

Model Kurva Belajar Pemasangan *Box Culvert* Saluran Drainase di Jalan Kertajaya Surabaya

Fachur Ilyas Pangestu¹, Feri Harianto^{1*}, Felicia Tria Nuciferani¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

Email: *feri_h@itats.ac.id

Abstract

Land-use changes along Kertajaya Road in Surabaya have resulted in reduced soil infiltration capacity. Combined with high rainfall intensity and inadequate drainage systems that are unable to accommodate excess water, these conditions have led to an increased risk of flooding during the rainy season. Furthermore, traffic congestion in the area necessitates road widening, which in turn requires the rapid installation of box culverts. Accordingly, high productivity in box culvert installation is essential, supported by the application of various modeling approaches. This study aims to develop an accurate productivity model and to identify effective measurement methods as key strategies for improving efficiency and effectiveness in box culvert installation. The research methodology employs a learning curve approach, incorporating the Wright model, Stanford B model, De Jong model, and exponential regression model. Data were collected through direct observation of installation time, measured from the lifting of the box culvert units to their final placement. The results indicate that as the number of repetitive work cycles increases, the cumulative average time decreases across all models, demonstrating improved productivity in repetitive tasks. The best-performing model in this study is the exponential regression model, expressed as $t_n = 33.671368 e^{-0.01367x}$, with a high level of accuracy ($R^2 = 99.29\%$) and the lowest mean error (KR) of -0.9841.

Keywords: learning curve, productivity, box culvert

Abstrak

Perubahan tata guna lahan di jalan Kertajaya Surabaya mengakibatkan rendahnya daya serap air tanah, curah hujan yang tinggi, saluran drainase yang tidak mampu menampung air sehingga berdampak meningkatnya risiko banjir saat musim hujan. Selain itu, ditambah adanya kemacetan lalu lintas kendaraan sehingga diperlukan pelebaran jalan, untuk itu perlu pemasangan *box culvert* dengan cepat. Untuk itu, dibutuhkan produktivitas pemasangan *box culvert* yang tinggi dengan pendekatan berbagai model. Tujuan penelitian ini memperoleh pengembangan model produktivitas yang akurat dan penggunaan metode pengukuran yang efektif untuk strategi penting dalam upaya meningkatkan efisiensi dan efektivitas dalam pemasangan *box culvert*. Metode penelitian menggunakan pendekatan kurva belajar dengan model *Wright*, model *Stanford B*, model *De Jong*, model regresi eksponensial. Pengambilan data diperoleh dari pengamatan waktu pemasangan *box culvert* dari pengambilan box sampai terpasang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bertambahnya siklus pekerjaan yang berulang memberikan waktu rerata kumulatif semakin mengecil untuk berbagai model, hal ini, menunjukkan produktivitas untuk pekerjaan yang berulang semakin meningkat. Model terbaik pada penelitian ini adalah model regresi eksponensial (b) $t_n = 33.671368 e^{-0.01367x}$, dengan keakuratan (R^2) yaitu 99,29% dan hasil kesalahan rerata (KR) terendah sebesar -0,9841.

Kata kunci: kurva belajar, produktivitas, *box culvert*

1. Pendahuluan

Sistem drainase perkotaan memiliki peran penting dalam mengendalikan limpasan air hujan dan mencegah terjadinya banjir di kawasan kota Surabaya. Namun, berbagai penelitian menunjukkan bahwa kinerja drainase perkotaan seringkali tidak optimal akibat keterbatasan kapasitas saluran,

sedimentasi, serta penyumbatan oleh sampah sehingga tidak mampu menampung debit rencana [1]. Selain itu, urbanisasi yang pesat dan perubahan iklim menyebabkan peningkatan limpasan dan frekuensi kejadian banjir, yang semakin membebani sistem drainase eksisting [2]. Banyak sistem drainase juga dilaporkan beroperasi di bawah kapasitas optimal akibat kurangnya pemeliharaan dan perencanaan yang tidak terintegrasi [1]. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi dan optimalisasi sistem drainase berbasis pemodelan hidrologi untuk meningkatkan efektivitas pengendalian banjir di Kawasan perkotaan [3]. Selain itu, sebagian besar studi tersebut masih berfokus pada aspek hidrologi dan perencanaan teknis, tanpa mengintegrasikan aspek produktivitas pelaksanaan konstruksi sebagai faktor penentu keberhasilan implementasi di lapangan. Di sisi lain, produktivitas konstruksi merupakan indikator penting yang memengaruhi efisiensi waktu, biaya, dan kualitas proyek. Namun demikian, penelitian produktivitas konstruksi yang ada masih dominan pada pendekatan umum dan belum banyak mengkaji secara spesifik pada jenis pekerjaan tertentu, seperti pemasangan *box culvert*. Kesenjangan ini menunjukkan bahwa penelitian masih berfokus pada karakteristik pekerjaan berulang dengan pendekatan kurva belajar masih terbatas, khususnya pekerjaan infrastruktur [4][5].

