



**POLITEKNIK
PEKERJAAN UMUM**

Volume 2, 2023

ISSN 3024-8345



**Kementerian Pekerjaan Umum
dan Perumahan Rakyat**



**PROSIDING
SEMINAR NASIONAL DAN PAMERAN**

METODE DAN TEKNOLOGI BIDANG KONSTRUKSI

***"Digital Construction Dalam Rangka Akselerasi
Pelaksanaan Konstruksi Berkelanjutan"***

6-7 Desember 2022

PROSIDING

Seminar Nasional Metode dan Teknologi Bidang Konstruksi Politeknik Pekerjaan Umum Tahun 2022

***"Digital Construction Dalam Rangka Akselerasi
Pelaksanaan Konstruksi Berkelanjutan"***

**Patra Semarang Hotel & Convention
Selasa & Rabu, 6-7 Desember 2022**

Diterbitkan oleh :

Politeknik Pekerjaan Umum Press

PROSIDING

Seminar Nasional Metode dan Teknologi Bidang Konstruksi Politeknik Pekerjaan Umum Tahun 2022

"Digital Construction Dalam Rangka Akselerasi Pelaksanaan Konstruksi Berkelanjutan"

Susunan Panitia

1. Pelindung : Kepala Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia,
Kementerian PUPR
2. Pengarah : Prof. Ir. Indratmo Soekarno, M.Sc., Ph.D.
3. Penanggung Jawab : Dr. Ir. Pranoto Samto Atmojo, Dipl. HE. M.T. (Ketua)
Dr. Ir. H. Masrianto, M.T. (Wakil Ketua I)
Ir. Danang Atmodjo, M.T. (Wakil Ketua II)
Dr. Drs. FX Hermawan Kusumartono, M.Si. (Wakil Ketua
III)
4. Ketua Pelaksana Seminar dan Pameran : Dr. Raditya Hari Murti, S.T., M.Sc., M.T.
Sekretariat Seminar dan Pameran : Zuni Asih Nurhidayati, S.T., M.Sc. (Ketua)
Rivanny Wulandari, S.H.
Galuh Ajeng Candra Kirana, S.Psi
Labbra Pasaribu, A.Md
Wenni Dwi Ariyanti, S.T.
Benedikta Saras Adiningtias, S.Sos
Irfan Abidin S.T.
Danang Santo Samiaji, S.H.
Ainun Hapsari, S.Hum
Ratna Sari Dewi. S.Kom
- Seksi Penerima, Review Artikel dan Prosiding : Hinawan Teguh Santoso, S.T., M.T. (Ketua)
Eko Kusumo Friatmojo, S.T., M.T.
Daru Jaka Sasangka S.T., M.Eng.
Rikal Andani, S.T., M.Eng.
Febri Fahmi Hakim, S.T., M.T., M.Sc.
Tia Hetwisari, S.T., M.T.
Syamsul Bahri, S.Si., M.T.
Yuny Iryanty, A.Md
- Seksi Acara : Hendra Adi Wijaya, S.T., M.T. (Ketua)
Bhima Dhanardono, S.T., M.Eng.
Mariana Wulandari, S.T., M.T.
Freda Aulia Fanny, A.Md
Akhdan Zufar Faiz, A.Md
- Seksi Pameran : Marsellus D. Duapadang, S.T., M.T. (Ketua)
Siti Usarofah, S.T., M.T.
Puspita Karisma Kurniasani, S.T., M.Ars.
Wahyu Ardiyanto Kurniawan, S.E.
Merry Karuniawan

- Seksi Akomodasi dan Transportasi : Muldan Muhamad Ginanjar, S.E., M.T. (Ketua)
Rumadi, S.ST.
Sumitro
Beny Bagus Setiawan
Muhammad Hidayat
Bhara Ardiansyah
Hardian Adi Pratama, S.Kom
- Seksi Keuangan : Dwi Arsono Wibowo, S.H., M.T. (Ketua)
Nur Sanudin, S.M.
Noor Rohman, S.E., M.T.
Dewi Yulaekah, S.E.
Dessy Dini Susanti, S.E
EL Sifa Mega Biruni, S.PWK
Nurillah Fajri, S.Ak.
- Seksi Konsumsi : Yulia Rochmawati, S.E., M.Si. (Ketua)
Shesa Dida Filantri, S.T.
Fariha Sulistyoyo Effendi, S.E.
- Seksi Publikasi dan Dokumentasi : Sechiaro Gulo, S.T. (Ketua)
Purwadyasmoro Himawan Jati, S.I.Kom., M.Med. Kom
Pramudya Kiswara, A.Md
Trimo Yulianto
Kevin Satria Wibowo, S.Kom

Prosiding Seminar Nasional dan Pameran Ke-2
Politeknik Pekerjaan Umum

Diterbitkan oleh :

Politeknik Pekerjaan Umum Press
perpustakaan@politeknikpu.ac.id
Jalan Prof.Soedarto, SH. Tembalang
Semarang 50275
Telp/Fax (024) 7472848

ISSN 3024-8345

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang
Dilarang mengutip, memperbanyak dan menterjemahkan sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis penerbit.

PROSIDING

Seminar Nasional Metode dan Teknologi Bidang Konstruksi Politeknik Pekerjaan Umum Tahun 2022

"Digital Construction Dalam Rangka Akselerasi Pelaksanaan Konstruksi Berkelanjutan"

Ketua Penyunting

Prof. Ir. Indratmo Soekarno, M.Sc., Ph.D.
Dr. Raditya Hari Murti, ST, M.Sc, MT
Hinawan Teguh Santoso , S.T., M.T.

Keynote Speaker

Dr. Ir. Hedy Rahadian, M.Sc

Reviewer

Hinawan Teguh Santoso , S.T., M.T.
Eko Kusumo Friatmojo, S.T., M.T.
Daru Jaka Sasangka S.T., M.Eng.
Rikal Andani, S.T., M.Eng.
Febri Fahmi Hakim, S.T., M.T., M.Sc.
Tia Hetwisari, S.T., M.T.
Syamsul Bahri, S.Si., M.T.
Juandra Hartono, S.T., M.Eng.
Pranu Arisanto, S.T., M.T.

Layout & Desain

Yuny Iryanty, A.Md
Ainun Hapsari, S. Hum.

Diterbitkan oleh:

Politeknik Pekerjaan Umum Press
perpustakaan@politeknikpu.ac.id
Jalan Prof. Soedarto, SH. Tembalang
Semarang 50275
Telp/Fax (024) 7472848

ISSN 3024-8345

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang
Dilarang mengutip, memperbanyak dan menerjemahkan sebagian atau
seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis penerbit.

PENGANTAR DIREKTUR POLITEKNIK PEKERJAAN UMUM



Sejak awal berdiri, Politeknik Pekerjaan Umum memiliki visi untuk menjadi perguruan tinggi vokasi yang akan menghasilkan sumber daya manusia bidang pekerjaan umum yang kompeten, profesional, berdaya saing tinggi, dan siap kerja. Dalam usaha menjawab tantangan yang ada saat ini, Politeknik Pekerjaan Umum menyadari bahwa dibutuhkan kreatifitas dan inovasi dalam dunia konstruksi. Sebagai salah satu bidang usaha yang memiliki nilai strategis dalam perekonomian nasional, bidang konstruksi berperan sebagai penyerap tenaga kerja dan pengguna Sumber Daya Alam (SDA) dengan berbagai metode dan teknologi yang kompleks. Teknologi yang digunakan dalam dunia konstruksi merupakan perwujudan inovasi di era industri digital sekarang ini. Tidak hanya perkembangan teknologi, bidang konstruksi juga harus menghasilkan produk yang dapat menjawab kebutuhan masyarakat, pasar dan industri.

Infrastruktur yang menjadi produk di bidang konstruksi seharusnya berkualitas baik, berestetika dan ramah lingkungan. Untuk mencapai tujuan tersebut, tidak cukup hanya membuat inovasi di bidang teknologi konstruksi, dibutuhkan juga pendapat dan opini dari masyarakat serta pelaku dibidang konstruksi lainnya terkait metode dan kendala yang dihadapi saat pelaksanaan di lapangan.

Maka dari itu, Seminar Nasional tahun ini menjadi wadah interaksi untuk para profesional pelaku industri/ jasa konstruksi, para akademisi, dan masyarakat pemerhati konstruksi sebagai aplikasi *quadruple helix* dalam pendidikan vokasi. Diharapkan melalui seminar ini dapat menghasilkan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi yang berakar pada implementasi di dunia nyata dalam bidang konstruksi, serta meningkatkan pengembangan sumber daya manusia di lingkungan Politeknik Pekerjaan Umum.

Direktur Politeknik Pekerjaan Umum

Prof. Ir. Indratmo Soekarno, M.Sc., Ph.D.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang terus mencurahkan rahmat dan karunia-Nya kepada kita semua, serta dengan izin-Nya Seminar Nasional dan Pameran ke -2 Politeknik Pekerjaan Umum dengan tema "Metode dan Teknologi Bidang Konstruksi", dapat terlaksana dengan baik dan Prosiding ini dapat diterbitkan.

Seminar Nasional dan Pameran ke-2 ini diselenggarakan tidak hanya sebagai media diseminasi dan publikasi para akademisi secara luas untuk dapat diakses oleh berbagai kalangan masyarakat, melainkan juga sebagai forum berinteraksi antara akademisi, industri konstruksi, Pemerintah, masyarakat, dan lingkungan sebagai bentuk *Quintuple Helix* pendidikan tinggi. Dengan sub-tema "*Digital Construction* Dalam Rangka Akselerasi Pelaksanaan Konstruksi Berkelanjutan" Seminar Nasional dan Pameran ke-2 ini diharapkan dapat memberikan pengaruh positif dalam perkembangan teknologi dibidang konstruksi. Selain itu, Seminar dan Pameran diharapkan dapat menjadi upaya untuk menghasilkan produk konstruksi yang berkualitas baik, berestetika tinggi dan ramah lingkungan untuk keberlanjutan.

Kami mengucapkan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada para *keynote speakers*, moderator, narasumber, dan khususnya para penulis dan pembahas, yang telah menyumbangkan pemikirannya dalam acara Seminar Nasional dan Pameran Politeknik Pekerjaan Umum yang ke-2 ini. Tidak lupa ucapan terima kasih kepada Panitia dan berbagai pihak yang telah memberikan dukungan bagi terselenggaranya Seminar Nasional dan atas tersusunnya prosiding ini.

Akhir kata, semoga prosiding ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak dan kami menunggu selalu partisipasi dalam penyelenggaraan Seminar Nasional dan Pameran Politeknik Pekerjaan Umum berikutnya.

Semarang, Desember 2022

Penyusun

PROSIDING
Seminar Nasional Metode dan Teknologi Bidang Konstruksi
Politeknik Pekerjaan Umum Tahun 2022

"Digital Construction Dalam Rangka Akselerasi Pelaksanaan Konstruksi Berkelanjutan"

DAFTAR ISI

Susunan Panitia	ii
Lembar Editor	1
PENGANTAR DIREKTUR POLITEKNIK PEKERJAAN UMUM	2
KATA PENGANTAR	3
DAFTAR ISI	4
PENERAPAN DIGITALISASI KONSTRUKSI DALAM INOVASI PEMODELAN STRUKTUR <i>DISSIPATOR ENERGY</i> UNTUK BANGUNAN AIR	5
Muhammad Farizal, Waldemar Victoryno Simamora, Ghaniyyu Rahma Aurora Laksono Raharjo, Didit Puji Riyanto.....	5
PEMANFAATAN CIVIL3D SEBAGAI ALAT BANTU DALAM <i>MONITORING</i> GALIAN TEROWONGAN	195
Tifarah Dayansabila Paramadita	195
ANALISIS STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN TANAH DENGAN MENGGUNAKAN METODE GEOLISTRIK DAN SONDIR (Studi Kasus: Lapangan Gate-Ball, Kampus I Politeknik Pekerjaan Umum, Semarang)	306
Abdurrahman Wafi, Hinawan Teguh Santoso, Daru Jaka Sasangka, Rikal Andani	306
DIGITALISASI MONITORING KONSTRUKSI PADA DAERAH PELOSOK (STUDI KASUS PEMBANGUNAN JALAN AKSES BENDUNGAN AMERORO, KONAWA)	406
Bagus Wisnu, Adityo Budi.....	406
EVALUASI LIKUIFAKSI PASIR SILIKA REMBANG MELALUI UJI TRIAKSIAL <i>CONSOLIDATED UNDRAINED</i> .	45
Rini Kusumawardani, Togani Cahyadi Upomo, dan Untoro Nugroho	45
DESAIN TEMPAT BERLINDUNG DWIFUNGSI : SEBUAH DESAIN UNTUK KONDISI SELAMA DAN PASCA BENCANA	533
Previari Umi Pramesti, Edy Darmawan ,Riza Susanti ,Nafisa Ayu Safina, Sandya Zahrannisa.....	533
IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN TANAH MENGGUNAKAN METODE GEOLISTRIK 2D DAN GEOLISTRIK 1D STUDI KASUS: LAPANGAN PULOJAHE	633
Abdurrahman Wafi, Angga Setiyo Prayogo, Pupung Susilanto	633
DIGITALISASI DATA CPT UNTUK PENGEMBANGAN KOTA (STUDI KASUS KOTA SURAKARTA)	699
Fendi Hary Yanto	699
PERKEMBANGAN IMPLEMENTASI BIM KONSTRUKSI GEDUNG DI INDONESIA BERDASARKAN PERANAN KEMENPUPR, AKADEMISI, BUMN, DAN ASOSIASI PROFESI	77
Fitriana Sarifah.....	77
PERANAN KONSEP <i>BUILDING INFORMATION MODELLING</i> PADA PROYEK STRATEGIS NASIONAL JALAN TOL	93
Nita Anggraini, Dhevi Mulyanda.....	93

PENERAPAN DIGITALISASI KONSTRUKSI DALAM INOVASI PEMODELAN STRUKTUR *DISSIPATOR ENERGY* UNTUK BANGUNAN AIR

The Implementation of Construction Digitization in Innovative Modeling of Energy Dissipator Structures for Waterworks Construction

Muhammad Farizal^{*1}, Waldemar Victoryno Simamora¹, Ghaniyyu Rahma Aurora Laksono Raharjo¹, Didit Puji Riyanto²

¹ Mahasiswa Prodi Teknologi Konstruksi Bangunan Air, Politeknik Pekerjaan Umum, Jl. Prof Soedarto

² Instruktur Prodi Teknologi Konstruksi Bangunan Air, Politeknik Pekerjaan Umum, Jl. Prof Soedarto

*Korespondensi: mfarizal545@gmail.com

ABSTRAK

Peran digitalisasi konstruksi sangat penting dalam Era Industri 4.0. Penggunaan peralatan dan software pemodelan 3-dimensi menjadi hal penting yang dapat digunakan sebagai bahan visualisasi dan analisis untuk meminimalisasi pengaruh negatif pada suatu konstruksi, terutama untuk bangunan air. Permasalahan umum pada bangunan air adalah gerusan lokal yang mengakibatkan keruntuhan struktur bangunan hidraulik. Solusi yang dapat dipertimbangkan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan membuat inovasi desain pemodelan struktur hidraulik Dissipator Energy yang memanfaatkan prinsip digitalisasi konstruksi, yaitu penggambaran 3-dimensi, perwujudan objek fisik model dengan 3D Printing, dan melakukan uji simulasi pengaliran menggunakan skala model. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi literatur dan eksperimen dengan pemodelan saluran terbuka di laboratorium. Metode eksperimen dilakukan dengan komparasi kinerja Dissipator Energy Tipe MDO dengan Tipe PPU-1, untuk mengetahui keefektifan kedua tipe dalam mereduksi gerusan dasar saluran. Berdasarkan hasil analisis beberapa parameter, Dissipator Energy Tipe PPU-1 menghasilkan volume material Polylactic Acid (PLA) lebih kecil daripada Dissipator Energy Tipe MDO, yaitu volume PLA sebesar 2768,34 cm³; menurunkan bilangan Froude dari 2,81 menjadi 2,40; volume kehilangan material dasar saluran berkurang menjadi 10.561,92 cm³ yang sebelumnya 14.843,8 cm³. Dari hasil simulasi tersebut, dapat disimpulkan bahwa penerapan Dissipator Energy Tipe PPU-1 memiliki kinerja lebih efektif dan penerapan digitalisasi konstruksi dapat diaplikasikan dalam pemodelan Dissipator Energy pada skala laboratorium.

Kata kunci: Digitalisasi Konstruksi, Dissipator Energy, 3D Printing, Gerusan Lokal, Polylactic Acid.

ABSTRACT

Digital construction plays an important role in the Industrial Revolution 4.0. The use of devices and 3-D modeling software is very important for object visualization and structure analysis to minimize the negative effect on construction, especially for waterworks construction. The common problem in waterworks construction is local scouring that might be dangerous to the construction. The solution that can be considered to overcome this problem is to innovate the dissipator energy hydraulic structure modeling design based on the principle of digitization of construction, namely 3-dimensional drawing design, object visualization by 3D printing, and the flow simulation model. The research method is based on a literature review and an experimental study in an open-channel laboratory. To determine the effectiveness of reducing bed channel scouring, the experimental method was carried out by comparing the performance of PPU-1 type and MDO type dissipator energy. The parameter result showed the volume of Polylactic Acid (PLA) on the PPU-1 dissipator energy is approximately 2768.34 cm³, which is lower than the MDO Type; the Froude Number was decreased from 2.81 to 2.40; and bed channel material losses were reduced from 14.843 cm³ to 10.561 cm³. Based on the result, it can be concluded that the PPU-1 dissipator energy type has an effective performance, and the digitization of construction can be applied to modeling the dissipator energy on a laboratory scale.

Keywords: Digitization of Construction, Dissipator Energy, 3D Printing, Local Scouring, Polylactic Acid.

PENDAHULUAN

Peran digitalisasi konstruksi sangat penting dalam era industri 4.0. Penggunaan peralatan dan *software* pemodelan 3-dimensi menjadi hal penting yang dapat digunakan sebagai bahan visualisasi dan analisis untuk meminimalisasi pengaruh negatif pada suatu konstruksi, terutama untuk bangunan air. Permasalahan umum pada bangunan air adalah gerusan lokal yang mengakibatkan keruntuhan struktur bangunan hidraulik.

Gerusan adalah fenomena alam yang terjadi akibat erosi aliran air di dasar dan tebing saluran aluvial atau proses menurunnya dasar sungai di bawah elevasi permukaan alami (*datum*) karena interaksi antara aliran dan material dasar sungai (Hoffmans & Verheij, 2017). Gerusan akan semakin bertambah seiring adanya perubahan geometri sungai dan penghalang berupa bangunan air (*hydraulic structure*) yang diikuti gerusan lokal di sekitar bangunan (Legono, 1990).

Perubahan kondisi pengaliran dari superkritis menjadi subkritis menyebabkan loncatan hidraulik (*hydraulic jump*). Peredam energi (*dissipator energy*) dapat menimbulkan loncatan hidraulik untuk mereduksi energi sekaligus mengurangi gerusan lokal. *Dissipator energy* yang umum digunakan adalah yang dilengkapi balok-balok peredam (*baffle blocks*). *Dissipator energy* dinilai kurang efektif karena gerusan lokal masih sering terjadi di hilir tubuh bangunan.

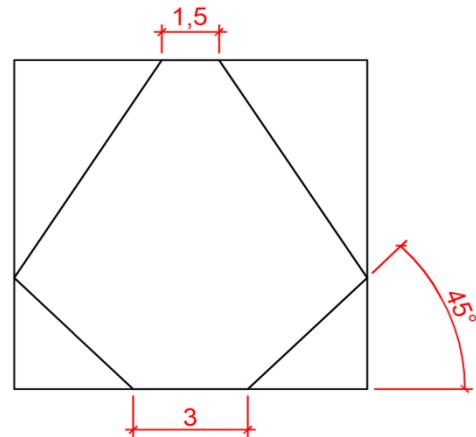
Pada penelitian ini dilakukan studi terhadap model *dissipator energy* Tipe MDO dan pembuatan inovasi struktur *dissipator energy* yang diberi nama Tipe PPU-1. Kedua model ini dibuat dengan memanfaatkan prinsip digitalisasi konstruksi, yaitu visualisasi pemodelan gambar 3-dimensi yang diwujudkan dalam objek *3D printing*. Hasil *printing* 3-dimensi akan digunakan untuk simulasi aliran dengan melakukan analisis kinerja dari kedua tipe *dissipator energy* tersebut dalam mereduksi gerusan dasar saluran. Hasil pola gerusan akan dilakukan visualisasi, baik secara manual dan visualisasi *digital* menggunakan *software* Surfer.

Inovasi *dissipator energy* Tipe PPU-1 didesain sedemikian rupa berdasarkan persamaan :

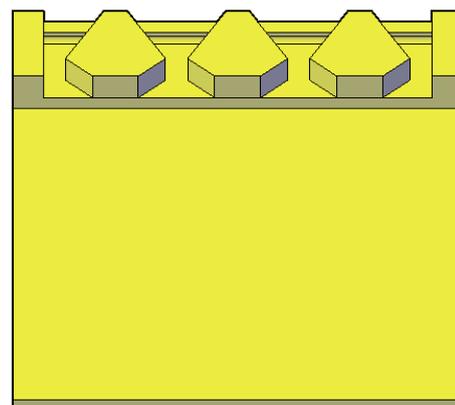
$$v = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots(1)$$

Berdasarkan persamaan tersebut, dengan debit yang sama, untuk menurunkan kecepatan aliran harus memperbesar luas permukaan pada *outlet*

block dissipator energy (Gambar 1). Perubahan bentuk dan dimensi inilah yang menjadi acuan untuk meningkatkan kinerja *dissipator energy* Tipe PPU-1 dalam mereduksi gerusan dasar saluran.



Gambar 1 Sketsa Dissipator Energy Tipe PPU-1



Gambar 2 Pemasangan Dissipator Energy Tipe PPU-1

Perkembangan teknologi *3D Printing* membawa perubahan besar terutama di bidang akademisi dan industri (Attaran, 2017). Objek yang dibuat menggunakan *3D Printing* dapat lebih bervariasi dengan harga yang murah dan lebih efisien karena membutuhkan waktu yang cepat. Pembuatan objek menggunakan *3D Printing* memanfaatkan data CAD yang terlebih dahulu dibuat (Seprianto et al., 2017). Bahan yang diperlukan untuk membuat objek dari *3D Printing* adalah filamen. Bahan dasar filamen pada umumnya adalah *Polylactic Acid* (PLA) dan *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS). *Polylactic Acid* (PLA) terbuat dari pati jagung sehingga ramah lingkungan. *Polylactic Acid* memiliki kelebihan, yaitu plastiknya terbuat dari senyawa seperti kolagen, selulosa, lipid, dan protein yang diambil dari ekstraksi hewan dan tanaman (Manique, 2017).

Surfer adalah perangkat lunak (*software*) pengolah data yang menghasilkan *output* berupa visualisasi peta kontur dan pemodelan 3-dimensi berbasis *grid*. Surfer menyediakan kontrol *gridding* yang lebih luas dengan kemampuannya mengolah data tabular XYZ tak beraturan menjadi bentuk *visual grid* yang beraturan dan dapat disesuaikan (Goldensoftware.com, 2021).

Hasil pengujian menggunakan *tools Grid Data* dan *3D Surface* sebagai *output* dalam analisis gerusan lokal dengan Surfer. *Grid Data* menampilkan kondisi gerusan yang ditunjukkan dalam skala warna dan *3D Surface* menampilkan isometri gerusan yang terjadi sesuai data XYZ yang ada.

Tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memanfaatkan prinsip digitalisasi konstruksi untuk pemodelan struktur bangunan air, khususnya *dissipator energy* dalam skala laboratorium.
2. Pembuatan desain inovasi struktur *dissipator energy*.
3. Visualisasi objek dengan memanfaatkan *3D Printing*.
4. Simulasi aliran untuk menguji efektifitas model *dissipator energy* dalam mereduksi gerusan.
5. Visualisasi digital pola gerusan dasar saluran menggunakan *software* Surfer.

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Apakah prinsip digitalisasi konstruksi dapat diaplikasikan untuk pemodelan struktur bangunan air?
2. Upaya apa yang dapat dilakukan dalam aplikasi digitalisasi konstruksi untuk pemodelan bangunan air?
3. Bagaimana komparasi kinerja *dissipator energy* tipe MDO dan tipe PPU-1 dalam mereduksi pola gerusan?

METODE

Metode yang dilakukan untuk analisis penelitian menggunakan studi literatur dan pembuatan eksperimen (model) dalam skala laboratorium.

Sumber Data

1) Data Primer

Dalam penelitian ini, data diperoleh langsung dari hasil percobaan model *dissipator energy* Tipe MDO dan model *dissipator energy* Tipe PPU-

1 yang dilakukan di Laboratorium Hidrolika Politeknik Pekerjaan Umum.

2) Data Sekunder

Peneliti menggunakan data sekunder berupa pemodelan *dissipator energy* Tipe MDO sebagai faktor pendukung dan pembanding kedalaman pola gerusan dengan *dissipator energy* Tipe PPU-1.

Alat dan Bahan

1) Peralatan Penelitian

Peralatan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain:

1. Model saluran terbuka (*Hydraulic Flume Test*)
2. Saringan agregat halus no. 8 dan no. 16
3. Cetok
4. Sekop
5. *Container*
6. Penggaris
7. *Waterpass*
8. Spidol
9. Selotip
10. Sedotan plastik
11. Gunting dan *cutter*
12. Ember
13. Selang

2) Bahan Penelitian

Bahan penelitian yang digunakan untuk mendapatkan data, antara lain:

1. Model bendung skala 1:30
2. Model *dissipator energy* Tipe MDO dan *dissipator energy* Tipe PPU-1 skala 1:30
3. Pasir
4. Benang
5. Air
6. *Sealant glass*
7. Plastisin

Variabel yang Digunakan

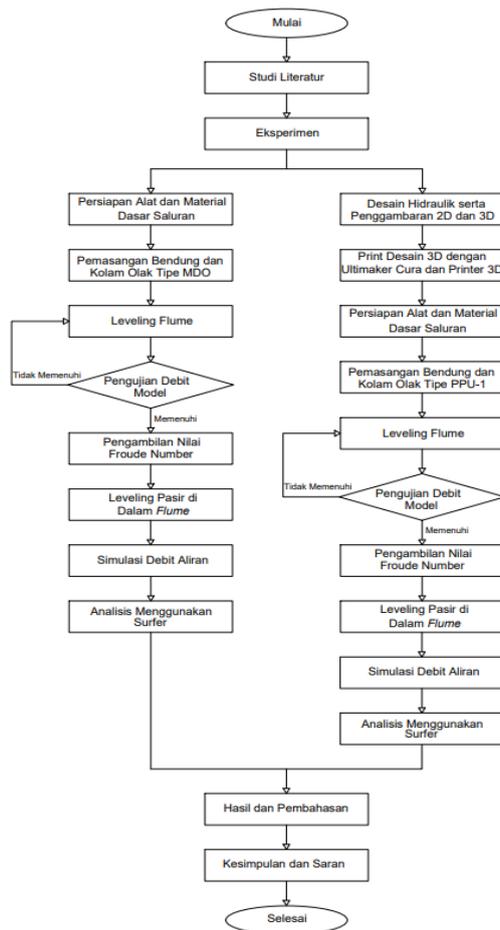
Pengujian model hidraulik pada penelitian dilaksanakan pada model saluran terbuka (*flume*), dengan kajian pada bagian hilir sungai yang mengacu pada rancangan untuk mendapatkan data sebagai bahan kajian.

Variabel yang digunakan adalah:

1. Variabel bebas
 - a. Tinggi muka air (h)
 - b. Waktu (t)
2. Variabel terikat
 - a. Debit (Q)
 - b. Froude (Fr)

Diagram Alir (Flow Chart)

Diagram alir (*flow chart*) adalah sebuah diagram dengan simbol-simbol grafis yang menampilkan langkah-langkah kerja (Gambar 3).



Gambar 3 Diagram Alir Penelitian

Studi literatur

Penelitian ini termasuk jenis penelitian studi literatur dengan mencari referensi teori yang relevan dengan kasus atau permasalahan yang dibahas dalam sebuah penelitian. Referensi teori yang diperoleh dengan jalan penelitian studi literatur dijadikan sebagai fondasi dasar dan alat utama bagi praktek penelitian yang dilakukan oleh peneliti dalam melakukan penelitian.

Eksperimen

Dalam pengambilan data yang digunakan dalam tulisan ini menggunakan metode eksperimen. Adapun faktor-faktor yang akan diteliti dalam

pengambilan data menggunakan metode eksperimen ini adalah bagaimana pengaruh bentuk *dissipator energy* dalam mengurangi gerusan.

A. Dissipator Energy Tipe MDO

Persiapan material dan material dasar saluran

Pembuatan dasar saluran pada penelitian ini menggunakan agregat halus yang telah diayak dengan agregat halus yang lewat saringan no.8 (2,4 mm) dan tertahan ayakan no.16 (1,2 mm) (Gambar 4 dan Gambar 5).



Gambar 4 Saringan Agregat Halus

Dalam proses ini tidak dilakukan penimbangan dan pengeringan terlebih dahulu karena tujuan digunakannya alat ini adalah untuk mencari ukuran butiran yang sesuai dengan skala model. Hasil ayakan digunakan untuk mengisi *flume* yang mengakibatkan jumlah berat yang dibutuhkan belum diketahui sehingga agregat halus yang diayak cukup banyak (Gambar 6). Selain itu, agregat halus juga akan dialiri air sehingga proses pengeringan tidak diperlukan.



Gambar 5 Proses Pengayakan Material Agregat Halus



Gambar 6 Material Agregat Halus yang Sudah Diayak

Pemasangan bendung dan dissipator energy tipe MDO

Sebelum melakukan pengujian, terlebih dahulu dilakukan pemasangan bendung dan *dissipator energy* Tipe MDO pada *flume* (Gambar 7).



Gambar 7 Pemasangan Bendung dan Dissipator Energy Tipe MDO

Pengambilan nilai bilangan froude

Nilai bilangan Froude pada pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan jenis aliran yang terjadi pada *flume*, apakah aliran tersebut termasuk aliran kritis, aliran subkritis atau aliran superkritis. Selain itu, jenis loncatan hidraulik dapat ditentukan berdasarkan nilai bilangan Froude.

Leveling tinggi muka air

Elevasi muka air banjir bendung digambar menggunakan tinta *whiteboard marker*. Garis yang digambar adalah garis muka air banjir dan tinggi muka air rencana dan posisi titik pengamatan pola gerusan yang berada di hilir. Untuk membuat garis yang sejajar menggunakan bantuan selang kemudian dibantu dengan *waterpass* untuk pembuatan garisnya (Gambar 8 dan Gambar 9).



Gambar 8 Membuat Garis dengan bantuan Selang



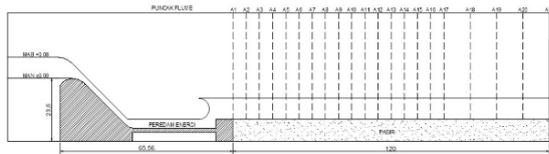
Gambar 9 Membuat Garis dengan bantuan *Waterpass*



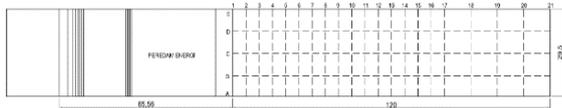
Gambar 10 Elevasi Muka Air Banjir

Titik pengamatan pola gerusan berada di titik 1 hingga 21. Masing-masing angka memiliki lima titik yang apabila dilihat dari arah aliran, terletak dari sisi kiri ke sisi kanan secara berurutan. Titik-titik tersebut kemudian dinamakan 1A, 1B, 1C, 1D, 1E, 2A, ...21C, 21D, 21E dengan total memiliki 105 titik. Rentang jarak antara angka dari titik 1 ke titik 17 adalah 5 cm per titik atau 1,5 meter pada kondisi nyata. Kemudian jarak diperlebar mulai dari angka 18 hingga 21, dengan jarak 18 ke 19 adalah 10 cm atau 3 meter pada kondisi nyata. Jarak yang renggang ini dimaksudkan agar data yang diperoleh dapat mewakili pola gerusan. Total panjang pengamatan pola gerusan adalah 120 cm atau 36

m pada kondisi nyata (Gambar 11 dan Gambar 12).



Gambar 11 Penampang *Flume*



Gambar 12 Tampak Atas *Flume*

Pengujian debit model

Setelah selesai melakukan *leveling flume*, selanjutnya adalah pengujian debit model. Pengujian dilakukan sebanyak empat kali dengan tinggi muka air banjir +2cm, +4cm, +6cm, dan +8cm. Kemudian dilakukan perhitungan debit model yang disesuaikan dengan debit *prototipe* menggunakan skala 1:30.

Leveling dasar saluran flume

Agregat halus yang telah diayak dan dicampur mula-mula disimpan dalam kontainer, diambil, dan dimasukkan ke dalam *flume*. Agregat halus campuran dimasukkan hingga mencapai elevasi dasar saluran, yakni $\pm 0,00$ (Gambar 13).



Gambar 13 Memasukkan Agregat Halus ke *Flume*

Proses selanjutnya adalah meratakan permukaan agregat halus agar elevasinya sesuai rencana. Alat yang digunakan adalah cetok. Bagian yang memiliki agregat halus di atas garis rencana harus dikurangi atau ditekan menggunakan cetok (Gambar 14). Sementara itu, bagian yang memiliki agregat halus di bawah garis rencana harus ditambah agregat halus. Pengerjaan ini dilakukan dengan hati-hati karena cukup sulit untuk membuat permukaan agregat halus sama rata.



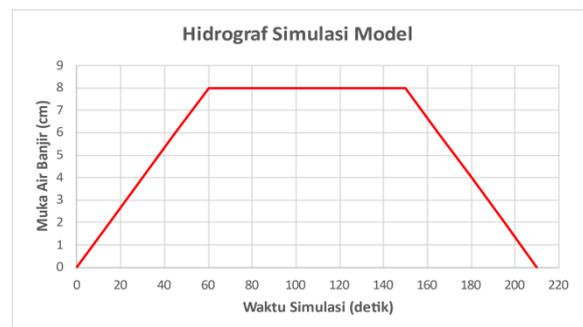
Gambar 14 Meratakan Agregat Halus

Simulasi debit aliran

Setelah model dan material telah terpasang, tahap selanjutnya adalah melakukan simulasi debit aliran. Aliran air disimulasikan melalui beberapa tahap ketinggian muka air, yaitu TMA +8.00 dengan waktu konstan selama 3,5 menit (Gambar 15 dan Gambar 16).



Gambar 15 Simulasi Bendung dan Dissipator Energy Tipe MDO



Gambar 16 Grafik Hidrograf Simulasi Model

Langkah awalnya adalah menyalakan pompa air, kemudian klep dibuka hingga tinggi air mencapai mercu pelimpah. Setelah itu dibuka perlahan hingga kondisi TMA rencana, yakni +8.00 (debit $60 \text{ m}^3/\text{s}$). Ketinggian air pada elevasi tersebut dipertahankan selama 3 menit agar pola gerusan pada hilir dapat terbentuk. Setelah selesai dan klep ditutup, dilakukan pengukuran kedalaman gerusan.

Pengukuran kedalaman gerusan dilakukan setiap simulasi debit aliran selesai dan air sudah mulai surut. Pengukuran dimulai dari titik 1E yang berada pada sebelah kanan aliran, dilanjutkan titik 1D, 1C, 1B, 1A. Titik 1E yang berada di ujung diukur terlebih dahulu karena pengukuran relatif lebih mudah dilakukan. Setelah itu pengukuran pada titik 1D, 1C, 1B, 1A baru dilakukan. Pada pengukuran titik menggunakan *waterpass* yang dilengkapi penggaris dan di ujung penggaris ditambah sedotan sepanjang 5 cm yang dimasukkan dari atas flume menuju dasar saluran. Pengukuran dilakukan secara berulang hingga mencapai 105 titik atau titik terakhir, yaitu titik 21A (Gambar 17).



Gambar 17 Pengukuran Kedalaman Gerusan

Pengukuran dilakukan secara hati-hati pada seluruh titik yang ada. Setelah kedalaman gerusan diketahui, data dicatat ke dalam tabel yang sudah disediakan. Setelah pengukuran selesai, dilanjutkan dengan pembuatan pola gerusan dengan menggunakan benang (Gambar 18).



Gambar 18 Pembuatan Pola Gerusan dengan Benang

Analisis data menggunakan surfer

Surfer merupakan salah satu perangkat lunak produk Golden Software, Inc. untuk pembuatan peta kontur dan pemodelan 3-dimensi yang didasarkan atas *grid*. Sebuah *software* yang canggih interpolasi sebuah pemodelan yang mengubah data XYZ ke publikasi-peta berkualitas. Surfer akan menampilkan *grid* sebagai peta kontur, peta 3D, *wireframe* 3D, vektor, gambar, relief berbayang, dan peta pos.

Dalam pengerjaan penelitian ini digunakan data *Microsoft Excel* dari gerusan yang telah diamati untuk dimasukkan ke *Surfer* sebagai koordinat kontur yang akan digunakan. Kemudian melalui *surface plot* yang merupakan lembar kerja yang digunakan untuk membuat peta atau *file grid* akan muncul kontur 3D dari data *Microsoft Excel* yang telah dihitung.

B. Dissipator Energy Tipe PPU-1

Pengujian *dissipator energy* Tipe PPU-1 sebenarnya hampir sama dengan pengujian *dissipator energy* Tipe MDO. Perbedaannya pada *dissipator energy* tipe PPU-1 peneliti melakukan desain hidraulik serta pemodelan 3D dan melakukan pengujian, sedangkan pada *dissipator energy* tipe MDO peneliti hanya melakukan pengujian saja karena model 3D *dissipator energy* tipe MDO telah dibuat untuk penelitian terdahulu oleh (Riyanto et al., 2021) berjudul "*Local Scouring Protection Base on Innovation of Scrap Tires Woven: Fixed Weir Modeling Scale*".

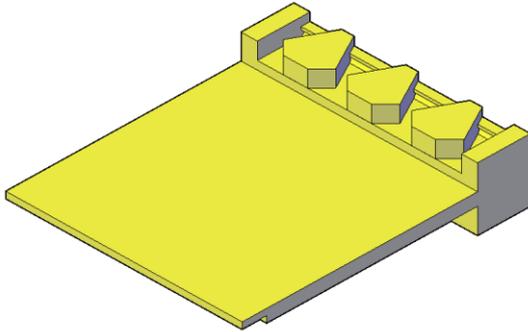
Tabel 1 Rekapitulasi Skala Model pada Mercu

Nama	Prototipe	nL	Model
	(L_p) (cm)		(L_m) (cm)
Lebar Bendung	900	30	30
Tinggi Mercu	300	30	10
Radius Mercu	200	30	6,67
Lantai Hilir	1000	30	33,33
Tinggi End Sill	100	30	3,33
Lebar End Sill	200	30	6,67

Sumber: (Riyanto et al., 2021)

Digitalisasi konstruksi dengan penggambaran 2D dan 3D

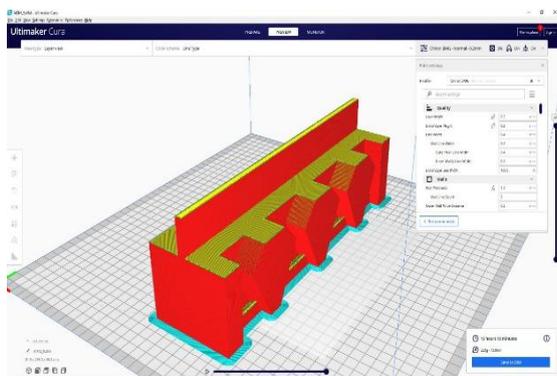
Pembuatan desain hidraulik serta penggambaran 2D dan 3D didasarkan pada ukuran *dissipator energy* Tipe MDO. Perbedaan pada inovasi yang diberikan berupa perubahan bentuk dari *dissipator energy* MDO menjadi *dissipator energy* Tipe PPU-1 dengan menggunakan *baffle block* Tipe PPU-1 (Gambar 19).



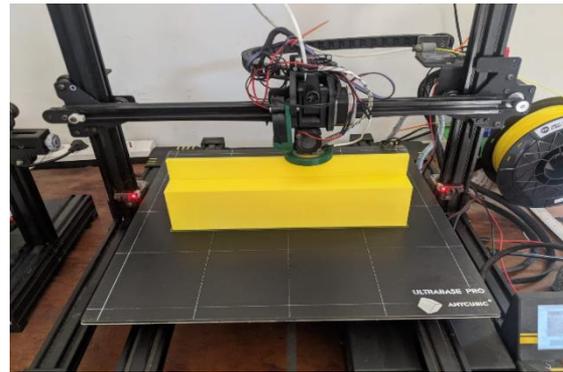
Gambar 19 Penggambaran 3D Dissipator Energy Tipe PPU-1

Visualisasi objek desain 3D dengan ultimaker cura dan printer 3D

Sebelum melakukan 3D *printing*, terlebih dahulu melakukan kalibrasi gambar 3D pada *software* Ultimaker Cura (Gambar 20). Setelah itu, melakukan 3D *printing* (Gambar 21).



Gambar 20 Kalibrasi Model 3D pada Ultimaker Cura



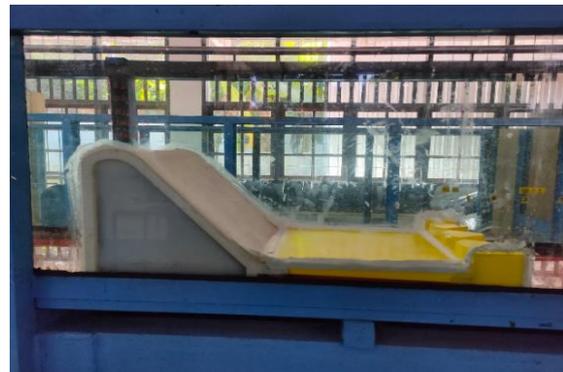
Gambar 21 Proses Printing 3D Dissipator Energy Tipe PPU-1

Persiapan material dan material dasar saluran

Pada tahap ini, prosesnya sama seperti Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6 yang ada pada penjelasan pengujian *dissipator energy* Tipe MDO.

Pemasangan bendung dan dissipator energy tipe PPU-1

Sebelum melakukan pengujian, terlebih dahulu dilakukan pemasangan bendung dan *dissipator energy* Tipe PPU-1 pada *flume* (Gambar 22).



Gambar 22 Pemasangan Bendung dan Dissipator Energy Tipe PPU-1

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada pembuatan model *dissipator energy*, material yang digunakan adalah *Polylactic Acid*. Dilakukan perbandingan penggunaan volume PLA pada kedua tipe *dissipator energy* (Tabel 2). Berdasarkan hasil analisis, volume *dissipator energy* Tipe PPU-1 lebih kecil dibandingkan dengan volume *dissipator energy* Tipe MDO.

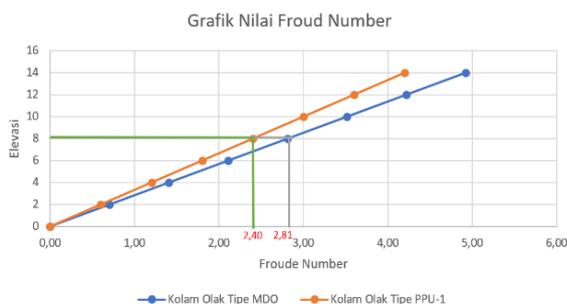
Tabel 2 Volume Polylactic Acid

Tipe Dissipator Energy	Volume Polyalactic Acid (cm ³)
MDO	2.842,20
PPU-1	2.768,34

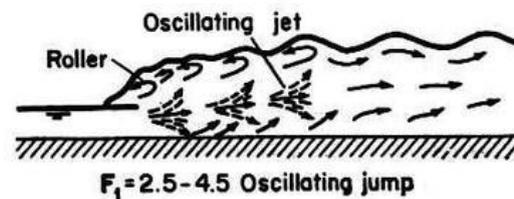
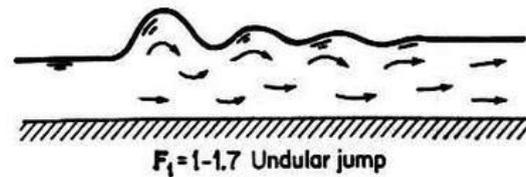
Sumber: Hasil Pengujian, 2022

Analisis Nilai Froude Number (Fr)

Sebelum melakukan pengukuran gerusan, terlebih dahulu melakukan pengukuran nilai bilangan Froude untuk menentukan apakah jenis aliran pada flume termasuk aliran kritis, aliran subkritis atau aliran superkritis. Setelah selesai melakukan pengambilan data nilai bilangan Froude, nilai bilangan Froude dengan tinggi muka banjir +8cm untuk pengujian *dissipator energy* Tipe MDO adalah 2,81, sedangkan untuk pengujian *dissipator energy* Tipe PPU-1 adalah 2,40 (Gambar 23) dimana nilai bilangan Froude pada *dissipator energy* Tipe PPU-1 lebih kecil yang menyebabkan aliran air atau kecepatan air lebih kecil sehingga menyebabkan gerusan lebih kecil daripada *dissipator energy* Tipe MDO. Berdasarkan hasil pengujian, *dissipator energy* Tipe PPU-1 memiliki jenis loncatan lemah (*weak jump*), sedangkan *dissipator energy* Tipe MDO memiliki jenis loncatan berisolasi (*oscillating jump*) (Gambar 24).



