method manages waste well, controls dust, and optimizes water use. Worker safety is also a priority with appropriate protection and regular maintenance on TBM machinery. In terms of soil and water management, the EPB method ensures that excavated soil flows are carefully managed to avoid water leakage and collapse. Collaboration between geologists, engineers, and construction teams is key to project success with the EPB TBM method.

Keywords: Tunnel Boring Machine (TBM), Earth Pressure Balance (EPB) Speed and efficiency, Precision and accuracy

1. PENDAHULUAN

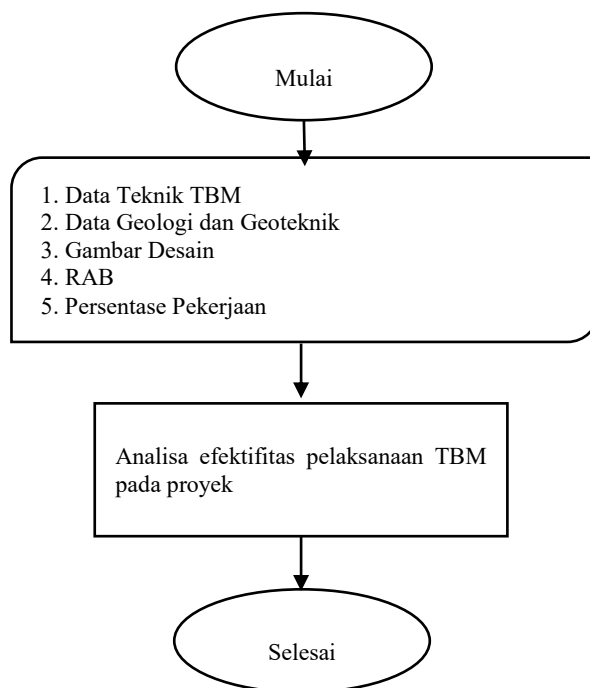
Pelaksanaan proyek konstruksi adalah suatu proses yang melibatkan berbagai faktor dan aspek yang sangat rumit dan sulit diprediksi, untuk menjalankannya sesuai dengan rencana awal dan memastikan waktu yang tepat, diperlukan partisipasi para ahli di bidangnya (Nanda et al., 2023) sejalan dengan hal itu (Montalbán-Domingo et al., 2023) Metode pelaksanaan proyek konstruksi adalah pendekatan atau strategi yang digunakan untuk merencanakan, mengorganisir, dan melaksanakan

berbagai tahapan proyek konstruksi dengan efisien dan efektif dan dalam metode ini melibatkan penggunaan seorang manajer konstruksi yang bertanggung jawab untuk mengelola seluruh aspek proyek, termasuk perencanaan, pengawasan, dan koordinasi antara subkontraktor (S. Buk'hail & Al-Sabah, 2022). Salah satu metode umum yang sering digunakan dalam pelaksanaan proyek konstruksi yaitu Metode Tunnel Boring Machine (TBM). Metode ini menggunakan mesin bor otomatis yang disebut TBM untuk menggali terowongan dengan presisi dan kecepatan tinggi (Wang et al., 2023). Metode ini umumnya digunakan dalam pembangunan terowongan bawah tanah seperti pada proyek-proyek Mass Rapid Transit (MRT) atau proyek infrastruktur lainnya, TBM yang di gunakan salah satunya pada proyek pembangunan MRT Jakarta.

Proyek MRT Jakarta Fase 2A CP 201 yang menghubungkan Monas dan Harmoni merupakan bagian dari upaya pemerintah Kota Jakarta untuk meningkatkan transportasi massal di ibu kota yang padat penduduknya. Dalam proyek ini, metode Tunnel Boring Machine (TBM) digunakan sebagai salah satu teknologi terkini yang efisien dan efektif dalam konstruksi terowongan bawah tanah. TBM adalah mesin konstruksi yang menggali terowongan dengan menggunakan pahat dan alat bor otomatis. Metode ini memungkinkan pembuatan terowongan yang presisi, cepat, dan minim gangguan terhadap lingkungan sekitarnya (S. Buk'hail & Al-Sabah, 2022). Metode TBM memungkinkan penggalian terowongan yang cepat dan efisien. Mesin bor TBM dapat menggali terowongan dengan kecepatan yang tinggi, tergantung pada jenis tanah atau batuan yang dilalui. Kecepatan ini memungkinkan penyelesaian proyek MRT Jakarta dalam waktu yang lebih singkat dibandingkan dengan metode penggalian terowongan konvensional. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menginvestigasi efektifitas pelaksanaan TBM pada proyek MRT Jakarta Fase 2A CP 201 Monas-Harmoni.