Pendekatan Kurva belajar (*learning curve*) telah banyak digunakan untuk memodelkan peningkatan produktivitas berdasarkan pengalaman kerja. Penerapan model kurva belajar dalam konteks proyek konstruksi, khususnya pada pekerjaan drainase perkotaan, masih terbatas dan cenderung belum berbasis pada data empiris lapangan. Selain itu, belum banyak penelitian yang melakukan perbandingan beberapa model *learning curve*, seperti *Wright*, *Stanford-B*, *De Jong*, dan regresi eksponensial, dalam satu kerangka analisis untuk menentukan model yang paling representatif pada pekerjaan konstruksi spesifik. Kondisi ini menunjukkan adanya kesenjangan penelitian (*research gap*) terkait keterbatasan integrasi antara aspek hidrologi dan produktivitas konstruksi, minimnya kajian spesifik pada pekerjaan *box culvert*, serta kurangnya model produktivitas berbasis data lapangan pada proyek perkotaan di Indonesia. Penelitian ini menawarkan keterbaruan dalam bentuk pengembangan model produktivitas pemasangan *box culvert* yang berbasis data empiris lapangan, dengan mengintegrasikan pendekatan kurva belajar dalam pelaksanaan drainase perkotaan. Selain itu, penelitian ini melakukan komparasi beberapa model kurva belajar (*Wright*, *Stanford-B*, *De Jong*, dan regresi eksponensial) untuk mengidentifikasi model yang paling optimal dalam merepresentasikan produktivitas pemasangan. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berkontribusi dalam pengembangan model produktivitas konstruksi yang lebih aplikatif, tetapi juga memberikan pendekatan secara integratif antara permasalahan hidrologi perkotaan dan kinerja pelaksanaan proyek konstruksi.

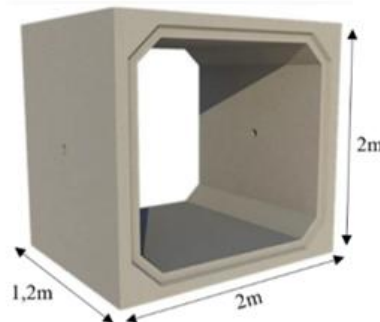
2. Metode

Lokasi Penelitian ini adalah proyek pemasangan *box culvert* di Jalan Kertajaya, Surabaya. Pemilihan lokasi penelitian ini karena daerah di Jalan Kertajaya sering mengalami banjir di saat musim hujan. Waktu pengamatan yang dilakukan selama sebulan. Pengambilan sampel dilakukan pada malam hari mulai pukul 23.00 – 00.00 WIB, karena arus lalu lintas terbilang sepi dan menghindari kemacetan jika dilakukan pada siang hari. Keunggulan model kurva belajar yaitu menggambarkan hubungan matematis antara jumlah pengulangan pekerjaan dan peningkatan produktivitas secara kuantitatif serta mampu mengidentifikasi besarnya peningkatan kemampuan pekerja akibat pengalaman yang diperoleh dari pekerjaan berulang. Analisis yang digunakan pada penelitian ini adalah analisis regresi non linear dengan bentuk model regresi eksponensial, *De Jong*, *Wright*, dan *Stanford-B*. [6]. Variabel independennya adalah waktu siklus pemasangan 1 *box culvert*, sedangkan variabel dependen yaitu waktu rata-rata. Jumlah sampel yang diambil sebesar 62 pemasangan *box culvert*, pencatatan waktu dilakukan pada hari tertentu seperti pada Gambar 1, dimana setiap hari diambil data waktu dari siklus ke-1 sampai ke-8 kecuali periode 6 dan 8 diambil pencatatan data sebanyak 7 pengamatan, hal ini disebabkan kondisi lapangan terdapat adanya gangguan. Data pada siklus ke-9 sebagai pembanding untuk menguji model kurva belajar dalam memprediksi waktu pekerjaan pemasangan *box culvert*, serta untuk membandingkan hasil prediksi kurva belajar untuk beberapa model yang digunakan. Pencatatan waktu di mulai dari posisi *box culvert* di samping saluran sampai dipasang pada posisi sebenarnya atau di atas saluran. Pengangkatan *box culvert* menggunakan ekskavator, Objek Penelitian adalah proyek