Gambar 23 Grafik Nilai Bilangan Froude

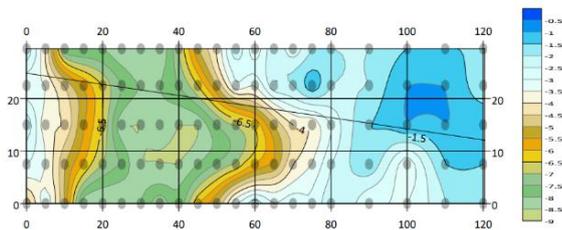


Gambar 24 Jenis Loncatan Air Berdasarkan Bilangan Froude
Sumber: (Chow, 1959)

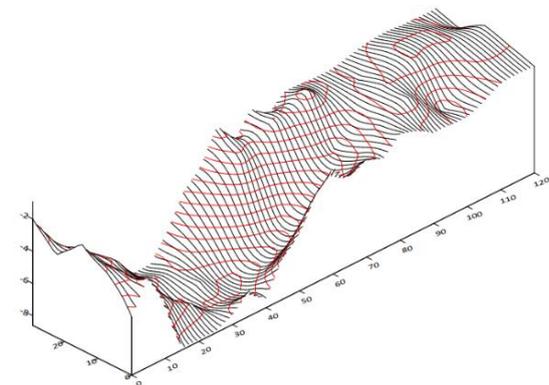
Pengukuran kedalaman gerusan dilakukan setelah *running* dengan ketinggian muka air banjir +8 cm atau $60 \text{ m}^3/\text{s}$ dalam skala lapangan selesai. Tiap pengujian *dissipator energy* dilakukan sebanyak 2 (dua) kali, dimana setelah selesai pengujian tahap pertama dilanjutkan dengan pengujian tahap kedua dengan debit atau tinggi muka air banjir yang sama serta *leveling* pasir pada *flume* yang sama pada pengujian sebelumnya. Langkah selanjutnya adalah pengolahan data menggunakan *software* Surfer *trial version*.

A. Visualisasi Digital Pola Gerusan Dissipator Energy Tipe MDO

1. Uji ke-1



Gambar 25 Denah Permukaan Dasar Saluran Dissipator Energy Tipe MDO Uji ke-1

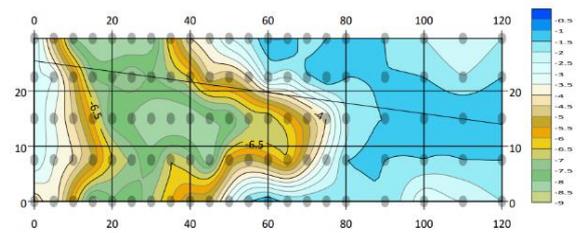


Gambar 26 Isometri Permukaan Dasar Saluran Dissipator Energy Tipe MDO Uji ke-1

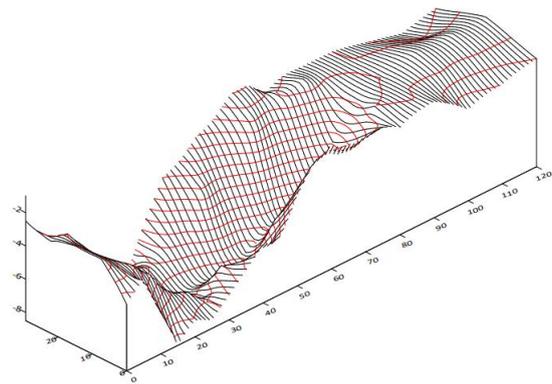


Gambar 27 Kontur Dissipator Energy Tipe MDO Uji ke-1

2. Uji ke-2



Gambar 28 Denah Permukaan Dasar Saluran Dissipator Energy Tipe MDO Uji ke-2



Gambar 29 Isometri Permukaan Dasar Saluran Dissipator Energy Tipe MDO Uji ke-2

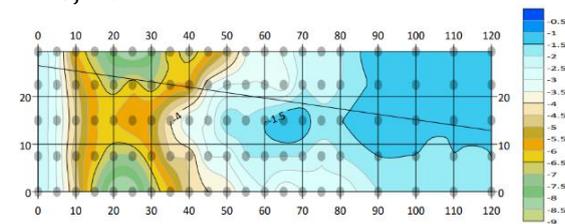


Gambar 30 Kontur Dissipator Energy Tipe MDO Uji ke-2

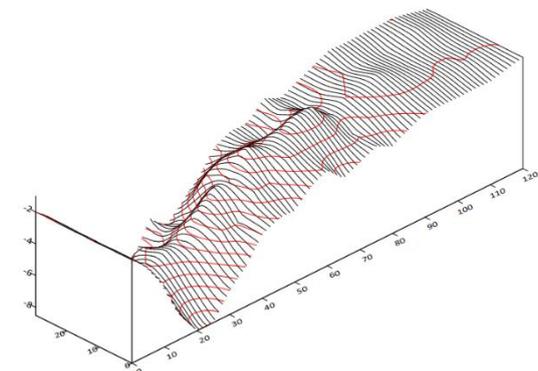
Berdasarkan hasil pengujian *dissipator energy* Tipe MDO, gerusan banyak terjadi pada bagian *slope* dan dasar saluran paling hilir. Variasi kedalaman gerusan dimana bentuk permukaan saluran semakin landai dan tergerus akan berwarna hijau dan kuning (Gambar 25 dan Gambar 28). Gerusan mulai terjadi pada hilir dekat *dissipator energy* kemudian melebar ke arah hilir sepanjang aliran sampai dengan jarak tertentu (Gambar 26 dan Gambar 27) pada uji 1 serta (Gambar 29 dan Gambar 30) pada uji 2.

B. Visualisasi Digital Pola Gerusan Dissipator Energy Tipe PPU-1

1. Uji ke 1



Gambar 31 Denah Permukaan Dasar Saluran Dissipator energy Tipe PPU-1 Uji ke-1

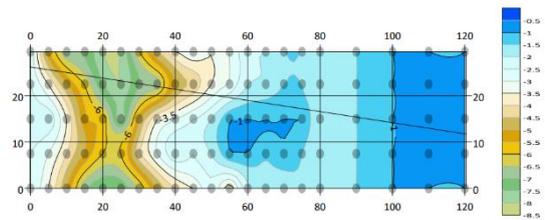


Gambar 32 Isometri Permukaan Dasar Saluran Dissipator Energy Tipe PPU-1 Uji ke-1

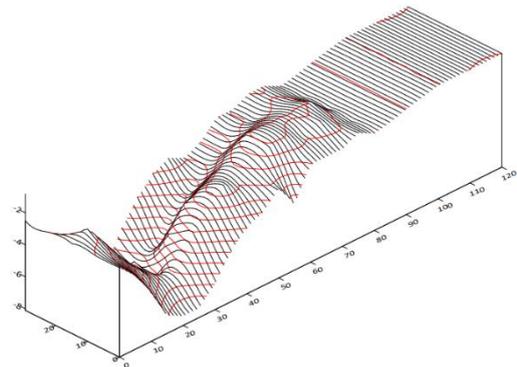


Gambar 33 Kontur Dissipator Energy Tipe PPU-1 Uji ke-1

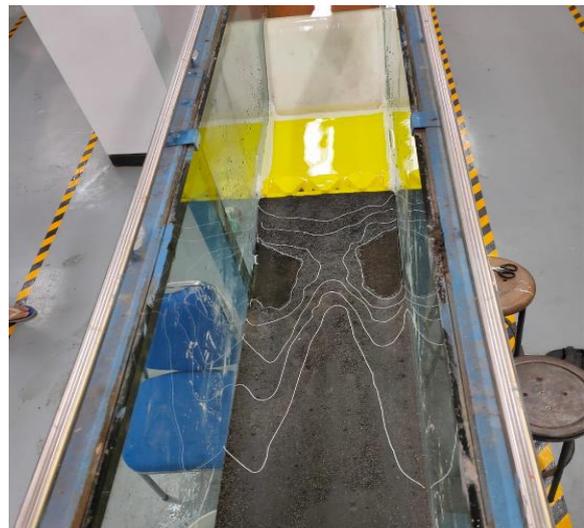
2. Uji ke-2



Gambar 34 Denah Permukaan Dasar Saluran Dissipator Energy Tipe PPU-1 Uji ke-2



Gambar 35 Isometri Permukaan Dasar Saluran Dissipator Energy Tipe PPU-1 Uji ke-2



Gambar 36 Kontur Dissipator Energy Tipe PPU-1 Uji ke-2

Pada pengujian *dissipator energy* tipe PPU-1, gerusan terjadi pada bagian *slope*. Variasi kedalaman gerusan dimana bentuk permukaan saluran semakin landai dan tergerus akan berwarna hijau dan kuning (Gambar 31 dan Gambar 34). Gerusan mulai terjadi pada hilir dekat *dissipator energy*, kemudian melebar ke arah hilir sepanjang aliran sampai dengan jarak tertentu (Gambar 32 dan Gambar 33) pada uji 1 serta (Gambar 35 dan Gambar 36) pada uji 2.

Berdasarkan hasil eksperimen *running* debit tersebut, kedalaman dan panjang gerusan yang terjadi pada masing-masing *dissipator energy* tiap pengujian (Tabel 3). Kedalaman gerusan pada *dissipator energy* Tipe MDO lebih besar dibandingkan kedalaman gerusan pada *dissipator energy* Tipe PPU-1. Sama halnya dengan panjang gerusannya, dimana gerusan *dissipator energy* Tipe MDO lebih panjang dibandingkan gerusan *dissipator energy* Tipe PPU-1. Berdasarkan analisis parameter kedalaman dan panjang gerusan, dapat diketahui bahwa pada *dissipator energy* Tipe PPU-1 dapat mengurangi kedalaman gerusan dari -8,5 cm menjadi -8,25 cm dan *dissipator energy* Tipe PPU-1 dapat memperpendek gerusan dari 100 cm menjadi 60 cm.

Tabel 3 Kedalaman dan Panjang Gerusan

Tipe <i>Dissipator Energy</i>	Pengujian ke-	Kedalaman Gerusan (cm)	Panjang Gerusan (cm)
MDO	1	-8.5	100
MDO	2	-8.5	100
Rerata MDO		-8.5	100
PPU-1	1	-8.5	65
PPU-1	2	-8	55
Rerata PPU-1		-8.25	60

Sumber: Hasil Pengujian, 2022

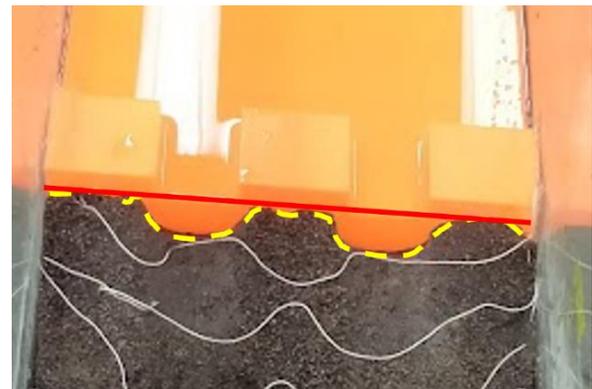
Berdasarkan kedalaman dan panjang gerusan, perbedaan kehilangan volume yang terjadi saat pengujian. Pengujian *dissipator energy* Tipe MDO mengalami persentase kehilangan volume sebesar 52,91% untuk pengujian 1 dan 49,48% untuk pengujian 2, sedangkan pengujian *dissipator energy* Tipe PPU-1 persentase kehilangan volume sebesar 38,74% untuk pengujian 1 dan 34,12% untuk pengujian 2 (Tabel 4). Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan *dissipator energy* Tipe PPU-1 lebih efektif digunakan dalam mengurangi gerusan dibandingkan dengan *dissipator energy* Tipe MDO.

Tabel 4 Kehilangan Volume

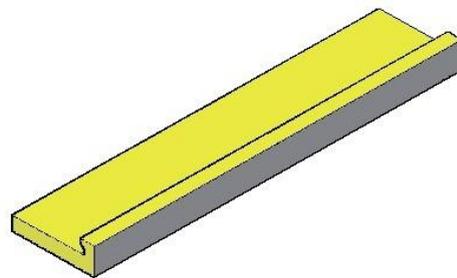
Tipe <i>Dissipator Energy</i>	Pengujian ke-	Volume Awal (cm ³)	Volume Hilang (cm ³)	Persentase Kehilangan (%)
MDO	1	28.992,60	15.340,6	52,91
MDO	2	28.992,60	14.347	49,48
PPU-1	1	28.992,60	11.230,4	38,74
PPU-1	2	28.992,60	9.893,44	34,12

Sumber: Hasil Pengujian, 2022

Sebelum adanya *dissipator energy* Tipe PPU-1, peneliti mengamati telah terjadi gerusan di *endsill* bendung (Gambar 37). Oleh karena itu, diberikan inovasi pada bagian *endsill* bangunan hidrolis untuk meminimalisir terjadinya gerusan dan meningkatkan loncatan air (Gambar 38). Dengan adanya inovasi tersebut, terbukti dapat mencegah adanya gerusan pada *endsill* bendung tersebut (Gambar 39).



Gambar 37 Terjadi Gerusan di Ujung Hilir Dissipator Energy Tipe MDO



Gambar 38 Inovasi Logo PU di Ujung Hilir Dissipator Energy



Gambar 39 Tidak Terjadi Gerusan di Ujung Hilir Dissipator Energy

Dalam konsep digitalisasi konstruksi, penggunaan 3D *printing* dengan PLA untuk pemodelan sangat efisien digunakan karena proses pembuatannya mudah dan memiliki akurasi yang tinggi. Berdasarkan perbandingan volume material PLA, *dissipator energy* Tipe PPU-1 memiliki volume PLA lebih sedikit dibanding *dissipator energy* Tipe MDO sehingga lebih efisien dalam penggunaan material. Meskipun demikian, *dissipator energy* Tipe PPU-1 dapat mereduksi gerusan lebih baik dibandingkan *dissipator energy* Tipe MDO. Dengan kata lain, *dissipator energy* Tipe PPU-1 memiliki keunggulan yang dapat dijadikan rekomendasi untuk pengurangan gerusan pada hilir bangunan hidrolis.

KESIMPULAN

Hasil dari pengujian untuk penelitian "Penerapan Digitalisasi Konstruksi dalam Inovasi Pemodelan Struktur *Dissipator Energy* untuk Bangunan Air" mendapatkan simpulan sebagai berikut:

1. Penerapan digitalisasi konstruksi dapat diaplikasikan untuk pemodelan struktur bangunan air dalam skala laboratorium, yaitu dengan cara penggunaan *software* AutoCAD dan Ultimaker Cura dalam pemodelan gambar 3D *dissipator energy*, penggunaan printer 3D dalam proses visualisasi model dan penggunaan *software* Surfer dalam visualisasi pola gerusan dasar saluran.
2. Volume PLA yang digunakan pada proses pembuatan model dengan 3D *printing* pada *dissipator energy* Tipe PPU-1 lebih kecil yaitu sebesar 2.768,34 cm³ dibandingkan dengan volume *dissipator energy* Tipe MDO yaitu sebesar 2.842,20 cm³ sehingga *dissipator energy* Tipe PPU-1 memberikan efisiensi terhadap material PLA yang digunakan.

3. Nilai Fr (bilangan *Froude*) pada *dissipator energy* Tipe PPU-1 mampu mengurangi nilai Fr dari 2,81 menjadi 2,40 sehingga dapat menurunkan kecepatan aliran guna mereduksi gerusan.
4. Panjang dan kedalaman gerusan pada *dissipator energy* Tipe PPU-1 lebih kecil dibandingkan dengan *dissipator energy* Tipe MDO sehingga *dissipator energy* Tipe PPU-1 lebih efektif mengurangi gerusan di hilir bangunan hidrolis.
5. Kehilangan volume gerusan pada *dissipator energy* Tipe PPU-1 lebih kecil dengan rata-rata sebesar 10.561,92 cm³ dibandingkan dengan *dissipator energy* Tipe MDO dengan rata-rata sebesar 14.843,8 cm³ sehingga *dissipator energy* Tipe PPU-1 mampu mereduksi gerusan.

REKOMENDASI

Rekomendasi untuk pengembangan penelitian selanjutnya antara lain sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penyempurnaan desain *dissipator energy* Tipe PPU-1 untuk mengurangi gerusan di tepi hilir bangunan.
2. Berdasarkan hasil analisis kedalaman gerusan yang dihasilkan maka pembangunan bangunan penguat tepi sungai harus direncanakan memiliki pondasi lebih dalam daripada kedalaman maksimal gerusan pada pengaplikasian di lapangan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Tuhan Yang Maha Esa atas pertolongan-Nya penulis dapat menyelesaikan karya tulis ini, beserta :

1. Bapak Prof. Ir. Indratmo Soekarno, M.Sc, PhD selaku Direktur Politeknik Pekerjaan Umum;
2. Bapak Suhardi, S.T., MPSDA selaku Kepala Program Studi Teknologi Konstruksi Bangunan Air;
3. Bapak Didit Puji Riyanto, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing;
4. Bapak Edi selaku teknisi laboratorium
5. Rekan-rekan mahasiswa Teknologi Konstruksi Bangunan Air.

DAFTAR PUSTAKA

- Attaran, M. (2017). The Rise of 3-D Printing: The Advantages of Additive Manufacturing Over Traditional Manufacturing. *BUSSINER HORIZON*, 677-788.
- Chow, V. te. (1959). *Open-Channel Hydraulics*. McGraw-Hill Book Company.
- Goldensoftware.com. (2021). *Surfer*. <https://www.goldensoftware.com/products/surfer>
- Hoffmans, G. J. C. M., & Verheij, H. J. (2017). *Scour Manual*. Routledge. <https://doi.org/10.1201/9780203740132>
- Legono, J. (1990). Gerusan Lokal. *Teknik Sipil Dan Perencanaan Universitas Gajah Mada*.
- Manique, S. (2017). *Apa Sih itu Plastik Biodegradable*. <https://www.ruparupa.com/blog/apasih-plastikbiodegradable>
- Riyanto, D. P., Suhardi, Prasetyo, W., Arisanto, P., & Sasangka, D. J. (2021). Local Scouring Protection Base on Innovation of Scrap Tires Woven: Fixed Weir Modeling Scale. *7th International Seminar of HATHI*.
- Seprianto, D., Wilza, R., & Iskandar. (2017). Optimasi Parameter pada Proses Pembuatan Objek 3D Printing dengan Teknologi FDM terhadap Akurasi Geometri. *Seminar Nasional Teknik Industri UGM*.

PEMANFAATAN CIVIL3D SEBAGAI ALAT BANTU DALAM MONITORING GALIAN TEROWONGAN

Civil3D Utilization as Supporting Tool in Tunnel Excavation Monitoring

Tifarah Dayansabila Paramadita*¹

¹BBWS Pemali Juana, Jl. Brigjend S. Soediartha 375 Semarang, Jawa Tengah

*Korespondensi: tifarahparamadita18@gmail.com

ABSTRAK

Konstruksi terowongan pengelak merupakan bangunan pelengkap bendungan yang berfungsi untuk membelokkan aliran sungai sehingga area bendungan utama dapat dikerjakan. Pekerjaan galian terowongan pengelak dapat dilaksanakan sekaligus secara dua arah melalui sisi inlet dan outlet hingga mencapai breakthrough dengan mengacu pada koordinat as terowongan. Kesalahan pengukuran berakibat fatal apabila mengakibatkan penyimpangan galian terowongan terhadap rencana. Monitoring koordinat as galian terowongan dilakukan sebagai upaya pengendalian pekerjaan agar sesuai dengan gambar rencana. Dengan memanfaatkan metode Building Information Modeling melalui Civil3D maka eksisting Original Ground Line terpantau dengan jelas. Dalam penelitian monitoring as galian terowongan Bendungan Bener dilakukan pengukuran di lapangan menggunakan alat Total Station tipe Topcon GM-50 Series yang dimulai dari STA 0+915 hingga STA 0+930. Sistem koordinat menggunakan UTM 49s berbasis WGS84 sebagai referensi terestrial dan datum geodetik. Output berupa data point berekstensi xls yang kemudian diolah menggunakan Civil3D. Tahapan pengolahan data dimulai dari import point, create surface, create alignment, create sections, dan multiple section view untuk menampilkan penampang melintang galian terowongan dari surface yang telah dibuat. Metode pengolahan data pengukuran dengan Civil3D tersebut berkontribusi memberikan gambaran penampang aktual galian terowongan di lapangan dengan cepat dan akurat untuk alur kerja yang lebih terintegrasi. Penerapan metode ini menghasilkan efisiensi waktu dan biaya pelaksanaan konstruksi dengan kualitas yang terpantau secara real time.

Kata kunci: Galian terowongan, monitoring, pengukuran, Civil3D.

ABSTRACT

Diversion tunnel is a dam complementary building to divert river flow so that the main dam can be worked on. Diversion tunnel excavation can be carried out simultaneously in two directions through the inlet and outlet sides until it reaches breakthrough with tunnel axis coordinates reference. Measurement fatal error occurs when the result creates deviation against the tunnel excavation plan. Monitoring the coordinates of the tunnel excavation axis is carried out to control the work method with the drawing plan. By utilizing the Building Information Modeling method through Civil3D, the existing Original Ground Line is clearly monitored. In the monitoring research of the Bener Dam tunnel excavation, measurements were carried out using the Topcon GM-50 Series Total Station tool which starts from STA 0+915 to STA 0+930. The coordinate system uses WGS84-based UTM 49s as a terrestrial reference and geodetic datum. The output is xls extension data points which are then processed using Civil3D. The data processing stage starts from import points, create surfaces, create alignments, create sections, and multiple section views to display the cross section of the tunnel excavation from the surface that has been created. Processing measurement data method with Civil3D is able to provide an actual cross-section of tunnel excavations quickly and accurately for a more integrated workflow. The result of this construction method is time and cost efficiency with real time monitored quality control.

Keywords: Tunnel excavation, monitoring, measurement, Civil3D.

PENDAHULUAN

Digital construction tengah gencar digalakkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) dalam rangka menuntaskan target pembangunan infrastruktur yang tertuang dalam Nawacita Presiden Republik Indonesia. Tahapan utama implementasi BIM di Kementerian PUPR meliputi adopsi, digitalisasi, kolaborasi, dan integrasi (Kementerian PUPR, 2018). Metodologi BIM memungkinkan seluruh informasi proyek (spesifikasi, kuantitas, harga, tahapan, dan lain-lain) terintegrasi sehingga manajemen aset infrastruktur berjalan optimal (Permen PUPR No. 22, 2018).

Civil3D merupakan perangkat lunak desain 3D sipil dengan lingkungan berbasis model yang dikembangkan oleh Autodesk, Inc. Civil3D v2022 termasuk salah satu perangkat lunak dalam teknologi BIM sebagai alat untuk otomatisasi, analisis, dan optimisasi desain yang berfungsi untuk mempercepat efisiensi desain sipil (autodesk.com, 2022). Aplikasi ini dapat memproses data ukur yang dihasilkan dari pengukuran di lapangan lalu diolah menjadi *construction drawing*. Gambar yang dihasilkan memberikan pandangan *real time* dan menyeluruh dan dapat ditampilkan sesuai dengan kebutuhan, seperti penampang melintang, penampang memanjang, volume galian dan timbunan, kontur, alinyemen, dan lainnya (BPSDM PUPR, 2017b). Gambaran *real time* memungkinkan penyedia jasa dapat membuat keputusan berdasarkan data yang tersedia dalam waktu yang bersamaan saat pekerjaan sedang berlangsung di lapangan sehingga akselerasi pekerjaan dapat diwujudkan.

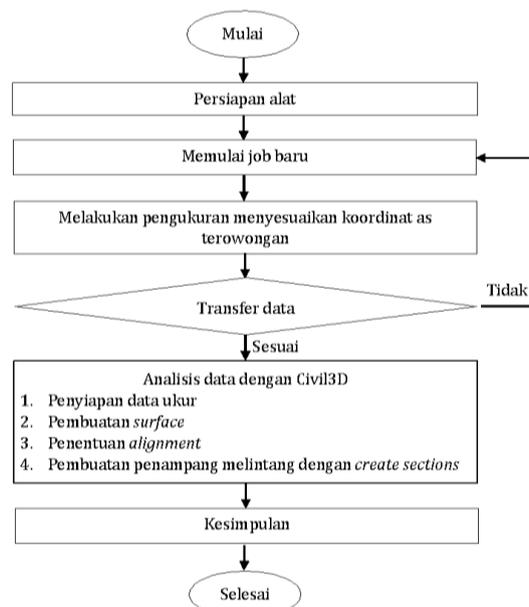
Triangulasi (pengukuran) adalah proses penentuan lokasi dengan mengukur sudut dalam segitiga yang terbentuk menggunakan metode trigonometri. Metode ini umum dilakukan pada area yang luas dari sejumlah titik dengan menyediakan kontrol horizontal (Jack B Evett, 2003). Masukan data (*input*) diperoleh dari pengukuran situasi yang dikerjakan tim surveyor. Pengukuran situasi berfungsi untuk mendapatkan data pengukuran keadaan rupa bumi secara detail guna kepentingan pembuatan peta topografi maupun peta teknis untuk proyek tertentu (BPSDM PUPR, 2017a).

Sedangkan total station merupakan alat optis/elektronik yang memiliki integrasi dengan *electronic distance meter* (EDM) guna

membaca jarak maupun kemiringan dari alat ke titik tertentu, mengukur sudut, menentukan arah dan koordinat, serta mengukur perbedaan ketinggian yang dikumpulkan dalam memori penyimpanan *internal* kemudian dilakukan komputasi lebih lanjut (Kavanagh B F & Glenn Bird S J, 1996).

METODE

Metode penelitian yang digunakan yaitu metode kualitatif dengan data primer. Obyek dalam penelitian ini menggunakan sampel berupa data ukur galian terowongan Pembangunan Bendungan Bener dengan alat Total Station tipe Topcon Series GM-50. Sistem koordinat menggunakan UTM 49s berbasis WGS84 sebagai referensi terestrial dan datum geodetik. Diagram alir penelitian secara runtut dijelaskan pada Gambar 1.

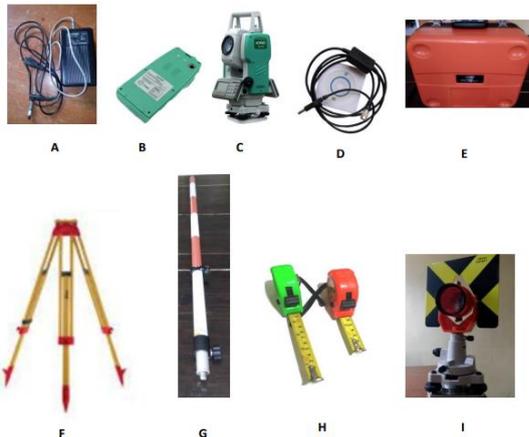


Gambar 1 Diagram Alir Penelitian
Sumber: Analisa penulis

Persiapan Alat

Persiapan alat total station dimulai dari memenuhi perlengkapan seperti tripod (statif), prisma, *stick pole prism* (tongkat prisma), dan rol meter. Tripod berfungsi sebagai tempat berdirinya total station selama pengukuran berlangsung. Syarat mendirikan tripod antara lain harus memiliki panjang kaki yang disesuaikan dengan tinggi badan *surveyor*, kepala tripod berada pada posisi level/datar, serta tepat berdiri di atas *center point*. Prisma merupakan target bidikan berupa kaca cekung yang memiliki garis silang sebagai tanda bidik yang berfungsi memantulkan laser alat dari total

station. *Stick pole prisma* adalah alat bantu prisma berupa logam berwarna merah putih dengan tinggi 2 m yang dilengkapi ukuran dan nivo. Rol meter digunakan untuk menghitung tinggi alat total station maupun tinggi prisma (Ispen Safrel et al., 2020). Dokumentasi alat ditunjukkan pada Gambar 2 dengan (A) *charger port* total station, (B) baterai, (C) total station, (D) kabel *transfer data*, (E) *casing* alat, (F) tripod, (G) *stick pole prism*, (H) rol meter, (I) prisma.



Gambar 2 Dokumentasi Alat
Sumber: Ispen Safrel et al., 2020

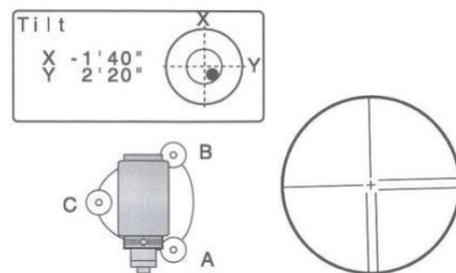
Setting alat dimulai dari meletakkan total station pada kepala tripod yang telah dikunci dengan *centering screw* dan dilengkapi baterai. *Optical plummet* difokuskan pada titik pengukuran (*survey point*) agar memudahkan *centering*. *Leveling* alat dilakukan dengan mengatur kaki tripod ke tengah *survey point* selagi mengarahkan gelembung nivo agar mendekati tengah lingkaran. Penyetelan *centering* nivo secara halus dilakukan dengan memutar ketiga sekrup secara sistematis. Dimulai dari memutar dua sekrup berlawanan arah hingga mendekati tengah lingkaran kemudian memutar sekrup ketiga agar tepat berada di tengah lingkaran. Posisi gelembung nivo harus level untuk beberapa arah seperti tahapan yang ditunjukkan Gambar 3.



Gambar 3 Setting Alat

Sumber: Ispen Safrel et al., 2020

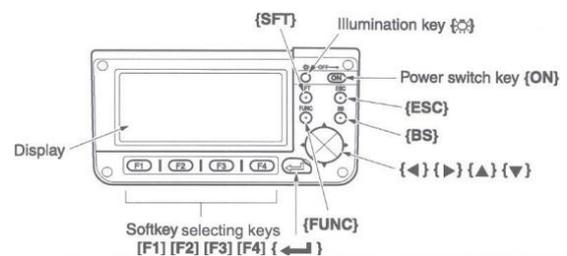
Verifikasi *leveling* dilakukan secara elektronik dengan menyalakan alat dan memilih MEAS dan [TILT] *function* seperti terlihat pada Gambar 4 (kiri) dan *setting level foot screw* ke pusat gelembung. Selanjutnya alat disetting lagi dengan diputar sebesar 90° untuk memperoleh level posisi (x, y). Fokus garis bidik (*focus reticle*) disetel dengan melepaskan klem horizontal dan vertikal hingga gambar benang silang terlihat jelas seperti pada Gambar 4 (kanan). Kemudian lensa objektif diarahkan ke target untuk mendapatkan *ring fokus* yang sesuai target (ocw.upj.ac.id, 2018).



Gambar 4 (kiri) Verifikasi Leveling Nivo, (kanan) Fokus Garis Bidik
Sumber: ocw.upj.ac.id, 2018

Memulai Job Baru

Pada *display* alat terdapat informasi yang harus diisi tim *surveyor* seperti ditunjukkan pada Gambar 5, antara lain nama *job*, koordinat *benchmark* yang sudah diketahui, deskripsi proyek, satuan jarak, kode stasiun, dan tinggi alat setelah diukur dengan rol meter.



Gambar 5 Basic Key Operation
Sumber: ocw.upj.ac.id, 2018



Melakukan Pengukuran

Pengukuran dimulai dengan menentukan *control point* (CP) dari *benchmark* (BM) induk ke arah terowongan. Penentuan titik CP diusahakan berdiri pada posisi as terowongan

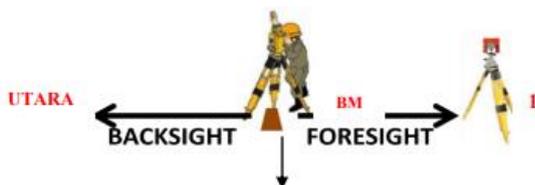
berdasarkan koordinat yang sudah ditentukan pada Tabel 1.

Tabel 1 Monitoring Joint Survey Terowongan: Alignment Incremental Station Report

Station	Easting	Northing	Elevation Bottom	Elevation Mid	Elevation Top	Tangential Direction
0+101	391661.266	9160361.539				S75° 55' 30"W
0+102	391660.296	9160361.296				S75° 55' 30"W
0+103	391659.326	9160361.053				S75° 55' 30"W
0+104	391658.356	9160360.810				S75° 55' 30"W
0+105	391657.387	9160360.567	223.900	228.500	233.100	S75° 55' 30"W
0+106	391656.417	9160360.323	223.895	228.495	233.095	S75° 55' 30"W
0+107	391655.447	9160360.080	223.889	228.489	233.089	S75° 55' 30"W
0+108	391654.477	9160359.837	223.883	228.483	233.083	S75° 55' 30"W
0+109	391653.507	9160359.594	223.877	228.477	233.077	S75° 55' 30"W
0+110	391652.537	9160359.351	223.872	228.472	233.072	S75° 55' 30"W

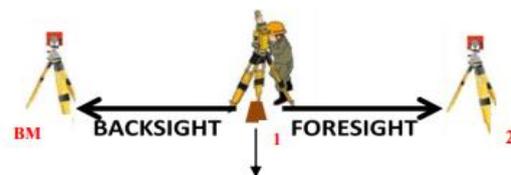
Sumber: Brantas Abipraya, 2022

Pengukuran dilakukan dengan posisi *backsight* (titik pengukuran di belakang alat) dan *foresight* (titik pengukuran di depan alat) seperti ditunjukkan Gambar 6 dan Gambar 7. *Backsight* merupakan titik kontrol survey yang menjadi arah azimuth awal pengukuran. *Foresight* merupakan titik kontrol survey yang menjadi arah azimuth akhir pengukuran.



Gambar 6 Alat di Titik BM

Sumber: Ispen Safrel et al., 2020



Gambar 7 Alat di Titik 1

Sumber: Ispen Safrel et al., 2020

Koordinat *northing* dan *easting* akan tertera pada *display* seperti pada Gambar 8. Apabila *dHD* dan *dZ* menunjukkan nilai 0 seperti tertera pada Gambar 9 maka alat sudah berada di tengah atau *center*. *HD* (*Horizontal Distance*) adalah jarak horizontal yang diukur dari titik pengukuran. *dHD* adalah jarak alat ke titik pengukuran. *dZ* adalah koreksi elevasi.

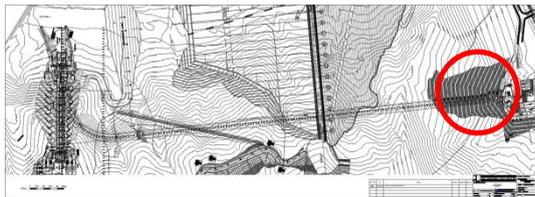


Gambar 8 Nilai XYZ pada Face Terowongan
Sumber: Brantas Abipraya, 2022



Gambar 9 Display Alat pada Face Terowongan
Sumber: Brantas Abipraya, 2022

Selanjutnya dilakukan *stake out* pada terowongan bagian *outlet* pada STA yang sudah direncanakan yaitu STA 0+915.00 hingga 0+930.00 seperti yang telah ditandai pada Gambar 10. *Stake out* adalah memindahkan titik-titik pada gambar rencana ke bidang tanah sesungguhnya sesuai *Monitoring Joint Survey Terowongan* pada Tabel 1 (Nevy Sandra, 2016).



Gambar 10 Layout Terowongan Bendungan Bener
Sumber: Brantas Abipraya, 2022

Transfer Data

Data yang terkumpul harus dipindahkan ke komputer menggunakan kabel khusus (*interface plug*). Format data disesuaikan dengan program dalam komputer agar dapat dibaca. Apabila data lapangan berupa koordinat telah disimpan, maka dapat digunakan dalam penggambaran dengan *plotter* digital (ocw.upj.ac.id, 2018).

Analisis Data

Output data dari Total Station merupakan berkas excel yang berisi informasi koordinat, jarak, dan elevasi. Civil3D merupakan alat bantu untuk penggambaran digital yang memudahkan pekerjaan di lapangan. Dalam menjalankan perangkat lunak Civil3D, diperlukan kemampuan untuk mengenal beberapa perintah dasar pengolahan data untuk menghasilkan keluaran sesuai kebutuhan. Semakin banyak titik referensi (*point*) yang dihasilkan dari pengukuran di lapangan maka penggambaran dalam Civil3D akan semakin akurat dalam memproyeksikan kondisi eksisting di lapangan (Ruhayat Mahmud Thaher et al., 2021).

Pengaturan format *construction drawing* harus sama dengan gambar sebelumnya sehingga digunakan *template* berupa berkas berekstensi dwt (*drawing template*) dengan nama PRABA_EII_MPB. Pada tahapan ini dapat disesuaikan dengan format penggambaran pada masing-masing proyek konstruksi. Menurut Tifarah D Paramadita & Reni Wijayanti (2022), tahapan analisis data meliputi:

1. Penyiapan data ukur dilakukan dengan *input* data pengukuran (berupa data *point*) hasil *transfer* dari Total Station ke dalam Civil3D
2. Pembuatan *surface* yang berfungsi untuk menghubungkan titik-titik pengukuran menjadi representasi geometris tiga dimensi dari luas suatu permukaan. *Surface* berupa bentuk kontur permukaan asli yang dilengkapi *boundaries* dan *breaklines*
3. Penentuan *alignment* yang berfungsi untuk memadukan satu objek yang terdiri dari kombinasi garis, kurva, dan spiral. *Alignment* dapat dibentuk dari objek *polyline* atau objek induk dari *profiles*, *sections*, maupun *corridors*
4. Pembuatan penampang melintang dengan *create sections* merupakan tahapan analisis untuk menampilkan hasil pengukuran dalam bentuk *cross section* yang memuat data elevasi, koordinat, dan jarak.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penggambaran dengan Civil3D dimulai dari penyiapan data ukur, pembuatan *surface*, penentuan *alignment* hingga pembuatan penampang melintang dengan *create sections*.

Penyiapan data ukur yang berasal dari tim survey berupa berkas dengan format ekstensi xls seperti pada Gambar 11 perlu diolah terlebih dahulu dengan format koordinat Civil3D menjadi *No - Ground Easting - Ground Northing - Elevation - Name*, kemudian disimpan dengan format *Text (tab delimited)* sehingga ekstensi menjadi txt seperti tertera pada Gambar 12.

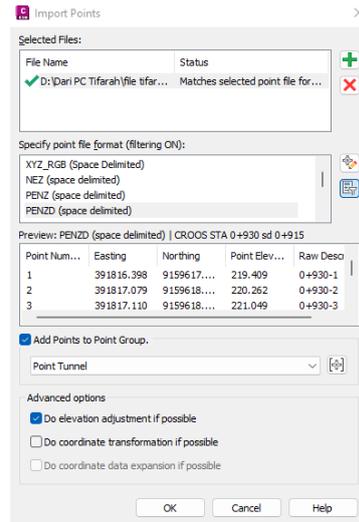
	A	B	C	D	E	F	G
1	Icon	Name	Ground Easting	Ground Northing	Elevation	Code	Note
2		0+930-1	391816.398	9159617.813	219.409		
3		0+930-2	391817.079	9159618.073	220.262		
4		0+930-3	391817.110	9159618.084	221.049		
5		0+930-4	391817.088	9159618.076	222.227		
6		0+930-5	391817.213	9159618.124	222.942		
7		0+930-6	391817.101	9159618.081	223.276		
8		0+930-7	391816.800	9159617.966	224.122		
9		0+930-8	391816.492	9159617.849	224.748		
10		0+930-9	391816.204	9159617.739	225.488		
11		0+930-10	391815.630	9159617.520	226.381		
12		0+930-11	391815.269	9159617.382	227.223		
13		0+930-12	391814.545	9159617.107	227.536		

Gambar 11 Output Pengukuran Tim Survey
Sumber: Analisa penulis

File	Edit	View
1	391816.398	9159617.813 219.409 0+930-1
2	391817.079	9159618.073 220.262 0+930-2
3	391817.110	9159618.084 221.049 0+930-3
4	391817.088	9159618.076 222.227 0+930-4
5	391817.213	9159618.124 222.942 0+930-5
6	391817.101	9159618.081 223.276 0+930-6
7	391816.800	9159617.966 224.122 0+930-7
8	391816.492	9159617.849 224.748 0+930-8
9	391816.204	9159617.739 225.488 0+930-9
10	391815.630	9159617.520 226.381 0+930-10
11	391815.269	9159617.382 227.223 0+930-11
12	391814.545	9159617.107 227.536 0+930-12
13	391813.933	9159616.873 228.017 0+930-13

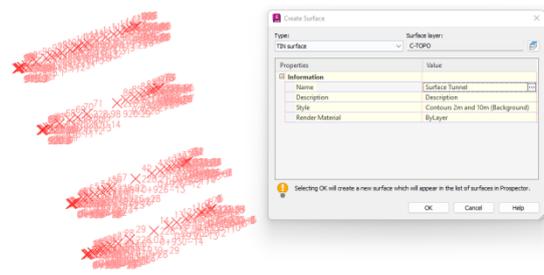
Gambar 12 Data Pengukuran dalam Format txt
Sumber: Analisa penulis

Masukan berkas dilakukan dengan membuka *menu start up* Civil3D pada *toolbar points* kemudian *import point*. Format tersebut menyesuaikan *input point file format* yaitu PENZD (*space delimited*). *Point group* yang berhasil di-*import* tertera seperti Gambar 13.

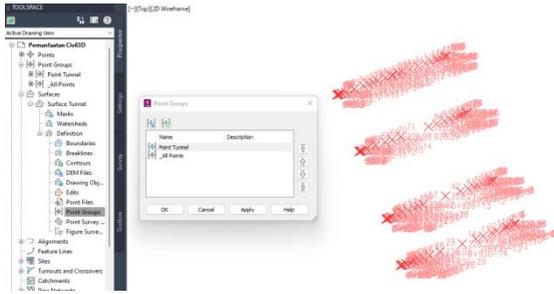


Gambar 13 Import Point
Sumber: Analisa penulis

Pembuatan *surface* berfungsi menampilkan hasil pengukuran menjadi bentuk kontur. *Point group* dikomputasi secara otomatis dan hubungan antar titik diinterpolasi untuk mendapat garis kontur yang realistis. Tahapan dilakukan melalui *toolbar surfaces* dan *create surface* seperti pada Gambar 14. Kemudian pada *toolspace* akan muncul *surfaces tunnel* sesuai penamaan. *Attachment point group* dilekatkan melalui *definition* pada *point groups* seperti Gambar 15.

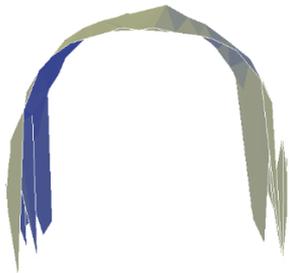


Gambar 14 Create Surface
Sumber: Analisa penulis

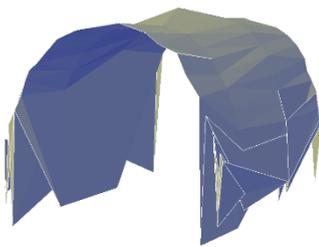


Gambar 15 Input Point Groups dalam Surfaces
(Sumber: Analisa penulis)

Kontur pada tahapan *surface* apabila ditampilkan melalui *object viewer* akan terlihat penampang terowongan seperti Gambar 16 serta Gambar 17. Interpolasi garis kontur yang tidak rata dihasilkan dari proses *marking* yang menembak prisma pada sisi terluar dinding terowongan.

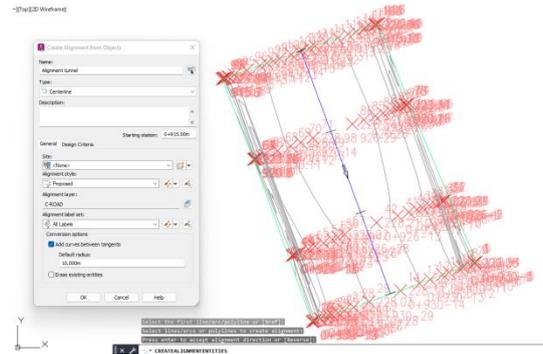


Gambar 16 Front View
Sumber: Analisa penulis



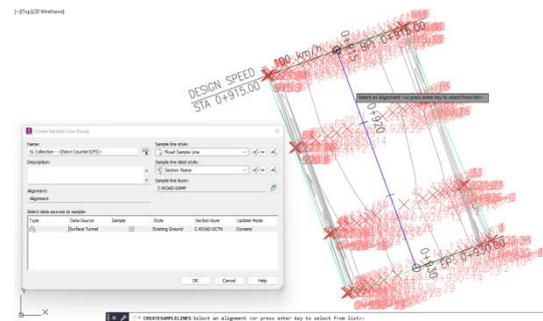
Gambar 17 SE Isometric View
Sumber: Analisa penulis

Penentuan *alignment* dimulai dari menyalin garis as terowongan gambar desain kemudian *paste to original coordinates* pada gambar kerja di Civil3D. Pada *toolbar alignments* terdapat *create alignment from polyline* yang berupa garis as terowongan serta *directions* disesuaikan dengan arah aliran air dari hulu ke hilir dengan *starting station at 0+915.00 m* seperti ditunjukkan Gambar 18.