2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini digunakan pendekatan deskriptif. Penelitian deskriptif digunakan untuk memberikan gambaran tentang variabel yang diteliti tanpa bermaksud menguji hipotesis tertentu. Penelitian ini bertujuan untuk menggambarkan kondisi, gejala, atau keadaan yang sedang diteliti (Ramadhan, 2021). Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki sejauh mana efektivitas pelaksanaan TBM (Tunnel Boring Machine) pada proyek MRT Jakarta Fase 2A CP 201 Monas-Harmoni. Berikut adalah bagan alir digram alir penelitian.



3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proyek pembangunan MRT Jakarta fase 2 membentang sepanjang sekitar 11,8 kilometer dari kawasan Bundaran HI hingga Ancol Barat. Fase 2 ini melanjutkan koridor utara - selatan fase 1 yang telah beroperasi sejak 2019 lalu, yaitu dari Lebak Bulus sampai dengan Bundaran HI. Dengan hadirnya fase 2 ini, total panjang jalur utara - selatan menjadi sekitar 27,8 kilometer dengan total waktu perjalanan dari Stasiun Lebak Bulus. Pembangunan fase 2 merupakan proyek strategi nasional berdasarkan Peraturan Presiden Nomor 56 Tahun 2018 tentang Perubahan Kedua atas Peraturan Presiden Nomor 3 Tahun 2016 tentang Percepatan Pelaksanaan Proyek Strategi Nasional. Selain itu, Keputusan Gubernur Daerah Khusus Ibu Kota Jakarta Nomor 1713 Tahun 2019 tentang Perubahan Keputusan Atas Gubernur Nomor 1728 Tahun 2018 tentang Penetapan Lokasi untuk Pembangunan Jalur Mass Rapid Transit Koridor Bundaran HI—Kota menjadi landasan penetapan jalur dan stasiun di fase 2A.

Fase 2 terdiri dari dua tahap, yaitu fase 2A dan fase 2B. Fase 2A terdiri dari tujuh stasiun bawah tanah (Thamrin, Monas, Harmoni, Sawah Besar, Mangga Besar, Glodok, dan Kota) dengan total panjang jalur sekitar 5,8 kilometer. Sedangkan Fase 2B terdiri dari dua stasiun bawah tanah (Mangga Dua dan Ancol) dan satu depo di Ancol Barat dengan total panjang jalur sekitar enam kilometer. Fase 2B sedang dalam tahap studi kelayakan.

Cakupan proyek Fase 2A yaitu CP 201 untuk membangun Stasiun Thamrin dan Monas serta jalur sepanjang 1,96 kilometer (total: 2,678 kilometer) Paket ini dikerjakan oleh kontraktor Shimizu dan Adhi Karya Joint Venture (SAJV). Stasiun bawah tanah akan dibangun dengan kedalaman mulai dari 17 meter sampai dengan 36 meter di bawah tanah. Aliran listrik akan disuplai oleh dua gardu PLN 150 kV dengan total daya (power) 60 mV. Proyek Pembangunan MRT dibiayai oleh Pemerintah Pusat dan Pemerintah Provinsi DKI Jakarta serta didukung oleh dana pinjaman Pemerintah Jepang melalui Japan International Cooperation Agency (JICA). Total Perkembangan Konstruksi Sipil CP 201 Thamrin – Monas 57,4% per 25 Mei 2023. Fase 2A terdiri dari dua segmen, yaitu segmen satu dari Bundaran HI hingga Harmoni dan segmen dua dari Harmoni hingga Kota. Segmen satu direncanakan selesai pada Juni 2027 sedangkan segmen dua ditargetkan akan selesai pada April 2029.