pemasangan *box culvert* dengan luas area yang diamati 48m x 2m. Bentuk dan ukuran *box culvert* seperti pada Gambar 2.

1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6	6	6	6
7	7	7	7	7	7	7	7	7
8	8	8	8	8	8	8	8	8
1	2	3	4	5	6	7	8	9
18/03 2024	21/03 2024	25/03 2024	28/03 2024	01/04 2024	04/04 2024	11/04 2024	17/04 2024	22/04 2024

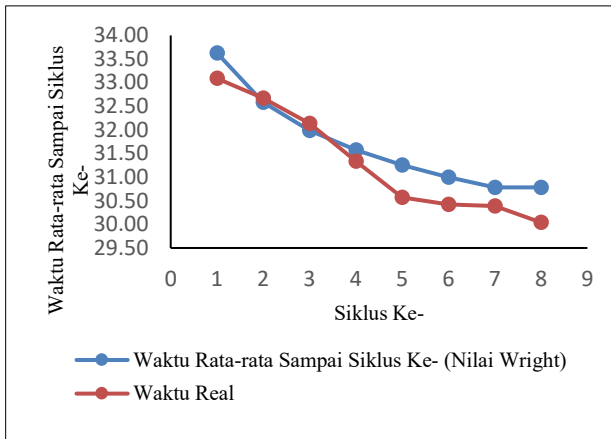
Gambar 1. Urutan Pemasangan Box Culvert



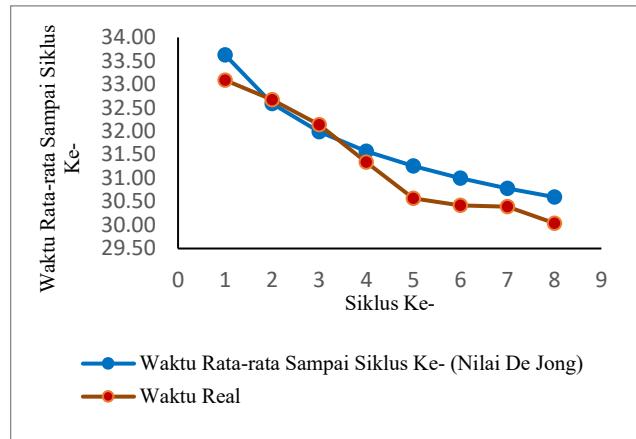
Gambar 2. Box Culvert

3. Hasil dan Pembahasan

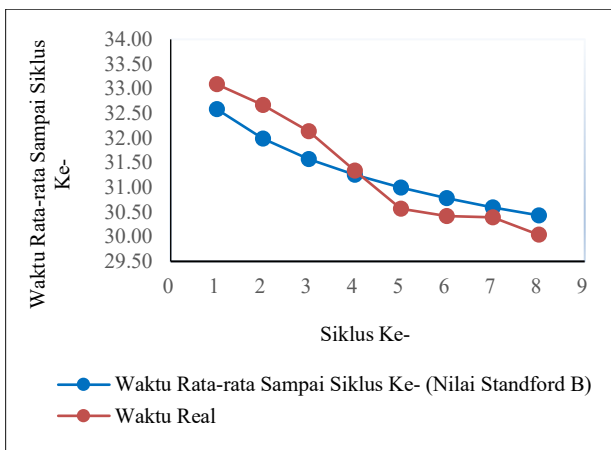
Data sampel yang berupa waktu pengerjaan pemasangan *box culvert* dari delapan siklus dilakukan uji hipotesis yang bertujuan untuk menunjukkan bahwa setiap siklus berbeda secara signifikan maka dilakukan uji-t berpasangan untuk dua rata-rata [7]. Hasil uji-t menjelaskan bahwa bahwa rata-rata kumulatif waktu pekerjaan pemasangan *box culvert* pada setiap siklusnya akan lebih kecil pada pekerjaan pengulangan ($t = -0,906 > t_{\text{tabel}} = -1,895$). Gambar 3, 4, dan 5 yaitu kurva belajar *Wright*, *De Jong*, dan *Stanford-B* memiliki waktu rata-rata sampai siklus ke-8 relatif sama. Dengan nilai determinan (R^2) ketiga model sebesar 89,96%, yang membedakan nilai nilai kesalahan rata-rata (KR). Nilai kesalahan rata-rata yang terkecil adalah model *De Jong*. Pada Gambar 6 model kurva belajar yaitu model