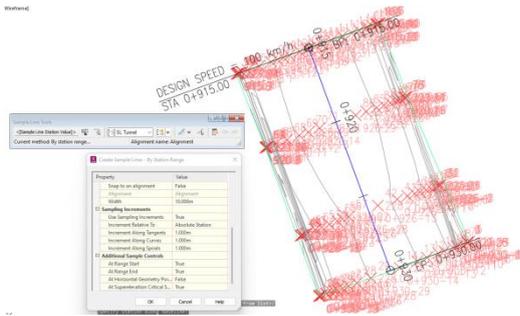
Gambar 18 Create Alignment
(Sumber: Analisa penulis)

Pembuatan penampang melintang dikerjakan setelah *station* menunjukkan STA 0+915.00 hingga STA 0+930.00 dengan jarak tiap 5 m. Melalui *create sample lines* pada *toolbar sections* dan menyeleksi *alignment* maka akan tertera seperti Gambar 19.



Gambar 19 Create Sample Line Group
Sumber: Analisa penulis

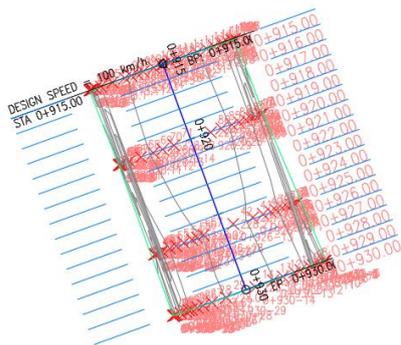
Pada *sample line tools*, metode penentuan jarak (*station value*) antar penampang dipilih *by station range* dengan *left and right swath width* 10 m untuk batasan kanan kiri, *sampling increments* masing-masing 1 m untuk jarak antar *cross section*, dan *additional sample controls* adalah *true-true-false-true* seperti tertera pada Gambar 20.



Gambar 20 Create Sample Lines by Station Range

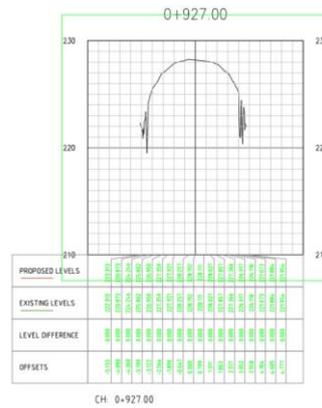
Sumber: Analisa penulis

Hasil dari keseluruhan tahap tersebut ditunjukkan melalui *toolbar sections* kemudian *create multiple section views - general* untuk menampilkan setiap penampang yang sudah diolah dengan jarak tiap penampang adalah 1 m seperti tertera pada Gambar 21. Salah satu penampang terowongan yang terbentuk ditunjukkan Gambar 22 yaitu STA. 0+927.00. Sementara *overview* penampang melintang dari STA 0+915.00 hingga STA 0+930.00 ditunjukkan pada Gambar 23.



Gambar 21 Station Range by 1 meters

Sumber: Analisa penulis



Gambar 22 Create Multiple Section Views

Sumber: Analisa penulis



Gambar 23 Hasil Akhir Penampang Melintang

Sumber: Analisa penulis

Berdasarkan pengolahan data pengukuran yang kemudian digambar dengan Civil3D menghasilkan penampang realisasi di lapangan yang dapat disandingkan dengan desain rencana. Mengacu pada *existing original ground line* tersebut maka volume pekerjaan dan akurasi koordinat aktual dapat diketahui sehingga proses monitoring pekerjaan dapat dilaksanakan dengan cepat dan tepat.

KESIMPULAN

Pekerjaan galian terowongan pengelak Bendungan Bener dikerjakan sekaligus melalui sisi *inlet* dan *outlet* dengan mengacu pada koordinat as terowongan untuk bisa mencapai *breakthrough*. Koordinat as terowongan didapatkan melalui pengukuran di lapangan. Kesalahan pengukuran berakibat fatal apabila mengakibatkan penyimpangan akurasi galian terowongan terhadap rencana. Selain itu, pekerjaan ini sangat berpengaruh pada tahapan pekerjaan selanjutnya sehingga perlu dilakukan pemantauan/monitoring guna sinkronisasi pekerjaan dengan desain. Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan metode yang menunjang efektivitas pekerjaan konstruksi terowongan pengelak dan menjabarkan perkembangan teknologi konstruksi di lapangan dengan penggunaan perangkat lunak sebagai alat bantu dalam monitoring pekerjaan.

Upaya monitoring dilakukan melalui pengukuran koordinat di lapangan menggunakan prinsip triangulasi dengan alat Total Station. Selanjutnya dilakukan *stake out* untuk transformasi titik-titik dalam *layout* perencanaan di atas bidang tanah sesungguhnya. Hasil pengukuran kemudian diolah dengan metode *Building Information Modeling* menggunakan perangkat lunak Civil3D untuk menampilkan hasil pengukuran terhadap penampang galian dengan *toolbar create multiple section views*. Monitoring as galian terowongan dapat dilaksanakan dengan cepat dan akurat melalui pengolahan data pengukuran memanfaatkan Civil3D sebagai alat bantu yang mampu memberikan gambaran penampang aktual untuk alur kerja yang lebih terintegrasi. Penerapan metode ini menghasilkan efisiensi waktu dan biaya pelaksanaan konstruksi dengan kualitas yang terpantau secara *real time*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan karya tulis ini, orang tua dan keluarga penulis yang telah memberikan semangat, beserta tim kontraktor PT. Brantas Abipraya (Persero) Pembangunan Bendungan Bener, antara lain:

1. Rakhmad Cahyana, S.T. selaku *Project Manager*

2. Herwanda Anggria Kartika, S.T. selaku *Site Operation Manager* dan Alfian Tazky R, S.M. selaku *Site Administration Manager*
3. Fajar Deny Aushaf, S.T. selaku staf operasi
4. Muhammad Dwi Kurniawan selaku staf teknik dan Rahmat Budiman S selaku staf pengukuran

DAFTAR PUSTAKA

- autodesk.com. (2022). *Civil 3D: Comprehensive detailed design and documentation software for civil infrastructure*. <https://www.autodesk.com.au/products/civil-3d>
- BPSDM PUPR. (2017a). *Modul 2: Dasar-Dasar Pengukuran Topografi untuk Pekerjaan Jalan*. Kementerian PUPR.
- BPSDM PUPR. (2017b). *Modul 5: Pengenalan Perangkat Lunak Perencanaan Geometrik Tingkat Dasar*. Kementerian PUPR.
- Brantas Abipraya. (2022). *Metode Pelaksanaan Konstruksi*. PT. Brantas Abipraya.
- Ispen Safrel, Eko Nugroho Julianto, & Naufal Tinov. (2020). *Petunjuk Pengoperasian Alat Total Station Green Label*. Universitas Negeri Semarang.
- Jack B Evett. (2003). *Encyclopedia of Physical Science and Technology* (Third). University of North Carolina. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B0-12-227410-5/00759-6>
- Kavanagh B F, & Glenn Bird S J. (1996). *Surveying Principles and Applications* (Vol. 4). Prentice Hall.
- Kementerian PUPR. (2018). *Latar Belakang BIM PUPR*. BIM PUPR. <http://bim.pu.go.id/>
- Nevy Sandra. (2016). *Modul Guru Pembelajar: Teknik Geomatika*. Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan.
- ocw.upj.ac.id. (2018). *Surveying (CIV-104): Pengukuran dengan Total Station*. Universitas Pembangunan Jaya. <https://ocw.upj.ac.id/files/Slide-CIV104-CIV104-Slide-06.pdf>

Permen PUPR No. 22 Tahun 2018. (2018).
Pembangunan Bangunan Gedung Negara.
<https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/159730/permen-pupr-no-22prtm2018-tahun-2018>

Ruhyat Mahmud Thaher, Wirya Murad, & Huzeirien M. (2021). Penggunaan Aplikasi Civil 3d dalam Merencanakan Geometrik Jalan Raya. *Jurnal Talenta Sipil, 4*, 145–148.
<https://doi.org/10.33087/talentasipil.v4i2.64>

Tifarah D Paramadita, & Reni Wijayanti. (2022).
Laporan Magang Proyek Pembangunan Bendungan Bener Paket 1 dan Paket 4, Kabupaten Purworejo, Jawa Tengah.
Politeknik Pekerjaan Umum.

ANALISIS STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN TANAH DENGAN MENGUNAKAN METODE GEOLISTRIK DAN SONDIR (Studi Kasus: Lapangan Gate-Ball, Kampus I Politeknik Pekerjaan Umum, Semarang)

Abdurrahman Wafi^{*1}, Hinawan Teguh Santoso², Daru Jaka Sasangka², Rikal Andani²

¹PT. Andalan Tunas Mandiri, Jakarta, 13940, Indonesia

²Politeknik Pekerjaan Umum, Semarang, 50275 Indonesia

*Korespondensi: abdurrahmanwafiatm@gmail.com

ABSTRAK

Dalam dunia konstruksi perlu adanya informasi kondisi bawah permukaan tanah untuk mendapatkan perlakuan yang sesuai dengan konstruksi di atasnya. Penelitian ini bertujuan mendapatkan gambaran kondisi bawah permukaan tanah dalam rangka mendukung pengembangan konstruksi di lokasi studi kasus. Kondisi bawah permukaan dapat diperoleh dengan metode langsung melalui penyelidikan tanah berupa pemboran (SPT) dan sondir (CPT), serta metode tidak langsung dengan pendekatan parameter fisis berupa geofisika dan georadar. Dalam kajian ini, kondisi bawah permukaan tanah diteliti menggunakan metode tidak langsung dengan geolistrik dan metode langsung dengan sondir, serta dianalisis korelasi di antara keduanya. Pengukuran geolistrik menggunakan peralatan MAE X612-EM+ sebanyak 48 elektroda dengan konfigurasi jarak antar elektroda 2 meter dan panjang total 94 meter. Kajian menunjukkan kondisi bawah permukaan tanah di lokasi studi didominasi oleh material lunak dengan nilai resistivitas 36,2 - 55,7 Ωm yang berkorelasi sebagai tanah lempung (clay). Pada jarak 34 meter sampai 58 meter dengan kedalaman sekitar 3,0 meter didapatkan area dengan nilai resistivitas <10 Ωm yang mengindikasikan adanya potensi air. Pengujian sondir menggunakan konus ganda dengan mesin manual berkapasitas 2,5 ton. Hasil penyelidikan sondir pada kedalaman 0,0 - 3,8 meter didapatkan nilai tahanan ujung (qc) sebesar 20 - 55 kg/cm² berkorelasi dengan nilai resistivitas sebesar 36,2 - 55,7 Ωm dengan kepadatan relatif tanah dari lemah hingga sedang. Sedangkan pada kedalaman 3,8 - 4,6 meter didapatkan nilai tahanan ujung (qc) sebesar 60 - 210 kg/cm² berkorelasi dengan nilai resistivitas >55,7 Ωm dengan kepadatan relatif tanah dari sedang hingga besar. Pada jarak lintasan 48 meter dan kedalaman >10 meter ditemukan adanya indikasi material padat dan keras dengan nilai resistivitas >202 Ωm .

Kata Kunci: Resistivitas, Geolistrik, Sondir, Tanah

ABSTRACT

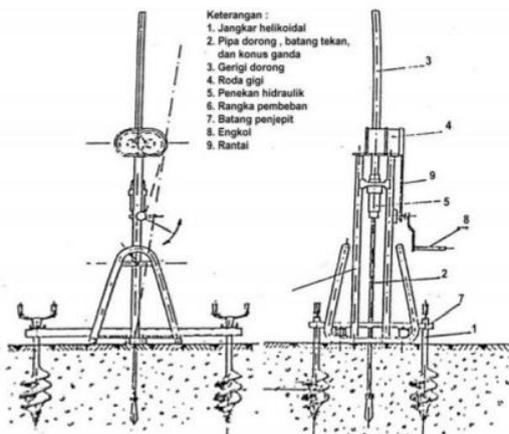
In the construction sector, it is necessary to have information on subsurface conditions in order to get treatment appropriate to the construction on it. This study aims to get an overview of the subsurface conditions in order to support the construction of the case study site. Subsurface conditions can be obtained by direct methods through soil investigation of boring (SPT) and sondir (CPT), as well as indirect methods by approaching physical parameters in the form of geophysics and georadar. In this study, the subsurface conditions were studied using geoelectric (indirect method) and sondir (direct method), and the correlation between the two was analyzed. Geoelectrical testing used MAE X612-EM+ equipment with 48 electrodes with a configuration of 2 meters between electrodes and a total length of 94 meters. The study shows that the subsurface conditions at the studi site are dominated by soft material with a resistivity value of 36.2 - 55.7 Ωm which correlates as clay. At a distance of 34 meters to 58 meters with a depth of about 3.0 meters, an area with a resistivity value of <10 Ωm is obtained which indicates the presence of water potential. Sondir testing used bi-conus with a manual machine with a capacity of 2.5 tons. The results of sondir investigation at a depth of 0.0 - 3.8 meters obtained a conus resistance value (qc) of 20 - 55 kg/cm² correlated with a resistivity value of 36.2 - 55.7 Ωm with a relative density of soil from weak to medium. Meanwhile, at a depth of 3.8 - 4.6 meters, the qc value of 60 - 210 kg/cm² is correlated with a resistivity value of > 55.7 Ωm with a relative density of soil from medium to large. At a distance of 48 meters and a depth of >10 meters, indications of solid and hard material were found with a resistivity value of >202 Ωm .

Keywords: Resistivity, Geoelectric, Sondir, Soil

PENDAHULUAN

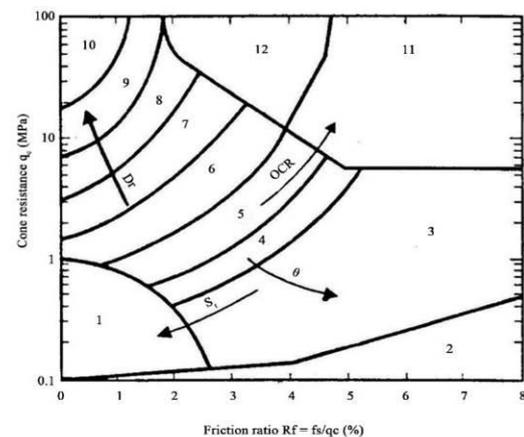
Dalam dunia konstruksi perlu adanya informasi kondisi di bawah permukaan tanah untuk mendapatkan perlakuan yang sesuai dengan konstruksi di atasnya. Kondisi bawah permukaan baik itu tanah lunak, keras maupun batuan harus diketahui agar bisa ditentukan jenis pondasi maupun desain bangunan di atasnya yang sesuai. Jika kurang tepat dalam memperhitungkan kondisi bawah permukaan tersebut maka dapat berpotensi mengakibatkan kegagalan konstruksi bahkan sampai kerusakan terhadap bangunan yang terdapat di permukaannya. Terdapat 2 (dua) metode yang dapat digunakan untuk mengetahui kondisi bawah permukaan, yakni metode langsung melalui penyelidikan tanah melalui *boring* (SPT) dan sondir (CPT), serta metode tidak langsung dengan pendekatan parameter fisis menggunakan Geofisika dan Georadar.

Pengujian penetrasi konus (*Cone Penetration Test /CPT*) atau lebih dikenal sebagai uji sondir adalah metode pengujian tanah secara langsung untuk mendapatkan parameter perlawanan penetrasi dari lapisan tanah. Peralatan uji sondir terdiri atas komponen batang konus (tunggal/ganda), bidang geser, pipa dorong, batang dalam, mesin pembeban hidraulik, angkur, dan perlengkapan lainnya (Gambar 1). Batang konus sondir ganda bersudut $60^\circ \pm 5^\circ$ dengan luas proyeksi ujung sebesar 10 cm^2 dan luas selimut bidang geser sebesar $150 \text{ cm}^2 \pm 3 \text{ cm}^2$. Penetrasi dapat dilakukan secara manual ataupun hidraulik dengan kecepatan penetrasi tidak lebih dari 2 cm/detik dan pembacaan uji dilakukan setiap interval kedalaman 20 cm .



Gambar 1 Rangkaian Alat Uji Penetrasi Konus/Sondir (BSN, 2008)

Parameter yang didapatkan dari pengujian ini berupa perlawanan konus (q_c), perlawanan geser (f_s), angka banding geser (R_f), dan geseran total tanah (T_f) (BSN, 2008). Parameter perlawanan konus (q_c) dan perlawanan geser (f_s) dapat dikorelasikan langsung dengan daya dukung lapisan tanah, letak kedalaman lapisan tanah, dan penurunan pada pondasi (Hardiyatmo, 2008). Meskipun uji sondir tidak didapatkan sampel tanah secara langsung, namun deskripsi jenis lapisan tanah dan berat isi tanah dapat diperkirakan dengan pendekatan empiris antara nilai angka banding geser (R_f) dengan nilai perlawanan konus (q_c) (Robertson, 1986). Grafik pendekatan empiris perkiraan jenis tanah berdasar uji sondir disajikan pada Gambar 2.



Zone: Soil Behaviour Type:

- | | | |
|---------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1. Sensitive fine grained | 5. Clayey silt to silty clay | 9. Sand |
| 2. Organic material | 6. Sandy silt to clayey silt | 10. Gravelly sand to sand |
| 3. Clay | 7. Silty sand to sandy silt | 11. Very stiff fine grained* |
| 4. Silty clay to clay | 8. Sand to silty sand | 12. Sand to clayey sand* |
- * Overconsolidated or cemented.

Gambar 2 Perkiraan Jenis Tanah Berdasarkan Uji Sondir (Robertson, 1986)

Parameter lain yang didapatkan dari uji sondir adalah hubungan nilai perlawanan konus (q_c) terhadap sudut geser (ϕ') dan kepadatan relatif pada tanah pasir atau tanah campuran seperti tersaji pada Tabel 1 (Bergdahl, dkk., 1993).

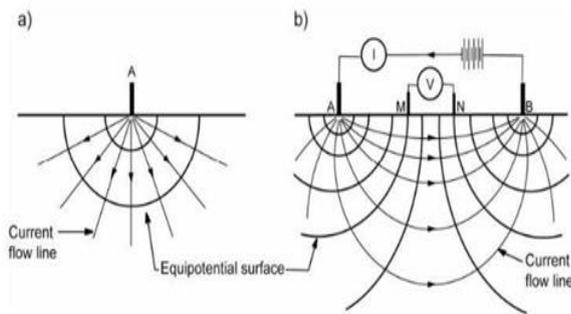
Tabel 1. Korelasi q_c , ϕ' , dan Kepadatan Relatif Berdasarkan Uji Sondir

q_c (kg/cm^2)	ϕ' (derajat)	Kepadatan Relatif
0.0 - 25.0	29 - 32	Sangat Lemah
25.0 - 50.0	32 - 35	Lemah
50.0 - 100.0	35 - 37	Sedang
100.0 - 200.0	37 - 40	Besar
>200	40 - 42	Sangat Besar

Sumber: Ditjen Bina Marga – Kemen PUPR, 2019

Geolistrik merupakan salah satu cabang ilmu geofisika yang mempelajari sifat kemampuan material dalam bumi untuk menghantarkan aliran listrik. Pada geolistrik dilakukan injeksi arus ke dalam bumi melalui 2 pasak (elektroda arus) dan nantinya ditangkap oleh 2 pasak (elektroda potensial) seperti terlihat pada Gambar 3. Dari hasil pengukuran arus dan beda potensial untuk setiap jarak elektroda tertentu, dapat ditentukan variasi harga hambatan jenis (resistivitas) masing-masing lapisan di bawah titik ukur (Wafi, 2013).

Resistivitas merupakan hasil pengukuran dari geolistrik yang didapatkan dari nilai arus dan potensial di lapangan. Resistivitas adalah parameter material dalam kemampuan material tersebut untuk menghantarkan arus listrik. Di lapangan, kondisi bumi tidak bersifat homogen, sehingga harga resistivitas ini merupakan harga rata-rata resistivitas formasi yang dilalui arus listrik atau disebut resistivitas semu. Resistivitas mempunyai pengertian yang berbeda dengan resistansi (hambatan), dimana resistansi tidak hanya bergantung pada bahan tapi juga bergantung pada faktor geometri atau bentuk bahan tersebut, sedangkan nilai resistivitas tidak bergantung pada faktor geometri (Wafi, 2013).

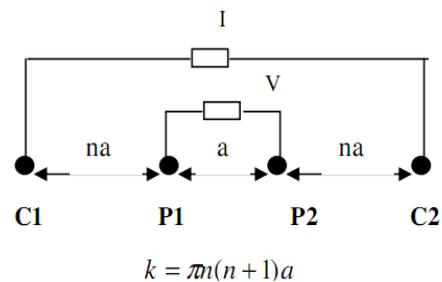


Gambar 3 (a) Sumber Arus Tunggal, dan (b) Sebaran Arus dan Potensial

Metode geolistrik memanfaatkan variasi harga resistivitas untuk mengetahui struktur geologi bawah permukaan, sehingga dapat diterapkan dalam pencarian potensi keberadaan air tanah, pencemaran air, rembesan air, pelapisan tanah, dan sebagainya. Dalam hal pelapisan tanah, penggunaan metode geolistrik dapat dikombinasikan dan dikorelasikan terhadap berbagai metode penyelidikan geoteknik, seperti pengujian SPT (Wafi, 2018) dan pengujian sondir atau CPT (Wafi, 2014; Antareza, 2020).

Penelitian dilakukan dalam bentuk studi pemodelan fisika, dimana pengukuran resistivitas struktur lapisan menggunakan metode geolistrik tahanan jenis dengan konfigurasi *Schlumberger*, *Wenner*, *Dipole-dipole*, dan atau kombinasi dari metode tersebut Hasil yang didapatkan dari metode geolistrik berupa penampang warna yang mewakili nilai dari resistivitas material yang terkandung di bawah permukaan tanah. (Setiyawan, 2010).

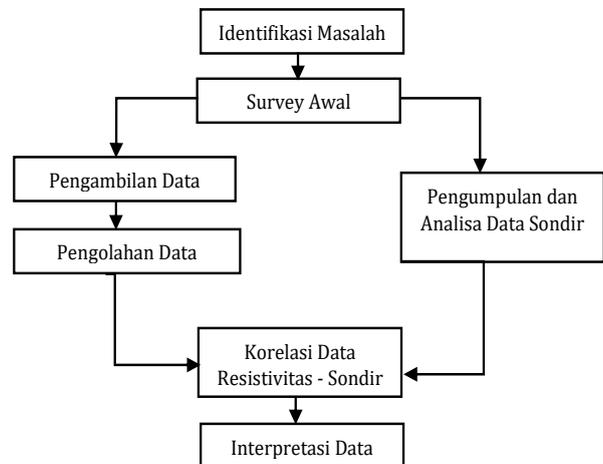
Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* adalah konfigurasi geolistrik dengan sistem spasi yang tetap, perbandingan jarak antara elektroda C1-P1 (atau C2-P2) dengan spasi antara P1-P2 seperti terlihat pada Gambar 4. Jika jarak antar elektroda potensial (P1 dan P2) adalah a , maka jarak antar elektroda arus (C1 dan C2) adalah $2na+a$. Proses penentuan resistivitas menggunakan 4 (empat) buah elektroda yang diletakkan dalam sebuah garis lurus (Sakka, 2002).



Gambar 4. Pengaturan Elektroda Konfigurasi Wenner-Schlumberger

METODE

Metode dan langkah penelitian disajikan dalam diagram alir pada Gambar 4 dengan penjelasan sebagai berikut:



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

1. Identifikasi Masalah

Masalah yang dihadapi adalah belum adanya informasi kondisi bawah permukaan tanah di lokasi penelitian, yaitu Kampus 1 Politeknik Pekerjaan Umum, Tembalang, Kota Semarang. Dengan demikian, dirasa perlu untuk mendapatkan gambaran kondisi bawah permukaan berupa korelasi uji sondir dan geolistrik untuk pengembangan konstruksi di kawasan tersebut.



Gambar 6. Lokasi Pengukuran Geolistrik

2. Survei Awal

Survei awal terhadap lokasi penelitian dilakukan dengan lokasi di Lapangan *Gateball*, dimana lintasan dibuat secara diagonal yang dimulai dari ujung di dekat Pos Satpam melewati Lapangan *Gateball* sampai dengan ujung tembok pembatas.

3. Pengukuran Geolistrik

Pengukuran geolistrik dilakukan menggunakan peralatan *Multichannel Resistivity MAE X 612 EM+* buatan Italia (Gambar 5). Pengukuran geolistrik menggunakan 48 elektroda dengan jarak antar elektroda 2 meter dan panjang total pengukuran 94 meter. Pengujian dilakukan dengan menggunakan konfigurasi *Wenner-Schlumberger* (Gambar 6).



Gambar 5. Peralatan Geolistrik MAE X 612 EM+

4. Pengolahan Data Geolistrik

Pengolahan data diolah dengan menggunakan *Software RES2DINV* untuk mendapatkan penampang *Resistivity* di lokasi penelitian.

5. Pengambilan dan Analisa Data Sondir

Pengambilan data sondir dilakukan pada 2 (dua) titik pengukuran yang berada di lintasan Geolistrik. Uji sondir dilakukan menggunakan konus ganda (*biconus*) dengan kapasitas alat 2.5 ton yang dioperasikan secara manual (Gambar 7). Data uji selanjutnya dilakukan analisa terkait perlawanan penetrasi tanah, penggambaran grafik uji, dan perkiraan deskripsi jenis tanah.



Gambar 7. Pengujian Sondir / CPT

5. Korelasi Data Geolistrik (*Resistivity*) dan Sondir

Korelasi data geolistrik berupa nilai *resistivity* di sepanjang lintasan pengukuran dengan data parameter tanah dari uji sondir dilakukan untuk mengetahui gambaran kondisi struktur bawah permukaan.

6. Interpretasi Data

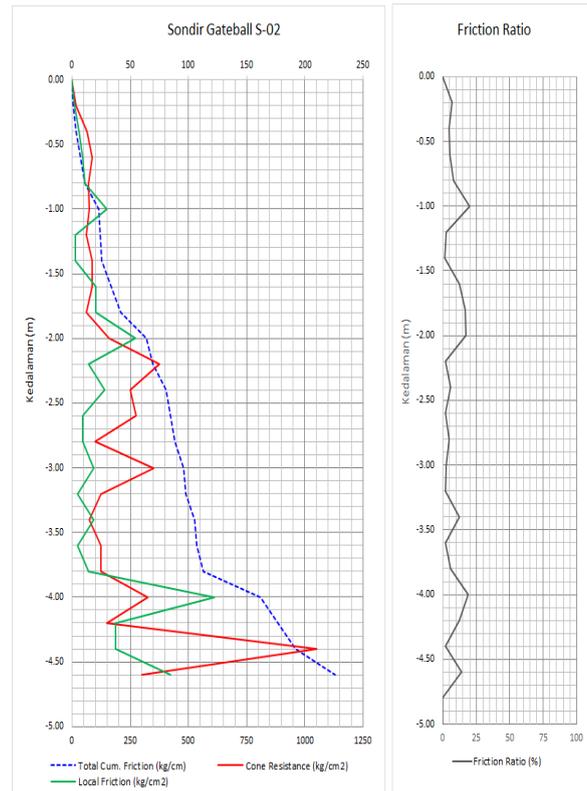
Pembahasan penampang warna yang telah diproses dengan *software* dipadukan dengan data sondir sehingga struktur bawah permukaan di lokasi penelitian dapat dipetakan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

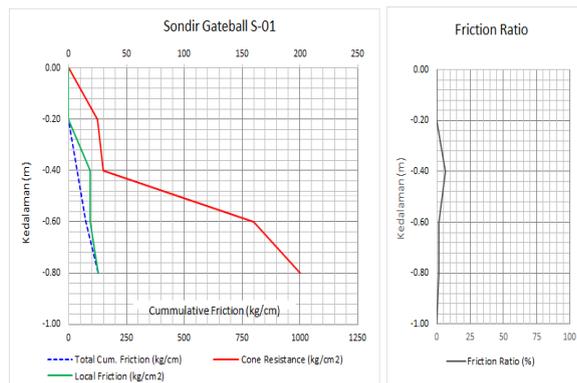
1. Data Sondir

Data sondir umumnya disajikan dalam format grafik. Gambar 9 menunjukkan grafik hasil uji sondir yang dilakukan di lokasi pada titik S-01 (jarak lintasan 0.0 m - 16.0 m) dengan kedalaman akhir 0.8 m dan titik S-02 (jarak lintasan 32.0 m - 48.0 m) dengan kedalaman akhir 4.6 m. Analisis lebih lanjut data hasil uji sondir dilakukan menggunakan pendekatan empiris yang diusulkan oleh Robertson (1986) untuk memberikan perkiraan jenis lapisan tanah pada tiap kedalaman yang ditinjau seperti pada Tabel 2.

Merujuk Gambar 10 dan Tabel 2, pada kedalaman tanah 0.0 - 3.0 m didapatkan nilai tahanan ujung (q_c) sebesar 20 - 55 kg/cm^2 , sedangkan pada kedalaman 3.0 - 4.6 m didapatkan nilai tahanan ujung (q_c) sebesar 100 - 200 kg/cm^2 . Sedangkan deskripsi jenis tanah pada kedalaman 0.0 - 2.0 m diperkirakan dominan berupa tanah *clay* (lempung), pada 2.0 - 3.6 m diperkirakan dominan berupa tanah *sand* (pasir), serta pada 3.8 - 4.6 m diperkirakan berupa tanah *clay* (lempung).



Gambar 10. Grafik Sondir pada Titik S-02



Gambar 9. Grafik Sondir pada Titik S-01

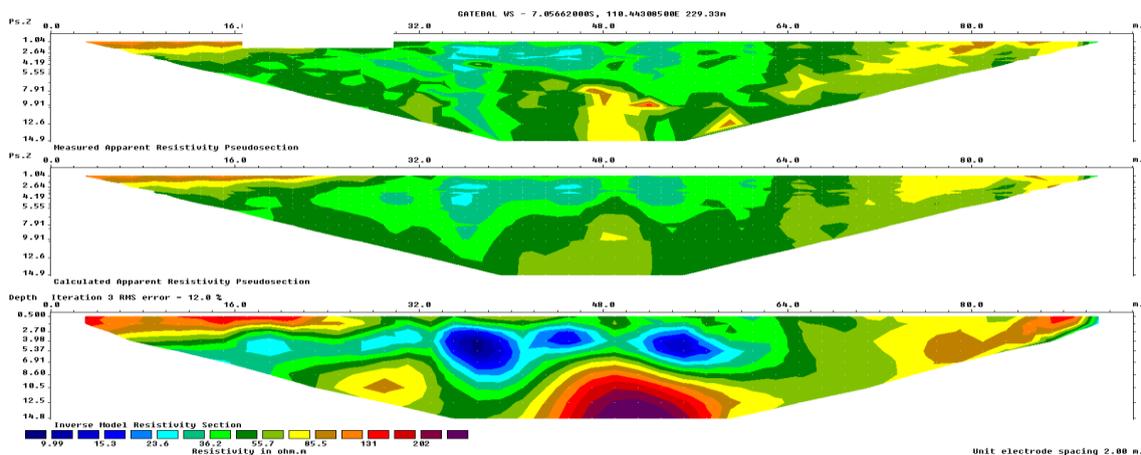
Tabel 2. Perkiraan Jenis Tanah Berdasar Uji Sondir

Lokasi	Kedalaman (m)	Tahanan konus, qc (kg/cm ²)	Angka Banding Geser, Rf (%)	Perkiraan Jenis Tanah
S-01	0.0 - 0.4	25.0 - 30.0	0.0 - 6.29	<i>Silty Clay to Clay</i>
	0.4 - 0.8	160 - 200	1.18 - 1.27	<i>Sand</i>
S-02	0.0 - 1.8	3.5 - 17.0	1.66 - 19.80	<i>Clay</i>
	1.8 - 3.0	20.0 - 75.0	1.71 - 5.66	<i>Silty Sand to Sandy Silt</i>
	3.0 - 3.8	15.0 - 25.0	1.89 - 2.69	<i>Sandy Silt to Clayey Silt</i>
	3.8 - 4.6	30.0 - 210	1.80 - 18.86	<i>Clay</i>

2. Data Geolistrik

Pengukuran geolistrik dilakukan menggunakan 48 elektroda dengan spasi 2.0 meter dan panjang total lintasan 94.0 meter. Pengukuran dilakukan menggunakan konfigurasi *Wenner-Schlumberger*. Dari pengukuran lapangan dan pengolahan data didapatkan gambaran warna penampang bawah permukaan tanah seperti tersaji pada Gambar 11.

Berdasarkan Gambar 11 didapatkan nilai *Resistivity* terendah di angka 9.99 Ωm ditandai dengan warna biru tua dan tertinggi di angka 202 Ωm ditandai dengan warna coklat tua mengarah ke ungu. Kedalaman yang didapatkan dari pengujian ini sedalam 15 meter. Pada lokasi penelitian didominasi oleh material lunak dengan nilai resistivitas 36,2 - 55,7 Ωm yang ditandai dengan warna hijau pada gambar penampang, yang berkorelasi sebagai tanah lempung (*clay*).



Gambar 11. (a) 2D resistivitas semu terukur, (b) 2D resistivitas semu terhitung (c) penampang 2D resistivitas nyata di lokasi Lapangan Gateball, Kampus 1 Politeknik Pekerjaan Umum

Pada lintasan uji didapatkan nilai *resistivity* >85.5 Ωm yang ditandai dengan warna coklat menuju ke ungu, dimana dengan nilai tersebut cenderung berkorelasi dengan jenis material yang padat. Hal ini ditemukan pada 3 titik, yakni titik ke-1 pada jarak 0 - 24 meter dengan kedalaman 0.0 sampai 3.0 meter, titik ke-2 pada jarak 42 - 56 meter pada kedalaman 8.6 meter sampai 15.0 meter, dan titik ke-3 pada jarak 80 - 92 meter pada kedalaman 0.0 sampai dengan 6.0 meter.

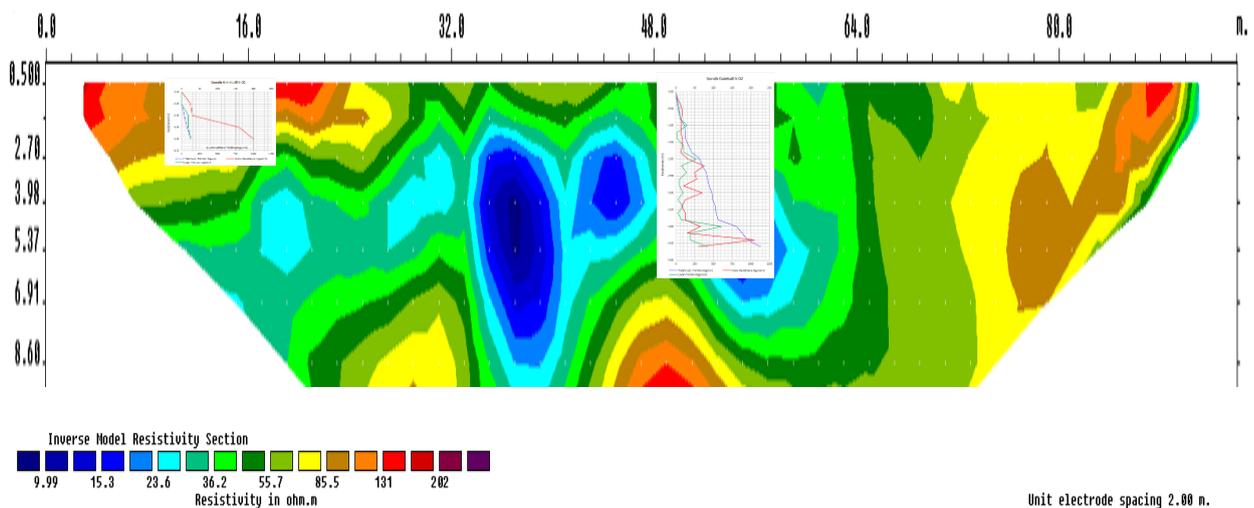


Gambar 12. Lokasi Bekas Sumur pada Lintasan Uji

Pada lintasan juga didapatkan nilai *Resistivity* <23.6 - 55.7 Ωm yang ditandai dengan warna biru muda sampai hijau yang berkorelasi dengan material dengan kandungan air, seperti lempung (*clay*). Hal ini ditemukan pada jarak lintasan 34 - 60 meter pada kedalaman 4.0 sampai dengan 8.6 meter. Pada warna biru tua menuju gelap dengan nilai *resistivity* <10 Ωm mengindikasikan adanya potensi kandungan air, dimana asumsi tersebut diperkuat dengan ditemukannya bekas sumur yang berada pada lintasan uji (Gambar 12).

3. Korelasi Data Sondir dan Geolistrik

Gambar 13 menunjukkan superposisi data sondir di lokasi titik uji terhadap penampang resistivitas tanah dari data geolistrik. Korelasi antara data sondir dan data geolistrik pada lintasan pengukuran disajikan pada Tabel 3.



Gambar 13. Korelasi data Sondir dan Data Geolistrik

Tabel 3. Korelasi Data Sondir dan Data Geolistrik

Lokasi	Kedalaman (m)	Tahanan konus, qc (kg/cm ²)	Nilai Resistivitas (Ωm)	Kepadatan Relatif
S-01	0.0 - 0.4	25.0 - 30.0	85.5-131	Lemah
	0.4 - 0.8	160 - 200	131-202	Besar
	0.0 - 1.8	3.5 - 17.0	36.2-55.7	Sangat Lemah
S-02	1.8 - 3.0	20.0 - 75.0	36.2-55.7	Lemah s/d Sedang
	3.0 - 3.8	15.0 - 25.0	23.6-36.2	Sangat Lemah
	3.8 - 4.6	30.0 - 210.0	36.2-55.7	Sedang s/d Besar

Berdasarkan Gambar 13 dan Tabel 3, untuk lokasi uji sondir S-01 (letak berada di atas lapangan *Gateball*, pada arah sisi pos satpam) didapatkan informasi bahwa material pada kedalaman 0.4 - 0.8 meter didominasi oleh material *sand* (pasiran) dengan kepadatan relatif besar, dimana nilai tahanan konus >160 kg/cm² dan nilai resistivitas pada rentang 131 - 202 Ωm. Sedangkan pada lokasi uji sondir S-02 (terletak di tengah lintasan pengukuran geolistrik) didapatkan informasi bahwa material pada kedalaman 3.8 - 4.6 meter didominasi oleh material lempung (*clay*) dengan kepadatan relatif sedang hingga besar, dengan nilai tahanan konus 30 - 210 kg/cm² dan resistivitas 36.2 - 55.7 Ωm.

Berdasarkan Tabel 2 didapatkan informasi bahwa lokasi Lapangan *Gateball* Kampus 1 Politeknik Pekerjaan Umum didominasi oleh material lunak dengan nilai resistivitas 36,2 - 55,7 Ωm yang berkorelasi sebagai tanah lempung (*clay*). Pada jarak lintasan 48 meter dan kedalaman >10 meter diindikasikan adanya material padat dan keras dengan nilai resistivitas >202 Ωm. Namun demikian, kondisi tersebut belum dapat dikonfirmasi lebih lanjut dengan uji langsung menggunakan sondir, mengingat batasan kapasitas alat yang digunakan, yaitu 2.5 ton dengan tekanan yang terbaca pada manometer maksimum sebesar 250 kg/cm².

KESIMPULAN

Dari kajian yang telah dilakukan dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Metode pemeriksaan langsung dengan sondir menunjukkan nilai tahanan ujung (qc) rerata pada kedalaman 0.0 - 3.8 meter sebesar 20 - 55 kg/cm², sedangkan nilai tahanan ujung (qc) pada kedalaman 3.8 - 4.6 meter sebesar 60 - 210 kg/cm². Hal ini mengindikasikan jika tanah keras mulai ditemukan pada kedalaman 3.8 meter di bawah permukaan tanah.
2. Metode pemeriksaan tidak langsung menggunakan geolistrik didapatkan nilai resistivitas terendah pada angka 9.99 Ωm dan tertinggi pada angka 202 Ωm. Kedalaman maksimum bawah permukaan yang dapat diamati sebesar 15 meter.
3. Hasil penyelidikan dengan sondir pada kedalaman 0.0 - 3.8 meter didapatkan nilai tahanan ujung (qc) sebesar 20 - 55 kg/cm² berkorelasi dengan nilai resistivitas sebesar 36.2 - 55.7 Ωm dengan kepadatan relatif tanah dari lemah hingga sedang. Sedangkan pada kedalaman 3.8 - 4.6 meter didapatkan nilai tahanan ujung (qc) sebesar 60 - 210 kg/cm² berkorelasi dengan nilai resistivitas >55.7 Ωm dengan kepadatan relatif tanah dari sedang hingga besar.
4. Berdasarkan korelasi antara data sondir dan data geolistrik didapatkan informasi bahwa lokasi penelitian didominasi oleh material lunak dengan nilai resistivitas 36,2 - 55,7 Ωm yang berkorelasi sebagai tanah lempung (*clay*). Pada kedalaman >10 meter diindikasikan adanya material padat dan keras dengan nilai resistivitas >202 Ωm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Kampus Politeknik Pekerjaan Umum dan PT. Andalan Tunas Mandiri atas dukungan lokasi, instrumentasi, dan tenaga pada pengambilan data lapangan terkait penelitian ini. Semoga bentuk tulisan ini bisa bermanfaat untuk bidang konstruksi pada umumnya yang membutuhkan informasi kondisi di bawah permukaan sebelum pembangunan konstruksi di atas permukaan tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- Antareza, M.A., Wafi, A., Lasmana, Y., Mariyanto, M. 2020. Geoelectrical survey and cone penetration test data for groundwater potential determination around Gatot Subroto Street, Banjarmasin. *10th International Conference on Physics and Its Applications (ICOPIA 2020), Journal of Physics: Conference Series*, 1-8, doi:10.1088/1742-6596/1825/1/012015
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). 2008. *SNI 2827:2008 Cara Uji Penetrasi Lapangan dengan Alat Sondir*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Ditjen Bina Marga – Kementerian PUPR. 2019. *Kumpulan Korelasi Geoteknik dan Fondasi*. Jakarta.
- Hardiyatmo, H.C. 2011. *Analisis dan Perancangan Fondasi bagian 1*. Gadjah Mada University Press: Yogyakarta.
- Robertson, P.K. 1986. Soil Classification Using The Cone Penetration Test. *Canadian Geotechnical Journal* 27, 151-158.
- Sakka, 2002. *Metoda Geolistrik Tahanan Jenis*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam – UNHAS, Makassar.
- Setiyawan, T. 2010. *Tugas Akhir: Interpretasi Bawah Permukaan Daerah Porong Sidoarjo Dengan Metode Geolistrik Tahanan Jenis Untuk Mendapatkan Bidang Patahan*. Surabaya: Jurusan Fisika FMIPA ITS.
- Wafi, A. 2013. *Tugas Akhir: Pemetaan Zona Lemah Dengan Menggunakan Metode Geolistrik Konfigurasi Wenner dan Dutch Cone Penetrometer Test di Jalan Arteri Porong*, Surabaya: Jurusan Fisika FMIPA ITS
- Wafi, A., Santosa, B.J., Warnana, D. D. 2014. Pemetaan Zona Lemah Menggunakan Metode Geolistrik Konfigurasi Wenner dan Dutch Cone Penetrometer Test (DCPT). *Jurnal SAINS dan SENI ITS Vol. 3 No. 2, B92-B95*,. doi:10.12962/j23373520.v3i2.6783
- Wafi, A., Sasmito, P., Rizki, M. A., Rahman, A. 2018. Comparison Analysis of Subsurfaces Survey Between Geophysics Method (Geoelectric/ERT) and Geotechnical Method (Standard Penetration Test (SPT) at Kaima Overpass Manado-Bitung Toll Road. *EAGE-HAGI 1st Asia Pacific Meeting on Near Surface Geoscience & Engineering, 11-12 April 2018*, Yogyakarta, Indonesia.