Dana pinjaman JICA yang telah diterima Pemerintah Pusat diteruskan kepada Pemerintah Provinsi DKI Jakarta. Dokumen anggaran (APBN) yang berkaitan pinjaman berada pada Kementerian Keuangan, Direktorat Jenderal Perimbangan Keuangan, Direktorat Pembiayaan dan Kapasitas Daerah, Sub Direktorat Hibah Daerah, dengan nama program dan kegiatannya adalah Program Pengelolaan Hibah Negara dengan Kegiatan Penerusan Pinjaman dan/atau Hibah LN sebagai hibah kepada Pemerintah Daerah. Executing agency adalah Direktorat Jenderal Perkeretaapian. Sesuai dengan Permenko No. 1 Tahun 2018 terdapat penambahan jumlah pinjaman untuk Fase 1 sebesar USD 191.000.000 dan untuk Fase 2 sebesar USD 1.678.000.000. Loan agreement yang telah diberikan adalah Loan Agreement No. IP 578 sebesar ¥70,021,000,000 yang alokasinya untuk penambahan Fase 1 sebesar ¥21,544,000,000 dan pinjaman tahap satu Fase 2 sebesar ¥48,477,000,000.

Berdasarkan data yang didapatkan dan hasil wawancara dari kontraktor pelaksana proyek pelaksanaan proyek MRT Fase 2A CP 201 Jakarta, metode penggalian terowongan yang digunakan yaitu metode Tunnel Boring Machine (TBM). Mesin TBM adalah sebuah perangkat khusus yang dibuat dengan tujuan untuk melakukan ekskavasi terowongan secara efisien dan dengan kecepatan tinggi. Mesin TBM difabrikasi oleh pabrik multinasional Jepang, Kawasaki Heavy Industries. Segmen beton (precast) tersebut di produksi di pabrik WIKA KOBE, Karawang. Tanah hasil penggalian dicampur

dengan polimer dan dipompa menggunakan soil pump dari chamber TBM ke muck pit di permukaan tanah (ground level) lalu diangkut dengan truk ke tempat pembuangan tanah. Untuk efektifitas pelaksanaan TBM pada proyek mencangkup Kecepatan dan efisiensi, Presisi dan akurasi, Pengurangan dampak lingkungan, Keselamatan pekerja, Penanganan tanah dan air, kondisi geologi dan desain terowongan.

a. Kecepatan dan efisiensi

Dalam proses penggalian terowongan dengan menggunakan metode Tunnel Boring Machine (TBM) tipe Earth Pressure Balance (EPB), pemasangan ring segmen dilakukan dengan rata-rata 5 ring per hari. Setiap ring terdiri dari 6 segmen yang tersusun secara berurutan. Masing-masing segmen memiliki lebar 1,5 meter dan tebal 0,3 meter. Mesin TBM yang digunakan memiliki diameter 6800 mm, dengan panjang perisai (shield length) mencapai 8500 mm. Segmen terluar memiliki diameter 6650 mm, sementara segmen terdalam memiliki diameter 6050 mm. Metode TBM dengan menggunakan Earth Pressure Balance (EPB) mampu memberikan kecepatan dan efisiensi yang signifikan dalam proses penggalian terowongan. Dengan pemasangan rata-rata 5 ring per hari, terowongan dapat berkembang dengan cepat dan efisien. Diameter mesin TBM yang besar, yaitu 6800 mm, memungkinkan penggalian terowongan yang lebih lebar dan lebih cepat dibandingkan dengan metode konvensional. Fitur Earth Pressure Balance (EPB) pada TBM memungkinkan pengendalian tekanan tanah sekitar terowongan secara efektif. Hal ini memungkinkan penggalian terowongan dilakukan tanpa terjadinya kegagalan struktur tanah di sekitarnya. Kecepatan TBM dan efisiensi kerjanya juga didukung oleh desain segmen yang kuat dan tahan lama. Dalam metode TBM dengan Earth Pressure Balance (EPB), pemasangan ring segmen yang dilakukan secara teratur dan konsisten memberikan keuntungan dalam mempercepat progres penggalian terowongan. Kecepatan kerja yang konsisten ini dapat mencapai target produksi yang telah ditetapkan. Selain itu, penggunaan TBM dengan metode ini juga mengurangi risiko kerusakan terowongan dan mengoptimalkan efisiensi pekerjaan. Dengan segmen berdiameter 6650 mm (bagian luar) dan 6050 mm (bagian dalam), kekuatan struktural terowongan juga terjamin. Selain itu, lebar dan tebal segmen yang diatur secara spesifik memungkinkan stabilitas terowongan yang baik, sambil memastikan bahwa proses penggalian dapat berlangsung lancar dan aman. Secara keseluruhan, penggunaan metode TBM dengan Earth Pressure Balance (EPB) memberikan kecepatan dan efisiensi yang tinggi dalam penggalian terowongan. Pemasangan rata-rata 5 ring segmen per hari dengan diameter mesin TBM yang besar dan desain segmen yang kuat memberikan hasil produksi yang optimal. Keuntungan ini membuat metode ini menjadi pilihan yang baik dalam pembangunan terowongan dengan waktu dan biaya yang efisien.