eksponensial(a) mempunyai nilai determinan (R^2) sebesar 86,53% dan KR sebesar -0,9843 memiliki nilai determinan lebih kecil dibandingkan dengan model eksponensial(b), sedangkan nilai kesalahan rata-rata (KR) lebih besar dibandingkan dengan model eksponensial(a). Hal ini berarti model eksponensial(b) (Gambar 7) lebih baik dibandingkan model eksponensial(a) dikarenakan untuk model yang terbaik dilihat dari nilai determinannya. Nilai determinan menunjukkan besarnya hubungan siklus ke-n dengan waktu rata-rata, semakin besar nilai R^2 semakin kuat kedua hubungan siklus ke-n dengan waktu rata-rata. Pada setiap model yang digunakan pada penelitian (Gambar 3, 4, 5, 6, dan 7) pada siklus ke-1 sampai dengan siklus-5 data real di lapangan menjelaskan terjadinya penurunan waktu rata-ratanya pada pelaksanaan pemasangan *box culvert*, kemudian pada siklus ke-6 sampai dengan ke-8 penurunan waktu rata-ratanya berkurang atau menuju kestabilan. Pola waktu rata-rata ini, menjelaskan bahwa proses pemasangan *box culvert* terjadi proses pembelajaran pada siklus sebelumnya.



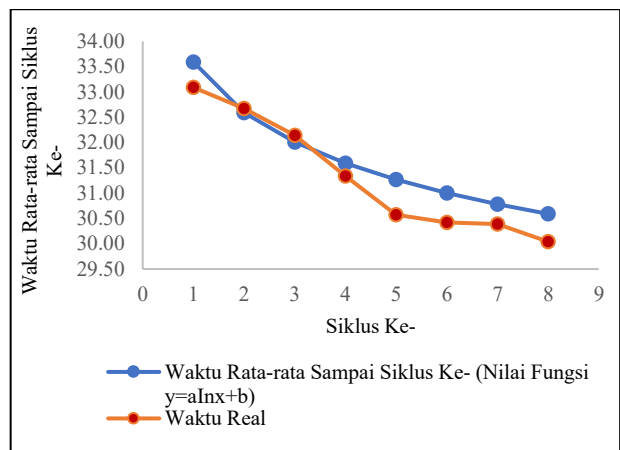
Gambar 3. Kurva Belajar Model *Wright*



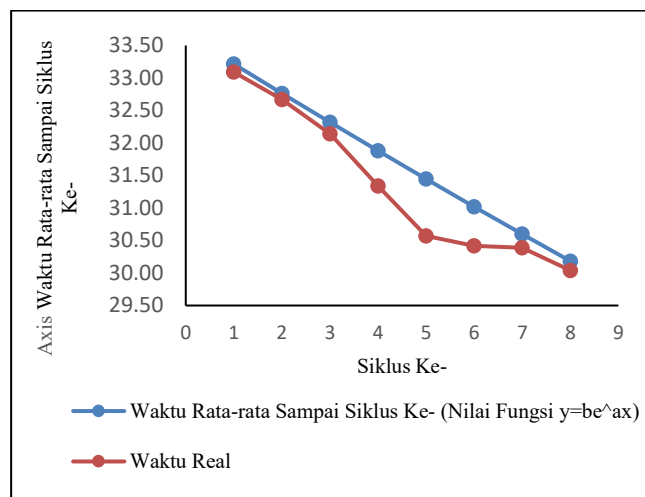
Gambar 4. Kurva Belajar Model *De Jong*



Gambar 5. Kurva Belajar Model *Standford B*



Gambar 6. Kurva Belajar Model Eksponensial (a)



Gambar 7. Kurva Belajar Model Eksponensial (b)