DIGITALISASI MONITORING KONSTRUKSI PADA DAERAH PELOSOK (STUDI KASUS PEMBANGUNAN JALAN AKSES BENDUNGAN AMERORO, KONAWE)

Digitalization Of Construction Monitoring Progress In Remote Areas (Case Study Ameroro Dam Road Access, Konawe)

Bagus Wisnu¹, Adityo Budi^{*2}

¹Alumni Prodi D3 Teknologi Konstruksi Jalan dan Jembatan, Politeknik PU

²Politeknik Pekerjaan Umum, Prof Soedarto, SH, Tembalang, Semarang

*Korespondensi: adityobudiutomo@pu.go.id

ABSTRAK

Keterlambatan progres penyelesaian pekerjaan konstruksi dapat dideteksi lebih awal dengan menggunakan instrument lapangan harian pekerjaan konstruksi. Pelaksana lapangan selaku ujung tombak pekerjaan biasanya akan memberikan catatan tangan sebagai laporan hasil kerja harian. Catatan tangan dalam secarik kertas ini sering kali tidak terbaca, kurang akurat, hilang, dan rusak sehingga tidak dapat direkap dengan baik. Kondisi lingkungan proyek yang jauh dari perkotaan serta akses internet yang terbatas menyebabkan system monitoring yang huruk. Guna mendukung digitalisasi konstruksi dibutuhkan inovasi system monitoring yang efisien dan efektif. Studi ini dilakukan untuk membuat system monitoring pekerjaan konstruksi sebagai pengganti dari kelemahan catatan tangan dari pelaksana lapangan sehingga lebih akurat dan informatif dari pelaksana ke manajemen. Studi akan mengolah data penjadwalan atau schedule, gambar kerja, dan data monitoring progress pekerjaan menjadi bentuk stripmap yang berisi data pendukung berupa volume pekerjaan, tanggal pelaksanaan, mutu bahan yang diperlukan, dan dokumentasi pelaksanaan. Karena lokasi pekerjaan berada di tengah hutan yang sangat terbatas akses internet, pembuatan system informasi ini akan memanfaatkan aplikasi MS Excel yang umum digunakan dan tidak memerlukan akses internet. Sistem monitoring stripmap akan dikelola oleh petugas administrasi teknik dan diharapkan dapat mempercepat dan memperjelas detail harian pelaksanaan konstruksi. Hasil evaluasi penerapan menunjukkan pelaksana lapangan dan manajemen merasa sangat terbantu dengan sistem monitoring stripmap.

Kata kunci: Monitoring Proyek, Stripmap, Digitalisasi, Progres

ABSTRACT

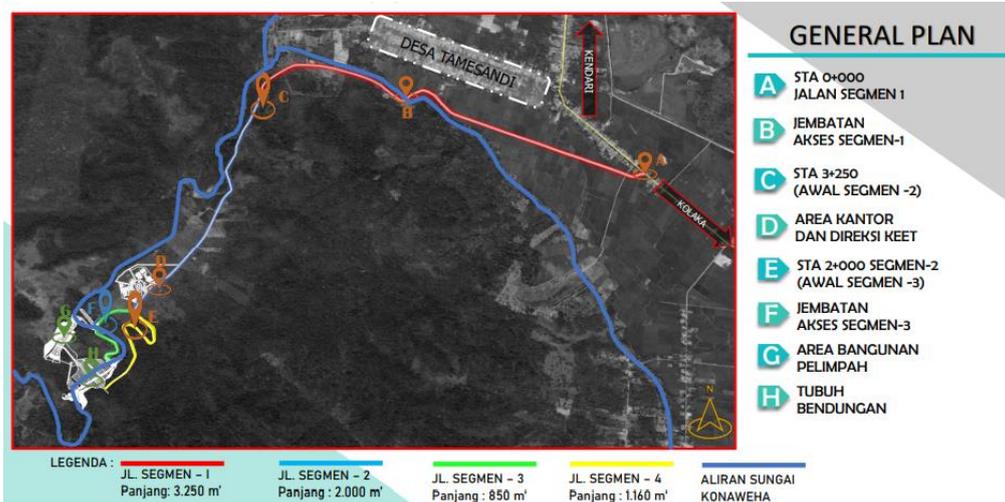
Failure of the progress of construction completion can be detected earlier by using a construction daily report. The field supervisor usually provide hand notes as daily work report to field management. Hand notes on scraps of paper are often illegible, inaccurate, lost, and damaged, so that they can't be recorder properly. The condition of the project is far from urban areas and limited internet access has resulted in a poor monitoring system. In order to support digitalization of construction project, an efficient and effective monitoring system innovation is needed. This study was conducted to create a monitoring system for construction work as a substitute for the weakness of hand notes from field so that it can carry more accurate information from field supervisor to management. The study will process master schedule data, work drawing, and work progress monitoring data into a stripmap form containing supporting data in work volume, execution date, quality of material, and and documentation. Because of the limited internet access in remote area, this information system will utilize MS Excel application and doesn't require internet access. The stripmap monitoring system will be managed by technical administration officers and is expected to speed up and clarify the daily construction work. The result of the implementation show that field supervisor and management level feel very helpful with the stripmap monitoring system.

Keywords: Construction Monitoring, Stripmap, Digitalization

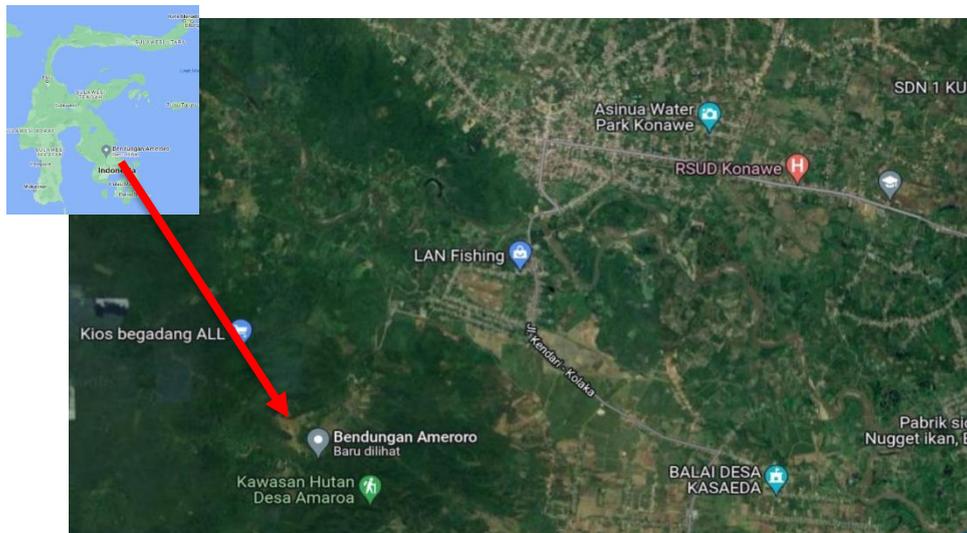
PENDAHULUAN

Proyek Bendungan Ameroro sesuai kontrak no BWS.14.09.5/386/2021 terdiri dari paket 1 dan 2. Lingkup pekerjaan pada paket II terdiri dari

pekerjaan jalan akses, jembatan akses, dan bangunan pelimpah (*spillway*) PT. Utama Karya – PT. Adhi Karya (KSO) seperti terlihat dalam gambar 1.



Gambar 1 Pembagian segmen dalam pekerjaan jalan akses Bendungan



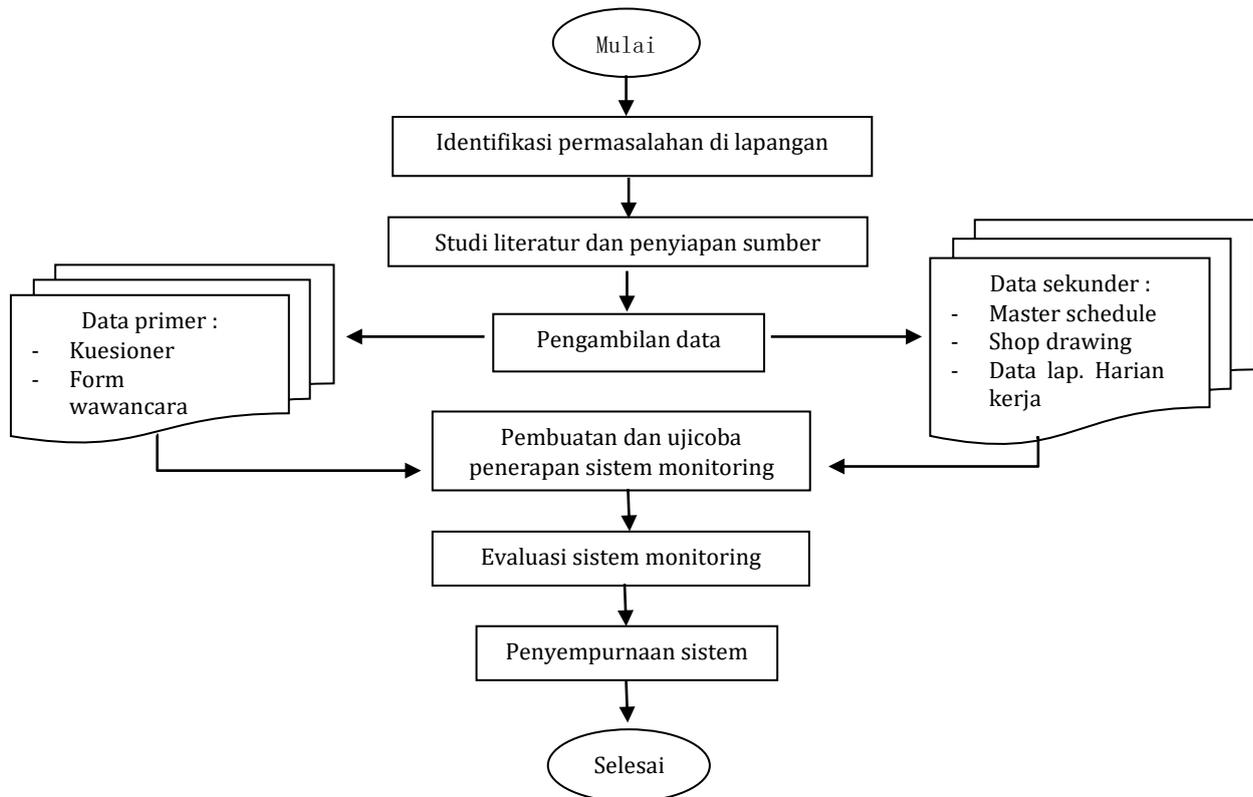
Gambar 2 Lokasi Bendungan Ameroro

Pekerjaan pembuatan dan peningkatan jalan akses ini dibangun untuk mempermudah akses masyarakat menuju ke Bendungan Ameroro yang dilaksanakan di berlokasi Desa Tamesandi, Kabupaten Konawe, Provinsi Sulawesi Tenggara. Proyek Bendungan Ameroro terletak di Kawasan hutan Amaro yang cukup jauh dari permukiman seperti terlihat dalam gambar 2. Meskipun terletak di pelosok, pelaksanaan proyek tetap harus sukses diselesaikan yang dapat dilihat dalam 3 aspek yaitu *project scope management*, *project time management*, dan *project cost management* (Pratami et al., 2015). Agar likuiditas proyek baik, maka sumber daya yang digunakan tidak melebihi dari anggaran yang direncanakan (Sudipta, 2013). Saat pelaksanaan konstruksi, pelaksana lapangan bertugas melakukan monitoring pekerjaan harian sesuai dengan spesifikasi dan metode kerja yang telah ditentukan (Tama et al., 2020). Kegiatan monitoring dilakukan dengan cara ditulis di buku catatan karena kondisi di daerah Konawe yang masih kesulitan untuk akses internet.

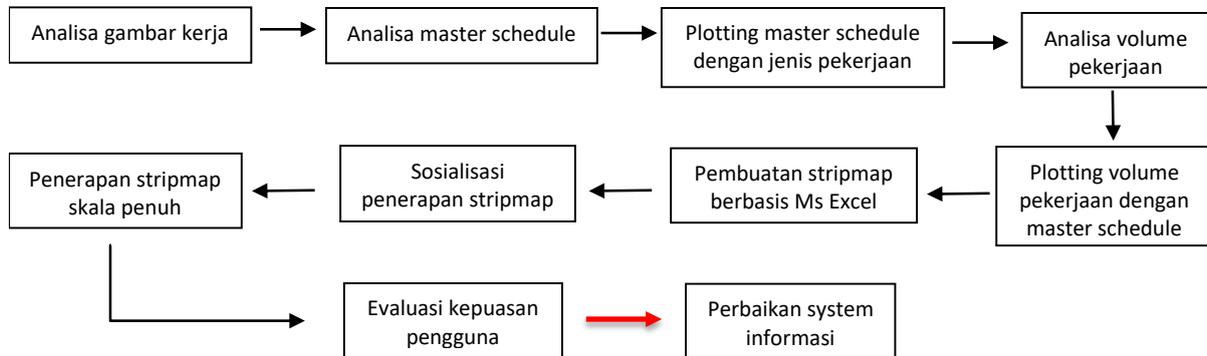
Setelah itu, data direkap per bulannya untuk diserahkan ke SOM (Site Operational Manager) dalam bentuk kumpulan kertas atau catatan. Melihat pelaksanaan eksisting dalam proses monitoring maka perlu dilakukan inovasi dalam pelaksanaan monitoring dapat mempercepat pelaporan progress dari lapangan secara berkala baik harian, mingguan, bulanan serta kondisi permasalahan di lapangan dapat segera ditangani (Saputri et al., 2022). Studi ini dilakukan dengan tujuan untuk membuat system monitoring proyek yang efektif dari pelaksana lapangan ke manajemen serta pengelolaan struktur organisasi monitoring proyek.

METODE

Kajian pembuatan system monitoring proyek ini dilakukan dimulai dari tahap identifikasi masalah di lapangan hingga pembuatan system monitoring sesuai dalam gambar 3.



Gambar 3 Bagan alir penelitian

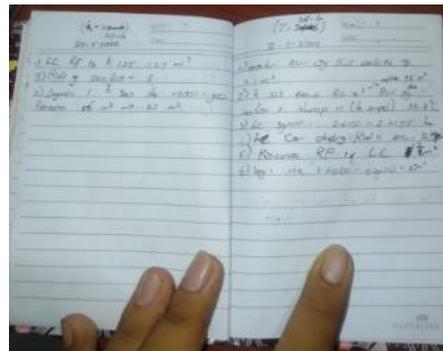


Gambar 4 Bagan alir pembuatan system informasi

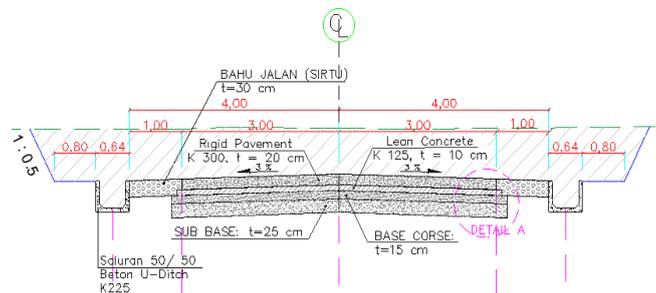
System monitoring proyek akan menggunakan basis aplikasi MS Excel yang dapat dioperasikan secara offline tanpa jaringan internet sehingga memudahkan dalam aliran data pekerjaan konstruksi. Pembuatan system monitoring dilakukan dengan langkah-langkah seperti terlihat dalam Gambar 4. Pembuatan system informasi monitoring pekerjaan konstruksi diawali dengan cara merubah gambaran fisik bangunan yang ada dalam shop drawing menjadi symbol yang dilengkai target waktu penyelesaian, volume, dan spesifikasi. Setelah pembuatan system informasi, dilakukan ujicoba penerapan dan evaluasi hasil penerapan yang dilakukan dengan menyebarkan kuesioner kepada mandor, SOM, SEM, Konsultan, Quantity, Quality Control, dan pelaksana lapangan dengan sampel berjumlah 8 orang. Analisa kepuasan penggunaan sistem informasi menggunakan Skala Likert 1-5 dengan kategori tidak tahu sampai sangat puas. Analisa data juga dilakukan uji kecukupan, reabilitas, dan validitas data.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada kondisi eksisting (awal), monitoring dilakukan dengan cara ditulis di kertas (buku catatan) atau ditulis di tangan karena kondisi di daerah Konawe yang masih kesulitan untuk akses internet. Setelah itu, data di rekap per bulannya untuk diserahkan ke SOM (*Site Operational Manager*) seperti dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5 Catatan progress harian pekerjaan jalan akses



Gambar 6 Penampang typical pekerjaan jalan akses

Pembuatan system informasi monitoring berbasis Ms Excel dengan hasil sebagai berikut :

1. Analisa gambar kerja jalan akses dilakukan dengan interval 100 meter dengan lingkup pekerjaan galian, lantai kerja (LC), rigid pavement, dan pekerjaan drainase seperti terlihat dalam gambar 6.
2. Identifikasi master schedule dengan metode CPM sehingga didapatkan item pekerjaan kritis dan target pekerjaan yang harus diselesaikan dalam 1 bulan untuk kemudian di breakdown menjadi target pekerjaan mingguan seperti pada gambar 7 (Saputra & Anwar, 2020).
3. Mengintegrasikan atau *plotting master schedule* dengan jenis pekerjaan sehingga didapat timeline pekerjaan secara detail. Ilustrasi dapat dilihat pada gambar 8.

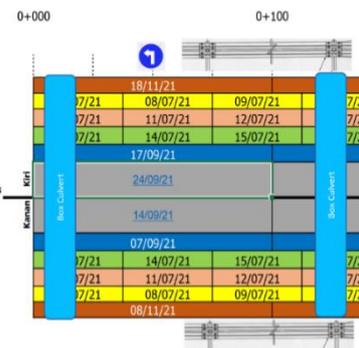
4. Ploting volume pekerjaan dengan master schedule sehingga dapat dibuat dalam bentuk tabel seperti terlihat dalam tabel 1.

Dari metode plotting tersebut dapat ditinjau tingkat prosentase perkembangan proyek dalam kurva S (Enrico & Sumarman, 2018).

5. Membuat stripmap secara detail per STA yang dapat dilihat pada gambar 9.
6. Pelaksanaan sosialisasi penerapan stripmap ke pelaksana dan SOM dimana pada saat konstruksi, pelaksana lapangan akan membuat catatan kecil hasil kerja 1 hari yang berisi item pekerjaan, volume, dokumentasi foto, mutu bahan yang digunakan, dan tanggal pelaksanaan. Catatan harian dari pelaksana akan diolah kembali secara harian oleh AdTek (Administrasi Teknik) seperti Ilustrasi dalam Tabel 2.

NO	ITEM PEKERJAAN	JADWAL PELAKSANAAN 2021-2022								JADWAL PELAKSANAAN 2022-2023													
		M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	M-8	M-9	M-10	M-11	M-12	M-13	M-14	M-15	M-16	M-17	M-18	M-19	M-20	M-21	M-22
		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
I	PEKERJAAN PERSIAPAN			0,13	0,51	0,47	0,30																
II	PEKERJAAN PENGUKUTAN PENGALIHAN SALURAN BENDARAN BESI			0,01	0,19	1,33	2,04	3,87	4,33	0,30													
III	BANGUNAN PELINDUNG				0,24	0,50	1,06	1,06	1,06	1,06	1,02	1,02	1,02	1,02	2,79	2,88	2,90	2,41	2,41	2,41	2,31		
IV	PEKERJAAN GROUNDING KABEL & ELECTRICAL							1,32	1,32	1,17	0,95												
V	PEKERJAAN BANGUNAN FACILITIES DAN PENUNJANG																	0,03	0,03	0,03	1,03	1,72	0,03
VI	PEKERJAAN BANGUNAN SISTEM MANAJEMEN KUALIFIKASI KONSTRUKSI (SOMK)			0,15	0,26	0,11	0,03	0,31	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
VII	PEKERJAAN LAIN-LAIN			0,29	1,20	2,40	4,34	7,19	7,55	3,30	4,80	3,85	3,85	3,85	2,62	2,91	2,92	2,47	2,47	2,47	3,52	4,10	1,70
				0,29	1,40	3,30	8,24	15,43	22,99	26,89	31,69	35,54	39,39	43,24	46,06	48,97	51,89	54,36	56,81	59,49	62,01	64,21	70,00

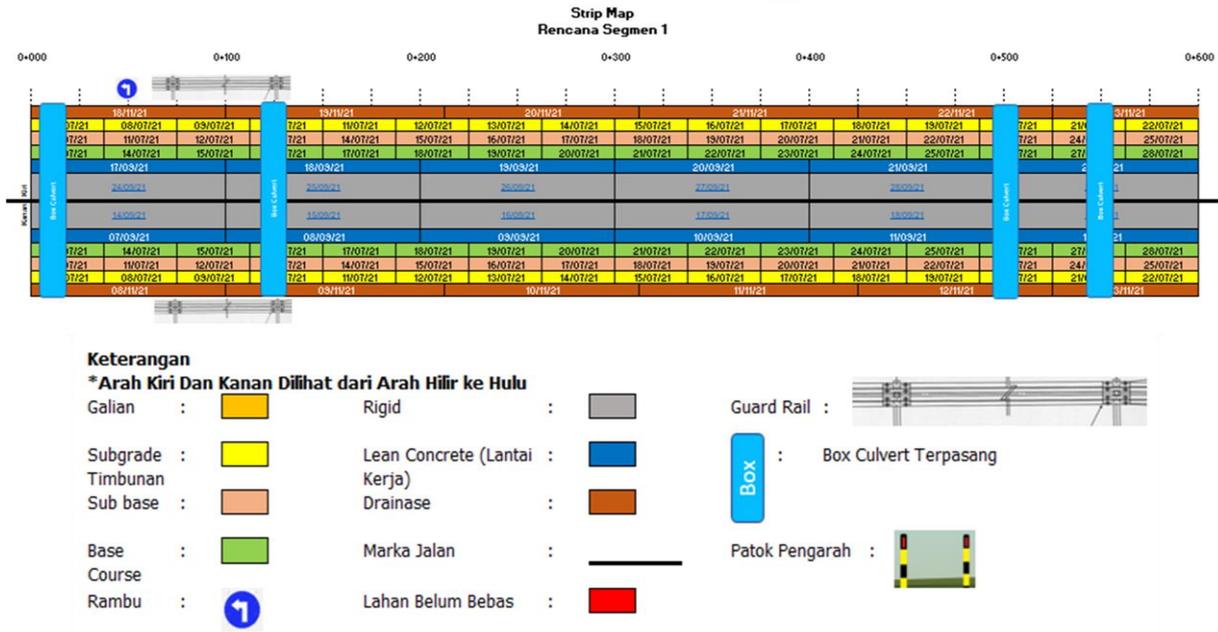
Gambar 7 Master schedule pekerjaan jalan akses



Gambar 8 Timeline rencana pekerjaan jalan akses

Tabel 1 Hasil Ploting Volume Pekerjaan Dalam Stripmap

STA.	0+000	-	0+100		
No	Jenis Data Rencana	Ada / Tidak Ada	Volume Rencana	Satuan	Keterangan
1	Galian	Tidak Ada	-	m3	
2	Timbunan	Ada	2014,78	m3	
3	Lapis Pondasi Bawah	Ada	45	m3	
4	Lapis Pondasi Atas	Ada	60	m3	
5	Lantai Kerja (LC)	Ada	30	m3	
6	Rigid	Ada	60	m3	
7	Drainase	Ada	166	buah	
8	Box Culvert	Ada	1	buah	Lokasi di STA. 0+000
9	Guard Rail	Ada	25	m	Lokasi di STA. 0+075 - 0+100
10	Patok Pengarah	Tidak Ada	-	buah	
11	Marka Jalan	Ada	10	m2	
12	Rambu	Ada	1	buah	Lokasi di STA. 0+050 L



Gambar 9 Hasil strip-map rencana pekerjaan jalan akses

Tabel 2 Dokumentasi Pekerjaan Dalam Stripmap

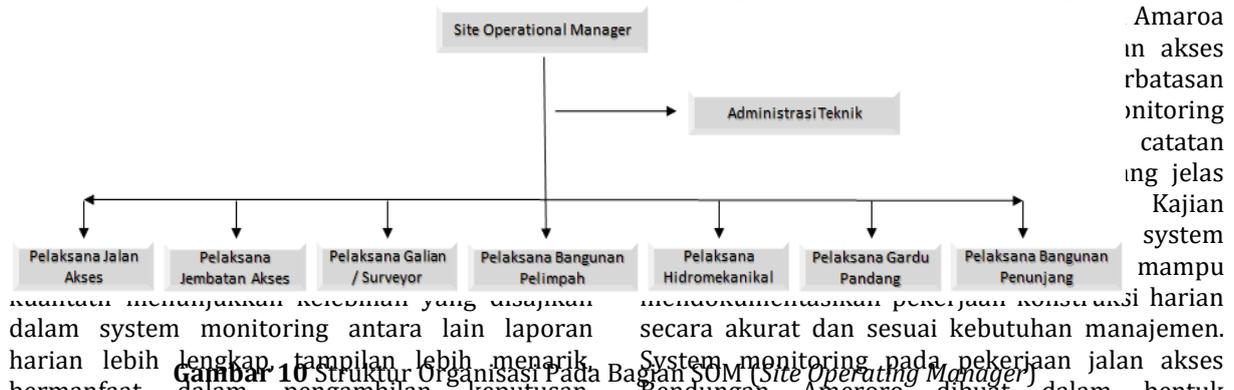
No.	Jenis Pekerjaan	Lokasi	STA. 0-200		0-300		Dokumentasi	Hambatan Kerja
			Tgl. Pengecoran	Rencana Mutu Beton	Realisasi Mutu Beton	Volume (m ³)		
1	Pengecoran LC	STA. 0+200-0+300 Kiri	07 April 2022	12.5	12.261 (uji 28 hari)	30		
2	Pengecoran LC	STA. 0+200-0+300 Kanan	10 April 2022	12.5	11.223 (uji 28 hari)	30		
3	Pengecoran Rigid	STA. 0+200-0+300 Kanan	22 April 2022	30	25.653 (uji 28 hari)	60		

Dengan adanya stripmap ini, maka perlu diusulkan perubahan struktur organisasi agar stripmap dapat dimanfaatkan dengan menambahkan adanya petugas Administrasi Teknik (AdTek) dibawah struktur organisasi SOM (Site Operating Manager) dengan kriteria Pendidikan min D3 teknik sipil, mampu membaca gambar, mampu menghitung volume pekerjaan, mampu mengoperasional software, mampu berkomunikasi dengan berbagai pihak, mampu bekerjasama dalam tim, dan memiliki keuletan kerja. AdTek bertugas mengumpulkan informasi dari para pelaksana di lapangan tiap hari baik melalui visit lapangan,

penyampaian data via Whats App atau Handy Talky sehingga terjadi perubahan struktur SOM yang dapat dilihat pada gambar 10. Masalah yang sering terjadi pada proses monitoring proyek oleh berbagai level staf lapangan adalah perlunya alat bantu dalam memudahkan proses perencanaan kegiatan dan biaya proyek, alat untuk mengontrol ketidaksesuaian antara rencana dan realisasi proyek, alat yang dapat mengurangi jumlah penggunaan dokumen laporan yang harus diisi, serta dapat memberikan data-data proyek secara real-time (Dhuha et al., 2017)

Hasil penerapan stripmap pada pekerjaan jalan

Pembangunan jalan akses Bendungan Ameroro



Gambar 10 Struktur Organisasi Pada Bagian SOM (Site Operating Manager)

menyampaikan data secara akurat dan sesuai kebutuhan manajemen. System monitoring pada pekerjaan jalan akses Bendungan Ameroro dibuat dalam bentuk stripmap berbasis MS Excel dimana setiap fisik pekerjaan digambarkan dalam simbol. Dalam stripmap monitoring progress tersebut berisi uraian pekerjaan, volume, dokumentasi, dan mutu bahan. Stripmap

menyampaikan data secara akurat dan sesuai kebutuhan manajemen. System monitoring pada pekerjaan jalan akses Bendungan Ameroro dibuat dalam bentuk stripmap berbasis MS Excel dimana setiap fisik pekerjaan digambarkan dalam simbol. Dalam stripmap monitoring progress tersebut berisi uraian pekerjaan, volume, dokumentasi, dan mutu bahan. Stripmap

Tabel 3 Hasil Penilaian Kepuasa Penerapan Stripmap Monitoring

No	Parameter penilaian	Tanpa Stripmap*	Dengan Stripmap*	Keterangan
1	Kelengkapan data yang tercantum dalam laporan progress harian	2,75	4,12	Meningkat
2	Tampilan pada sistem monitoring progres pekerjaan	2,5	4	Meningkat
3	Tingkat pemanfaatan sistem monitoring progress untuk pengambilan keputusan	2,62	4,12	Meningkat
4	Kecepatan penyampaian progress pekerjaan	3	4,25	Meningkat
5	Tingkat kemudahan penggunaan sistem monitoring progress	2,87	4,12	Meningkat
6	Tingkat keakuratan data pada sistem monitoring progress	2,75	4,25	Meningkat
	Rata-rata	2,75	4,14	

(Asnuddin et al., 2018). Sistem *strip-map* ini membantu dalam pengawasan mutu, pengawan biaya, dan pengawasan waktu pelaksanaan (Imam Munandar & Multi Rezeki, 2017).

tersebut diisi oleh petugas administrasi teknik yang dilakukan setiap hari setelah pekerjaan harian. Laporan dari pelaksana secara harian akan direkap menjadi mingguan dan bulanan sehingga terlihat lebih menarik dan efektif. Petugas adtek akan berada di bawah organisasi SOM yang setiap hari mempunyai tugas khusus mengupulkan data dari lapangan menjadi progress pekerjaan. Stripmap yang dibuat sudah dilakukan sosialisasi

KESIMPULAN

dan hasil sosialisasi menunjukkan stripmap memberi apresiasi dan dampak positif dalam pelaksanaan monitoring di paket pekerjaan Bendungan Ameroro.

Unswagati Cirebon, VIII(2), 630–641.
<http://jurnal.ugj.ac.id/index.php/Konstruksi/article/view/3923>

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada jajaran PT Hutama Karya-PT Adhi Karya (KSO) Proyek Bendungan Ameroro, Konawe yang telah memberikan kesempatan dalam menerapkan hasil kajian ini serta kepada seluruh civitas akademik Politeknik Pekerjaan Umum yang sangat mendukung inovasi akan digitalisasi pada pekerjaan konstruksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Asnuddin, S., Tjakra, J., & Sibi, M. (2018). Penerapan Manajemen Konstruksi Pada Tahap Controlling Proyek (Studi kasus: bangunan laboratorium fakultas teknik universitas sam ratulangi manado). *Jurnal Sipil Statik*, 6(11), 895–906.
- Dhuha, A. R., Pradana, F., & Priyambadha, B. (2017). Pengembangan Sistem Aplikasi Manajemen Proyek Berbasis Web (Studi Kasus: PT . Swadaya Graha). *Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 1(11), 1367–1375.
- Enrico, Y., & Sumarman. (2018). Manajemen Konstruksi Pada Proyek Pembangunan Jembatan Untuk Akses Ke Lokasi Pt. Pertamina Mb-04. *Jurnal Konstruksi Unswagati Cirebon*, 7(2), 2085–8744. <http://jurnal.ugj.ac.id/index.php/Konstruksi/article/view/3773>
- Imam Munandar, M., & Multi Rezeki, I. (2017). Manajemen Konstruksi Proyek Pembangunan Guest House Sutan Raja Kota Cirebon. *Jurnal Konstruksi Unswagati Cirebon*, VI(2), 165.
- Pratami, D., Octaviana, L., & Haryono, I. (2015). Perancangan Dokumen Audit Manajemen Proyek dengan Menggunakan 10 Knowledge Area PMBOK Edisi 5 Develop e-learning content for Project Management Class View project. *Proceeding Seminar Sistem Produksi XI, October 2015*, 2–16. <https://www.researchgate.net/publication/299915993>
- Saputra, T. A., & Anwar, S. (2020). Analisis Manajemen Konstruksi Pada Bendung Copong Kabupaten Garut. *Jurnal Konstruksi*

- Saputri, R. A., Tuloli, M. Y., & Utirahman, A. (2022). IMPLEMENTASI TAHAP CONTROLLING PROYEK DALAM MANAJEMEN KONSTRUKSI PEMBANGUNAN GEDUNG ASRAMA MAN 1 Gorontalo. *Jurnal Penelitian Jalan Dan Jembatan*, 2(1), 1-14.
- Sudipta, I. (2013). Studi Manajemen Proyek Terhadap Sumber Daya Pada Pelaksanaan Proyek Konstruksi (Studi Kasus: Pembangunan Villa Bali Air). *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 17(1), 73-83.
- Tama, A. K., Anggraini, L., & Tutuko, B. (2020). Analisis Kinerja Manajemen Konstruksi Pada Proyek Gedung Digitasi Universitas Negeri Semarang. *Teknik Sipil*, 1(1), 1-15.



EVALUASI LIKUIFAKSI PASIR SILIKA REMBANG MELALUI UJI TRIAKSIAL *CONSOLIDATED UNDRAINED*

Liquefaction Evaluation On Rembang Silica Sand Using Triaxial Consolidated Undrained Test

Rini Kusumawardani¹, Togani Cahyadi Upomo*¹, dan Untoro Nugroho¹

¹Jurusan Teknik Sipil, Universitas Negeri Semarang, Sekaran Gunungpati Semarang 50229

*Korespondensi: togani.cahyadi@mail.unnes.ac.id

ABSTRAK

Likuifaksi merupakan fenomena dimana tanah pasir lepas dalam kondisi jenuh air kehilangan kekuatannya akibat dari beban statik maupun dinamik yang umumnya diakibatkan oleh gempa bumi. Beban statik maupun dinamik yang disalurkan kedalam tanah tersebut menyebabkan peningkatan tekanan air pori yang signifikan sehingga tegangan efektif tanah menjadi hilang. Fenomena likuifaksi beberapa kali terjadi di Indonesia, seperti fenomena likuifaksi di Yogyakarta tahun 2006, Lombok dan Palu tahun 2018. Salah satu metode untuk menilai likuifaksi dapat menggunakan pengujian triaksial statik dengan menerapkan kondisi *consolidated undrained (CU)*. Pada studi ini, pengujian triaksial pada kondisi *CU* diterapkan untuk menguji potensi likuifaksi pada tanah pasir silika Rembang. Pengujian dilakukan pada kondisi tanah pasir lepas dengan kepadatan relatif (D_r) = 10% dan tanah pasir setengah padat dengan D_r = 40%. Agar D_r rencana tercapai, metode pemadatan basah diterapkan dalam mencetak sampel. Selama pengujian, tegangan efektif (σ'_3) yang diberikan pada sampel sebesar 100 kPa dan 400 kPa. Tanah dengan σ'_3 = 100 kPa merupakan representasi dari tanah dekat dengan permukaan (0-10 m), sedangkan tanah dengan σ'_3 = 400 kPa untuk menggambarkan kondisi tanah dengan urugan tinggi (30-40 m) atau tanah pada kedalaman antara 30-40 m. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tegangan air pori pada kepadatan relatif 10% cenderung naik sampai dengan nilai tegangan efektif (σ'_3) yang diberikan. Hal tersebut menyebabkan tanah kehilangan tegangan efektifnya dan mengalami likuifaksi. Sedangkan pada kepadatan relatif 40%, tegangan air pori akan mencapai puncak dan selanjutnya konstan sehingga tanah dapat menjaga kekuatannya.

Kata kunci: likuifaksi statik, pengujian triaksial *CU*, pasir Rembang, pasir lepas dan padat

ABSTRACT

Soil liquefaction is a phenomenon where saturated, loose, sandy soil loses its strength, commonly as a result of static and dynamic loads, which are generally caused by earthquakes. The static and dynamic loads that are transferred into the soil cause a significant increase in pore water pressure, resulting in a reduction in effective soil stress. In Indonesia, the soil liquefaction phenomenon has occurred many times, including in Yogyakarta in 2006, Lombok and Palu in 2018. Performing triaxial static testing with the *consolidated undrained (CU)* condition is one method for evaluating soil liquefaction. In this study, triaxial testing under *CU* conditions was conducted to evaluate the soil liquefaction potential of Rembang silica sand. The tests were carried out in the loose sand with relative density (D_r) = 10% and the dense sand with D_r = 40%. A moist tamping method was applied for remolding samples. During the test, effective stress (σ'_3) of 100 kPa and 400 kPa are applied to the samples. Soil with σ'_3 = 100 kPa represents soil at the surface (0–10 m), whereas soil with σ'_3 = 400 kPa describe soil conditions with high fill (30–40 m) or soil condition at a depth between 30–40 m. The tests show that pore water pressure on soil with a relative density of 10% tends to increase with the given effective stress. This causes the soil to lose its effective stress and experience liquefaction. Moreover, medium dense sand with a relative density of 40% will experience a peak in pore water pressure, which will then constant such that the soil keep its strength.

Keywords: static liquefaction, triaxial *CU* test, Rembang sand, loose and dense sand

PENDAHULUAN

Likuifaksi umumnya terjadi pada tanah pasir lepas dalam kondisi jenuh air akibat beban statik maupun siklik (Das & Luo, 2016; Prakash, 1981). Beban statik maupun siklik yang berlangsung cepat menyebabkan peningkatan tekanan air pori tanah dan menurunnya tegangan efektif tanah secara drastis. Hal tersebut mengakibatkan tanah kehilangan kekuatannya (Idriss & Boulanger, 2008; Kramer, 1996). Di beberapa tempat, likuifaksi ditandai dengan adanya retakan lateral, penurunan tanah maupun *sand boiling* (Idriss & Boulanger, 2008). Bencana akibat Likuifaksi menyebabkan kerusakan infrastruktur bahkan korban jiwa yang cukup besar. Beberapa contoh fenomena likuifaksi yang pernah terjadi adalah likuifaksi di Alaska 1964 (Youd, 2014), Niigata 1964 (Ishihara & Koga, 1981), Loma Prieta 1989 (Bardet & Kapuskar, 1993), Norhtridge 1994 (Holzer et al., 1999), Kobe 1995 (Soga, 1997), Adapazari 1999 (Bray et al., 2004), dan Christchurch 2011 (Taylor et al., 2012). Bahkan, kejadian likuifaksi juga pernah terjadi di Indonesia seperti likuifaksi di Yogyakarta 2006 (Sarah & Soebowo, 2013), Lombok 2018 (Pamumpuni et al., 2018) dan Palu 2018 (Kiyota et al., 2020).

Castro (1969) melakukan evaluasi likuifaksi pada tanah pasir dengan menggunakan triaksial statik dan siklik. Castro (1969) juga melakukan beberapa variasi kepadatan relatif maupun ukuran butir. Penggunaan triaksial juga dilakukan oleh beberapa peneliti lain untuk menilai potensi likuifaksi pada tanah pasir (Ishihara, 1993), pasir dengan variasi kadar lanau, maupun pada tanah lanau. Lade & Yamamuro (1997) meneliti pengaruh kadar lanau dan variasi kepadatan terhadap potensi likuifaksi dengan pengujian triaksial. Monkul & Yamamuro (2011) melakukan pengujian triaksial untuk mengetahui perilaku pasir yang dicampur dengan lanau serta memvariasikan kadar lanau dan dimensi butiran lanau.

Penggunaan triaksial untuk menilai likuifaksi masih sangat jarang dilakukan oleh peneliti Indonesia. Lestari et al. (2014) telah melakukan penelitian likuifaksi dengan sampel tanah Padang menggunakan triaksial. Hasil penelitian menunjukkan grafik regangan vs tegangan dan tekanan air pori vs regangan kurang sesuai dengan hasil penelitian Castro (1969), dimana tekanan air pori pada tanah dengan kepadatan rendah nilainya turun sehingga tanah seharusnya berperilaku *dilate*.

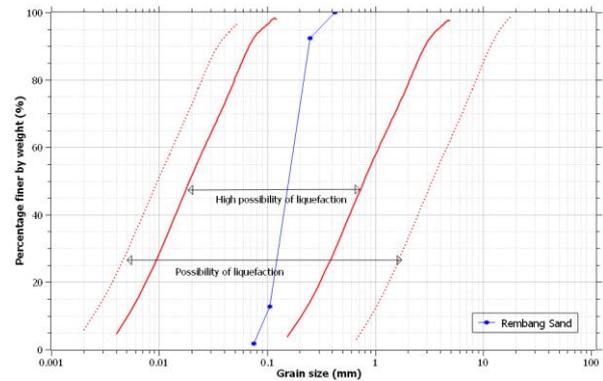
Pada penelitian ini, Kami melakukan penilaian likuifaksi pada tanah pasir silika Rembang dengan triaksial statik di laboratorium dinamika tanah program studi Teknik Sipil UNNES. Perilaku tegangan-regangan, tekanan air pori, dan *stress path* pasir silika Rembang ditinjau dari dua variasi kepadatan yaitu pasir lepas (*loose*) dengan nilai kepadatan relatif (D_r) = 10% dan setengah padat (*medium dense*) dengan nilai kepadatan relatif (D_r) = 40% serta dua variasi tegangan efektif (σ'_3) sebesar 100 kPa dan 400 kPa. Tegangan efektif tersebut menggambarkan kondisi tanah pasir pada kedalaman dekat dengan permukaan (<10m) dan kondisi tanah pasir pada kedalaman 30-40 m atau tanah pasir yang mendapatkan beban urugan antara 30-40 m.

METODE

Secara umum, urutan pengujian disajikan dalam bagan alir pada Gambar 1. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir silika Rembang yang telah dicuci terlebih dahulu sehingga butiran yang lolos saringan no 200 kurang dari 1%. Selain itu, ukuran butir pasir juga didesain agar masuk dalam zona likuifaksi Tsuchida (1970). Gambar 2 menunjukkan nilai batas zona ukuran butir tanah pasir yang memiliki potensi likuifaksi tinggi dan kemungkinan likuifaksi. Potensi likuifaksi tinggi ditunjukkan pada zona garis merah, sedangkan kemungkinan likuifaksi ditunjukkan pada zona garis putus-putus merah. Gradasi sampel tanah pasir silika Rembang yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan dengan garis biru diantara zona yang memiliki potensi likuifaksi tinggi.

Pengujian berat jenis (G_s) mengacu standard ASTM D854-14 (2014), sedangkan pengujian kepadatan minimum (D_r, min) dan maksimum ($D_r, maks$) mengacu standard ASTM D 4254-00 (2014) dan ASTM D 4253-00 (2014). Tabel 1 menunjukkan nilai berat jenis, kepadatan minimum dan maksimum sampel.

Sampel untuk pengujian dicetak dan dibentuk dengan metode pemadatan basah (*moist tamping*) sesuai dengan metode pemadatan basah yang diusulkan oleh da Fonseca et al. (2021). Sebelum pemadatan, sampel dibasahi terlebih dahulu dengan air agar kadar air menjadi 5%, setelah air dan tanah bercampur selanjutnya disimpan dalam kantong plastik tertutup dan dibiarkan selama 24 jam. Sebelum pemadatan, membran dan *split mold* dengan diameter 70 mm dan tinggi 140 mm dipersiapkan. Batu pori dan kertas filter diletakkan pada bawah sampel. Sampel yang telah disiapkan selanjutnya dibagi menjadi lima lapisan pemadatan. Variasi kepadatan relatif (D_r) yang digunakan dalam penelitian ini adalah 10% dan 40%. Nilai D_r tersebut merupakan representasi dari tanah pasir lepas ($D_r = 10\%$) dan setengah padat ($D_r = 40\%$). Setelah pemadatan sampel selesai, pada sisi atas sampel diletakkan kertas filter, batu pori dan *top cap* triaksial. Selanjutnya, sampel diberikan tekanan negatif sebesar 76 cmHg ($\approx 101 \text{ kPa}$).

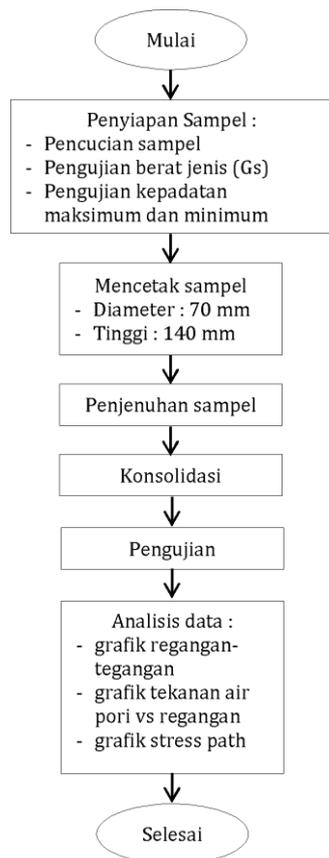


Gambar 2 Distribusi Ukuran Butir Pasir Silika Rembang

Tabel 1 Sifat Fisis Pasir Silika Rembang

Sifat fisis	Simbol	Satuan	Nilai
Berat jenis	Gs	-	2,74
Kepadatan maksimum	$\gamma_{d,maks}$	g/cm^3	1,55
Kepadatan minimum	$\gamma_{d,min}$	g/cm^3	1,217
Angka pori maksimum	e_{maks}	-	1,251
Angka pori minimum	e_{min}	-	0,768

Alat pengujian triaksial yang digunakan merupakan produk dari Wyckham Farrance dengan modifikasi sel triaksial dari Humboldt (Gambar 3). Seluruh data hasil pengujian dibaca oleh *data logger* dan terekam secara otomatis dalam komputer.



Gambar 1 Bagan Alir Penelitian



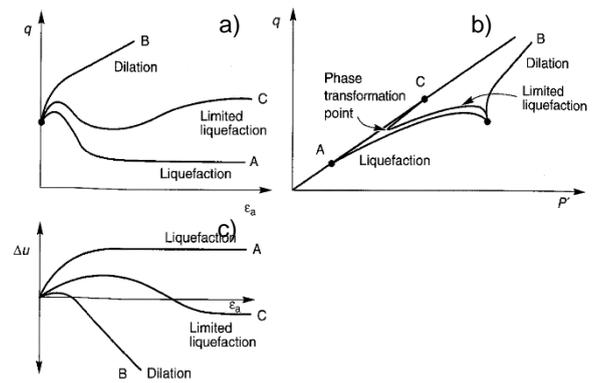
Gambar 3 Peralatan Triaksial dan Data Logger di Laboratorium Dinamika Tanah Program Studi Teknik Sipil UNNES

Penjenuhan dilakukan dengan cara memberikan tekanan negatif kedalam sampel terlebih dahulu sampai udara dalam sampel hilang, dan selanjutnya dialirkan air yang telah divakum (*deaired water*) melalui sampel dengan menjaga tekanan dalam sampel kurang dari 10 kPa. Setelah seluruh pori air terisi air, pengukuran nilai B (*B value*) dilakukan. Sampel dinyatakan dalam kondisi jenuh apabila nilai B sebesar 0.98 serta *backpressure* minimum sebesar 200 kPa.