b. Presisi dan akurasi

Dalam metode EPB, presisi dan akurasi TBM diperoleh melalui pengendalian tekanan tanah secara efektif. Mesin TBM mampu menjaga tekanan lingkungan sekitar terowongan agar tetap stabil, sehingga meminimalkan risiko keruntuhan atau pergeseran tanah yang dapat mengganggu dimensi terowongan. Selain itu, panjang perisai (shield length) TBM yang mencapai 8500 mm memberikan stabilitas dan keakuratan tambahan dalam proses penggalian. Dengan menggunakan segmen berdiameter 6650 mm di bagian luar dan 6050 mm di bagian dalam, TBM dapat menjaga keakuratan dimensi terowongan serta menjaga kekuatannya. Secara keseluruhan, penggunaan TBM tipe Earth Pressure Balance (EPB) memberikan tingkat presisi dan akurasi yang tinggi dalam penggalian terowongan. Pengendalian tekanan tanah yang efektif, dimensi segmen yang tepat, serta kecepatan dan efisiensi kerja yang tinggi, menjadikan TBM sebagai pilihan yang dapat diandalkan untuk proyek-proyek terowongan dengan tingkat presisi dan akurasi yang tinggi.

c. Pengurangan dampak lingkungan

Limbah yang dihasilkan selama penggalian terowongan harus dikelola dengan baik. Daur ulang limbah seperti tanah, batu, atau material lain yang dapat diproses kembali dapat membantu mengurangi volume limbah yang dihasilkan. Selain itu, limbah berbahaya harus dipisahkan dan diolah dengan cara

yang aman dan sesuai dengan peraturan lingkungan yang berlaku. Mesin TBM harus dioperasikan dengan efisiensi tinggi untuk mengurangi emisi gas buang yang dihasilkan. Pemilihan bahan bakar yang lebih bersih, penggunaan teknologi kontrol emisi yang canggih, dan perawatan rutin yang baik pada mesin dapat membantu mengurangi dampak lingkungan dari emisi gas buang.

Proses penggalian terowongan dapat menghasilkan debu yang dapat berdampak negatif pada kualitas udara. Untuk mengurangi dampak ini, langkah-langkah pengendalian debu yang efektif harus diterapkan, seperti penggunaan sistem penyiraman air, penyedot debu, dan penggunaan peralatan yang tertutup atau dilengkapi dengan penghisap debu. Penggalian terowongan membutuhkan penggunaan air dalam jumlah besar. Upaya harus dilakukan untuk mengelola dan mengonservasi penggunaan air dengan bijaksana. Ini dapat mencakup penggunaan teknologi pengolahan air limbah, penangkapan dan penggunaan kembali air hujan, dan mengadopsi praktik penghematan air lainnya. Sebelum memulai proyek penggalian terowongan, penting untuk melakukan evaluasi dampak lingkungan yang komprehensif. Ini akan membantu mengidentifikasi potensi dampak negatif, dan langkah-langkah perlindungan dan mitigasi yang sesuai dapat diimplementasikan sejak awal.