Pada Tabel 1, bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan masing-masing model dalam menghasilkan prediksi yang mendekati nilai aktual terkait produktivitas dan waktu pada proyek yang

diteliti. Model paling akurat untuk memprediksi efek belajar pada pemasangan *box culvert* adalah model eksponensial (b). Kurva belajar model tersebut menunjukkan nilai koefisien determinasi (R^2) tertinggi sebesar 99,29% dibandingkan metode lainnya. Hal ini juga diperkuat oleh hasil kesalahan rata-rata atau *error* (KR) terendah sebesar -0,9841, yang menandakan keakuratan prediksi yang lebih baik dibandingkan dengan metode lain yang diuji serta hasil pengukuran yang diambil memiliki sedikit perbedaan dengan nilai yang benar (nilai referensi), namun perbedaannya masih sangat kecil dan dalam batas toleransi kesalahan yang dapat diterima.

Tabel 1. Akurasi Prediksi Model

Model	Persamaan	$R^2(\%)$	KR
Wright	$t_n = 30,067 \cdot n^{-0,01030}$		-0,9843
De Jong	$t_n = 30,067(0 + (1 - 0) \cdot n^{-0,01030})$	89,96%	-0,9840
Standford B	$t_n = 30,067 (n+1)^{-0,01030}$		-0,9843
Ekponensial	a $t_n = -1,44397 \ln x + 33,59284$	86,53%	-0,9843
	b $t_n = 33.671368 e^{-0,01367x}$	99,29%	-0,9841

Fluktuasi antar nilai kurva belajar sangat kecil dengan selisihnya hanya sekitar 0,0007%. Hal ini menunjukkan terjadinya kestabilan dan konsistensi dalam perhitungan yang dilakukan, karena semua nilai berada pada kisaran yang relatif sama, kesalahan relatif tersebut dapat dianggap cukup kecil, dan kualitas perhitungan dapat dianggap baik dan hampir tidak ada kesalahan yang signifikan pada semua model kurva belajar. Gambar 3, 4, 5, 6, 7 menjelaskan semua model yang digunakan menunjukkan pola penurunan waktu yang konsisten, yang berarti dengan bertambahnya siklus pengamatan maka waktu rata-ratanya juga berkurang, hal ini menjelaskan bahwa terdapat indikasi mengenai adanya proses pembelajaran dalam pekerjaan pemasangan *box culvert* [8]. Adanya waktu rata-ratanya berkurang seiring bertambahnya siklus berarti terdapat peningkatan produktivitas. Pada siklus selanjutnya, produktivitas terus meningkat sampai pada akhirnya membuat kestabilan waktu pada siklus-siklus berikutnya [9]. Fenomena ini mencerminkan proses pembelajaran atau adaptasi dalam pekerjaan repetitive pemasangan *box culvert*, dimana peningkatan produktivitas yang disertai pengurangan waktu pengerjaan membentuk kurva belajar yang menggambarkan keterampilan operator ekskavator terhadap pemasangan *box culvert* [10],[11]. Selain mempercepat waktu pada penyelesaian proyek, peningkatan produktivitas juga berpotensi mengurangi biaya untuk upah pekerja [12], [13], [14]. Dilihat dari sisi pelaksanaan khususnya tenaga kerja, dengan adanya pemasangan yang repetitif pada pemasangan *box culvert* keterampilan pekerja menjadi meningkat serta kesalahan yang dilakukan juga berkurang, sedangkan dilihat pada sudut pandang metode kerja dan koordinasi tim pada proses pemasangan menjadi lebih baik sehingga sumber daya menjadi lebih optimal.

4. Kesimpulan

Waktu riil pemasangan *box culvert* memiliki pola penurunan waktu seiring bertambahnya siklus selanjutnya sampai pada akhirnya membentuk pola stabilitas waktu. Hal ini, berarti produktivitas pemasangan *box culvert* terus meningkat seiring dengan bertambahnya waktu siklusnya sampai produktivitas yang relatif tetap. Model kurva belajar produktivitas pemasangan *box culvert* yaitu model Wright, Standford-B, De Jong, dan regresi Eksponensial (a) dan (b) memberikan hasil nilai determinasinya (R^2) terendah sebesar 86,53% sedangkan tertinggi 99,29%, yang berarti model yang digunakan menghasilkan model yang sangat baik. Model kurva belajar yang terbaik untuk prediksi produktivitas pemasangan *box culvert* pada saluran drainase jalan raya adalah model Regresi Eksponensial dengan persamaan matematikanya yaitu $t_n = 33.671368 e^{-0,01367x}$ dengan nilai $R^2=99,29\%$ dan kesalahan rata-rata (KR) sebesar -0,9841. Hasil penelitian ini memberikan kontribusi kepada pelaksana di lapangan dalam memprediksi waktu pemasangan *box culvert* serta mengetahui besarnya produktivitas pekerjaan pemasangan *box culvert*.