Kecepatan regangan yang digunakan selama pengujian sebesar 0.35%/min setelah sampel dikonsolidasikan dengan *effective confining pressure* (σ'_3) sebesar 100 kPa dan 400 kPa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

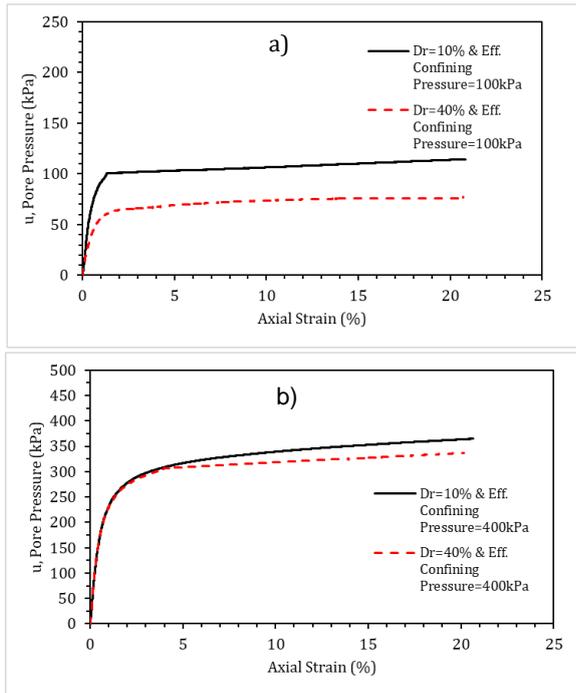
Castro (1969) membagi perilaku tanah pasir menjadi tiga, yaitu likuifaksi, *limited liquefaction*, dan *dilation*. Perilaku tanah pasir ini digambarkan dalam grafik hubungan tegangan-regangan, tekanan air pori-regangan dan *stress path* seperti terlihat pada Gambar 4. Pada tanah yang mengalami likuifaksi, tegangan efektifnya akan naik sampai puncak dan selanjutnya runtuh serta mengalami regangan yang besar dengan tegangan efektif yang sangat rendah. Sedangkan pada tanah pasir yang mengalami *limited liquefaction*, tegangan efektif akan naik sampai puncak selanjutnya turun lalu tegangan efektif akan kembali naik. Pada *limited liquefaction*, tanah mengalami fase transformasi seperti terlihat dalam Gambar 4(b). Tanah pasir padat mengalami perilaku *dilation*, yakni tegangan efektif tanah naik seiring dengan penurunan tekanan air pori yang terjadi.



Gambar 4 Perilaku likuifaksi, *limited liquefaction* dan *dilation* pada grafik : a) hubungan tegangan regangan, b) tekanan air pori vs regangan dan c) *stress path* (Castro, 1969)

Hasil pengujian triaksial CU menunjukkan perbedaan perilaku tekanan air pori (Gambar 5), tegangan-regangan (Gambar 6) dan *stress path* (Gambar 7).

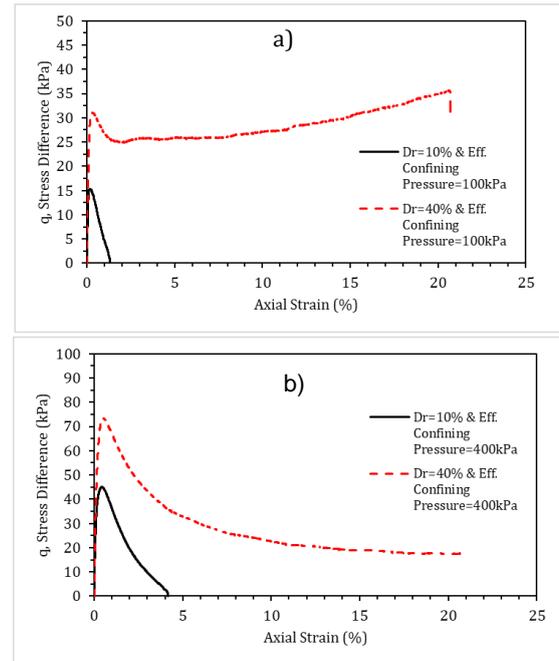
Gambar 5 menunjukkan kurva perilaku tekanan air pori selama pengujian triaksial CU. Perilaku tekanan air pori ketika likuifaksi terjadi pada tanah dengan $D_r = 10\%$. Pada tanah dengan $D_r = 10\%$, tekanan air pori meningkat sampai pada regangan 2%, selanjutnya tekanan air pori relatif datar dan mendekati nilai *effective confining pressure*-nya. Hal ini mengakibatkan hilangnya tegangan efektif tanah atau tanah kehilangan kekuatannya. Kehilangan tegangan efektif tersebut juga ditunjukkan dalam grafik hubungan tegangan-regangan pada Gambar 6 dan *stress path* pada Gambar 7. Pada grafik hubungan tegangan-regangan, mula-mula tegangan efektif tanah meningkat sampai puncak dan selanjutnya turun sampai dengan nol. Sedangkan pada *stress path* ditunjukkan dengan kehilangan tegangan efektif dan tegangan normal efektif.



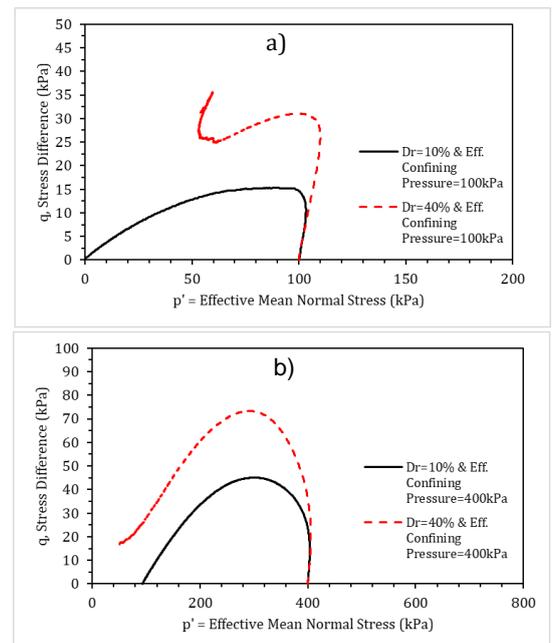
Gambar 5 Perilaku tekanan air pori, a) $D_r = 10\%$ & 40% dengan *effective confining pressure* 100 kPa, b) $D_r = 10\%$ & 40% dengan *effective confining pressure* 400 kPa

Tanah dengan $D_r = 40\%$ menunjukkan dua perilaku yang berbeda seperti terlihat pada grafik regangan tegangan pada Gambar 6 dan *stress path* pada Gambar 7. Ketika *effective confining pressure* sebesar 100 kPa, tegangan efektif tanah mula-mula naik sampai puncak lalu turun atau disebut sebagai *strain softening*, dan kembali naik. Perilaku naiknya tegangan efektif ini disebut juga sebagai perilaku *dilative*. Sedangkan, ketika *effective confining pressure* sebesar 400 kPa, tegangan efektif tanah mula-mula meningkat dan selanjutnya turun lalu konstan. Fase transformasi terjadi pada tegangan efektif sebesar 20-25 kPa.

Berdasarkan kriteria likuifaksi yang didefinisikan oleh Castro (1969), pada $D_r = 10\%$ dan *effective confining pressure* sebesar 100 kPa dan 400 kPa, tanah pasir silika Rembang mengalami likuifaksi. Sedangkan, tanah pasir silika Rembang dengan $D_r = 40\%$ mengalami *limited liquefaction*.



Gambar 6 Hubungan regangan dan tegangan, a) $D_r = 10\%$ & 40% dengan *eff. confining pressure* 100 kPa, b) $D_r = 10\%$ & 40% dengan *eff. confining pressure* 400 kPa



Gambar 7 Stress path, a) $D_r = 10\%$ & 40% dengan *eff. confining pressure* 100 kPa, b) $D_r = 10\%$ & 40% dengan *eff. confining pressure* 400 kPa

KESIMPULAN

Penelitian ini telah melakukan pengujian triaksial CU dengan variasi kepadatan relatif dan *effective confining pressure*. Sampel yang digunakan dalam pengujian adalah pasir silika Rembang dengan ukuran butir didesain agar masuk dalam zona likuifaksi Tsuchida (1970). Hasil pengujian menunjukkan tanah pada kondisi lepas ($D_r = 10\%$) mengalami likuifaksi, sedangkan tanah pada kondisi setengah padat ($D_r = 40\%$) mengalami *limited liquefaction*.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM D 4253-00. (2014). *Standard test methods for maximum index density and unit weight of soils using vibratory table*. ASTM International. www.astm.org
- ASTM D 4254-00. (2014). *Standard test methods for minimum index density and unit weight of soils and calculation of relative density*. ASTM International. www.astm.org
- ASTM D854-14. (2014). *Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer*. ASTM International. www.astm.org
- Bardet, J. P., & Kapuskar, M. (1993). Liquefaction Sand Boils in San Francisco during 1989 Loma Prieta earthquake. *Journal of Geotechnical Engineering*, 119(3), 543–562.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1993\)119:3\(543\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1993)119:3(543))
- Bray, J. D., Sancio, R. B., Durgunoglu, T., Onalp, A., Youd, T. L., Stewart, J. P., Seed, R. B., Cetin, O. K., Bol, E., Baturay, M. B., Christensen, C., & Karadayilar, T. (2004). Subsurface characterization at ground failure sites in Adapazari, Turkey. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 130(7), 673–685.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2004\)130:7\(673\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2004)130:7(673))
- Castro, G. (1969). *Liquefaction of Sands* [PhD Thesis]. Harvard University.
- da Fonseca, A. V., Cordeiro, D., & Molina-Gómez, F. (2021). Recommended Procedures to Assess Critical State Locus from Triaxial Tests in Cohesionless Remoulded Samples. *Geotechnics*, 1(1), 95–127.
- Das, B. M., & Luo, Z. (2016). *Principles of Soil Dynamics* (3rd ed.). Cengage Learning.
- Holzer, T. L., Bennett, M. J., Ponti, D. J., & Tinsley III, J. C. (1999). Liquefaction and soil failure during 1994 Northridge earthquake. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 125(6), 438–452.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(1999\)125:6\(438\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(1999)125:6(438))
- Idriss, I. M., & Boulanger, R. W. (2008). *Soil Liquefaction during Earthquakes*. EERI.
- Ishihara, K. (1993). Liquefaction and flow failure during earthquakes. *Géotechnique*, 43(3), 351–451.
<https://doi.org/10.1680/geot.1993.43.3.351>
- Ishihara, K., & Koga, Y. (1981). Case studies of liquefaction in the 1964 Niigata earthquake. *Soils and Foundations*, 21(3), 35–52.
https://doi.org/10.3208/sandf1972.21.3_35
- Kiyota, T., Furuichi, H., Hidayat, R. F., Tada, N., & Nawir, H. (2020). Overview of long-distance flow-slide caused by the 2018 Sulawesi earthquake, Indonesia. *Soils and Foundations*, 60(3), 722–735.
<https://doi.org/10.1016/j.sandf.2020.03.015>
- Kramer, S. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*. Prentice Hall.
- Lade, P. V., & Yamamuro, J. A. (1997). Effects of nonplastic fines on static liquefaction of sands. *Canadian Geotechnical Journal*, 34(6), 918–928.
<https://doi.org/10.1139/t97-052>
- Lestari, A. S., Hartadi, M. D., & Kesumah, A. (2014). Liquefaction potensial evaluation based on critical state parameter concept and piezocone test of sandy sediments Padang Indonesia. *Engineering Innovation for Sustainable Development*, 133–137.
- Monkul, M. M., & Yamamuro, J. A. (2011). Influence of silt size and content on liquefaction behavior of sands. *Canadian Geotechnical Journal*, 48(6).
<https://doi.org/10.1139/t11-001>
- Pamumpuni, A., Sapiie, B., Marshal, M. E., Apriansyah, D., & Anisprawoto, A. (2018). Penyelidikan geologi paska gempa Lombok 5 Agustus 2018. In *Kajian rangkaian gempa Lombok Provinsi Nusa Tenggara Barat* (pp. 27–34). Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman.

- Prakash, S. (1981). *Soil Dynamics*. McGraw-Hill.
- Sarah, D., & Soebowo, E. (2013). Liquefaction due to the 2006 Yogyakarta Earthquake: Field Occurrence and Geotechnical Analysis. *Procedia Earth and Planetary Science*, 6, 383–389. <https://doi.org/10.1016/j.proeps.2013.01.050>
- Soga, K. (1997). Soil liquefaction effects observed in the Kobe earthquake of 1995. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Geotechnical Engineering*, 131(1), 34–51. <https://doi.org/10.1680/igeng.1998.30004>
- Taylor, M. L., Cubrinovski, M., & Bradley, B. A. (2012). Characterisation of ground conditions in the Christchurch Central Business district. *Australian Geomechanics Journal*, 42(4), 43–57.
- Tsuchida, H. (1970). *Prediction and Countermeasure against Liquefaction in Sand Deposits*. 3.1-3.33.
- Youd, T. L. (2014, July 21). Ground failure investigations following the 1964 Alaska earthquake. *Proceedings of the 10 Th National Conference in Earthquake Engineering*. Tenth U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Anchorage, Alaska.

DESAIN TEMPAT BERLINDUNG DWIFUNGSI : SEBUAH DESAIN UNTUK KONDISI SELAMA DAN PASCA BENCANA

Bifunctional Shelter Design : A Design For During And Post-Disaster/Outbreak

Previari Umi Pramesti*¹, Edy Darmawan², Riza Susanti¹, Nafisa Ayu Safina¹, Sandya Zahrannisa¹

1 Departemen Sipil dan Perencanaan, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro, Jalan Prof. Soedarto, Tembalang Semarang

2 Departemen Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Jalan Prof. Soedarto, Tembalang Semarang

*Korespondensi ; previ.pramesti@gmail.com

ABSTRAK

Bencana dan wabah yang belum pernah terjadi sebelumnya memberikan pengalaman dalam hal persiapan, penanganan, dan mitigasi untuk mengurangi dampak terhadap masyarakat. Pengungsi yang ditangani dengan baik dan pasien rawat inap yang dikarantina di area gawat darurat secara signifikan mengurangi dampak buruk pada masyarakat dan kondisi area itu sendiri. Namun penanganan dan mitigasinya tidak boleh berhenti setelah bencana atau wabah, tetapi terkadang membutuhkan program keberlanjutan dalam sistem pemulihan, khususnya di bagian ekonomi. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan model shelter karantina bagi pengungsi saat penanganan pasca bencana atau wabah. Dalam proses perencanaan desain bifunctional shelter, peneliti berpegang pada Panduan Shelter untuk Kemanusiaan yang disusun oleh Palang Merah Indonesia bekerjasama dengan Kementerian Sosial Republik Indonesia sebagai metode perencanaan dan perancangan desain. Tantangan modelnya adalah menghasilkan shelter yang terjangkau dengan perakitan cepat, mudah dipindahkan, penggunaan material yang tahan lama, dan layak huni. Selain itu, desain shelter ini dapat digunakan kembali untuk kegiatan ekonomi seperti vend pod untuk merespon program keberlanjutan, khususnya di bidang ekonomi. Studi ini diharapkan dapat berkontribusi pada hasil desain yang dapat diterapkan dan direplikasi dengan mudah untuk kesejahteraan yang lebih baik selama dan setelah bencana atau pandemi.

Keywords: desain dwifungsi; tempat berlindung; bencana; wabah

ABSTRACT

Disasters and recent unprecedented outbreaks taught us preparation, handling, and mitigation to reduce the impact on society. Well-handled refugees and quarantined inpatients in an emergency area significantly reduce the worse impact on the people and that area's condition itself. However, the handling and mitigation should not stop after the disaster or outbreak, but sometimes it requires a sustainability program in the recovery system, particularly in the economic section. This study aims to generate a model of a shelter for refugees during post-disaster handling or outbreak as a quarantine shelter. In the planning process of the bifunctional shelter design, the researchers adhered to the Shelter Guide for Humanity compiled by the Indonesian Red Cross in collaboration with the Ministry of Social Affairs of the Republic of Indonesia as the planning and designing method. The model challenge is to produce an affordable shelter with rapid assembly, movable, good durability material, and liveable. Furthermore, this shelter design is reusable for economic activities such as vend pod to respond to the sustainability program, particularly in the economy. This study is expectedly to contribute to a design outcome that is applicable and replicable easily for better well-being during and after post-disaster or pandemic.

Keywords: bifunctional building; shelter; disaster; outbreak

PENDAHULUAN

Federasi Internasional Perhimpunan Palang Merah dan Bulan Sabit Merah (IFRC) mendefinisikan bencana sebagai peristiwa yang tiba-tiba yang secara serius mengganggu fungsi suatu komunitas atau masyarakat dan menyebabkan kerugian manusia, materi, dan ekonomi atau lingkungan yang melebihi kemampuan komunitas atau masyarakat untuk mengatasinya dengan menggunakan sumber dayanya sendiri (IFRC, 2014). Badan Nasional Penanggulangan Bencana sendiri melalui Disebutkan dalam Undang-Undang no 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana, Bencana adalah peristiwa atau serangkaian peristiwa yang dapat mengancam dan mengganggu kehidupan dan penghidupan masyarakat yang disebabkan baik dari faktor alam dan/atau faktor nonalam maupun faktor manusia itu sendiri sehingga mengakibatkan timbulnya korban jiwa manusia, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, dan dampak psikologis. Definisi tersebut juga mengutarakan bahwa bencana dapat disebabkan oleh faktor alam, nonalam, dan manusia. (BNPB, n.d.)

Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) telah melakukan pencatatan bahwa terkalkulasi sebanyak 5.402 kejadian bencana yang terjadi di Indonesia sepanjang tahun 2021 dengan komposisi mayoritas 99,5 persen dari kejadian itu merupakan bencana hidrometeorologi. Yang mendominasi kejadian bencana tersebut antara lain bencana banjir yang terjadi 1.794 kejadian, 1.577 cuaca ekstrem, 1.321 tanah longsor, 579 kebakaran hutan dan lahan, 91 gelombang pasang dan abrasi, 24 gempa bumi, 15 kekeringan, dan satu erupsi gunung api. (BNPB, n.d.) Selain itu, manusia juga menghadapi potensi ancaman peristiwa kesehatan masyarakat, seperti COVID-19 pada awal 2020 (Wei et al., 2020). Indonesia dan seluruh dunia secara bersama mengalami serangan pandemic Covid-19 yang menjadi bencana global. Di Indonesia, rumah sakit darurat, lapangan dan pusat karantina sementara didirikan di bangunan pemerintahan yang memenuhi syarat dan dilengkapi dengan tenaga paramedis. Dengan melonjaknya angka penderita terinfeksi COVID 19 pada waktu-waktu tertentu tidak dapat terakomodasi oleh ketersediaan sarana dan prasarana karantina yang ada. Oleh karena itu, tempat penampungan/ruang terbuka darurat, serta pusat karantina, memainkan peran ganda dalam menyediakan tempat untuk akomodasi sementara dan kegiatan penyelamatan. Sangat penting untuk merancang tempat penampungan dan pusat karantina secara ilmiah selama tahap awal, yang

memberdayakan manajemen darurat dan mengurangi kerusakan tindakan pasif. (Wei et al., 2020).

Terjadinya bencana alam menyebabkan jatuhnya korban jiwa, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, dan dampak psikologis bagi para korban terdampak. Sedangkan bencana alam berskala besar dapat mengakibatkan nilai kerugian material yang sangat besar. Diketahui bahwa bencana adalah *capital stock* yang mengerus secara signifikan nominal dan nilai modal fisik. Turunnya penyerapan tenaga kerja, pendapatan rumah tangga, hingga menurunkan pendapatan pajak negara yang berakibat pada penurunan pendapatan pemerintah merupakan efek berkelanjutan dari kejadian bencana (Lisnawati, 2018). Manulife Investment Management memaparkan data, Indonesia merupakan negara yang memiliki penurunan suku bunga, penurunan sektor utama seperti sektor pariwisata, transportasi penerbangan, properti, dan jaminan sosial serta penurunan GWM (Giro Wajib (*Ulasan _ Manulife Investment Management*, n.d.)). Secara general, dampak yang muncul akibat COVID-19 cukup signifikan terhadap kondisi perekonomian di Indonesia. Pelambatan ekonomi global dan kinerja industri manufaktur akan berdampak terhadap kinerja ekspor di Indonesia. Mengakibatkan menurunnya produktivitas ekonomi hingga 20-25% (Syukur et al., 2021).

Berdasarkan hal tersebut di atas, permasalahan yang diangkat saat ini berupa penyediaan konstruksi untuk tempat penampungan darurat, berupa desain *shelter* yang mampu memenuhi kebutuhan permintaan saat terjadinya bencana, dan memberikan fungsi ganda pada desain bangunan yang dapat dimanfaatkan pasca bencana, khususnya sebagai bangunan yang mampu meningkatkan pendapatan ekonomi bagi masyarakat terdampak bencana. Sebagaimana pada penelitian berjudul *Sustainable management of coastal critical infrastructure: case study of multi-purpose cyclone shelters in South Asia*, Covid-19 perlu penanganan yg cepat untuk menghindri penularan, maka desain *shelter* ini didesain agar cepat dalam pembangunannya. penelitian ini juga sekaligus merespon sebuah tantangan dimana *shelter* haruslah dapat mengakomodir partisipasi masyarakat untuk keberlanjutan *shelter* setelah terjadi bencana (Jaiswal et al., 2022).

METODE PENELITIAN

Dalam proses perencanaan desain *bifunctional shelter*, peneliti berpegang pada Panduan Shelter untuk Kemanusiaan yang disusun oleh Palang Merah Indonesia bekerjasama dengan Kementerian Sosial Republik Indonesia. Manual ini awalnya dikembangkan sebagai dokumen referensi bagi para relawan dan pekerja lapangan Palang Merah Indonesia (PMI) dan sebagai sumber untuk melanjutkan pendidikan di tempat penampungan di Indonesia. Panduan ini tidak dimaksudkan terlalu teknis; namun, ini bertujuan untuk memberikan ikhtisar tentang konsep kunci di balik penyampaian bantuan shelter yang efektif dan tepat (Kementerian Sosial Republik Indonesia, 2019). Istilah 'shelter' pada dasarnya cukup luas, segala sesuatu yang digunakan sebagai tempat berlindung, contohnya di bawah pohon, tenda, gubuk, gedung publik, atau rumah. Hampir semua objek fisik yang dapat digunakan untuk berlindung dari marabahaya dapat disebut sebagai shelter. Namun pada dasarnya, shelter sendiri adalah sebuah proses, terutama proses penyediaan 'shelter' (*sheltering*) yang dalam hal ini sama pentingnya dengan objek shelter itu sendiri. Dalam ruang lingkup kemanusiaan istilah shelter merujuk spesifik pada ruang fisik yang dapat ditinggali oleh orang yang terdampak bencana. Objek ruang fisik yang digunakan untuk shelter kemanusiaan memiliki variasi yang beragam, tergantung pada faktor-faktor seperti budaya dan politik, ketersediaan struktur dan bahan, serta profil bencana itu sendiri. Penelitian ini fokus pada penyediaan shelter transisi yang dapat digunakan saat bencana terjadi, portable dan dapat dipindahkan ke wilayah bencana lainnya dengan mudah, dan atau digunakan kembali untuk kepentingan produktif lainnya.

Bersumber dari rangkuman Panduan Shelter untuk Kemanusiaan, bantuan shelter diharapkan mampu dan layak dalam memenuhi kebutuhan masyarakat terdampak serta memenuhi standar shelter. Sehingga hal ini memerlukan kajian kebutuhan dan pendekatan rancangan yang partisipatif (Kementerian Sosial Republik Indonesia, 2019). Dalam menentukan apa yang layak dan tidak, terdapat beberapa poin penting yang wajib dipertimbangkan, antara lain :

a. Material

Bahan yang dipilih cocok untuk kekuatan struktural dan daya tahan untuk tujuan perlindungan. Ketika intervensi shelter melibatkan konstruksi massal, saran teknis tentang struktur atau material tertentu dapat memastikan kepatuhan terhadap standar

keselamatan. Pemilihan kualitas material memastikan bahwa dukungan yang diberikan untuk perumahan memiliki integritas struktural yang cukup untuk perkiraan umur perumahan. Distribusi produk tahan lama yang dapat digunakan kembali, dijual, atau diangkut dapat memfasilitasi transisi keluarga ke perumahan permanen, meskipun hal ini harus mempertimbangkan kecepatan implementasi dan biaya keseluruhan. Material *shelter* minimal harus :

- Tahan api sesuai standar resmi nasional
- Tidak beracun bagi manusia
- Tidak beracun bagi lingkungan secara umum
- Dirancang untuk meminimalkan sudut-sudut yang tajam

- Material bangunan harus cukup kuat untuk mendukung perkiraan beban

Seringkali, kombinasi material dapat memberikan hasil keamanan yang berbeda. Memastikan bahwa atap *shelter* dipasang dengan paku payung atau baut U, dapat membantu mengurangi bahaya atap seng terbang tertiuip angin kencang. Hindari penggunaan material yang beracun dan bersifat karsinogen, seperti :

- Atap dan material dinding mengandung asbes
- Cat mengandung timah dan lem atau pelitur mengandung bahan beracun

b. Ramah lingkungan

Dampak lingkungan yang merugikan dapat menimbulkan konsekuensi yang merugikan, mengancam mata pencaharian, atau meningkatkan risiko kerusakan di masa depan (misalnya risiko tanah longsor akibat deforestasi). Program konservasi besar dengan cakupan jangka pendek yang luas berpotensi menimbulkan dampak negatif yang signifikan terhadap lingkungan. Tampaknya solusi ramah lingkungan untuk satu rumah, seperti atap jerami atau menggunakan kayu lokal, dapat menyebabkan kerusakan lingkungan pada puluhan ribu tempat perlindungan. Shelter harus dapat digunakan kembali, dikemas ulang, dapat didaur ulang, atau mudah terurai secara hayati.

c. Daya Tahan

Saat menyediakan tempat berlindung darurat, daya tahan material harus diperhatikan. Daya tahan tergantung pada pilihan bahan, kualitas bahan, pertimbangan desain dan kualitas konstruksi. Bantuan harus dilanjutkan selama keluarga yang terkena dampak membutuhkan sebelum menemukan tempat tinggal permanen dan aman.

d. Strategi Pemeliharaan

Jika shelter dimaksudkan untuk jangka panjang, penting untuk bekerja sama dengan anggota masyarakat dan pakar teknis untuk mengembangkan strategi pemeliharaan. Agar efektif, strategi tersebut menggunakan bahan dan keahlian lokal, tidak mahal, terdokumentasi dengan baik, dan disebarluaskan dalam masyarakat.

e. Sesuai Kebutuhan Setempat

Setiap budaya memiliki asumsi yang berbeda tentang kelayakan dan kelayakan perumahan. Ini termasuk hubungan dengan penggunaan rumah sehari-hari, peran dalam konstruksi, penggunaan dan pemeliharaan, bahaya dan risiko, adaptasi terhadap iklim, privasi, pentingnya bahan tertentu dan bentuk arsitektur.

Ini berlaku tidak hanya untuk bahan bangunan dan tipologi konstruksi, tetapi juga untuk norma budaya dan aktivitas sosial, yang dapat sangat bervariasi di negara, wilayah, dan wilayah dan mengubah keefektifan beberapa metode konstruksi perumahan. Cara pelaksanaannya misalnya dengan menggunakan pendekatan masyarakat secara sukarela atau individu, bekerja sama dengan pengusaha atau melalui hibah tunai atau voucher juga tergantung pada kondisi lokal dan peluang masyarakat. Berbagai kelompok dengan kebutuhan yang berbeda, berdasarkan budaya atau kepercayaan. Untuk memastikan bahwa shelter sesuai dengan budaya, penting untuk melibatkan masyarakat yang terkena dampak pada setiap tahap perencanaan dan implementasi. Kajian sosiokultural dapat menjadi bagian penting dari proses analisis kebutuhan perumahan. Semakin banyak masyarakat terlibat dalam desain dan pemilihan bahan, semakin besar kemungkinan shelter akan sesuai dengan budaya mereka.

f. Iklim

Faktor penting dalam memastikan bahwa shelter cocok dan nyaman adalah pengaruh iklim pada pemilihan bahan dan desain. Perbedaan wilayah dapat sangat berpengaruh dan berdampak signifikan terhadap kenyamanan penghuni shelter pascabencana alam, yang dapat berujung pada kebutuhan akan shelter. Karena beberapa keluarga perlu tinggal di rumah tersebut selama lebih dari setahun, pastikan apartemen tersebut sesuai dengan perubahan iklim yang terjadi sepanjang tahun. Jarak dan ketinggian di atas permukaan laut bertindak sebagai

penyeimbang, mengurangi variasi suhu antara siang dan malam. Semakin jauh suatu daerah dari laut dan tergantung jarak dan ketinggian, variasi/perubahan suhu antara siang dan malam semakin meningkat. Masyarakat yang tinggal di lereng pegunungan mengalami malam yang dingin dan siang yang panas dibandingkan dengan iklim pesisir yang lebih stabil. Jarak dari Khatulistiwa Jarak suatu tempat dari khatulistiwa atau kutub bumi mempengaruhi perubahan suhu dari musim ke musim. Perubahan musim, perubahan suhu dan cuaca dapat secara signifikan mengubah kebutuhan akan tempat berteduh dan harus diperhitungkan saat menentukan jenis dukungan dan metode pengiriman yang sesuai.

g. Profil Bencana

Tidak ada dua bencana yang benar-benar sama. Setiap bencana memiliki profil yang unik. Sifat bencana alam secara langsung mempengaruhi kebutuhan perlindungan orang-orang yang terkena dampak. Batas antara bencana alam dan bencana buatan manusia menjadi semakin jelas. Bencana alam akibat perubahan iklim akibat ulah manusia semakin meningkat. Ketika kepadatan penduduk meningkat dan laju urbanisasi meningkat – terutama di sepanjang pantai atau di daerah yang rentan dan berbahaya secara ekologis – ini berarti bahwa bencana alam dan buatan manusia menjadi saling terkait, bercampur atau sulit dibedakan satu sama lain. Sementara kebutuhan shelter bervariasi tergantung pada jenis bencana yang dihadapi, bagaimana organisasi memberikan bantuan bergantung pada apakah bencana itu alami atau ulah manusia. Organisasi harus selalu menerapkan prinsip-prinsip kemanusiaan yang mengakui bahwa kepentingan kemanusiaan harus didahulukan dan bahwa bantuan harus selalu netral berdasarkan penilaian kebutuhan.

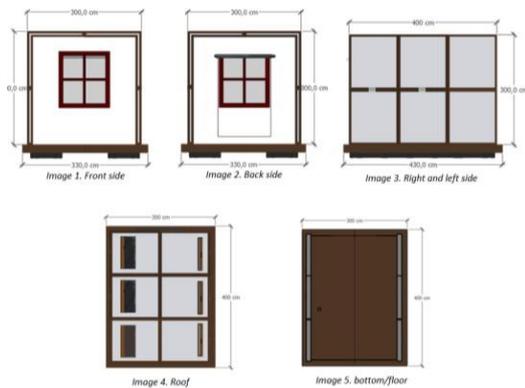
Jika memungkinkan, program bantuan hunian darurat bertujuan untuk mempercepat pemulihan berdasarkan penilaian risiko yang terperinci dan penerapan inisiatif pengurangan risiko dan kesiapsiagaan bencana yang sesuai.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsep dari desain *bifunctional shelter* ini mengusung kriteria : material mudah didapatkan, *Knock-down*, harga ekonomis, dan berfungsi ganda. Untuk mendukung kriteria-kriteria tersebut, proses perancangan yang dilakukan adalah,

Tampilan dan Ukuran Bangunan

Bangunan *shelter* didesain dengan tampak yang sederhana dan ukuran yang memungkinkan pengguna dapat dengan mudah merakitnya. Namun dengan tetap memperhatikan kenyamanan pada pengguna saat berada di dalamnya.



Gambar 1-5. Tampilan dan Ukuran Bangunan

Fasilitas pendukung bangunan

Sirkulasi udara

Sirkulasi udara dalam *shelter* didukung dengan adanya pintu dan jendela pada sisi depan dan belakang bangunan. Memungkinkan udara untuk bergerak dengan baik di dalam *shelter*.



Gambar 6. Sirkulasi Udara

Panel Surya

Fasilitas panel surya pada atap bangunan memungkinkan penggunaan untuk tetap mendapatkan listrik di dalam *shelter* saat terjadi bencana alam. Fungsi ini juga dapat digunakan saat bangunan digunakan untuk kegiatan produktif lainnya seperti stand pameran, *food tenant*, dan lainnya.



Gambar 7. Panel Surya

Skylight

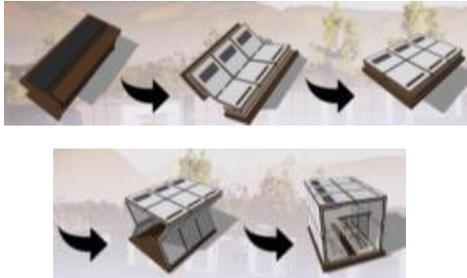
Penambahan skylight pada bagian atap *shelter* yang memungkinkan pengguna untuk mendapatkan terang langit dengan optimal. Dengan memanfaatkan akrilik yang kuat dan penutup skylight yang berfungsi sebagai pelindung saat *shelter* dilipat.



Gambar 8. Skylighting

Sistem Instalasi

Bifunctional building ini didesain agar mudah dipasang dan dibongkar kembali, juga mudah untuk mobilisasi ke area bencana yang membutuhkan. Sehingga desain dari *shelter* ini dibuat sederhana namun tidak mengurangi fungsi dasar dari bangunan itu sendiri.



Gambar 9. Sistem Instalasi

- *Shelter* ini memiliki bentuk modular.
- Bangunan ini didesain terdiri dari 3 bagian lipatan, menjadikan *shelter* ini cukup efisien baik saat terlipat maupun saat terbentuk. Saat terlipat, modular ini cukup compact untuk disimpan atau diangkut untuk dipindahkan. Saat berbentuk bangunan, bangunan ini mempunyai kapasitas ruang yang mampu menampung 2-4 orang.

Modular ini dapat dirakit dengan petunjuk seperti di bawah ini :



Gambar 10. Proses Perakitan

- Saat terlipat, modular dapat diangkat oleh 2-3 orang.
- Dibutuhkan minimal 2 orang untuk membuka lipatan modul bangunan dari sisi kiri dan kanan. System instalasi *shelter* akan otomatis terbuka tanpa bantuan alat apapun.
- Setelah lipatan pertama terbuka, kedua orang tersebut dapat membuka 3 lipatan selanjutnya ke bagian atas.

Setelah *shelter* mulai terbentuk, kedua orang tersebut dapat memastikan ketiga lipatan *shelter* tersebut terkoneksi satu sama lain,

kemudian dinding *shelter* didorong dari dalam ke arah luar pada sisi kiri dan kanan.

- Pemasangan sisi depan dan belakang *shelter*.
- *Shelter* siap digunakan.

Material

Untuk mendukung fungsi bangunan maupun konsep *knock down*, pemilihan material menjadi penting (Gambar 10).

- a. Sistem *Folat Modular (HDPE Floating Cubes)*. Sistem pelampung modular adalah pelampung modular yang saling berhubungan dalam bentuk seperti kubus. Pelampung ini terbuat dari polietilen densitas tinggi (HDPE) dengan bagian tengah berlubang. Penggunaan sistem pelampung modular ini merupakan jawaban dari penanggulangan bencana banjir. Dibutuhkan 4 kubus apung HDPE berukuran 50 x 50 x 40 cm.

Karakteristik dan Keunggulan HDPE adalah

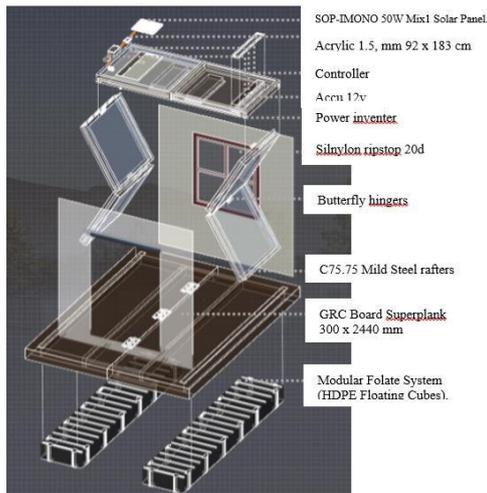
- Aman : dengan pola di permukaan atas dan tidak ada sudut tajam.
- Bebas dari bahaya permukaan licin, serpihan dan paku berkarat yang biasa ditemukan di trotoar kayu.
- Ekonomis: bebas perawatan dan biaya pemeliharaan rendah.
- Nyaman dan sederhana untuk dibangun : dapat dengan mudah dan cepat dipasang dan dibongkar.
- Serbaguna: satu pin penghubung menyatukan empat modul, artinya ukuran atau bentuk apa pun dapat dikonfigurasi di air dengan cepat dan mudah.
- Kuat : kekuatan tarik setiap pelampung lebih dari 1950kg yang disetujui oleh otoritas resmi, kecepatan uji 50mm/menit.
- Dapat didaur ulang: Bahan HDPE, 100% dapat didaur ulang, ramah lingkungan (*MODULAR HDPE FLOATING PONTOON / JETTY*, n.d.)

- b. GRC Board Superplank 300 x 2440 mm sebagai material dinding dan lantai *shelter*. Dibutuhkan sebanyak 9 lembar. Beton bertulang fiberglass (GRC) adalah material komposit yang terbuat dari semen Portland, mortar pasir yang diperkuat dengan serat kaca. Jika perlu, GRC dapat berisi pengisi tambahan dan tambahan lainnya (Officer & Moore, 2006). Menurut *British Standards Institution Glassfiber Reinforced Concrete (GRC)* adalah bahan yang terbuat dari campuran fiber glass yang diperkuat, lem semen dan pasir. GRC merupakan kombinasi dua bahan dengan sifat yang berbeda, kuat tekan tinggi tetapi kuat lentur rendah, yang

merupakan sifat campuran semen yang mengeras. Fiberglass, di sisi lain, memiliki kekuatan lentur yang baik. Perpaduan kedua material ini menghasilkan material komposit yang memadukan sifat pasir semen atau beton dan fiberglass, keduanya kuat menahan tekan, tekuk, tekuk, dan geser (Zakki et al., 2014). Dari beberapa pendapat yang ada tentang beton fiberglass (GRC), dapat disimpulkan bahwa GRC adalah material komposit yang terbuat dari semen, pasir, air dan bila perlu penambahan tulangan fiberglass. Karakteristik dan Keunggulan GRC adalah :

- Mudah diaplikasikan dan mampu membentuk detail yang rumit, yang memudahkan arsitek dan desainer berkreasi dengan bahan ini,
 - Bentuk ramping dan mudah dipasang mengurangi biaya transportasi dan pemasangan,
 - Bobotnya yang ringan mengurangi struktur dan biaya pondasi.
 - Tahan cuaca, tahan api, tahan korosi, tidak berjamur dan tahan rayap serta tahan abrasi.
 - Tidak terpengaruh oleh sinar Ultra Violet.
 - Tidak mengandung asbestos.
 - Biaya pemeliharaan rendah.
 - Mudah dicat.
- c. C75.75 Kasau Baja Ringan (*BMT Truss Ring steel*) digunakan sebagai rangka GRC. Baja ringan adalah baja berkualitas tinggi yang ringan dan tipis, namun tidak kalah kuat dari baja biasa. Ada beberapa jenis baja struktural yang diklasifikasikan menurut nilai kekuatan tarik (tensile). Kekuatan tarik ini biasanya didasarkan pada kinerja akhir dari baja ringan. Misalnya untuk bahan konstruksi seperti rangka atap baja ringan dengan kekuatan tarik tinggi (G550). Namun berbagai perkakas rumah tangga membutuhkan baja ringan (G300, G250) dengan kekuatan tarik rendah, yang lebih ulet dan lunak agar lebih mudah dibentuk sesuai keinginan. Pada umumnya bahan baku baja ringan adalah baja bermutu tinggi dengan standar kuat tarik tinggi 550 MPa (5500 kg/cm²). Kekuatan ini merupakan elemen utama dari kekuatan tarik baja struktural saat ini. Dengan kekuatan minimum G550, baja ringan memiliki kekuatan luluh minimum 550 MPa. Diuji dalam uji laboratorium, tidak pecah di bawah gaya tarik 500 MPa. Selain itu baja juga memiliki modulus geser sebesar 80.000 MPa dan modulus elastisitas sebesar 200.000 MPa. Walaupun lebih ringan dan lebih tipis dari baja konvensional, baja struktur dengan kuat tarik 550 MPa dapat digunakan sebagai kolom untuk menopang beban struktur bangunan. Baja struktural Grade G300 digunakan untuk

- keperluan non-struktural seperti atap.
- d. Silnylon ripstop 20d sebagai bahan penutup jendela. Dibutuhkan sebanyak 5 lembar. Kain nilon ripstop berkualitas tinggi dengan impregnasi silikon dua sisi khusus. Ini mempertahankan kelenturan dan daya tahan nilon khas tetapi karena silikon juga tahan air. Kain ini adalah keseimbangan sempurna dari kain yang ringan, tahan sobek, tahan lama, dan tahan air (Naclerio & Hawkes, 2020).
 - e. Panel Surya SOP-IMONO 50W Mix1. Rakitan sel surya fotovoltaik (PV) yang saling berhubungan dan digunakan sebagai suatu sistem disebut sistem panel surya. Tergantung pada sistem dan sel surya yang Anda gunakan, energi yang dihasilkan oleh panel surya diukur dalam volt atau watt. Setiap panel surya (modul) dalam larik terdiri dari kumpulan sel surya yang disatukan dalam bingkai logam. Biasanya, satu panel surya terdiri dari 60, 72, atau 96 sel surya. Inverter dimasukkan ke dalam setiap sel surya untuk mengubah arus searah yang dihasilkan menjadi listrik arus bolak-balik yang digunakan di rumah. Inverter yang ditempatkan mungkin besar dan terkonsentrasi. Panel surya menggunakan energi dari matahari untuk menghasilkan panas atau listrik. Susunan sel surya fotovoltaik yang terhubung dikenal sebagai modul fotovoltaik. Dalam sistem fotovoltaik, yang memproduksi dan mendistribusikan listrik tenaga surya untuk berbagai aplikasi, modul fotovoltaik menyusun susunan fotovoltaik. Daya output DC dari setiap modul, yang biasanya berkisar antara 100 hingga 365 watt, dinilai dalam kondisi pengujian konvensional. Dengan nilai output yang sama, sebuah modul yang memiliki efisiensi 8 persen akan memiliki luas dua kali luas modul yang memiliki efisiensi 16 persen. Beberapa modul surya yang dapat diakses secara komersial ternyata memiliki kapasitas lebih dari 24 persen dan melebihi 22 persen.
 - f. Karena satu modul surya hanya dapat memasok daya yang sangat besar, sebagian besar pengaturan menggunakan banyak modul. Serangkaian modul PV (fotovoltaik), inverter, kabel interkoneksi, paket baterai untuk penyimpanan, dan mungkin perangkat pelacak matahari adalah semua komponen sistem fotovoltaik.
 - g. Akrilik 1,5 mm 92 x 183 cm sebanyak 2 lembar sebagai penutup solar panel
 - h. Engsel kupu-kupu di bagian yang diinginkan dilipat
 - i. perangkat penggerak



Gambar 11. Material

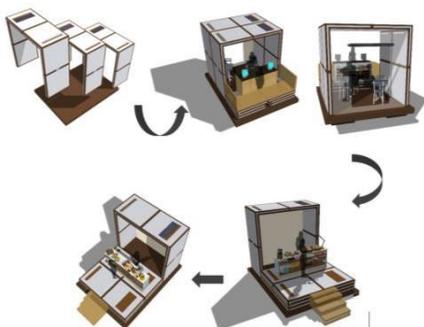
Rencana Anggaran dan Biaya

Dalam perencanaan dan perancangan *Bifunctional Shelter*, beberapa faktor penting menjadi focus dalam pengambilan keputusan. Salah satunya bagaimana modul *shelter* ini tetap ekonomis namun mampu berkelanjutan dalam pemanfaatannya di lapangan. Perhitungan rencana anggaran dan biaya telah dilakukan, dan untuk 1 unit desain modul bangunan ini memerlukan biaya sebesar Rp 10.670.000,- (Sepuluh Juta Enam ratus Tujuh Puluh Ribu Rupiah).