d. Keselamatan pekerja

Selama proses penggalian, keselamatan pekerja merupakan hal yang sangat diutamakan. Tim pekerja dilengkapi dengan perlindungan yang sesuai, seperti helm keselamatan, pelindung mata, alat pernafasan, dan pakaian kerja yang memenuhi standar keamanan. Selain itu, pengawasan ketat dan pemeliharaan rutin pada mesin TBM juga dilakukan untuk memastikan kinerjanya tetap optimal dan mencegah terjadinya kecelakaan.

e. Penanganan tanah dan air

Dalam hal penanganan tanah, metode EPB memanfaatkan tekanan tanah yang diatur secara tekanan balik untuk menjaga stabilitas terowongan. Aliran tanah yang digali oleh TBM dikelola dengan hati-hati untuk menghindari kebocoran air dan kemungkinan keruntuhan. Sistem EPB juga dilengkapi dengan perlindungan terhadap tekanan air yang dapat muncul selama proses penggalian. Tim pekerja yang terlibat dalam proyek ini memiliki pengetahuan dan pelatihan yang memadai dalam menangani situasi yang berkaitan dengan penanganan tanah dan air. Mereka dilengkapi dengan peralatan keselamatan yang sesuai, termasuk peralatan pelindung pernapasan, alat pelindung mata, serta perlengkapan keselamatan lainnya.

f. kondisi geologi dan desain terowongan

Kondisi geologi menjadi faktor kunci dalam desain terowongan menggunakan metode TBM. Sebelum proses penggalian dimulai, penelitian geologi yang mendalam dilakukan untuk memahami formasi tanah, batuan, dan struktur di sekitar terowongan. Berdasarkan informasi ini, desain terowongan dapat disesuaikan untuk mengatasi tantangan geologi yang mungkin muncul. Metode TBM menggunakan prinsip tekanan tanah yang diatur secara tekanan balik untuk menjaga stabilitas terowongan. Mesin TBM memungkinkan penggalian tanah dengan presisi tinggi, sementara sistem EPB membantu mengendalikan aliran tanah dan tekanan air di sekitar terowongan. Desain terowongan menggunakan metode TBM ini bertujuan untuk meminimalkan dampak pada lingkungan sekitar dan memastikan keamanan para pekerja. Dengan pemahaman yang mendalam tentang kondisi geologi dan desain yang tepat, terowongan dapat dibangun dengan efisien, mengikuti profil yang diinginkan, dan menjaga integritas strukturalnya. Dalam proyek penggalian terowongan, kolaborasi antara ahli geologi, insinyur, dan tim konstruksi sangat penting. Para ahli bekerja sama untuk mengidentifikasi tantangan geologi, mengembangkan desain terowongan yang sesuai, dan memastikan keberhasilan proyek secara keseluruhan. Dengan pemahaman yang komprehensif tentang kondisi geologi dan desain terowongan yang sesuai, proses penggalian dapat dilakukan dengan efektif dan aman.

(Guo et al., 2022) juga mengatakan TBM dapat menggali terowongan dengan kecepatan yang relatif tinggi, tergantung pada kondisi geologi dan desain terowongan. Kecepatan ini dapat membantu

mempercepat waktu pelaksanaan proyek dan mengurangi dampak terhadap lalu lintas dan lingkungan sekitar, sejalan dengan hal ini (Qiu et al., 2022) mengemukakan TBM dapat bekerja secara terus-menerus tanpa terlalu banyak gangguan atau jeda. Ini memungkinkan alur kerja yang lebih lancar dan meminimalkan waktu henti yang diperlukan untuk mempersiapkan dan membersihkan area penggalian. Metode TBM umumnya lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan metode konvensional, karena mengurangi jumlah limbah dan getaran yang dihasilkan selama proses penggalian. Hal ini dapat membantu meminimalkan gangguan terhadap bangunan, infrastruktur, dan lingkungan sekitar terowongan (Ayawah et al., 2022). Dengan menggunakan alat dan metode yang semakin maju di era industri 4.0, diharapkan biaya untuk pekerjaan terowongan dapat dikurangi, sementara penggunaan tenaga kerja juga dapat diminimalisir (Ilmi, 2022).