Referensi

- [1] Sukma Laksita Rahma, Sunarsih, and Mussadun, "Assessing Urban Flooding and Drainage System Performance in Urban Area: A Mononobe Equation and Manning Formula Approach" *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, Vol 14, No2, 2024.
 - [2] Yanhong Wang Jingming Hou, Yuan Liu, Tian Wang, Xin Liang, Yao Yao, Jiahao Lu, Shuhong Xue, Menghua Ma, "The Study of Enhancing Urban Flood Management for Riverless Cities With High External Runoff Intrusion Characteristics", *Science Direct*, Volume 57, 102131.
 - [3] Nurin Retna Sawitri, Nugroho Christanto, and Arrt Retnawati, " Urban Flood Management Strategies in Kapanewon Depok, Sleman Regency (A Simulation-Based Study Using EPA SWMM5.2)", *The Indonesian Journal of Planning and Development* Volume 10, No 1, 2025
 - [4] Zijian Wang, Ronen Barak, Rafael Sacks, Sitsofe K, Yevu, Arnon Bentur, and Georgios M. Hadjidemetriou, " Construction Productivity and Digital Technologies", *Automation in Construction*, 183, 106768, 2026.
 - [5] Panagiota Ralli, Antonios Panas, John-Paris P, and Dimitrios Karagiannakids, "Investigation and Comparative Analysis of Learning Curve Models on Construction Productivity: The Case of Caisson Fabrication Process, *Journal of Engineering, Project, and Production Management*, 10(3), pp 219-230, 2020.
 - [6] Julius H Lolombulan, "Model-Model Analisis Regresi Nonlinear dalam Riset Sosial (Kajian Bivariat)", Andi, Yogyakarta, 2022.
 - [7] Harinaldi, "Statistik Untuk Sains dan Teknik", Erlangga, Jakarta, 2021.
 - [8] Levente Malyusz, "Learning Curve Effect on Project Scheduling". *Procedia Engineering* 164, pp. 90-97, 2016
 - [9] Abdulaziz M Jarkas, " Learning effect on Labour Productivity of Repetitive Concrete Masonry Blockwork", *Interbational Journal of Productivity and performance Management*, Vol 65, Issue 8, pp.1075-1090, 2016.
 - [10] Rahmadani, N., Mallongi, S., & Arifin, Z, "Pengaruh Pelatihan IT Fundamental, Keterampilan, dan Pengalaman Kerja terhadap Produktivitas Kerja Karyawan". *Jurnal Online Manajemen ELPEI (JOMEL)*, Volume 4 No.2, pp. 1030-1040, 2024
 - [11] Alaa Salman and Mahmoudid Sodangi, "Developing The Learning Curve Model to Enhance Construction Project Scheduling and Cost Estimating", *The Open Construction & Building Technology Journal*, 2025, DOI: 10.2174/0118748368369918250114095300, 2025, 19, e18748368369918.
 - [12] M. Lutfi Gustami, Muhammad Taufiq, Abdul Khamid, Imron, and Wahidin, "Perbandingan Waktu dan Biaya Pelaksanaan Drainase Konvensional Pasangan Batu Kali dengan beton Pracetak U Ditch (Studi Kasus di Desa Karanganyar Kecamatan Pagerbarang Kabupaten Tegal)", *Era Sains: Journal of Science, Engineering and Information Systems Research*, Vol 1, No 1, 2023.
 - [13] Vincent & Onnyxiforus Gndokusumo, "Pemanfaatan Kurva Belajar *Log-Linear* Untuk Pemnghematan Biaya Pekerja", *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, Vol 1, No 1, pp 121-130, 2023
 - [14] Saravana Prabhu and Vidjeapriya R, "Comparative Analysis of Learning Curve Models on Construction Productivity of Diaphragm Wall and Pile", *International Conference on Advances in Civil Engineering (ICACE 2021)*, 012004, 2021.
-