Fungsi lain bangunan

Selain digunakan sebagai *shelter* saat terjadi evakuasi korban bencana, bangunan ini dapat digunakan pasca bencana khususnya dapat digunakan untuk kegiatan produktif yang meningkatkan perekonomian wilayah terdampak bencana. Karena didesain terdiri dari 3 bagian, bangunan ini mudah dilakukan penyesuaian terhadap kebutuhan akan fungsi lain.

- Dibuka pada bagian kanan dan kiri sehingga tersisa bagian tengah,
- Dibuka pada bagian kanan dan tengah sehingga tersisa sisi kiri (atau sebaliknya)



Gambar 12. Fungsi Lain dari Bangunan

KESIMPULAN

Bencana adalah suatu rangkaian kejadian yang mengganggu kehidupan dan penghidupan masyarakat yang disebabkan beberapa faktor baik oleh faktor alam dan/atau faktor nonalam maupun faktor manusia, yang kemudian dapat menimbulkan korban jiwa manusia, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, dan efek psikologis. Munculnya suatu bencana itu sendiri tidak dapat diprediksi kapan terjadinya, tetapi dapat diprediksi dari gejala yang muncul sebagai tanda adanya sistem peringatan dini. Salah satu cara dalam menghadapi bencana adalah dengan menyiapkan bangunan atau *shelter* yang dapat menampung korban bencana saat terjadi bencana. Ketidakpastian datangnya bencana membutuhkan adanya *shelter* yang dapat segera didirikan saat dibutuhkan.

Bencana memiliki berbagai dampak, baik materil maupun immateriil. Salah satunya adalah dampak ekonomi. Data menunjukkan bahwa terjadinya bencana dapat mengakibatkan masyarakat kehilangan pekerjaan yang berdampak pada penurunan produktivitas dan pendapatan. Bangunan bifungsional dirancang menjadi salah satu bangunan alternatif yang dapat digunakan pascabencana untuk menghidupkan kembali perekonomian. Konsep desain yang diusung adalah modular yang mudah dibongkar pasang, ringan untuk dipindahkan, dan kompak untuk disimpan.

Rancangan bangunan bifungsional sangat memungkinkan untuk dikembangkan sesuai dengan perkembangan kondisi dan kebutuhan masing-masing daerah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro dan Departemen Arsitektur Universitas Diponegoro atas dukungan yang luar biasa sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- BNPB. (n.d.). *Data Dan Informasi Bencana Indonesia*. <http://dibi.bnpb.go.id/data-bencana/lihat-data>
- IFRC. (2014). *What is a disaster?* - IFRC. <http://www.ifrc.org/en/what-we-do/disaster-management/about-disasters/what-is-a-disaster/>

- Jaiswal, A., Kumar, A., Pal, I., Raisinghani, B., & Bhoraniya, T. H. (2022). Sustainable management of coastal critical infrastructure: case study of multi-purpose cyclone shelters in South Asia. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, 13(3), 304–326. <https://doi.org/10.1108/IJDRBE-08-2021-0115>
- Kementerian Sosial Republik Indonesia. (2019). *Panduan shelter untuk kemanusiaan*. 222. <https://www.sheltercluster.org/indonesia-tsunamiearthquakes-sep-2018/documents/shelter-sub-cluster-panduan-shelter-untuk%0Ahttps://drive.google.com/file/d/18wJ9dZ1JRIVfWCR2m9j3w8DI9KT7ndUi/view>
- Lisnawati. (2018). Kerugian Ekonomi Pascabencana. *Info Singkat Bidang Ekonomi Dan Kebijakan Publik*, Vol. X, No, 19.
- MODULAR HDPE FLOATING PONTOON / JETTY. (n.d.).
- Naclerio, N., & Hawkes, E. (2020). Simple, Low-Hysteresis, Foldable, Fabric Pneumatic Artificial Muscle. *IEEE Robotics and Automation Letters*, PP, 1. <https://doi.org/10.1109/LRA.2020.2976309>
- Officer, E., & Moore, S. (2006). *NPCAA cements relationship with exhibitions*.
- Syukur, M., Salam, M. N., & Junaidi, M. I. (2021). Dampak Pandemi Covid-19 terhadap Perekonomian Indonesia: Analisis terhadap Sektor Domestik dan Stabilitas Inflasi. *TRILOGI: Jurnal Ilmu Teknologi, Kesehatan, Dan Humaniora*, 2(3), 382–388. <https://doi.org/10.33650/trilogi.v2i3.3082>
- Ulasan_ Manulife Investment Management*. (n.d.).
- Wei, Y., Jin, L., Xu, M., Pan, S., Xu, Y., & Zhang, Y. (2020). Instructions for planning emergency shelters and open spaces in China: Lessons from global experiences and expertise. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 51(May), 101813. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101813>
- Zakki, A. F., Fianca, D., & Manik, P. (2014). Studi Eksperimen Material Grc (Glassfiber Reinforced Concrete) Sebagai Bahan Dasar Pada Modular Floating Pontoon. *Jurnal Teknik Perkapalan*, XX(4), 557–567.

IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN TANAH MENGUNAKAN METODE GEOLISTRIK 2D DAN GEOLISTRIK 1D STUDI KASUS: LAPANGAN PULOJAHE

Abdurrahman Wafi^{*1}, Angga Setiyo Prayogo^{2,3}, Pupung Susilanto³

¹PT. Andalan Tunas Mandiri, Jakarta,13940, Indonesia

²Institute of Geology and Geophysics Chinese academy of Sciences, China

³Pusat Penelitian dan Pengembangan BMKG, Jakarta,10610, Indonesia

*abdurrahmanwafiatm@gmail.com

ABSTRAK

Struktur bawah permukaan suatu wilayah bisa diketahui dan diidentifikasi dengan menggunakan metode Geolistrik. Metode Geolistrik adalah metode yang memanfaatkan parameter tahanan jenis dari material alam yang dapat menggambarkan bagaimana komposisi material di bawah permukaan tanah. Identifikasi struktur bawah permukaan tanah ini bertujuan untuk mendapatkan gambaran dibawah permukaan tanah sehingga bisaantisipasi kondisi bangunan diatasnya. Adapun metode yang digunakan adalah metode Geolistrik 2D dengan konfigurasi Dipole-Dipole dan Pole-Dipole dan geolistrik 1D konfigurasi Schlumberger. Pengukuran dilakukan dengan panjang lintasan 48 meter untuk pengukuran 2D dan panjang lintasan 30 meter untuk pengukuran 1D. Dari pengukuran ini diperoleh kedalaman 7.88 meter untuk pengukuran 2D dan kedalaman 15 meter untuk pengukuran 1D. Pada daerah penelitian tersusun dari 2 jenis lapisan yakni lapisan lunak dengan nilai resistivitas $< 10 \Omega m$ pada kedalaman < 4 meter dan lapisan keras dengan nilai resistivitas $> 10 \Omega m$ dengan kedalaman > 4 meter. Material lunak yang terdapat pada lokasi penelitian di perkirakan merupakan material Aluvium (Clay) dikuatkan dengan analisa peta geologi.

Kata Kunci: Resistivitas, Geolistrik, Aluvium

ABSTRACT

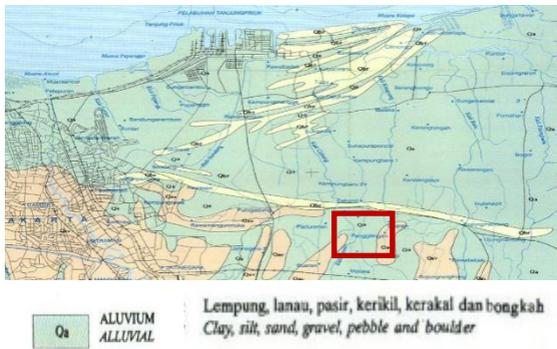
The subsurface structure of an area can be known and identified using the Geoelectrical method. The geoelectrical method is a method that utilizes resistivity parameters from natural materials that can describe the composition of the material below the soil surface. Identification of subsurface structures aims to get an overview of the subsurface so that it can anticipate the condition of the buildings above it. The method used is the 2D Geoelectric method with Dipole-Dipole and Pole-Dipole configurations and the 1D Schlumberger geoelectric configuration. Measurements were made with a track length of 48 meters for 2D measurements and a track length of 30 meters for 1D measurements. From these measurements, a depth of 7.88 meters was obtained for 2D measurements and 15 meters for 1D measurements. In the study area, it is composed of 2 types of layers, namely a soft layer with a resistivity value of $< 10 \Omega m$ at a depth of < 4 meters and a hard layer with a resistivity value of $> 10 \Omega m$ with a depth of > 4 meters. The soft material found at the research location is estimated to be Alluvium (Clay) material which is confirmed by geological map analysis.

Keywords: Resistivity, Geoelectric, Alluvium

PENDAHULUAN

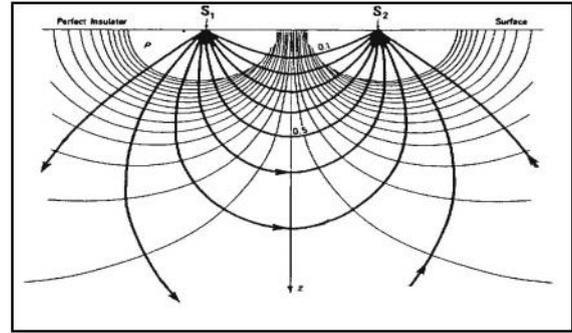
Struktur bawah permukaan tanah terdiri dari homogen dan heterogen. Struktur homogen adalah struktur yang memiliki satu jenis lapisan material yang sama. Sedangkan struktur heterogen adalah struktur yang umum dimana terdiri dari berbagai macam jenis material penyusun. Informasi struktur bawah permukaan tanah sangat krusial untuk bisa diidentifikasi terutama untuk bidang Geoteknik/pembangunan. Dengan mengetahui struktur bawah permukaan tanah sangat terkait erat dengan perlakuan yang harus diberikan kepada wilayah tersebut untuk pembangunana, sehingga gangguan pada bangunan dapat diminimalisir.

Kota Jakarta memiliki tingkat pembangunan yang sangat pesat, salah satunya adalah pembangunan tower rumah susun. Salah satu daerah yang kedepannya akan di bangun rumah susun adalah lapangan di daerah Pulo Jahe. Menurut Gambar 1 yakni peta geologi daerah Jakarta khususnya daerah penelitian Lapangan Pulo Jahe (kotak merah), didapatkan informasi daerah ini didominasi material *Clay* (Aluvium). Sifat alami dari Aluvium yakni mennyimpan air, jadi didalam bidang kontruksi akan bisa memberikan dampak kerusakan jika tidak mendapatkan perlakuan yang benar.



Gambar 1 Peta Geologi DKI Jakarta (Kementrian ESDM,1992)

Salah satu metode yang dapat digunakan adalah metode geofisika. Metode geofisika adalah metode yang memanfaatkan parameter fisika digabung dengan parameter geologi. Metode geolistrik adalah metode yang memanfaatkan sifat kelistrikan material yang dinamakan resistivitas. Resistivitas merupakan hasil pengukuran dari arus dan beda potensial atas respon material dibawah permukaan (Andriyani.2010). Prinsip dari arus dan potensial tertera seperti Gambar 2.



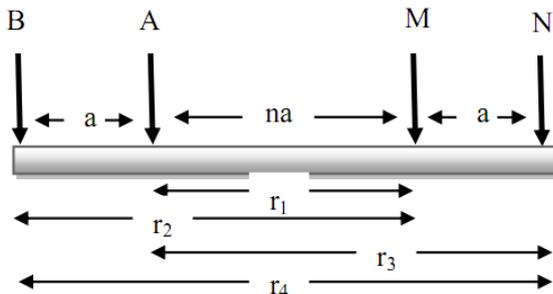
Gambar 2 Pola Aliran arus listrik pengukurang geolistrik.(Kanata,2017)

Sebaran arus listrik yang diinjeksikan kedalam tanah melalui instrumentasi , mempunyai pola sebaran setengah bola. Hal ini dikarenakan terdapat 2 pasak yang berfungsi mengalirkan arus sedangkan 2 pasak lagi berfungsi sebagai penangkap beda potensial. Hasil arus dan beda potensial dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai resistivitas material. Parameter fisis ini yang digunakan untuk melakukan identifikasi jenis materian berdasarkan Tabel 1.

Tabel 1. Jenis material berdasarkan nilai resistivitas (Saputra,2020)

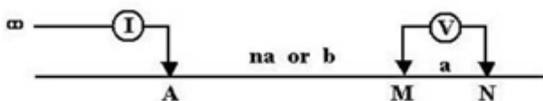
Material	Resistivitas (Ωm)
Air Tanah	0,5 – 150
Lempung	1 – 100
Pasir	1 – 1000
Andesit	100 – 200
Aluvium	10 – 800
Breksi	75 – 200
Kerikil	100 – 600
Batu Pasir	200 – 8000
Gamping	50 – (1 x 10 ⁷)
Granite	5 x 10 ³ – 10 ⁶
Basalt	10 ³ – 10 ⁶
Slate	6 x 10 ² – 4 x 10 ⁷
Sandstone	8 – 4 x 10 ³
Shale	20 – 2 x 10 ³
Limestone	5 – 4 x 10 ²
Tufa vulkanik	20 – 100
Lava	100 – 5x10 ⁴
Konglomerat	2 x 10 ³ – 2 x 10 ⁴

Metode geolistrik terdiri dari metode *Sounding* (1D), *Mapping* (2D), dan Volumetrik (3D). Penggunaan geolistrik *Sounding* (1D) biasanya dipergunakan untuk mencari potensi air tanah. Geolistrik 2D dan 3D biasanya di pergunakan untuk mencari sebaran, titik titik rembesan, lapisan tanah, dll. Penelitian yang telah dilakukan (Puluyio, 2017) menggunakan geolistrik konfigurasi *Dipole-dipole* untuk mengetahui potensi air tanah. (Puluyio, 2017) pada penelitian lainnya adalah membandingkan konfigurasi *Dipole-Dipole* dan *Pole Dipole* untuk mencari potensi air tanah. Metode konfigurasi *Dipole-dipole*, dilakukan dengan kedua elektroda arus dan elektroda potensial terpisah dengan jarak a . Elektroda arus dan elektroda potensial pada bagian dalam sistem konfigurasi terpisah sejauh na , dengan n adalah bilangan bulat (Utiya,2015). Gambaran posisi elektroda pada konfigurasi *dipole-dipole* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Gambaran arus konfigurasi *dipole-dipole* (Utiya,2015)

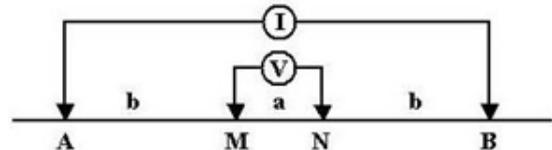
Konfigurasi *Pole-Dipole* terdiri dari empat elektroda collinear. Salah satu elektroda arus (sumber) pasang pada jarak "tak terhingga efektif", yang kira-kira lima sampai sepuluh kali kedalaman survei. Elektroda arus lainnya ditempatkan di sekitar dua elektroda potensial (penerima). Geometri ini digunakan karena mengurangi distorsi permukaan ekipotensial. Arah sebaran listrik pada konfigurasi ini dijelaskan pada Gambar 4.



Gambar 4 Sebaran arah arus konfigurasi *Pole-Dipole*

Konfigurasi *Schlumberger* memiliki mode dua set besi elektroda arus ditancapkan kedalam tanah dan kemudian dialirkan arus listrik, akan terjadi beda potensial dari kedua titik dipermukaan akibat adanya aliran arus listrik tersebut. Beda potensial tersebut diamati

melalui elektroda potensial. Aturan susunan keempat elektroda disusun pada suatu garis lurus, yaitu elektroda arus (A dan B) ditempatkan pada titik terluar dan kedua elektroda potensial (M dan N) ditempatkan pada sisi dalam, keempat penempatan elektroda tersebut ditancapkan pada jarak yang tertentu yaitu $AO = BO$; $MO = NO$ dan ketentuan jarak $MN < \text{jarak } AB$. Arah sebaran arus di jelaskan pada Gambar 5.



Gambar 5 .Arah sebaran arus konfigurasi *Schlumberger*

METODE

Langkah- langkah penelitian adalah sebagai berikut :

1. Identifikasi Masalah
Informasi awal identifikasi struktur tanah lunak di Lapangan Pulo Jahe untuk memberikan perlakuan yang tepat untuk pembangunan rumah susun dan mengetahui seefisien metode geolistriik.
2. Survei Awal
Melakukan penentuan titik pengambilan data berdasarkan kondisi dilapangan sebagai referensi dilakukan pengambilan data bor.
3. Pengukuran Geolistrik
Pengukuran geolistrik dilakukan menggunakan peralatan Multichanel Resistivity Merk MAE X 612 EM+ buatan ITALY (Gambar 06). Konfigurasi yg digunakan adalah Konfigurasi *Wenner - Schlumberger*, *Dipole- Dipole* (2D) dan *Schlumberger* (1D)



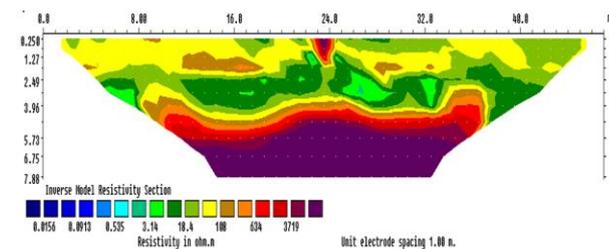
Gambar 6 Peralatan Geolistrik MAE X612 EM

4. Pengolahan Data
Pengolahan data diolah dengan menggunakan Software RES2DINV untuk data 2D dan RES1D untuk data 1D.
5. Korelasi Data Resistivitas
Korelasi data resistivitas 2D (Konfigurasi Dipole-Dipole dan Konfigurasi Pole-Dipole) dan Resistivitas 1D (Schlumberger)
6. Interpretasi Data
Pembahasan penampang warna yang sudah di olah dengan software sehingga bisa diketahui struktur bawah permukaan di lokasi penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Analisa Geolistrik

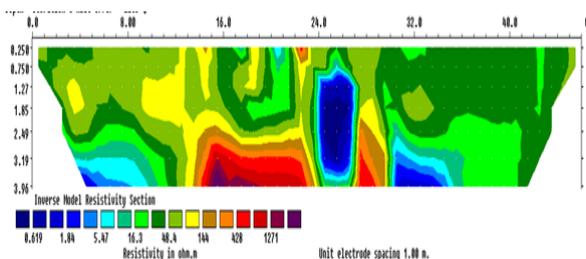
➤ Konfigurasi Dipole-Dipole (2D)



Gambar 7 Penampang hasil geolistrik 2D Konfigurasi Dipole-Dipole

Gambar 7 menjelaskan hasil pengukuran Geolistrik dilakukan dengan panjang lintasan 48 meter didapatkan kedalaman 7.88 meter. Pada hasil pengolahan di dapatkan di kedalaman < 5 meter didominasi material lunak /aluvium dengan ditandai dengan dominannya warna hijau dan kuning. Sedangkan pada kedalaman >5 meter di peroleh material keras dengan di tandai dengan warna ungu pekat. Dari hasil Konfigurasi Dipole-Dipole diperoleh struktur dengan lapisan yang terlihat jelas.

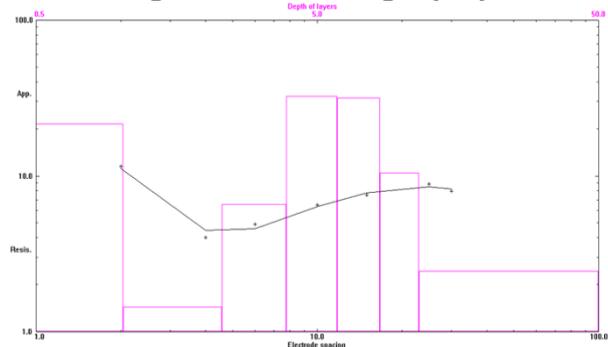
➤ Konfigurasi Pole-Dipole (2D)



Gambar 8 Penampang hasil geolistrik 2D Konfigurasi Pole-Dipole

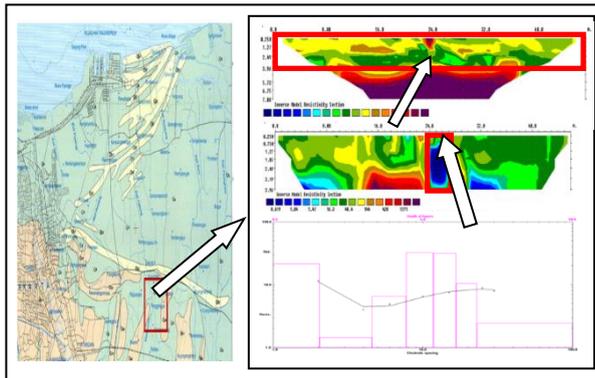
Pengukuran Geolistrik dilakukan dengan panjang lintasan 48 meter diperoleh kedalaman 3.96 meter. Pada hasil pengolahan Gambar 8 di dapatkan dominasi material lunak /aluvium dengan ditandai dengan dominannya warna hijau dengan nilai resistivitas < 50 Ω m. Pada penampang yang di hasilkan di dapatkan juga area yang berpotensi terdapat jebakan air dengan ditandai adanya warna biru pekat dengan nilai resistivitas < 2 Ω m. Daerah yang berpotensi terdapat jebakan air yakni pertama pada jarak 0-8 meter dengan kedalaman 3.6meter, kedua pada jarak 24-27 m dengan kedalaman 1.27 -3.5m, dan yang ketiga pada jarak 30-35 meter dengan kedalaman 3- 4 meter. Selain itu juga pada lokasi ditemukan sebaran material keras dengan nilai resistivitas > 1000 Ω m pada jarak 14-20 meter dengan kedalaman > 3.3 meter. Dari konfigurasi Pole-Dipole diperoleh gambaran sebaran struktur dangkal yang jelas sedangkan penetrasi kedalamannya kurang.

➤ Konfigurasi Schulumberger (1D)



Gambar 9 Penampang hasil geolistrik 1D Konfigurasi Schlumberger

Pengukuran Geolistrik 1D dilakukan dengan panjang lintasan 30 meter didapatkan kedalaman 15 meter. Pada Gambar 9 dijelaskan bahwa sumbu Y adalah nilai Resistivitas, Sumbu X bagian atas adalah kedalaman dan Sumbu X bagian bawah adalah elektroda spasi. Pada gambar terlihat bahwa pada kedalaman < 1 meter diperoleh daerah dengan nilai resistivitas > 10 Ω m. Pada kedalaman 1- 4 meter memiliki nilai resistivitas < 10 Ω m, pada kedalaman 4 -12 meter memiliki nilai resistivitas > 10 Ω m dan dengan kedalaman >12 meter memiliki nilai resistivitas < 10 Ω m. Diduga pada titik ini terdapat dua jenis lapisan dengan karakteristik < 10 Ω m berkorelasi dengan Air dan > 10 Ω m berkorelasi dengan lempung.



Gambar 10 Identifikasi metode geolistrik gabungan

Berdasarkan hasil identifikasi pengolahan data dan gabungan peta geologi sesuai pada Gambar 10 didapatkan kesimpulan di daerah penelitian merupakan daerah yang terdiri dari material penyusun Aluvium yang menurut data geolistrik di jelaskan dengan nilai resistivitas $< 30 \Omega\text{m}$ dengan korelasi warna hijau pada penampang Geolistrik. Pada jarak 26 meter di lintasan pengukuran Geolistrik 2D yang merupakan juga titik pengukuran Geolistrik 1D di dapatkan hubungan pada kedalaman 1-4 meter merupakan daerah yang memiliki nilai resistivitas $< 10 \Omega\text{m}$ di perkirakan pada kedalaman ini merupakan jebakan air yang ditandai juga dengan warna biru pekat pada pengamatan Geolistrik 2D. Pada kedalaman > 4 meter di dapati nilai resistivitas yang besar yang berkorelasi dengan material keras. Bisa di simpulkan struktur bawah permukaan di lokasi penelitian terdiri dari lapisan lunak yang terdapat pada kedalaman < 4 meter dan lapisan keras yang terdapat pada kedalaman > 4 meter.

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan:

1. Material dominan pada lokasi penelitian tersusun dari material Aluvium
2. Lokasi penelitian tersusun dari 2 lapisan yakni Lapisan lunak pada kedalaman < 4 meter dengan nilai resistivitas $< 10 \Omega\text{m}$ dan Lapisan keras pada kedalaman > 4 meter dengan nilai resistivitas $> 10 \Omega\text{m}$.
3. Konfigurasi Dipole-Dipole mendapatkan hasil struktur lebih dalam, konfigurasi Pole-Dipole memperjelas struktur yang terdapat pada kedalaman < 4 meter dan Schlumberger memberikan informasi tambahan di titik yang diduga terdapat air.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. Andalan Tunas Mandiri dan Pusat Penelitian dan Pengembangan BMKG atas support terhadap perjalanan penelitian ini. Semoga jalinan kerjasama dalam penulisan ini bisa berjalan terus kedepannya sehingga menghasilkan beberapa tulisan.

DAFTAR PUSTAKA

- Kanata, dkk. 2017. Aplikasi Metode Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi Wenner-Schlumberger Untuk Survey Pipa Bawah Permukaan, Mataram: Jurnal Elektro
- Puluyio, dkk. 2017. Perbandingan Konfigurasi Wenner Alfa, Wenner-Schlumberger, Dipole-Dipole dan Pole-Dipole dalam Metode Geolistrik Tahanan Jenis untuk Mendeteksi Keberadaan Air Tanah: Jurnal MIPA Unsrat Online
- Saputra, Faishal, dkk, 2020. Aplikasi Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Wenner dan Wenner Schlumberger Pada Daerah Mata Air Panas Kali Sengin di Desa Blawan-Ijen: Jurnal Berkala Saintek
- Setiyawan, T. 2010. Tugas Akhir: Interpretasi Bawah Permukaan Daerah Porong Sidoarjo Dengan Metode Geolistrik Tahanan Jenis Untuk Mendapatkan Bidang Patahan. Surabaya: Jurusan Fisika FMIPA ITS.
- Utiya, Jefriyanto, dkk. 2015. Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Wenner-Schlumberger dan Konfigurasi Dipole-Dipole untuk Identifikasi Patahan Manado di Kecamatan Paaldua Kota Manado. Jurnal Ilmiah Sains Vol 15 No.2
- Wafi, A. 2013. Tugas Akhir: Pemetaan Zona Lemah Dengan Menggunakan Metode Geolistrik Konfigurasi Wenner dan Dutch Cone Penetrometer Test di Jalan Arteri Porong, Surabaya: Jurusan Fisika FMIPA ITS



DIGITALISASI DATA CPT UNTUK PENGEMBANGAN KOTA (STUDI KASUS KOTA SURAKARTA)

CPT Data Digitalization or City Development (Case Study Of Surakarta City)

Fendi Hary Yanto^{*1}

¹Civil Engineering Vocational Department, Universitas Sebelas Maret

*Korespondensi: fendi@staff.uns.ac.id.

ABSTRAK

Kota Surakarta merupakan kota yang memiliki perkembangan infrastruktur yang begitu pesat seiring dengan perkembangan kota. Hampir di setiap penjuru kota dapat ditemui bangunan seperti: mall, pusat perbelanjaan, perkantoran, hotel, pasar, apartemen/rumah susun, rumah sakit, perguruan tinggi atau sekolah. Hanya saja Pemerintah Daerah belum mempunyai sistem informasi yang lengkap mengenai data CPT. Digitalisasi data tersebut berguna untuk tinjauan awal pembangunan infrastruktur yang baru, khususnya bagi investor yang akan mendirikan bangunan di kota Surakarta. Salah satu lembaga yang sering diminta untuk melakukan uji CPT adalah Laboratorium Mekanika Tanah UNS. Ratusan data pengujian CPT masih tersimpan di lemari arsip laboratorium dan belum pernah dianalisis dan dikompilasi untuk seluruh wilayah Surakarta. Penelitian ini ditulis dalam rangka menyiapkan digitalisasi data CPT mengenai kedalaman tanah keras di seluruh wilayah kota Surakarta. Penelitian dilakukan dengan cara mengkompilasi seluruh data CPT yang ada, menganalisis, memplot pada peta. Permasalahan yang ada adalah penyebaran data CPT yang acak. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa kedalaman tanah keras qc 250 kg/cm² di kota Surakarta yang paling dominan sedalam 3- 5 meter dari permukaan tanah. Evaluasi perbandingan kedalaman tanah keras sondir lapangan dengan bantuan software GIS pada beberapa titik pengamatan menunjukkan hasil yang hampir sesuai antara prediksi digitalisasi dengan hasil pengujian di lapangan. Disimpulkan bahwa sistem informasi geoteknik berbasis data CPT dengan menggunakan software GIS mampu berfungsi sebagai identifikasi pendahuluan dari suatu pekerjaan/proyek dan data penunjang.

Kata kunci: Digitalisasi, CPT, GIS.

ABSTRACT

The city of Surakarta is a city that has developed infrastructure so rapidly along with the development of the town. In almost every city corner, you can find malls, shopping centers, offices, hotels, markets, apartments/flats, hospitals, colleges, or schools. It's just that the Regional Government still needs to have a complete information system regarding CPT data. This digitization of data is helpful for the initial review of new infrastructure development, especially for investors who will construct buildings in Surakarta. One institution often asked to carry out CPT tests is the UNS Soil Mechanics Laboratory. Hundreds of CPT test data are stored in laboratory filing cabinets and have never been analyzed and compiled for the entire Surakarta region. This paper is written to prepare the digitization of CPT data regarding the depth of hard soil in all areas of Surakarta. It was conducted by compiling all existing CPT data, analyzing it, and plotting it on a map. The current problem is the random distribution of CPT data. The results of this study indicate that the depth of hard soil qc 250 kg/cm² in the city of Surakarta is the most dominant, as deep as 3-5 meters from the ground surface. Comparative evaluation of the depth of sondir (CPT) hard soil in the field with the help of GIS software at several observation points showed almost agreement between digitization predictions and field test results. It concluded that GIS software, a geotechnical information system based on CPT data, could identify a work/project and supporting data preliminarily.

Keywords: digitalization, CPT, GIS.

PENDAHULUAN

Kota Surakarta merupakan daerah dengan tingkat pertumbuhan ekonomi yang cukup pesat. Oleh karena itu, perlu perencanaan pembangunan fisik infrastruktur yang baik (E Yuliani and J Kautsary, 2020) pada bangunan sipil, jalan, terminal, jembatan, dan lain-lain. Dalam perancangan infrastruktur Bangunan gedung, perlu memiliki Izin Mendirikan Bangunan (IMB) (Nofrial & Saragih, 2020). Namun, hal itu sering diabaikan karena mencakup berbagai alasan, termasuk penyelidikan geoteknik, seperti keadaan fisik tanah. Selain itu, tren yang diidentifikasi dalam 'Teknologi Digital' (Beaufils et al., 2019) menyatakan bahwa "Internet of Things" (Amassmir et al., 2022) berdampak pada integrasi sistem bangunan.

Secara geografis Kota Surakarta terletak di dataran rendah, dengan ketinggian +90 m dpl, datar, berada di tepi sungai besar, yaitu Sungai Bengawan Solo. Tanah di sekitar daerah aliran sungai adalah tanah sedimen *alluvial* lunak (*soft soil*) (Kurniawan, 2019). Tanah lunak biasanya menimbulkan masalah bagi bangunan sipil (Mieghem et al., 1999), yaitu: kompresibilitas tinggi, daya dukung rendah, dan terkadang tanah yang dapat mengembang (*swelling soil*) (M.S.Dixit, 2016). Karena itu, membangun bangunan di atas tanah lunak umumnya memerlukan penanganan khusus (Poulos, 2016), terutama desain pondasi (Ni, 2020), Untuk itu perlu adanya informasi kualitas tanah yang dapat mendukung beban sehingga pondasi dapat bertumpu dengan baik di atasnya. Informasi tersebut dapat diperoleh melalui penyelidikan tanah di laboratorium maupun langsung di lapangan (*in situ*) dengan *Standard Penetration Test* (SPT) atau dengan *Cone Penetration Test* (CPT) (Kluger, 2021).

Penerapan CPT dalam penyelidikan tanah semakin berkembang dan luas cakupannya, antara lain: mengukur ketebalan dan kuantitas sifat-sifat tanah, mendeskripsikan endapan sedimen, mengidentifikasi fenomena geologi, hidrologi, dan lingkungan, dan pemetaan elevasi stratigrafi horizontal (Bagin'ska, 2020).

Investigasi tanah adalah informasi penting untuk tujuan desain dan konstruksi teknik sipil. Ketersediaan dan aksesibilitas data tanah akan mengurangi waktu dan biaya proyek, terutama selama tahap studi kelayakan. Dalam rekayasa geoteknik, data tanah dan sifat fisik sangat berharga untuk membuat keputusan dan desain pondasi yang tepat. Aplikasi teknologi informasi,

termasuk digitalisasi dan sistem basis data, dapat mengelola dan menginterpretasikan data secara efektif bidang geoteknik (Eslami, 2020), (P. &, Koumantakis I., 2010).

Hanya saja Pemerintah Daerah belum mempunyai data yang lengkap mengenai CPT. Padahal data tersebut digunakan untuk tinjauan awal pembangunan infrastruktur yang baru. Demikian juga oleh investor yang akan mendirikan bangunan di kota Surakarta. Salah satu lembaga yang sering diminta untuk melakukan uji CPT adalah Laboratorium Mekanika Tanah UNS. Puluhan data pengujian belum pernah dianalisis dan dikompilasi untuk seluruh wilayah Surakarta.

Paper ini ditulis dalam rangka menyiapkan Sistem Informasi berbasis data CPT mengenai kedalaman tanah keras di seluruh wilayah kota Surakarta.

METODE

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian bertempat di wilayah Kota Surakarta.

Data yang dibutuhkan

Data dari Lab. Mekanika Tanah Teknik Sipil UNS berupa data-data CPT hasil pengujian dan data lain yang digunakan sebagai pendukung adalah data grafis berupa peta.

Analisis Data

Analisis data CPT yang dilakukan adalah

1. Menentukan kedalaman lapisan tanah keras rata-rata.
Kedalaman tanah keras dari titik yang ditinjau didapatkan mengamati grafik atau tabel. Langkah selanjutnya adalah mencari nilai kedalaman tanah keras rata-rata berdasarkan nilai q_c 250 kg/cm² dari beberapa titik pengujian yang berada dalam satu lokasi proyek. Pengambilan kedalaman q_c rata-rata adalah dengan mengambil nilai q_c terdalam.
2. Menentukan koordinat lokasi dengan alat GPS dan Google Earth.
Penelitian ini memerlukan data berupa titik lokasi, maka diperlukan survei penentuan koordinat dari lokasi CPT. Salah satu metode yang sekarang lazim digunakan adalah dengan penitikan lokasi menggunakan GPS.

- Menentukan elevasi muka tanah lokasi
Menentukan elevasi permukaan tanah lokasi CPT berdasarkan koordinat lokasi tersebut kemudian di plot pada peta. Kemudian dilakukan interpolasi kontur kota Surakarta, hasil koordinat dari GPS yang telah di-plot di peta akan bersinggungan dengan kontur yang telah di interpolasi dengan bantuan fasilitas ArcGIS yaitu 2D *analyst* dan 3D *analyst* (Topo to Raster).

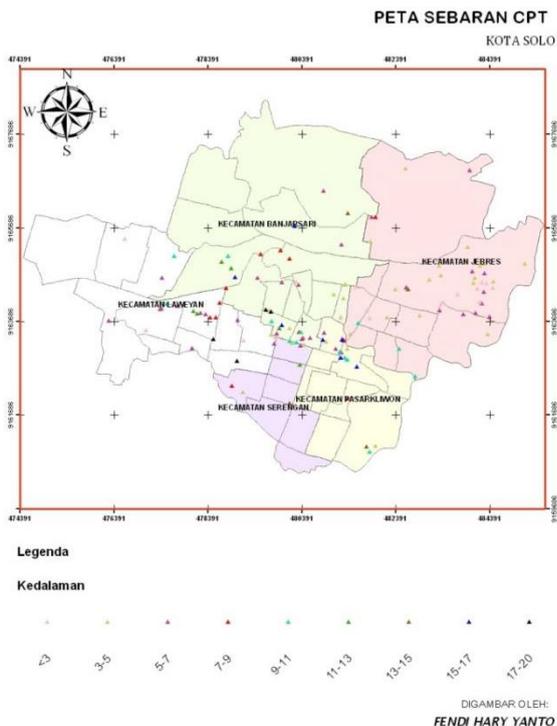
Analisis GIS dan Sondir (CPT) Lapangan

Hasil pemetaan dengan GIS dan sondir lapangan juga diuji/dibandingkan dengan data sondir baru yang ada di Laboratorium Mekanika Tanah yaitu 6 buah proyek yang baru dan meminta lab untuk melakukan uji sondir/CPT.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Peta Sebaran Kedalaman Tanah Keras

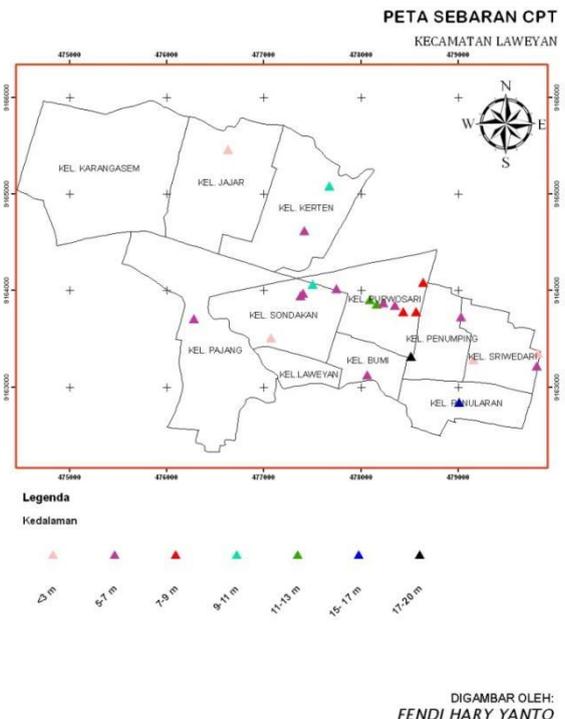
Lokasi pengujian disimbolkan atau dimodelkan dengan warna tertentu (*graduated colour*). Masing-masing titik telah diberi atribut berupa nilai kedalaman tanah keras rata-rata.



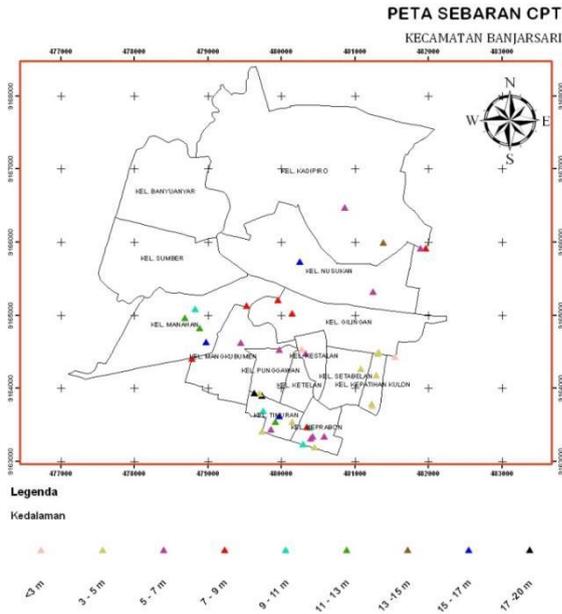
Gambar 1. Peta Sebaran CPT Kota Surakarta

Jumlah data yang telah diplot dalam peta sebesar 132 lokasi yang tersebar di wilayah Kotamadya Surakarta. Jumlah data ini merupakan hasil inventarisasi laboratorium yang dokumennya lengkap.

Hasil pemetaan menunjukkan nilai klasifikasi kedalaman tanah keras yang dominan terdapat di interval 3-5 meter dari muka tanah yang sebagian besar data tersebut tersebar di wilayah kota Surakarta bagian tengah, yaitu Kec. Jebres. Nilai kedalaman tanah keras rata-rata paling dalam adalah 19.8 meter dari muka tanah terletak di Kel. Penumping. Nilai kedalaman 19.2 meter dari muka tanah tersebut tersebar antara lain di Kel. Punggawan dan Kel. Timuran.

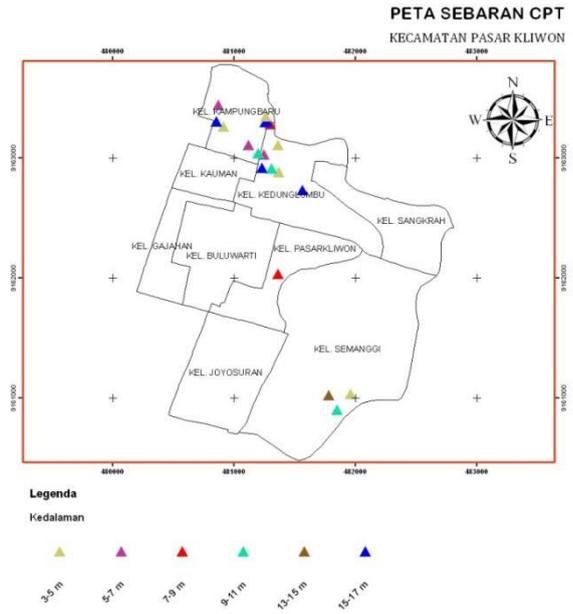


Gambar 2. Peta Sebaran CPT Kecamatan Laweyan



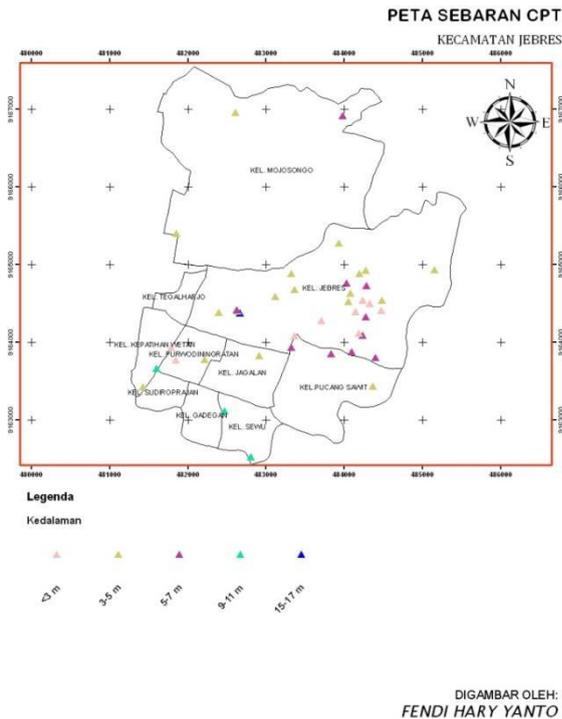
DIGAMBAR OLEH:
FENDI HARY YANTO

Gambar 3. Peta Sebaran CPT Kecamatan Banjarsari



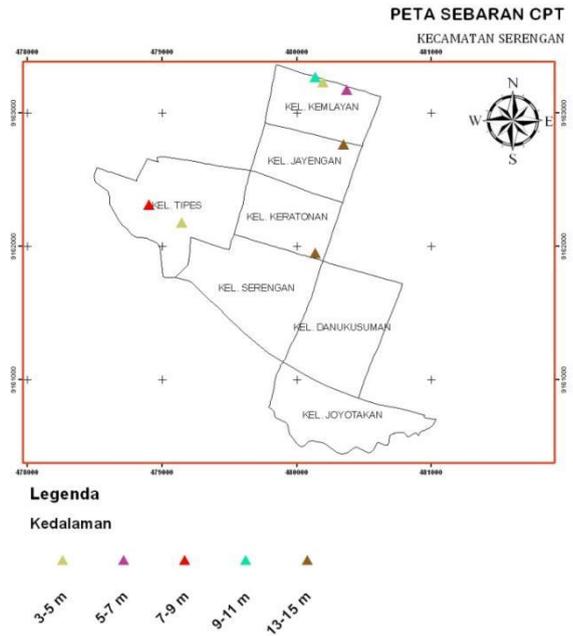
DIGAMBAR OLEH:
FENDI HARY YANTO

Gambar 5. Peta Sebaran CPT Kecamatan Pasar Kliwon



DIGAMBAR OLEH:
FENDI HARY YANTO

Gambar 4. Peta Sebaran CPT Kecamatan Jebres



DIGAMBAR OLEH:
FENDI HARY YANTO

Gambar 6. Peta Sebaran CPT Kecamatan Serengan

Analisis GIS dan Sondir Lapangan

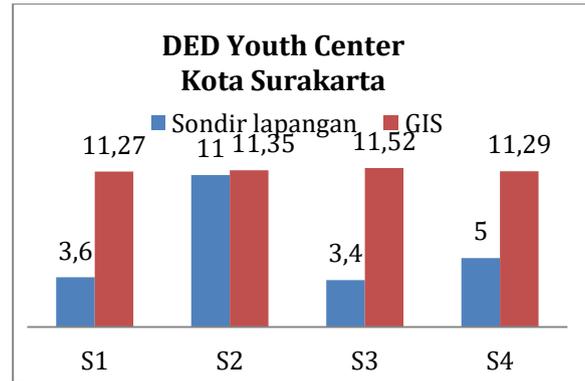
Perbandingan hasil pemetaan dengan GIS dan sondir lapangan juga diuji/dibandingkan terhadap data sondir baru yang ada di Laboratorium Mekanika Tanah, diantaranya adalah:

- LS1. Pembangunan DED *Youth Center* Kota Surakarta yang terletak di Stadion Manahan Solo.
- LS2. Pembangunan *Tennis Sport Centre* yang terletak di Pucangsawit.
- LS3. Pembangunan Rumah Tingal di Jl Kantil No 19 A Badran.
- LS4. Pembangunan Audio Technica di Penumping.
- LS5. Pembangunan Gedung Annisa di RS PKU Muhammadiyah.
- LS6. Pembangunan Asrama Mahasiswa UNS di Ngoresan.