4. KESIMPULAN

Dalam proyek penggalian terowongan MRT Jakarta fase 2, metode Tunnel Boring Machine (TBM) tipe Earth Pressure Balance (EPB) menawarkan kecepatan, efisiensi, presisi, akurasi, pengurangan dampak lingkungan, keselamatan pekerja, serta penanganan tanah dan air yang optimal. Dalam metode ini, pemasangan ring segmen dilakukan dengan rata-rata 5 ring per hari, memungkinkan perkembangan terowongan secara cepat dan efisien. Diameter mesin TBM yang besar dan desain segmen yang kuat memberikan hasil produksi yang optimal. Pengendalian tekanan tanah yang efektif pada TBM EPB meminimalkan risiko keruntuhan atau pergeseran tanah, menjaga presisi dan akurasi dimensi terowongan. Pengurangan dampak lingkungan dicapai melalui pengelolaan limbah yang baik, pengendalian debu, penghematan air, dan evaluasi dampak lingkungan yang komprehensif. Keselamatan pekerja menjadi prioritas dengan perlindungan yang tepat dan pemeliharaan rutin pada mesin TBM. Penanganan tanah dan air yang hati-hati juga dilakukan untuk mencegah kebocoran air dan keruntuhan. Kolaborasi antara ahli geologi, insinyur, dan tim konstruksi, metode TBM EPB memberikan solusi yang andal dan efektif dalam proyek penggalian terowongan, memastikan keberhasilan proyek serta menjaga keberlanjutan dan keselamatan lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ayawah, P. E. A., Sebbeh-Newton, S., Azure, J. W. A., Kaba, A. G. A., Anani, A., Bansah, S., & Zabidi, H. (2022). A Review And Case Study Of Artificial Intelligence And Machine Learning Methods Used For Ground Condition Prediction Ahead Of Tunnel Boring Machines. *Tunnelling And Underground Space Technology*, 125, 104497. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2022.104497>
- Guo, D., Li, J., Li, X., Li, Z., Li, P., & Chen, Z. (2022). Advance Prediction Of Collapse For TBM Tunneling Using Deep Learning Method. *Engineering Geology*, 299, 106556. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2022.106556>
- Ilmi, N. (2022). Penerapan Metode Konstruksi Industri 4.0 Pada Siklus Proyek Jalan, Jembatan, Dan Terowongan. *Seminar Nasional Insinyur Profesional (SNIP)*, 2(1). <https://doi.org/10.23960/Snip.V2i1.49>
- Montalbán-Domingo, L., Casas-Rico, J., Alarcón, L. F., & Pellicer, E. (2023). Influence Of The Experience Of The Project Manager And The Foreman On Project Management's Success In The Context Of LPS Implementation. *Ain Shams Engineering Journal*, 102324. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2023.102324>
- Nanda, M. P., Riswanto, S., & Kurniawati, M. (2023). Metode Paired Comparison Pada Pekerjaan Pondasi Bangunan Gedung Dengan Pendekatan Studi Value Engineering (VE). *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 449–456. <https://doi.org/10.24912/jmts.v6i2.23387>

- Qiu, W., Ai, X., & Zheng, Y. (2022). First Application Of Mechanized Method Using Earth Pressure Balance TBM With Large Horseshoe-Shaped Cross Section To Loess Mountain Tunnel: A Case Study Of Baicheng Tunnel. *Tunnelling And Underground Space Technology*, 126, 104547. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2022.104547>
- Ramadhan, M. (2021). *Metode Penelitian*. Cipta Media Nusantara
- S. Buk'hail, R., & Al-Sabah, R. S. (2022). Exploring The Barriers To Implementing The Integrated Project Delivery Method. *Journal Of King Saud University - Engineering Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2022.04.003>
- Wang, K., Zhang, L., & Fu, X. (2023). Time Series Prediction Of Tunnel Boring Machine (TBM) Performance During Excavation Using Causal Explainable Artificial Intelligence (CX-AI). *Automation In Construction*, 147, 104730. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104730>