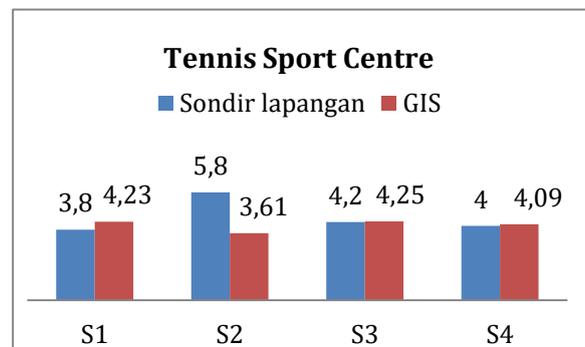


Gambar 7. Lokasi Sampel Data Sondir Baru

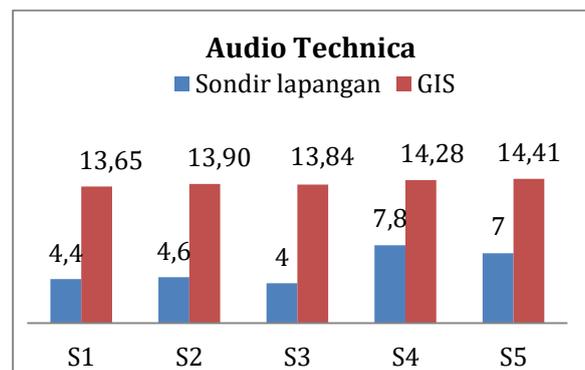
Diagram perbandingan sondir lapangan dengan GIS pada tiap lokasi sondir dapat dilihat pada Gambar di bawah:



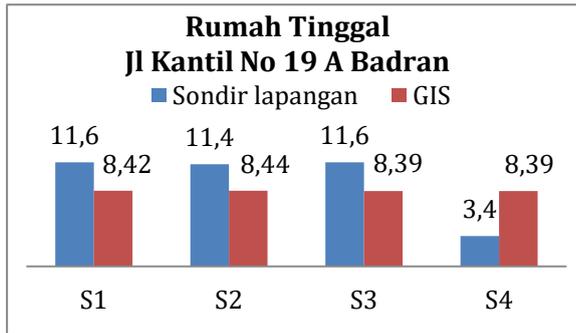
Gambar 8. Perbandingan kedalaman tanah keras hasil sondir lapangan dengan GIS pada Pembangunan DED *Youth Center* Kota Surakarta



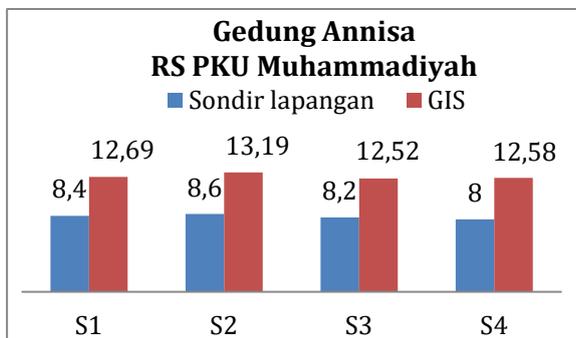
Gambar 9. Perbandingan kedalaman tanah keras hasil sondir lapangan dengan GIS pada Pembangunan *Tennis Sport Centre*



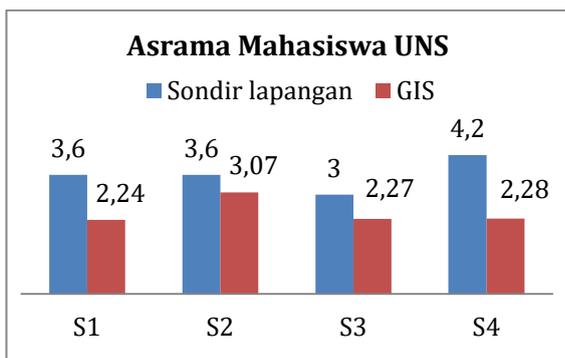
Gambar 10. Perbandingan kedalaman tanah keras hasil sondir lapangan dengan GIS pada Pembangunan Audio Technica



Gambar 11. Perbandingan kedalaman tanah keras hasil sondir lapangan dengan GIS pada Pembangunan Rumah Tinggal di Jl Kantil No 19 A Badran



Gambar 12. Perbandingan kedalaman tanah keras hasil sondir lapangan dengan GIS pada Pembangunan Gedung Annisa RS PKU Muhammadiyah



Gambar 13. Perbandingan kedalaman tanah keras hasil sondir lapangan dengan GIS pada Pembangunan Asrama Mahasiswa UNS

Hasil kedalaman tanah keras qc 250 kg/cm² dengan GIS yang mendekati sondir lapangan dari ke-enam data CPT baru adalah Pembangunan *Tennis Sport Centre* dan Asrama Mahasiswa UNS Ngoresan. Keduanya terletak di Kecamatan Jebres, pada kecamatan ini data yang di-plot pada peta ada sejumlah 41 lokasi dan merupakan kecamatan yang identifikasi lokasi CPT-nya jelas.

Berdasarkan perbandingan hasil pemetaan GIS dengan sondir lapangan dari ke-enam lokasi CPT baru bahwa hasil dengan analisis dengan GIS menunjukkan kedalaman tanah keras yang cenderung lebih dalam dengan data sondir baru. Kecenderungan itu disebabkan pengukuran elevasi permukaan yang kurang teliti dan kurangnya data yang didapat.

KESIMPULAN

Kedalaman tanah keras Surakarta berdasarkan qc 250 kg/cm² bervariasi dari 1,0 hingga 20 meter dari permukaan tanah. Kedalaman tanah keras rata-rata yang paling dominan di Surakarta adalah 3,0 - 5,0 meter dari permukaan tanah. Evaluasi perbandingan kedalaman lapangan tanah keras CPT dengan GIS di beberapa titik pengamatan menunjukkan hasil yang hampir mendekati. Sehingga penyusunan sistem informasi geoteknik berbasis data CPT dirasa dapat berfungsi sebagai identifikasi awal suatu pekerjaan/proyek dan data pendukung. Database dengan jaringan internet diperlukan untuk membuat sistem nasional untuk menghubungkan *database* dari daerah ke pusat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terimakasih kepada UNS dan semua pihak yang membantu.

DAFTAR PUSTAKA

Amassmir, S., Tkatek, S., Abdoun, O., & Abouchabaka, J. (2022). An intelligent irrigation system based on internet of things (IoT) to minimize water loss. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 25(1), 504-510. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v25.i1.pp504-510>

- Bagin'ska, I. (2020). Comparative Analysis of Cone Resistances in Cone Penetration Test (CPTu) and Dynamic Probe Heavy Test (DPH). *Geotech Geol Eng*, 38:5269–52. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10706-020-01362-x>
- Beaufils, M., Grellet, S., Le Hello, B., Lorentz, J., Beaudouin, M., & Castro Moreno, J. (2019). Geotechnical data standardization and management to support BIM for underground infrastructures and tunnels. *Tunnels and Underground Cities: Engineering and Innovation Meet Archaeology, Architecture and Art-Proceedings of the WTC 2019 ITA-AITES World Tunnel Congress*, 655–664. <https://doi.org/10.1201/9780429424441-69>
- E Yuliani and J Kautsary. (2020). Infrastructure Development in Surakarta Suburbs (A Case of Expansion of Kadipiro Urban Village , Banjarsari Sub-District , Surakarta City) Infrastructure Development in Surakarta Suburbs (A Case of Expansion of Kadipiro Urban Village , Banjarsari Sub-. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Earth Envi*(The 1st International Conference on Urban Design and Planning). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/409/1/012020>
- Eslami, A. (2020). CPT equipment, performance, and records. In *Piezocone and Cone Penetration Test (CPTu and CPT) Applications in Foundation Engineering* (pp. 55–80). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102766-0.00003-1>
- Kluger, M. O. (2021). Cone penetration tests in dry and saturated Ticino sand. *Bulletin of Engineering Geology and the Environmen*, 4079–4088. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10064-021-02156-y>
- Kurniawan, M. F. R. (2019). Vs 30 Mapping and Site Classification in Surakarta City Based on Multichannel Analysis of Surface Waves Method Vs 30 Mapping and Site Classification in Surakarta City Based on Multichannel Analysis of Surface Waves Method. *7th Asian Physics Symposium*. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1204/1/012087>
- M.S.Dixit, D. (2016). Damage mechanism in problematic soils. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 7(5), 232–241. <http://iaeme.com/Home/issue/IJCIET?Volume=7&Issue=5>
- Mieghem, J. Van, Aerts, F., Vlieger, H. De, & Vandycke, S. (1999). Building on Soft Soils. *Terra et Aqua*, 3–15. <https://www.iadc-dredging.com/terra-et-aqua/>
- Ni, X. (2020). Discussion on soft soil foundation treatment technology in municipal road and bridge engineering. *E3S Web of Conferences*, 165, 1–5. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016504002>
- Nofriah, R., & Saragih, R. (2020). Terms and Conditions for Constructing Buildings in Indonesia. *International Journal of Research and Review*, 7(April), 271–277. www.ijrrjournal.com
- P., T., & , Koumantakis I., R. D. (2010). GIS-BASED APPLICATION FOR GEOTECHNICAL DATA MANAGING. *Proceedings of the 12th International Congress*, 43, 1656–1666. <https://doi.org/https://doi.org/10.12681/bgs.11340>
- Poulos, H. G. (2016). Tall building foundations: design methods and applications. *Innovative Infrastructure Solutions*, 1(1), 1–51. <https://doi.org/10.1007/s41062-016-0010-2>



PERKEMBANGAN IMPLEMENTASI BIM KONSTRUKSI GEDUNG DI INDONESIA BERDASARKAN PERANAN KEMENPUPR, AKADEMISI, BUMN, DAN ASOSIASI PROFESI

Development of BIM Implementation of Building Construction In Indonesia Based On The Role of KemenPUPR, Academia, BUMN, and Professional Associations

Fitriana Sarifah*¹

¹Universitas Siliwangi, Jalan Siliwangi No. 24, Kota Tasikmalaya, Provinsi Jawa Barat

*fitriana.sarifah@unsil.ac.id

ABSTRAK

Roadmap konstruksi digital Indonesia dirancang oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (KemenPUPR). Roadmap tersebut dimulai dari tahun 2017 dengan tahap adopsi Building Information Modelling (BIM), dilanjutkan dengan tahap digitalisasi dan kolaborasi sehingga diharapkan pada tahun 2024 mencapai tahap integrasi. BIM digunakan untuk meningkatkan produktivitas yang berkualitas dan efisiensi manajemen proyek konstruksi dengan adanya kolaborasi perencana, manufaktur, kontraktor, dan investor sebagai stakeholder konstruksi. Penggunaan BIM memerlukan collective collaboration dari pemerintah, akademisi, pelaku industri/bisnis, dan masyarakat. Tujuan penelitian ini untuk mengidentifikasi peranan dari KemenPUPR (representasi pemerintah), universitas/ perguruan tinggi (representasi akademisi), BUMN khususnya jasa konstruksi (representasi pelaku industri/bisnis), dan asosiasi profesi khususnya jasa konstruksi (representasi masyarakat) dalam penggunaan BIM pada konstruksi gedung di Indonesia. Dalam penelitian ini, metode yang digunakan yaitu metode pengumpulan data sekunder dengan sumber yang terpercaya dari internet dan metode pemrosesan data dengan metode analisis isi media. Manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan stimulus kepada KemenPUPR, perguruan tinggi, BUMN jasa konstruksi, dan asosiasi profesi jasa konstruksi agar menggunakan BIM untuk konstruksi infrastruktur terutama bangunan gedung sesuai roadmap digital konstruksi Indonesia.

Kata kunci: Building Information Modelling, Collective Collaboration, Konstruksi Bangunan Gedung, Roadmap Digital Konstruksi Indonesia

ABSTRACT

The Indonesian digital construction roadmap was designed by the Ministry of Public Works and Public Housing (KemenPUPR). The roadmap started in 2017 with the Building Information Modeling (BIM) adoption phase, followed by digitalization and collaboration phase so that it is expected that in 2024 it will reach the integration phase. BIM is used to increase the quality productivity and efficiency of construction project management by collaborating with planners, manufacturers, contractors and investors as construction stakeholders. The use of BIM requires collective collaboration from the government, academia, industry/business players, and society. The purpose of this research is to identify the role of the Ministry of Public Works and Public Housing (government representation), universities/universities (academic representation), BUMN, especially construction services (representation of industry/business actors), and professional associations, especially construction services (community representation) in the use of BIM in building construction in Indonesia. In this study, the method used is the secondary data collection method with a trusted source from the internet and the data processing method is the media content analysis method. The benefits of this research are expected to provide a stimulus to KemenPUPR, universities, state-owned construction services, and construction service professional associations to use BIM for infrastructure construction, especially buildings according to the Indonesian construction digital roadmap.

Keywords: Building Construction, Building Information Modelling, Collective Collaboration, Indonesia's Digital Construction Roadmap

PENDAHULUAN

Rumusan Permasalahan Penelitian

Roadmap konstruksi digital Indonesia tahun 2017-2024 dipaparkan oleh KemenPUPR pada konferensi internasional "Digital Construction Day" tanggal 4 Oktober 2017. Tahapan *roadmap* tersebut terdiri dari tahap adopsi, digitalisasi, kolaborasi, dan integrasi. Pada tahap adopsi, KemenPUPR merencanakan untuk menginstruksikan kepada semua stakeholder konstruksi untuk adopsi *Building Information Modelling* (BIM) dengan menjadikan BIM sebagai standar pada proyek konstruksi. BIM direncanakan sebagai standar baik untuk kurikulum maupun kompetensi pada perguruan tinggi dan asosiasi profesi jasa konstruksi. Selain itu, Standar Nasional Indonesia (SNI) BIM direncanakan sudah tersusun.

Selanjutnya pada tahap digitalisasi, perizinan, monitoring, dan supervisi konstruksi dilakukan secara digital, termasuk penyediaan material, alat, dan jasa. Kemudian, pada tahap kolaborasi, implementasi BIM 3D sampai dengan 7D sebagai implementasi *Virtual Design & Construction* (VDC) dan *Lean Construction* mendasari kolaborasi. Oleh karena itu, pada tahap integrasi diharapkan proses konstruksi mulai dari perizinan sampai dengan handover sudah terintegrasi secara sistem dengan implementasi *Cloud Construction Management*.

BIM diimplementasikan untuk meningkatkan produktivitas yang berkualitas dan efisiensi manajemen proyek konstruksi dengan adanya kolaborasi perencana, manufaktur, kontraktor, dan investor sebagai stakeholder konstruksi. Implementasi BIM sesuai model *Quadruple Helix* memerlukan *collective collaboration* berupa kerjasama antara empat unsur dari pemerintah diwakili KemenPUPR khususnya Tim BIM KemenPUPR, akademisi diwakili perguruan tinggi khususnya Program Studi S1 Teknik Sipil Akreditasi A atau unggul, pelaku industri/bisnis diwakili BUMN Jasa Konstruksi, dan masyarakat diwakili Asosiasi Profesi Jasa Konstruksi.

Dari rumusan permasalahan tersebut dibentuklah pertanyaan penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimanakah peranan KemenPUPR sebagai wakil pemerintah dalam mengembangkan penggunaan BIM terutama pada konstruksi

bangunan gedung untuk ketercapaian *roadmap* konstruksi digital Indonesia?

2. Bagaimanakah peranan perguruan tinggi sebagai wakil akademisi dalam mengembangkan penggunaan BIM terutama pada konstruksi bangunan gedung untuk ketercapaian *roadmap* konstruksi digital Indonesia?
3. Bagaimanakah peranan BUMN Jasa Konstruksi sebagai wakil pelaku industri/bisnis dalam mengembangkan penggunaan BIM terutama pada konstruksi bangunan gedung untuk ketercapaian *roadmap* konstruksi digital Indonesia?
4. Bagaimanakah peranan asosiasi profesi jasa konstruksi sebagai wakil masyarakat dalam mengembangkan penggunaan BIM terutama pada konstruksi bangunan gedung untuk ketercapaian *roadmap* konstruksi digital Indonesia?

Tujuan Penelitian

Studi ini dilakukan untuk menelusuri pengembangan penggunaan BIM pada konstruksi bangunan gedung di Indonesia tahun 2017-2022 dalam ketercapaian *roadmap* konstruksi digital Indonesia dengan mengidentifikasi peranan dari:

1. KemenPUPR (representasi pemerintah),
2. perguruan tinggi (representasi akademisi),
3. BUMN jasa konstruksi (representasi industri/ bisnis),
4. Asosiasi profesi jasa konstruksi (representasi masyarakat).

Manfaat dari studi untuk memberikan stimulus kepada pemerintah, akademisi, pelaku industri/bisnis, dan masyarakat agar menggunakan BIM untuk konstruksi infrastruktur terutama bangunan gedung sesuai *roadmap* digital konstruksi Indonesia.

Batasan Penelitian

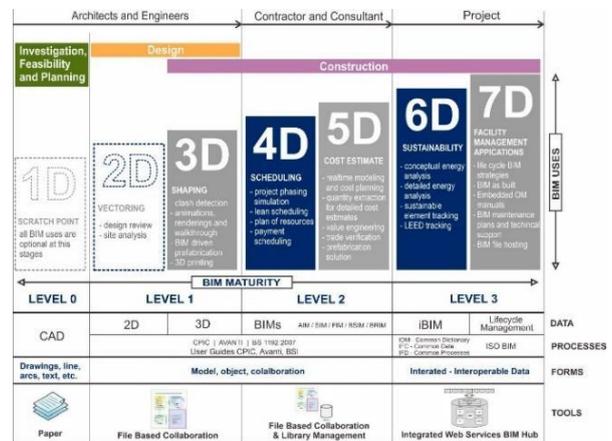
Batasan yang diterapkan oleh penulis dapat diperhatikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Batasan Penelitian

Unsur	Bagian Unsur	Batasan Penelitian
Pemerintah	1. Kementerian PUPR	Tim BIM Kementerian PUPR
	2. Kementerian Keuangan	
	3. Kementerian Perindustrian	
	4. dan lain-lain	
Akademisi	1. Perguruan Tinggi	Perguruan Tinggi: Program Studi S1 Teknik Sipil Akreditasi A atau Unggul
	2. Lembaga Penelitian	
	3. Lembaga Pelatihan	
Pelaku Industri/ Bisnis	1. BUMD/BUMN	BUMN Jasa Konstruksi: a. PT Adhi Karya (Persero) Tbk – ADHI b. PT Wijaya Karya (Persero) Tbk – WIKA c. PT Pembangunan Perumahan (Persero) Tbk – PTPP d. PT Hutama Karya (Persero) – HK e. PT Waskita Karya (Persero) Tbk – WSKT
	2. BUM Swasta	
	3. Investor	
Masyarakat	1. Tenaga Kerja Konstruksi 2. Asosiasi Konstruksi a. Badan Usaha b. Profesi c. Rantai Pasok 3. LPJK	Asosiasi Profesi Jasa Konstruksi

Landasan Teori

Building Information Modelling (BIM) merupakan salah satu teknologi di bidang Arsitektur, Teknik, dan Konstruksi. Konsep *build virtually before construct* dari BIM membantu penggunaannya menemukan solusi dari permasalahan konstruksi. Solusi yang ditawarkan BIM seperti mengantisipasi cacat desain (misalnya *clash detection*), menganalisis dampak potensial sebelum pelaksanaan di lapangan, dan meminimalkan ketidakpastian ketika pelaksanaan. Konsep Dimensi dan Level 1 BIM tergambar pada Gambar 1.



Gambar 1 Dimensi dan Level BIM

Sumber: PUPR-2020

Detail penjelasan dimensi dan level BIM adalah sebagai berikut:

1. 3D – Model (Level 1)
 - a. Data model eksisting
 - b. Data dan informasi 3D
 - c. Data prefabrikasi BIM
 - d. Analisis struktur dan pembesian
 - e. Layout lapangan dan data sipil
2. 4D – Penjadwalan (Level 2 - Konstruksi)
 - a. Simulasi tahapan proyek
 - b. Mempelajari penjadwalan agar tepat waktu termasuk instalasi sampai perencanaan akhir.
 - c. Visualisasi untuk persetujuan pembayaran
3. 5D – Estimasi (Level 2)
 - a. Perencanaan biaya
 - b. Ekstraksi kuantitas untuk estimasi biaya
 - c. *Value engineering* (skenario, visualisasi)
 - d. Verifikasi model pabrikan
 - e. Prefabrikasi

4. 6D – Keberlanjutan (Level 3)
 1. Analisis energi
 2. Bangunan ramah lingkungan: element, pelacakan sertifikasi dan point
5. 7D – Manajemen Fasilitas (Level 3)
 - a. Siklus hidup infrastruktur
 - b. BIM sebagai data pembangunan
 - c. BIM dalam biaya operasi dan pemeliharaan
 - d. BIM untuk perencanaan sewa pinjam digital

Manfaat dan tujuan penggunaan BIM dalam konstruksi antara lain:

1. Memaksimalkan efisiensi dan akurasi proses konstruksi sehingga desain dan konstruksi lebih ramping, menghindari kesalahan, dan memberikan keterbukaan.
2. Memaksimalkan produktivitas proses konstruksi dari perencanaan sampai pelaksanaan.
3. Peningkatan mutu, pengendalian biaya dan manajemen waktu.
4. Regulator aktif memberikan persetujuan dan mengawasi perkembangan proyek konstruksi.

METODE

Metode Penghimpunan Data

Metode penghimpunan data dalam penelitian ini adalah metode data sekunder terkait BIM dengan sumber yang dipantau selalu mengupdate data atau informasinya seperti yang diuraikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Data dan Sumber Data

Unsur	Data	Sumber
Pemerintah:	- Peraturan KemenPUPR terkait BIM	- Website resmi - Sosial media resmi seperti
KemenPUPR termasuk unit kerjanya terutama BIM PUPR	- Dokumen terkait BIM - Pelatihan terkait BIM - Berita terkait BIM - Artikel ilmiah terkait BIM dan PUPR	instagram, twitter, facebook, dan youtube - Hasil pencarian pada <i>google</i> dan <i>google scholar</i> dengan menuliskan "BIM + Kementerian PUPR" disertai pengecekan fakta

Unsur	Data	Sumber
Perguruan Tinggi: Program Studi Teknik Sipil Akreditasi A atau Unggul	- Kurikulum Mata Kuliah - Tugas akhir/skripsi terkait BIM - Berita terkait pelatihan, seminar, atau workshop BIM - Artikel ilmiah/jurnal terkait BIM	Hasil pencarian pada <i>google</i> dengan menuliskan "BIM + Teknik Sipil + nama perguruan tinggi yang ada dalam daftar sampel penelitian".
BUMN Jasa Konstruksi	- Berita atau pengumuman terkait proyek BIM, seminar atau sorkshop BIM, pencapaian perusahaan - Laporan tahunan terutama mengenai BIM	- Website resmi - Sosial media resmi seperti instagram, twitter, facebook, dan youtube - Hasil pencarian pada <i>google</i> dan <i>google scholar</i> dengan menuliskan "BIM + Nama BUMN Konstruksi" disertai pengecekan fakta
Asosiasi profesi jasa konstruksi	- Berita atau pengumuman terkait BIM	- Website resmi - Hasil pencarian pada <i>google</i> dan <i>google scholar</i> dengan menuliskan "BIM + nama asosiasi profesi jasa konstruksi" disertai pengecekan fakta

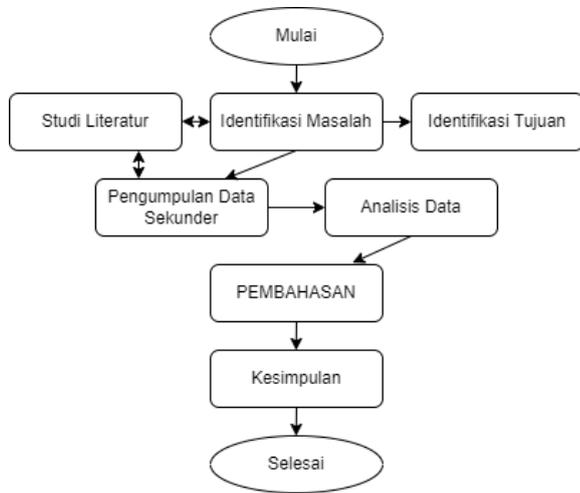
Variabel Penelitian

Penulis menentukan variabel penelitian sebagai berikut:

1. Variabel beban atau mempengaruhi: Peranan KemenPUPR, Universitas, BUMN, dan Asosiasi Profesi.
2. Variabel terikat atau terpengaruh: pengembangan penggunaan BIM pada konstruksi bangunan gedung di Indonesia.

Teknik Analisis Data

Analisis data yang digunakan penulis dalam penelitian ini ditunjukkan dalam diagram alir pada Gambar 2.



Gambar 2 Diagram Alir Penelitian

Teknik analisis data dengan menggunakan analisis media komunikasi seperti *website*, sosial media, dan surat kabar elektronik. Media komunikasi tersebut mengkomofasi segala jenis isi dan peristiwa melalui pemberitaan atau publikasi lainnya agar dapat digunakan dan diketahui oleh publik. Teknik analisis terdiri dari (1) analisis isi terhadap keseluruhan pesan; (2) analisis bingkai dengan menunjukkan bagaimana aspek-aspek struktur dan bahasa dalam media komunikasi memandu persepsi dan representasi realitas dibalik penulisan informasi, (3) analisis wacana mengenai topik yang dibicarakan memberikan pengaruh terhadap pembaca.

Penentuan Populasi atau Sampel Penelitian

Populasi dan sampel dalam penelitian ini dijelaskan pada Tabel 3.

Tabel 3 Populasi dan Sampel Penelitian

No.	Populasi Penelitian	Sampel Penelitian
1	Kementerian PUPR	Tim BIM Kementerian PUPR
2	Perguruan Tinggi	Program Studi S1 Teknik Sipil Akreditasi A atau Unggul
3	BUMN Jasa Konstruksi	BUMN Jasa Konstruksi: PT Adhi Karya (Persero) Tbk

4	Asosiasi Jasa Konstruksi	Asosiasi Profesi Jasa Konstruksi
---	--------------------------	----------------------------------

Penentuan populasi dan sampel dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Penentuan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (KemenPUPR) dari unsur pemerintah sebagai populasi penelitian yaitu berdasarkan kesesuaian fungsi KemenPUPR dalam perumusan, penetapan, dan pelaksanaan kebijakan di bidang seperti penataan bangunan gedung dan pembinaan jasa konstruksi. Selanjutnya, penentuan Tim BIM Kementerian PUPR dibentuk pada tahun 2017 sebagai sampel penelitian yaitu berdasarkan tugasnya dalam "mengawal" implementasi di lingkungan kementerian PUPR.
- Penentuan perguruan tinggi dari unsur akademisi sebagai populasi penelitian untuk kesesuaian pelaksanaan *roadmap* pada tahap adopsi "BIM direncanakan sebagai standar kurikulum dan kompetensi untuk perguruan tinggi". Selanjutnya, penentuan Program Studi Teknik Sipil akreditasi A atau unggul sebagai sampel penelitian yaitu karena representasi terbaik dalam fasilitas dan sumber daya yang seharusnya lebih mudah untuk kebutuhan implementasi BIM.
- Penentuan BUMN jasa konstruksi dari unsur pelaku industri/bisnis sebagai populasi penelitian yaitu merupakan salah satu pelaku utama dalam jasa konstruksi di Indonesia. Selanjutnya, penentuan PT Adhi Karya (Persero) Tbk sebagai sampel penelitian yaitu berdasarkan lengkapnya informasi mengenai BIM ADHI yang tersedia di *website* dan media sosial resmi ADHI.
- Penentuan asosiasi jasa konstruksi dari unsur masyarakat sebagai populasi penelitian yaitu merupakan asosiasi para pelaku industri/bisnis konstruksi. Selanjutnya, penentuan asosiasi jasa konstruksi sebagai sampel penelitian yaitu berdasarkan kesesuaian pelaksanaan *roadmap* pada tahap adopsi "BIM direncanakan sebagai standar kurikulum dan kompetensi untuk asosiasi profesi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu yang digunakan mengenai adopsi BIM di konstruksi Indonesia dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Penelitian Terdahulu Adopsi BIM Indonesia

No.	Pustaka – Isi Penelitian
1.	<p>Davies, R. J., Pratama, M. M. A., & Yusuf, M. (2018). <i>BIM adoption towards the sustainability of construction industry in Indonesia</i>. In MATEC Web of Conferences (Vol. 195, p. 06003). EDP Sciences.</p> <p>Di Indonesia pada tahun 2018, jumlah <i>engineer</i> yang memiliki kompetensi dalam menggunakan BIM masih rendah. Indonesia harus menfokuskan upayanya pada pembelajaran BIM. BIM disadari dalam memperbaiki manajemen siklus hidup asset dengan meningkatkan keberlanjutan lingkungan, ekonomi, dan aspek sosial.</p>
2.	<p>Larasati, D., Willis, F. A., Hanifah, Y., Agirachman, F. A., & Suhendri, S. (2018). <i>Factors that affects maturity level of BIM implementation in Indonesia; case Studies of 5 construction key actors</i>. In International Conference of the Architectural Science Association (pp. 673-681) :</p> <p>Di Indonesia pada tahun 2018, tingkat kematangan BIM masih berada pada level 1. Pada level 1, model BIM 3D sebagai pendekatan desain dan konstruksi sudah mulai digunakan. Namun, komunikasi antar stakeholder tidak terintegrasi. faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat maturitas implementasi BIM adalah komitmen pemimpin; pengembangan sistem dan infrastruktur; serta kualitas dan kemampuan sumber daya manusia.</p> <p>Catatan: 5 pelaku kunci konstruksi: kontraktor, pengembang (pemilik), konsultan, pembuat produk, dan konsultan asing.</p>
3.	<p>Hatmoko, J. U. D., Fundra, Y., & Wibowo, M. A. (2019). <i>Investigating building information modelling (BIM) adoption in Indonesia construction industry</i>. In MATEC Web of Conferences (Vol. 258, p. 02006). EDP Sciences.</p> <p>Di Indonesia pada tahun 2019, manfaat implementasi BIM seperti yang dirasakan oleh sebagian besar responden, mis. desain</p>

No.	Pustaka – Isi Penelitian
	<p>deteksi tabrakan, simulasi proyek yang jelas, pengurangan pengerjaan ulang, dan penggunaan sumber daya yang efisien. Namun, adopsi BIM masih menghadapi tantangan, seperti tidak adanya persyaratan dan permintaan, serta biaya investasi yang tinggi.</p>
4.	<p>Utomo, F. R., & Rohman, M. A. (2019). <i>The barrier and driver factors of building information modelling (BIM) adoption in Indonesia: a preliminary survey</i>. IPTEK Journal of Proceedings Series, (5), 133-139.</p> <p>Pada tahun 2019, tiga faktor pengadopsian BIM di Indonesia yaitu (1) kurangnya ahli BIM; (2) kurangnya pemahaman tentang BIM dan manfaatnya; (3) perlawanan terhadap perubahan. Tiga faktor pendorong adopsi BIM di Indonesia yaitu (1) kemauan/niat; (2) faktor teknologi; (3) budaya organisasi.</p>
5.	<p>Van Roy, A. F., & Firdaus, A. (2020). <i>Building information modelling in Indonesia: Knowledge, implementation and barriers</i>. Journal of Construction in Developing Countries, 25(2), 199-217.</p> <p>lebih dari 60% dari responden tidak memiliki pengetahuan yang memadai dengan terminologi BIM. Lebih dari 70% proyek responden telah menerapkan BIM Level 1, terutama dalam jasa transportasi, produksi dan distribusi energi, jalan dan jembatan, dan infrastruktur bangunan. Lima hambatan tertinggi dalam implementasi BIM adalah kurangnya pelatihan BIM, kurangnya pengalaman dan kemampuan BIM, tidak ada permintaan klien, biaya tinggi dalam akuisisi perangkat lunak dan perangkat keras, dan fasilitas teknologi informasi (TI) yang tidak memadai.</p>
6.	<p>Pantiga, J., & Soekiman, A. (2021). <i>Kajian Literatur Implementasi Building Information Modeling (BIM) Di Indonesia</i>. Rekayasa Sipil, 15(2), 104-110.</p> <p>Pengadopsian BIM sudah dilakukan oleh beberapa stakeholder konstruksi di Indonesia tetapi masih terbatas yaitu pada proyek skala besar. BIM dimanfaatkan dalam tahapan desain <i>engineering</i>. Tantangan pokok terjadi pada prosesnya seperti kurangnya tenaga ahli/spesialis, harus merubah budaya dalam bekerja, dan masih terbatasnya pengetahuan dan pemahaman BIM.</p>

Peranan Tim BIM Kementerian PUPR

KemenPUPR merencanakan untuk menginstruksikan kepada semua stakeholder konstruksi untuk adopsi Building Information Modelling (BIM) dengan menjadikan BIM sebagai standar pada proyek konstruksi. BIM direncanakan sebagai standar baik untuk kurikulum maupun kompetensi pada perguruan tinggi dan asosiasi profesi jasa konstruksi.

KemenPUPR berfungsi sebagai merumuskan, menetapkan, dan melaksanakan kebijakan di bidang seperti penataan bangunan gedung dan pembinaan jasa konstruksi termasuk peraturan BIM. Pada Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat No. 22/PRT/M/2018 tentang Pedoman Pembangunan Bangunan Gedung Negara yang ditetapkan pada tanggal 14 September 2018, Lampiran IV Kegiatan dan Tugas Jasa Konstruksi, Bagian A Penyedia Jasa Perencanaan Konstruksi Nomor 13 disebutkan bahwa "Penggunaan *Building Information Modelling* (BIM) wajib diterapkan pada Bangunan Gedung Negara tidak sederhana dengan kriteria luas di atas 2000 m² dan di atas 2 (dua) lantai.

Kemudian, hasil tindak lanjut konferensi internasional "*Digital Construction Day*" pada 14 Oktober 2017, tim BIM Kementerian PUPR (BIM PUPR) dibentuk untuk melaksanakan tugas dalam mengawal implementasi BIM di lingkungan PUPR.

BIM PUPR memiliki website resmi tersendiri yaitu <http://bim.pu.go.id/>. Pada Mei 2018, BIM PUPR menerbitkan "Panduan Adopsi BIM dalam Organisasi". Selain dari Kementerian PUPR, tim penyusun panduan tersebut yaitu Institut BIM Indonesia dan PT PP. Dalam panduan tersebut, tahapan dalam mengadopsi BIM yaitu (1) kepemimpinan dengan melibatkan manager senior sampai terbentuknya tim BIM yang memiliki peran dan tanggung jawab jelas; (2) perencanaan program adopsi BIM dan mendefinisikan visi dan tujuan BIM, topik fokus adopsi BIM, manajemen perubahan, serta kebutuhan *hardware* dan *software* (3) informasi standar BIM, pengecekan jaminan kualitas BIM, dan manajemen informasi BIM; (4) mproses proyek berbasis BIM; (5) SDM menyusun peta kompetensi BIM, peta jalan pelatihan BIM, dan peran manajer atau koordinator BIM, (6) keterlibatan stakeholder dengan menyusun BIM perencanaan eksekusi dan kondisi-kondisi penerapan BIM; dan (6) hasil dengan mendefinisikan Indikator Kinerja Utama (IKU) BIM.

Selain itu, dalam panduan tersebut dijelaskan tingkat implementasi (*maturity level*) yang dibagi sebagai berikut:

1. Level 0 ditandai dengan tidak adanya kolaborasi dan hanya menggunakan CAD untuk penggambaran dan penyusunan.
2. Level 1 ditandai dengan penggunaan 3D model dalam pekerjaan desain konseptual dan gambar-gambar CAD 2D dalam dokumentasi, perijinan, dan informasi konstruksi dengan setiap divisi memiliki standar masing-masing.
3. Level 2 ditandai dengan bekerja secara kolaborasi dalam model atau objek meskipun semua bekerja dengan sistem dan lingkungan masing-masing.
4. Level 3 ditandai dengan OpenBIM berupa kolaborasi penuh antar semua divisi dan menggunakan satu objek bersama sehingga semua dapat mengerjakan dan memodifikasi obyek bersama

Selanjutnya, pada PPRI No. 16 - 2021 tentang Peraturan Pelaksanaan UU No. 28 - 2002 tentang Bangunan Gedung pada Lampiran III.A.2.d mengenai metode pelaksanaan konstruksi bangunan. Untuk konstruksi bangunan menengah dan tinggi dikategorikan padat teknologi, mewajibkan penggunaan BIM paling sedikit sampai 5D dan dilakukan oleh penyedia jasa konstruksi minimum klasifikasi menengah. Kemudian, untuk konstruksi bangunan pencakar langit dan super tinggi dikategorikan padat modal, mewajibkan penggunaan BIM sampai 8D dan dilakukan oleh penyedia jasa klasifikasi besar.

Rekomendasi percepatan implementasi BIM pada pembangunan infrastruktur PUPR dikeluarkan oleh BIM PUPR di bawah Pusat Litbang Kebijakan dan Penerapan Teknologi pada tahun 2019 yaitu:

1. Meningkatkan pemahaman BIM dengan peningkatan kapabilitas SDM melalui pelatihan disertai penyusunan standar BIM memuat prosedur dalam berkoordinasi dan berkomunikasi antar stakeholder proyek konstruksi.
2. File BIM disyaratkan dalam Kerangka Acuan Kerja (KAK).
3. Mendorong penggunaan Open BIM asli (bukan bajakan) agar tidak mengarah pada software tertentu.
4. Tersedianya manajemen penyimpanan dan keamanan data digital BIM untuk seluruh proyek PUPR.
5. Mendorong pengesahan/otorasi dokumen secara digital.

Training BIM PUPR di Sistem Informasi Belajar Intensif Mandiri (Sibima) Bidang Konstruksi dengan modul 1) BIM Compatible Format, 2) BIM Hardware Recommendations, 3) Building a Safety Culture BIM, 4) Managing Risk in the Construction BIM, 5) Panduan dan Adopsi BIM pada Organisasi, 6) Pointer Content Training BIM PUPR, 7) Safety Management in Construction BIM, 8) Trimble Presentation for Balitbang Workshop.

Diklat BPSDM PUPR (28 Jun-6 Jul 2022) terkait BIM dengan modul 1) Penyelenggaraan Proyek Infrastruktur IKN dengan BIM, 2) Kebijakan dan Proses Bisnis PUPR dan Manajemen Perubahan yang terkait Implementasi BIM, 3) Kebijakan Pengadaan Barang dan Jasa terkait Implementasi BIM, 4) Kebijakan Pengembangan Kompetensi SDM Konstruksi terkait Implementasi BIM, 5) Prinsip Dasar Sistem Teknologi BIM dan Implementasinya di Indonesia, 6) BIM Execution Plan (BEP) serta menerapkannya sebagai bagian dari proses penyajian informasi berbasis BIM, 7) Workflow dan Implementasi BIM pada level Kolaborasi dalam Proses Monitoring Proyek, Pemodelan 3D, 4D, 5D, 6D dan 7D serta simulasinya dan Level Development (LOD), Studi Kasus.

Peranan Program Studi S1 Teknik Sipil dan Sejenis Akreditasi A atau Unggul

Teknik Sipil adalah salah satu keilmuan yang mempelajari *Building Information Modelling* (BIM). Oleh karena itu, BIM seharusnya dipelajari di Program Studi S1 Teknik Sipil. Setiap mata kuliah di setiap jurusan perguruan tinggi memiliki standar kurikulum. Hingga saat ini, BIM belum menjadi mata kuliah yang wajib masuk di kurikulum S1 Teknik Sipil. Namun, adanya kondisi BIM yang jelas dibutuhkan di dalam konstruksi, seharusnya memberikan kesadaran perguruan tinggi seperti Program Studi Teknik Sipil untuk memberikan pelatihan BIM dan menyediakan mata kuliah BIM atau sisipan materi BIM ke dalam mata kuliah terafiliasi BIM misal Gambar Teknik dan sejenis.

Pada 2022, terdapat 41 Program Studi S1 Teknik Sipil dan sejenis akreditasi A atau unggul di Indonesia baik perguruan tinggi maupun swasta yang sebarannya pada Gambar 3 dan Tabel 5.



Gambar 3 Sebaran Program Studi S1 Teknik Sipil Akreditasi A atau Unggul di Indonesia

Tabel 5 Sebaran Program Studi S1 Teknik Sipil di Indonesia pada Perguruan Tinggi Negeri (PTN) maupun Swasta (PTS)

Lokasi	Nama PT	BIM
Aceh-Banda Aceh	U. Syiah Kuala (https://unsyiah.ac.id/)	N -
Sumbar-Padang	U. Andalas - (https://unand.ac.id/)	N (2019). Training of Trainer (ToT) BIM; (2021). Bimtek BIM (2022). TA - Revit
Riau-Pekanbaru	U. Bung Hatta (https://bunghatta.ac.id/)	S MK BIM-Tekla Structures - 2020
	U. Riau- (https://unri.ac.id/)	N (2022). TA
Kepri-Batam	U. Internasional Batam (https://www.uib.ac.id/)	S (2022). Webinar BIM
Sumsel-Ogan Ilir	U. Sriwijaya (https://unsri.ac.id/)	N Sisipan Materi BIM MK Menggambar Teknik; (2021). Introduction Training 5D BIM Cubicost (2022) Dirjen Bina Konstruksi - Seminar; (2022). Balai Jasa Konstruksi Wilayah (BJKW) II Palembang - Kuliah Umum (2022). Jurnal.
Lampung-Bandar Lampung	U. Lampung (https://www.unila.ac.id/)	N -
	U. Bandar Lampung (https://ubl.ac.id/)	S -

Lokasi	Nama PT	BIM	Lokasi	Nama PT	BIM
Banten-Tangerang	U. Pelita Harapan (https://www.uph.edu/en/)	S -	Surakarta	/id/)	
DKI-Jakarta Barat	U. Bina Nusantara (https://binus.ac.id/)	S -	DIY-Bantul	U.Muhammadiyah Yogyakarta (https://www.umy.ac.id/)	S TA
	U. Mercu Buana (https://www.mercubuana.ac.id/)	S -	DIY-Sleman	U. Atma Jaya Yogyakarta (https://www.uajy.ac.id/)	S TA, Jurnal
	U. Tarumanagara (https://untar.ac.id/)	S (2017). Kuliah Umum;		U. Gadjah Mada (https://www.ugm.ac.id/)	N Seminar, Kuliah Umum
	U. Trisakti (https://trisakti.ac.id/)	S (2019). TA (2020). TA, prosiding,		U. Islam Indonesia (https://www.uui.ac.id/)	S MK BIM; BIM Center of Excellence
DKI-Jakarta Selatan	U. Bakrie (https://bakrie.ac.id/)	S (2021): Kuliah Umum Glodon		U. Negeri Yogyakarta (https://www.uny.ac.id/)	N (2020). CAD dan Revit Training
	U. Pancasila (https://univpancasila.ac.id/)	S -	Jatim-Jember	U. Jember (https://unej.ac.id/)	N Jurnal
Jabar-Bandung	I.Teknologi Bandung (https://www.itb.ac.id/)	N (2022). Lomba Tender - Glodon	Jatim-Malang	U. Brawijaya (https://ub.ac.id/)	N -
	I. Teknologi Nasional Bandung (https://www.iteknas.ac.id/)	S MK Pilihan: BIM	Jatim-Surabaya	I.Teknologi Sepuluh Nopember (https://www.its.ac.id/id/beranda/)	N Dialog, Talkshow
	U. Katolik Parahyangan (https://unpar.ac.id/)	S (2019). TA.		U. Kristen Petra (https://www.petra.ac.id/)	S Seminar
	U. Kristen Maranatha (https://www.maranatha.edu/)	S (2016,2017). TA; (2022). BIM Exhibition 1.0.	Bali-Badung	U. Udayana - (https://www.unud.ac.id/)	N (2022). Pelatihan BIM. Balai Jasa Konstruksi Wilayah (BJKW) IV Surabaya & Tekla Structure by PT Trimble Indonesia
Jabar-Bogor	I.Pertanian Bogor (https://ipb.ac.id/)	N (2022). Pengenalan BIM - Glodon		U. Tanjungpura (https://untan.ac.id/)	N Jurnal
Jabar-Depok	U. Indonesia (https://www.ui.ac.id/)	N (2015). TA (2018). TA	Sulut-Manado	U. Sam Ratulangi (https://www.unsrat.ac.id/)	N Proyek Gedung BIM oleh PT Adhi Karya (2021): TA
	U. Gunadarma (https://gunadarma.ac.id/)	S -	Sulsel-Makassar	U. Hasanuddin (https://www.unhas.ac.id/)	N Webinar - Tekla
Jateng - Banyumas	U. Jenderal Soedirman (https://unsoed.ac.id/)	N Jurnal	Malut-Ternate	U. Khairun (https://unkhair.ac.id/)	
Jateng - Semarang	U. Diponegoro (https://www.undip.ac.id/)	N MK BIM			
	U. Islam Sultan Agung (https://unissula.ac.id/)	S TA			
Jateng-Sukoharjo	U.Muhammadiyah Surakarta	S TA, Simposium			
Jateng-Kota	U. Sebelas Maret (https://uns.ac.id/)	N Workshop			

U. Universitas, I.: Institut,

N: Negeri, S: Swasta,

TA: Tugas Akhir,

MK: Mata Kuliah

Berdasarkan informasi dari website Institut BIM Indonesia, mata kuliah BIM di beberapa universitas hanya terdapat pada program studi Arsitektur yaitu di Institut Teknologi Bandung (ITB), Universitas Indonesia (UI), Universitas Katolik Parahyangan (UNPAR), Universitas Pelita Harapan (UPH), Universitas Multimedia Nusantara. Di Institut Teknologi Nasional Bandung (UMN), MK BIM terdapat pada Program Studi Teknik Sipil dan Arsitektur. Di Universitas Islam Indonesia (UI), terdapat pada Program Studi Teknik Sipil, Arsitektur, dan Teknik Lingkungan.

Peranan BUMN Konstruksi

1. Peranan BIM dalam Proyek Konstruksi PT Adhi Karya (Persero) Tbk (ADHI)

ADHI telah mengadopsi BIM sejak tahun 2017 melalui Biro BIM di bawah Departemen Operasional. Di ADHI, BIM adalah alat manajemen proyek berbasis sistem teknologi digital untuk memfasilitasi kebutuhan stakeholder yang membantu dalam mengefisienkan waktu pengerjaan, tenaga kerja, dan biaya yang dibutuhkan. di Indonesia. Roadmap BIM ADHI sejak tahun 2017 didetailkan pada Tabel 6:

Tabel 6 Roadmap BIM ADHI

Tahun	Roadmap BIM ADHI
2017	2D -> 3D Implementasi
2018	4D Implementasi 5D Trial
2019	4D Implementasi 5D Trial
2020	4D Development & Tools Research + Pilot Project 5D Pilot Project (Integrasi dengan ERP)
2021	4D Mature 5D Implementasi (Integrasi dengan ERP) 7D Implementasi
2022	4D Mature 5D Pilot Project 8D Riset
2023	5D & BIM level 2 Mature 8D Pilot Project
2024	Manajemen proyek berbasis BIM
2025	Implementasi BIM & ERP
2026	Integrasi BIM & ERP

ERP: Enterprise Resource Planning

Sumber: PT Adhi Karya (Persero) Tbk-
2021,2022

Hasil pengecekan BIM level maturitas tahun 2021 diuraikan pada Tabel 7.

Tabel 7 Level Maturitas BIM ADHI Tahun 2021

	ADHI (Perusahaan)	Gedung (Unit Kerja)
Nilai maturitas	3.07	3.14 (tertinggi)
Tingkat maturitas	Integrated	Integrated
0-1: initial	BIM di proyek-proyek ADHI mengacu standar kebijakan organisasi dan menyesuaikan kebutuhan proyek namun belum terintegrasi dalam seluruh proses bisnis proyek.	
1-2: defined		
2-3: managed		
3-4: integrated		
4-5: optimized		
Tingkat kapabilitas	1.8	2.2 (tertinggi)
		Tingkat kemampuan BIM pada proyek-proyek ADHI dilakukan antar multi disiplin proses.
Standar Deviasi	0.34	0.6
		Tingkat maturitas BIM antar unit kerja operasional sudah cenderung seragam
Skala implementasi organisasi	1.6 (micro-meso)	1.7 (micro-meso)
		Tingkat kolaborasi organisasi di proyek-proyek ADHI terjalin antar multiple organization

Sumber: PT Adhi Karya (Persero) Tbk-2022

Oleh karena itu, ADHI sesuai sertifikasi dari Balai Sertifikasi Industri (BSI) menyediakan layanan desain, konstruksi, dan commissioning yang sesuai dengan BIM level 2 ISO 19650-2:2018. ADHI menjadi kontraktor BUMN pertama yang tersertifikasi ISO 19650 pada September 2020. Maturitas BIM level 2 yaitu kolaborasi (3D sampai 7D berbasis Common Data Environment (CDE) yang terintegrasi). Tahapan peranan ADHI dalam implementasi BIM diuraikan pada Tabel 8.

Tabel 8 Peranan ADHI dalam Implementasi BIM

BIM	Implementasi	Software
3D	1. Pedoman pelaksanaan proses pembuatan model 3D dilengkapi data dan informasi hingga visualisasi	1. Autodesk Architecture, Engineering & Construction Collection
	2. Alat bantu verifikasi <i>Work Breakdown Structure</i> (WBS)	2. Allplan 3. Tekla Structures
4D	1. Integrasi 3D Model dengan jadwal proyek	1. Autodesk Navisworks
	2. BIM 4D <i>Sequence Simulation</i> : koordinasi <i>Action Plan</i> , laporan progress berbasis BIM,	2. Vico Software (Integrating Construction) 3. Bexel

	optimalisasi pengendalian waktu	Manager
5D	1. Integrasi 3D model dengan volume serta biaya proyek 2. Penerapan: <i>quantity take off</i> , optimasi pembesian, manajemen SPK dan opname pekerjaan, dan validasi <i>Work Breakdown Structure (WBS)</i>	1. Cubicost by Glodon 2. Cutting Optimization Pro 3. Bexel Manager
6D	Optimalisasi BIM model untuk analisis <i>engineering: site management</i> , simulasi metode kerja, <i>value engineering, job safety analysis (JSA)</i> , simulasi analisis energi untuk proposal <i>Green Building Certification</i> oleh personel bersertifikasi <i>Green Building Council Indonesia (GBCI)</i>	Sefaira
7D	1. Manajemen penyiapan dokumen serah terima (<i>handover</i>) dan sistem <i>facility & asset management</i> 2. Kontraktor BUMN pertama menerapkan BIM 7D diakui Kementerian PUPR 3. Salah satu proyek penerapan: Stadion Manahan Solo	1. Autodesk BIM 360 Docs 2. Autodesk BIM 360 Ops 3. BIM 360 Field 4. Autodesk Construction Cloud

ADHI bersama Allplan dan Glodon menjadi Authorized Training Center di Indonesia.

Sumber: PT Adhi Karya (Persero) Tbk-2021

Penerapan BIM berbasis ISO 19651 dilaksanakan di semua area proyek ADHI. Pada tahun 2021, proyek konstruksi gedung yang mengimplementasikan BIM dirangkum pada Tabel 9.

Tabel 9 Jumlah Proyek Konstruksi Gedung BIM ADHI

Tahun 2021	Departemen Gedung	PT APG
Proyek on going	25	33
Proyek baru	26	7
1 Rumah sakit	5	1
2 Bangunan hunian (rumah / apartemen)	2	1
3 Fasilitas umum	9	2
4 Sekolah	2	1
5 Perkantoran	6	-
6 Komersial		2

Sumber: PT Adhi Karya (Persero) Tbk-2021

Daftar proyek konstruksi gedung PT Adhi Karya yang menggunakan aplikasi BIM (Building Information Modelling) dari laporan tahunan dan channel Youtube BIM ADHI KARYA divisualisasikan pada Tabel 8.

Tabel 10 Contoh Proyek BIM ADHI

Jenis	Contoh Proyek
RS	RSUD Zainoel Abidin Aceh
BIM	
Real	
Rusun	Revitalisasi Rusun Penjarangan
BIM	
Real	
Umum	Masjid Agung Kota Batam
BIM	
Real	
Sekolah	Pepi Politeknik Enjinerig

Jenis	Contoh Proyek
BIM	
Real	
Kantor	MTH27 Office Suites
BIM	
Real	

Sumber: PT Adhi Karya (Persero) Tbk-2021

2. Peranan PT Wijaya Karya (Persero) Tbk - WIKA dalam Lomba Kompetensi dan Pelatihan BIM

WIKA memiliki komitmen dalam mengimplementasikan BIM di Indonesia seperti proyek Jakarta International Stadium (JIS) dan Bandara Sultan Hasanuddin Makassar. Berdasarkan hasil penilaian, WIKA dinilai berhasil dalam mengimplementasikan BIM dari fase desain sampai konstruksi. WIKA juga memperoleh Sertifikat ISO 19650:2018 Kitemark Part 1 & Part 2 sebagai standar internasional penerapan BIM pada level tertinggi oleh British Standards International (BSI). Untuk lomba kompetensi BIM, WIKA merupakan BUMN pertama dalam menyelenggarakan kompetensi BIM melalui BIMWIKA Awards tingkat nasional di Indonesia dimulai tahun 2019. Pada tahun 2020, BIM WIKA Awards diikuti oleh 71 institusi pendidikan mulai dari tingkat SMA hingga

universitas dari 18 provinsi dengan peserta sebanyak 438 peserta. Untuk pelatihan BIM, WIKA menyediakan kelas pembelajaran BIM online terintegrasi pertama di Indonesia seperti Basic Building Design dengan Tekla dan Basic Medium Building Structure & Architecture dengan Revit untuk desain gedung. Pelatihan BIM tersebut dengan sistem MOOC (Massive Open Online Courses). Software yang digunakan dalam untuk pelatihan dirinci pada Tabel 11.

Tabel 11 Software yang Digunakan di WIKA E-learning beserta Peruntukannya

No	Kebutuhan	Software
1	Survey	Google Earth, Global Mapper, ArcGIS, Metashape, Geomatica
2	Modeling	Autocad, Revit, Infracore, Civil 3D, Tekla Structure, Cubicost: TRB & TAS, Openbuilding, Openroad, Openbridge, Sketch Up, Allplan Bridge, Allplan Engineering, Archicad, Tekla Teeds
3	Analisis	Plaxis, SAP 2000, Robot, Etabs, Cubicost: TRB
4	4D & 5D	Primavera, Ms. Project, Naviswork, TBQ
5	Animasi	Lumion, 3DS Max, Lumen RT, Enscape,
6	Manajemen Dokumen	Allplan BIMPlus, BIM Docs, Projectwise

Sumber: PT Wijaya Karya (Persero) Tbk-2022

3. Peranan PT Pembangunan Perumahan (Persero) Tbk - PTPP sebagai Pelopor BUMN Jasa Konstruksi Pengguna BIM

PT.PP menjadi pelopor BUMN jasa konstruksi pengguna BIM pada beberapa proyek konstruksi strategis sejak tahun 2015. Pada tahun 2017, PT.PP bersama KemenPUPR menggelar *Digital Conference Day* yang memberikan pengetahuan, pemahaman hingga membangkitkan awareness para stakeholder jasa konstruksi untuk mengimplementasikan BIM. Proyek konstruksi PTPP yang telah mengadaptasi BIM antara lain:

- Istora Papua
- Menara BNI Pejompongan
- Apartemen Springwood Serpong
- Apartemen Pertamina RU V Balikpapan
- Kantor Perwakilan Bank Indonesia Gorontalo
- Bandara Internasional Yogyakarta

4. PT Hutama Karya (Persero) - HK

HK menjadi BUMN jasa konstruksi pertama yang meraih sertifikasi BIM ISO 19650-2018 Part 1, 2, dan 5 dari BSI. Implementasi BIM di HK pada tahun 2021 melebihi target sehingga mencapai 108%. Pelatihan BIM untuk karyawan HK antara lain Authoring Tools (Civil 2D & Revit 2020), Allplan, Revit & Navisworks, Tekla Structures, Autocad Plant 3D, Synchro 4D Pro, Authoring Tools Revit Parametric Family. Pada tahun 2022, hampir 100% proyek konstruksi HK menerapkan BIM termasuk proyek konstruksi bangunan gedung.

5. PT Waskita Karya (Persero) Tbk - WSKT

WSKT pengintegrasikan pertama GIS-BIM (GeoBIM) di Indonesia pada tahun 2020. Pelatihan BIM di WSKT antara lain menggunakan BIM360, software MagicCAD Civil 3D, Revit, dan Naviswork. WSKT menerapkan ISO BIM 19650. Pada Tahun 2021, presentasi proyek menerapkan BIM sudah 100%.

Peranan Asosiasi Profesi Jasa Konstruksi

Asosiasi jasa konstruksi terdiri dari asosiasi profesi (33 terakreditasi), asosiasi badan usaha (15 terakreditasi), dan asosiasi rantai pasok (1 akreditasi). Akreditasi terhadap asosiasi jasa konstruksi yang berlaku hanya 4 (empat) tahun dilakukan oleh Lembaga Pengembangan Jasa Konstruksi (LPJK) sesuai PermenPUPR RI No. 10 Tahun 2020 tentang Akreditasi Asosiasi Badan Usaha Jasa Konstruksi, Asosiasi Profesi Jasa Konstruksi, dan Asosiasi Terkait Rantai Pasok Konstruksi. Aktivitas asosiasi profesi jasa konstruksi terkait BIM dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12 Aktivitas Asosiasi Profesi Jasa Konstruksi Terkait BIM

No	Nama Asosiasi Profesi	Website Resmi dan Google Terkait BIM
1	Himpunan Ahli Konstruksi Indonesia (HAKI)	https://hakupusat.com/ . Tidak ada keterangan terkait BIM
2	Ikatan Ahli Konstruksi Indonesia (IAKI)	http://dppiaki.com/ Tidak ada keterangan terkait BIM
3	Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia	https://www.hatti.or.id/ Tidak ada keterangan terkait BIM

No	Nama Asosiasi Profesi	Website Resmi dan Google Terkait BIM
4	(HATTI) Asosiasi Tenaga Ahli Konstruksi Seluruh Indonesia (ATAKSI)	https://ataksi.org/ Tidak ada keterangan terkait BIM
5	Asosiasi Tenaga Ahli Konstruksi Indonesia (ATAKI)	https://www.ataki.org/ Tidak ada keterangan terkait BIM
6	Ikatan Surveyor Indonesia (ISI)	https://isi.or.id/ Narasumber Kuliah Unggulan Program Studi Survei Pemetaan dan Informasi Geografis UPI. "Tantangan Dan Prospek Pekerjaan Surveyor Di Indonesia Pada Era Industri 4.0".
7	Ikatan Nasional Tenaga Ahli Konsultan Indonesia (INTAKINDO)	http://intakindo.or.id/ Workshop BIM (2019); Seminar Trimble (2020); Introduction Training 5D BIM Cubicost by Glodon (2021); StaadPro BIM Struktur (2022).
8	Asosiasi Tenaga Teknik Ahli dan Terampil Indonesia (ASTTATINDO)	https://asttatindo.org/ Tidak ada keterangan terkait BIM
9	Asosiasi Tenaga Ahli Konstruksi Nasional (ATAKNAS)	https://ataknas.net/ Tidak ada keterangan terkait BIM
10	Ikatan Arsitek Indonesia (IAI)	https://iai.or.id/ Tidak ada keterangan terkait BIM
11	Perkumpulan Ahli Keselamatan Konstruksi Indonesia (PAKKI)	https://pakki.org/home Tidak ada keterangan terkait BIM
12	Asosiasi Sumber Daya Manusia Konstruksi Indonesia (ASDAMKINDO)	http://www.pertapin.net/ Tidak ada keterangan terkait BIM
13	Ikatan Ahli Manajemen Proyek Indonesia (IAMPI)	https://iampi.org/ Tidak ada keterangan terkait BIM
14	Ikatan Ahli Pracetak Dan Prategang (IAPPI)	https://www.iappi-indonesia.org/ Tekla User Day (2015)
15	Perkumpulan	http://www.pertapin.net/

No	Nama Asosiasi Profesi	Website Resmi dan Google Terkait BIM	No	Nama Asosiasi Profesi	Website Resmi dan Google Terkait BIM
	Tenaga Ahli Profesional Indonesia (PERTAPIN)	Tidak ada keterangan terkait BIM		Desainer Interior Indonesia (HDII)	Tidak ada keterangan terkait BIM
16	Gabungan Ahli Teknik Nasional (GATENSI)	https://gatensi.id/ Tidak ada keterangan terkait BIM	29	Asosiasi Keselamatan Kesehatan Kerja dan Lingkungan (AK3L)	https://www.ak3l.or.id/ Tidak ada keterangan terkait BIM
17	Himpunan Ahli Teknik Konstruksi Indonesia (HATSINDO)	https://hatsindo.id/ Tidak ada keterangan terkait BIM	30	Asosiasi Profesi Tenaga Ahli Konstruksi Indonesia (APTAKINDO)	https://www.aptakindo.net/ Tidak ada keterangan terkait BIM
18	Perkumpulan Tenaga Kerja Ahli Dan Terampil Indonesia (PETAKINDO)	https://www.petakindo.or.id/ Tidak ada keterangan terkait BIM	31	Himpunan Profesi Tenaga Konstruksi Indonesia (HIPTASI)	https://hiptasi.indonesiatreking.co.id/ Tidak ada keterangan terkait BIM
19	Asosiasi Tenaga Teknik Konstruksi Indonesia (ASTEKINDO)	https://www.astekindo.or.id/ Tidak ada keterangan terkait BIM	32	Ikatan Ahli Teknik Penyehatan dan Teknik Lingkungan Indonesia (IATPI)	https://iatpi.org/ Tidak ada keterangan terkait BIM
20	Himpunan Pengembangan Jalan Indonesia (HPJI)	https://www.hpji.or.id/ Tidak ada keterangan terkait BIM	33	Perkumpulan Tenaga Ahli Konsultan Indonesia (PERTAHKINDO)	https://pertahkindo.org/ Tidak ada keterangan terkait BIM
21	Komite Nasional Indonesia untuk Bendungan Besar (KNIBB)	https://inacold-knibb.com/ Tidak ada keterangan terkait BIM	<i>Sumber: Lembaga Pengembangan Jasa Konstruksi – Kementerian PUPR - 2022</i>		
22	Asosiasi Tenaga Teknik Indonesia (ASTTI)	http://www.astti.or.id/ Tidak ada keterangan terkait BIM	KESIMPULAN DAN SARAN		
23	Himpunan Ahli Teknik Hidraulik Indonesia (HATHI)	https://hathi-pusat.org/ Tidak ada keterangan terkait BIM	Kesimpulan		
24	Ikatan Ahli Perencanaan Indonesia (IAP)	https://iapindonesia.org/ Tidak ada keterangan terkait BIM	Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:		
25	Gabungan Tenaga Ahli Dan Terampil Konstruksi Indonesia (GATAKI)	https://gataki.or.id/ Tidak ada keterangan terkait BIM	1. Peranan KemenPUPR dinilai cukup baik karena tersedianya panduan, peraturan dan pelatihan BIM. Untuk peraturan masih terbatas pada konstruksi gedung perlu diperluas pada infrastruktur secara umum seperti jalan dan jembatan, bendungan, dan lain-lain. KemenPUPR belum menyusun standar kurikulum dan kompetensi untuk perguruan tinggi dan asosiasi jasa konstruksi.		
26	Himpunan Ahli Manajemen Konstruksi Indonesia (HAMKI)	https://hamki.or.id/ Talkshow 5D BIM Cubicost by Glodon (2022); Cubicost by Glodon 5D BIM Cost Estimating Basil Level Training – Batch 1 (2022)	2. Peranan program studi S1 Teknik Sipil akreditasi A atau unggul:		
27	Ikatan Arsitek Lanskap Indonesia (IALI)	http://iali.or.id/ Tidak ada keterangan terkait BIM	a. berupa mata kuliah BIM, seminar, tugas akhir, jurnal, pelatihan dasar, dan pelatihan untuk pelatih.		
28	Himpunan	https://hdii.or.id/	b. MK BIM hanya ada di Universitas Bung Hatta, Institut Teknologi Nasional Bandung, Universitas Diponegoro, Universitas Islam Indonesia, dan sisipan		

MK pada MK Menggambar Teknik di Universitas Sriwijaya.

- c. Peranan terhadap perkembangan BIM masih kurang, perlu diadakannya MK di setiap program studi S1 Teknik Sipil dan Arsitektur dengan menyusun standar kurikulum bersama di bawah binaan kolaborasi Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi (Kemendikbudristek) dan KemenPUPR.
 - d. Pelatihan BIM KemenPUPR melalui SIBIMA
3. Peranan BUMN Jasa Konstruksi:
- a. PT Adhi Karya (Persero) Tbk dinilai sudah cukup baik karena level maturitas BIM sudah pada level 2. PT Adhi Karya diharapkan komitmennya untuk melaksanakan roadmap BIM yang ditentukan perusahaan.
 - b. PT Wijaya Karya (Persero) Tbk, selain implementasi BIM pada proyek konstruksi, menyelenggarakan lomba kompetensi BIM dan menyediakan pelatihan BIM terbuka untuk umum dengan sistem MOOC (Massive Open Online Courses) sejak tahun 2019. Pelatihan BIM WIKA memfasilitasi kebutuhan survey, modelling, analisis, 4D & 5D, animasi, dan manajemen dokumen.
 - c. PT Pembangunan Perumahan (Persero) Tbk menjadi pelopor BUMN jasa konstruksi pengguna BIM sejak tahun 2015. Pada tahun 2017, PTPP bersama KemenPUPR memberikan pengetahuan, pemahaman hingga membangkitkan awareness para stakeholder jasa konstruksi untuk mengimplementasikan BIM.
 - d. PT Hutama Karya (Persero) menjadi BUMN jasa konstruksi pertama yang meraih sertifikasi BIM ISO 19650-2018. Pada tahun 2022, hampir 100% proyek konstruksi HK menerapkan BIM termasuk proyek konstruksi bangunan gedung.
 - e. WSKT pengintegrasian pertama GIS-BIM (GeoBIM) di Indonesia pada tahun 2020. Pada Tahun 2021, presentasi proyek menerapkan BIM sudah 100%.
4. Peranan asosiasi profesi jasa konstruksi:
- a. Peranan asosiasi profesi jasa konstruksi terhadap perkembangan BIM berupa pelaksanaan aktivitas asosiasinya terkait BIM berupa seminar/*talkshow*/*workshop* dan pelatihan BIM.
 - b. Asosiasi profesi jasa konstruksi sebagai

narasumber atau penyelenggara seminar terdiri atas 4 (empat) dari 33 asosiasi profesi terakreditasi yaitu Ikatan Surveyor Indonesia (ISI), Ikatan Nasional Tenaga Ahli Konsultan Indonesia (INTAKINDO), Himpunan Ahli Manajemen Konstruksi Indonesia (HAMKI), Ikatan Ahli Pracetak Dan Prategang (IAPPI).

- c. Asosiasi profesi jasa konstruksi yang dalam aktivitasnya terkait BIM berupa pelatihan level dasar yaitu INTAKINDO dan HAMKI.
- d. Peranan asosiasi profesi jasa konstruksi terhadap perkembangan BIM dinilai masih kurang karena jumlah asosiasi yang terkait BIM masih sedikit dan jumlah aktivitas yang masih tergolong sedikit juga.

Saran

Penelitian dapat dilanjutkan dengan memperluas sampel penelitian dari tiap unsur. Implikasi atas penelitian ini adalah

- a. Untuk KemenPUPR, perlunya penyusunan peraturan atau kebijakan BIM untuk infrastruktur umum bukan hanya untuk konstruksi gedung.
- b. Untuk perguruan tinggi, perlunya percepatan penyusunan standar kurikulum untuk mata kuliah BIM sehingga tidak hanya mahasiswa tertentu yang mendapatkan pelatihan BIM atau yang tugas akhirnya meneliti tentang BIM. Penyusunan standar kurikulum ini bisa dilakukan di tingkat Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi (Kemendikbudristek) yang mengatur kebijakan untuk Perguruan Tinggi dan KemenPUPR yang mengatur kebijakan untuk jasa konstruksi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Siliwangi Fakultas Teknik Jurusan S1 Teknik Sipil yang selalu mendukung penulis dalam mengembangkan diri seperti penelitian dan pembuatan karya tulis ilmiah.

DAFTAR PUSTAKA

- Agirachman, F. A., Putra, I. F., & Angkawijaya, A. (2018). Initial study on building information modeling adoption urgency for architecture engineering and construction industry in indonesia. In MATEC Web of Conferences (Vol. 147, p.

- 06002). EDP Sciences.
- Davies, R. J., Pratama, M. M. A., & Yusuf, M. (2018). BIM adoption towards the sustainability of construction industry in Indonesia. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 195, p. 06003). EDP Sciences.
- Heryanto, S., & Subroto, G. (2020). Kajian Penerapan Building Information Modelling (Bim) Di Industri Jasa Konstruksi Indonesia. *Architecture Innovation*, 4(2), 193-212.
- Hatmoko, J. U. D., Fundra, Y., & Wibowo, M. A. (2019). Investigating building information modelling (BIM) adoption in Indonesia construction industry. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 258, p. 02006). EDP Sciences.
- <https://hamki.or.id/>. (2022). 5D BIM Cost Estimating Basic Level Training. Diakses pada November 2022 dari <https://hamki.or.id/5d-bim-cost-estimating-basic-level-training/>.
- <https://intakindo.or.id/>. (2021). Workshop Building Information Modelling (BIM) INTAKINDO. Diakses pada November 2022 dari <https://intakindo.or.id/berita/detail/workshop-building-information-modelling-bim-intakindo>.
- <https://isi.or.id/>. (2019). ISI Menjadi Narasumber dalam Kuliah Unggulan Program Studi Survei Pemetaan dan Informasi Geografis (Prodi SPIG- UPI). Diakses pada November 2022 dari <https://isi.or.id/isi-menjadi-narasumber-dalam-kuliah-unggulan-program-studi-survei-pemetaan-dan-informasi-geografis-prodi-spig-upi/>.
- institutbim.id. (2022). Pendidikan Tinggi. Diakses pada November 2022 dari <http://institutbim.id/pendidikan-dan-pelatihan/>.
- Karya, Adhi. (2022). Laporan Tahunan PT Adhi Karya Tahun 2017-2021. Diakses pada November 2022 dari <https://adhi.co.id/laporan-tahunan/>.
- Kompas.com. (2021). Utama Karya Jadi BUMN Peraih Sertifikasi BIM. Diakses pada November 2022 dari <https://www.kompas.com/properti/read/2021/10/04/093000221/hutama-karya-jadi-bumn-pertama-peraih-sertifikasi-bim>.
- Kusumartono, FX Hermawan, dkk. (2018). Panduan Adopsi BIM dalam Organisasi (Cetakan Pertama). Jakarta Selatan, Indonesia: Pusat Litbang Kebijakan dan Penerapan Teknologi.
- Larasati, D., Willis, F. A., Hanifah, Y., Agirachman, F. A., & Suhendri, S. (2018). Factors that affects maturity level of BIM implementation in Indonesia; case Studies of 5 construction key actors. In *International Conference of the Architectural Science Association* (pp. 673-681).
- lpjk.pu.go.id. (2022). Akreditasi Asosiasi Jasa Konstruksi. https://lpjk.pu.go.id/bank-data/Data/list_asosiasi_terakreditasi.
- Pantiga, J., & Soekiman, A. (2021). Kajian Literatur Implementasi Building Information Modeling (BIM) Di Indonesia. *Rekayasa Sipil*, 15(2), 104-110.
- Sopaheluwakan, M. P. (2020). Strategi Adopsi Dan Implementasi Building Information Modeling (Bim) Di Indonesia (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Telaga, A. S. (2018, May). A review of BIM (Building Information Modeling) implementation in Indonesia construction industry. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 352, No. 1, p. 012030). IOP Publishing.
- Utomo, F. R., & Rohman, M. A. (2019). The barrier and driver factors of building information modelling (BIM) adoption in indonesia: a preliminary survey. *IPTEK Journal of Proceedings Series*, (5), 133-139.
- Van Roy, A. F., & Firdaus, A. (2020). Building information modelling in Indonesia: Knowledge, implementation and barriers. *Journal of Construction in Developing Countries*, 25(2), 199-217.
- Yanda, G., Amin, M., & Soehari, T. D. (2019). Investment, returns, and risk of building information modeling (BIM) implementation in Indonesia's construction project. *Int. J. Eng. Adv. Technol.*, 9, 15159-66.
- www.banpt.or.id. (2022). Akreditasi Program Studi. Diakses pada November 2022 dari https://www.banpt.or.id/direktori/prodi/pencarian_prodi.php

PERANAN KONSEP *BUILDING INFORMATION MODELLING* PADA PROYEK STRATEGIS NASIONAL JALAN TOL

Nita Anggraini*¹, Dhevi Mulyanda¹

¹Politeknik Negeri Sriwijaya, Jalan Srijaya Negara, Bukit Lama, Palembang

*Korespondensi: nita.anggraini@polsri.ac.id

ABSTRAK

Dunia konstruksi di Indonesia saat ini sudah memasuki era digital construction. Pada era ini, stakeholder pada pekerjaan konstruksi dituntut untuk menggunakan perangkat lunak (digitalisasi) dalam mendukung pekerjaan konstruksi, mulai dari proses perencanaan, pelaksanaan hingga pemeliharaan suatu bangunan. Bentuk dari era digital construction saat ini adalah konsep BIM (Building Information Modelling). Konsep BIM memberi banyak keuntungan dalam dunia konstruksi. Stakeholder yang menjalankan konsep BIM akan memiliki data yang terintegrasi dari awal hingga akhir pekerjaan pembangunan. BIM memberikan kemudahan bagi para stakeholder untuk saling berkoordinasi dan mempermudah sinergi antar disiplin ilmu dalam keberlangsungan pekerjaan konstruksi. Konsep BIM juga dapat mempercepat waktu pelaksanaan konstruksi, karena semua progres pekerjaan dapat dilaporkan secara realtime, sehingga permasalahan yang muncul pada pekerjaan konstruksi dapat langsung disampaikan dan tidak menunggu waktu lama untuk mencari solusinya. Dengan demikian, konsep BIM akan menghasilkan produk pembangunan yang efektif dan efisien serta menjadikannya sebagai suatu metode yang sangat tepat untuk Proyek Strategis Nasional (PSN) khususnya infrastruktur jalan tol yang merupakan infrastruktur vital dalam pertumbuhan ekonomi di Indonesia. Tulisan ini memberi gambaran tentang sejauh mana implementasi BIM diterapkan dalam PSN jalan tol serta melihat tingkat kedewasaan implementasi BIM yang diterapkan dalam proyek melalui pendekatan Bew and Richards. Hasilnya, sebesar 52% PSN jalan tol yang sedang berjalan sudah mengimplementasikan BIM. Implementasi BIM dimulai dari tahapan persiapan penerapan hingga tahap pemodelan 3D sampai 5D. Bahkan ada beberapa PSN jalan tol yang sudah selesai konstruksi dan telah menerapkan BIM level 2, antara lain Jalan Tol Pandaan – Malang, Jalan Tol Manado – Bitung dan Jalan Tol Balikpapan – Samarinda.

Kata kunci: Implementasi BIM, Proyek Strategis Nasional, Proyek Jalan Tol

ABSTRACT

Construction in Indonesia is entering the era of digital construction. At this point, stakeholders are encouraged to use software (digitization) to support construction work starting from the design process, execution and maintenance of building structures. The shape of the modern digital construction age is the concept of BIM (Building Information Modeling). BIM concepts offer many advantages in the construction sector. Stakeholders implementing BIM concepts are integrating data from beginning to end of construction progress. BIM makes it easier for stakeholders to coordinate with each other and promotes interdisciplinary synergies in the continuity of construction work. The BIM concept can reduce construction execution times by allowing real-time reporting of all work progress via an internet connection that can be accessed anytime and anywhere. Thus, BIM concepts produce effective and efficient construction products and become a suitable method for national strategic projects, especially for toll road project, a vital infrastructure for Indonesia's economic growth. This paper provides an overview of BIM implementation was implemented in toll road PSN and looks at the maturity level of BIM implementation in projects using the Bew and Richards approach. As a result, 52% of the existing PSN toll roads have implemented BIM. BIM implementation starts from the preparation stage to the 3D to 5D modeling stage. In fact, there are several PSN toll roads that have been completed and implemented BIM level 2, including the Pandaan-Malang Toll Road, the Manado-Bitung Toll Road, and the Balikpapan-Samarinda Toll Road.

Keywords: BIM Implementation, National Strategic Project, Toll Road Project

PENDAHULUAN

Building Information Modelling (BIM) merupakan suatu konsep yang merepresentasikan era konstruksi digital saat ini. BIM merupakan metode yang sangat tepat untuk menghasilkan suatu produk pembangunan yang efektif dan efisien baik dari segi waktu, biaya, material maupun sumber daya dengan cara mendigitalisasi dan mengintegrasikan semua tahapan dalam proses pekerjaan konstruksi. Dengan demikian, BIM memberi banyak manfaat dalam penerapan bidang konstruksi [1].

Konsep BIM dalam dunia konstruksi lahir pada tahun 1975 yang dimulai dengan konsep perencanaan dalam bentuk 3-Dimensi. Dalam perkembangannya, konsep BIM terbukti membuat pekerjaan konstruksi menjadi lebih baik. Banyak *stakeholder* yang mulai mengadopsi konsep BIM dalam pelaksanaan kegiatan konstruksi. Perkembangan implementasi BIM di setiap negara juga berbeda-beda. Di negara-negara asia seperti China, pengenalan BIM sudah dimulai sejak tahun 2001 dan diimplementasikan secara penuh pada tahun 2011. Di Hongkong, pada tahun 2018, pemerintah mulai memandatkan semua *stakeholder* dalam bidang konstruksi untuk mengimplementasikan BIM. Di India, pemerintah mengatakan secara resmi bahwa BIM dapat mempersingkat waktu konstruksi sebesar 20%. Di Singapura, pemerintah mempunyai suatu lembaga yang secara khusus memberikan pengenalan dan pelatihan kepada SDM dalam mendukung penerapan BIM di negara tersebut. Begitu juga dengan Jepang, yang pada tahun 2012 merilis buku panduan tentang implementasi BIM.

Di Indonesia, adopsi penerapan BIM tertuang dalam Permen PUPR Nomor 22/PRT/M/2018 yang mewajibkan penerapan konsep BIM pada pekerjaan konstruksi bangunan gedung dengan kriteria luas bangunan di atas 2000 m² dan bertingkat dengan lebih dari 2 lantai. Sejak dikeluarkan permen tersebut, para *stakeholder* mulai mengembangkan diri dengan cara mengimplementasikan konsep BIM pada pekerjaan konstruksi khususnya bangunan gedung. Seiring perkembangan implementasi BIM di Indonesia, pemerintah kembali mempertegas implementasi BIM pada Peraturan Pemerintah nomor 16 tahun 2021. Pada lampiran PP tersebut, terdapat lampiran tata cara dan metode konstruksi dengan menggunakan konsep BIM.

Walaupun hingga saat ini dokumen pemerintah tentang implementasi BIM masih difokuskan pada bangunan gedung, nyatanya *stakeholder* pada pekerjaan infrastruktur jalan khususnya jalan tol juga menerapkan konsep BIM. Pada tahun 2020, Badan Pengatur Jalan Tol (BPJT) menyurati Badan Usaha Jalan Tol (BUJT) untuk menerapkan konsep BIM dalam penyelenggaraan perusahaan jalan tol. Bahkan, proyek infrastruktur jalan tol yang masuk dalam daftar proyek strategis nasional (PSN) sudah menerapkan konsep BIM dalam mencapai target percepatan pembangunan.

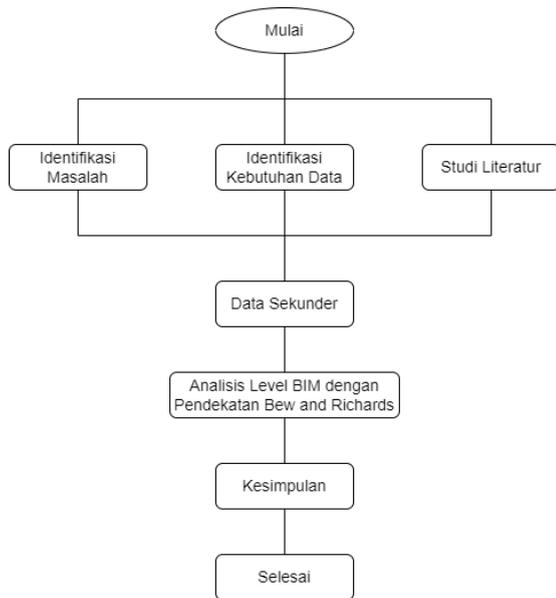
Dari uraian diatas, penulis melakukan pemetaan terhadap implementasi BIM khususnya pada proyek infrastruktur jalan tol untuk meninjau level maturity aplikasi BIM. Informasi tersebut dapat memetakan sejauh mana aplikasi BIM diterapkan sehingga menjadi dasar arah pengembangan mengacu pada permasalahan yang sering ditemui.

METODE

Metode yang digunakan dalam menyusun tulisan ini adalah *content analysis*. Penulis mengumpulkan data dan informasi dari *website* resmi *stakeholder* yang mengimplementasikan konsep BIM pada proyek jalan tol khususnya yang masuk dalam daftar proyek strategis nasional. Beberapa sumber yang dikumpulkan antara lain berasal dari *website* resmi:

1. Kementerian PUPR
2. Badan Pengatur Jalan Tol
3. Badan Usaha Jalan Tol

Informasi yang dikumpulkan antara lain perkembangan adopsi konsep BIM pada proyek strategis nasional jalan tol dan dianalisa tingkat kedewasaan implementasi BIM dengan pendekatan Bew dan Richards. Berikut ini gambar diagram alir penyusunan tulisan ini.

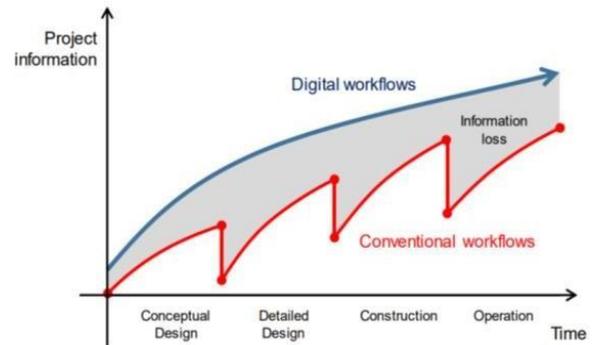


Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

STUDI LITERATUR

Building Information Modelling

Building Information Modelling (BIM) saat ini mendapat perhatian luas dalam dunia arsitektur, teknik dan konstruksi. BIM merupakan pengembangan dalam penggunaan model 3D yang dihasilkan komputer untuk mensimulasikan perencanaan, desain, konstruksi, dan pengoperasian suatu infrastruktur [2]. BIM memberikan berbagai informasi yang terintegrasi dari berbagai disiplin ilmu dalam satu bentuk pemodelan 3D. Dengan demikian, *stakeholder* yang memiliki keterbatasan dalam gambar teknik dapat lebih memahami informasi pekerjaan konstruksi jika ditampilkan dalam bentuk 3 dimensi. Penerapan konsep BIM akan meminimalisir ketertinggalan informasi pada masing-masing *stakeholder* yang terlibat sehingga proses dalam pekerjaan konstruksi akan menjadi lancar dan berjalan dengan baik. Ilustrasi perbandingan alur kerja dengan metode konvensional dan alur kerja dengan metode BIM digambarkan oleh East-man et al, 2008 [3].



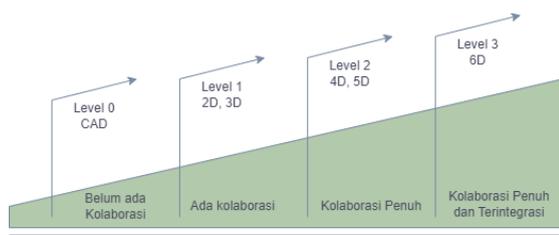
Gambar 2. Ilustrasi “Kehilangan Informasi” pada Alur Kerja dengan Metode Konvensional (East-man et al, 2008)

Konsep *Building Information Modelling* bukanlah merupakan suatu konsep yang baru [3], konsep BIM lahir sejak tahun 1970-an. Namun penyebaran istilah BIM ini secara luas diprakasai oleh perusahaan perangkat lunak yang menggunakannya pertama kali pada tahun 2003 [4]. Dalam perkembangannya, pengembangan informasi gambar teknik 2-D menjadi pemodelan 3-D mendapat perhatian khusus pada sektor arsitektur, teknik dan konstruksi karena diyakini dapat menghasilkan suatu produk pembangunan yang efektif dan efisien. Pemodelan 3D dan pengintegrasian terhadap semua informasi pada suatu proses konstruksi memungkinkan *stakeholder* untuk memilih dan melihat informasi suatu bangunan secara akurat serta membantu para *stakeholder* dalam mengoptimalkan keputusan yang akan mereka ambil dan hal ini akan membawa nilai yang lebih besar terhadap suatu pekerjaan konstruksi. Lalu, hal ini menimbulkan pertanyaan, apa manfaat sebenarnya dari konsep BIM?. Berikut ini beberapa manfaat yang paling terlihat jika suatu pekerjaan konstruksi menerapkan konsep BIM:

1. Penggambaran rencana konstruksi secara nyata: Dengan BIM, desainer dapat menyusun dan membagikan semua input ke dalam sebuah model secara akurat dan realitas sehingga dapat merampingkan persiapan proyek.
2. Proses yang lebih cepat dan efektif: koordinasi dan penyampaian informasi antar disiplin ilmu dapat lebih mudah dibagikan dan menjadi nilai tambah dan dapat digunakan kembali.
3. Desain yang lebih baik: proposal bangunan dapat dianalisis secara ketat, simulasi dapat dilakukan dengan cepat, dan kinerja yang terukur, memungkinkan solusi yang lebih baik dan inovatif.

4. Biaya pembangunan yang terkendali: faktor eksternal yang mempengaruhi biaya pembangunan lebih dapat diprediksi.
5. Kualitas produksi yang lebih baik: menghasilkan produk desain yang fleksibel dan bersifat otomatisasi.
6. Meningkatkan kepuasan owner terhadap pelaksana konstruksi: pelaporan proses dan hasil pelaksanaan konstruksi yang dapat dimengerti dengan mudah oleh owner melalui visualisasi yang sederhana, tepat dan akurat.
7. Lifecycle data: semua informasi terkait permintaan, desain, konstruksi dan operasional dapat digunakan kembali dalam pengelolaan fasilitas

Dunia konstruksi tidak dapat mewujudkan sebuah transisi yang besar dengan menjadikan suatu prosedur kerja yang berbasis pemodelan digital dalam satu waktu. Sebaliknya, hal tersebut harus melalui pendekatan yang tepat yaitu dengan memperkenalkan teknologi baru dan perubahan yang menyertainya secara bertahap. Kondisi ini merupakan tingkat kedewasaan dalam implementasi BIM. Ilustrasi terhadap tingkat kedewasaan dalam implementasi BIM yang paling populer digambarkan oleh Bew and Richards (2008) [5] dengan membagi tingkat kedewasaan implementasi BIM menjadi 4 level.



Gambar 3. Ilustrasi Tingkat Kedewasaan Implementasi BIM (adopsi dari: Bew and Richards, 2008)

Gambar 3 menerangkan bahwa level 0 merupakan level awal dari implementasi BIM. Pada level ini, pemodelan informasi bangunan hanya mencakup gambar 2D menggunakan CAD. Desainer membagikan dokumen, gambar dan file dalam bentuk kertas cetak maupun kertas elektronik. Dan di level 0 belum ada kolaborasi antar disiplin ilmu. Berikutnya, pada level 1 tidak hanya gambar 2D saja tapi desain dengan tampilan 3D sudah mulai dibuat. Pada level 1, tim berbagi informasi melalui common data environment yang dikelola oleh kontraktor.

Namun, pada level ini kolaborasi masih rendah antara berbagai disiplin ilmu karena para *stakeholder* membuat dan mengelola data mereka masing-masing. Bergerak ke level yang lebih dewasa, yaitu level 2. Level ini melibatkan kerja kolaboratif dan memerlukan proses pertukaran informasi yang spesifik dan terkoordinasi antar berbagai disiplin ilmu. Kontraktor dan konsultan menggunakan model 3D mereka masing-masing dan tidak harus mengerjakan satu model secara bersama-sama. Kolaborasi datang dalam bentuk bagaimana informasi dipertukarkan antara berbagai pihak. Pada level 2 juga memperlihatkan adanya penambahan dimensi yaitu 4D terkait waktu dan jadwal dalam pekerjaan konstruksi dan 5D terkait estimasi biaya dalam pekerjaan konstruksi. Implementasi BIM yang paling tinggi berada pada level 3. Level 3 BIM merupakan bentuk kolaborasi penuh dan terintegrasi. Setiap pihak berkolaborasi pada proyek yang sama, termasuk di dalamnya 4D (pengurutan konstruksi), 5D (estimasi biaya) dan 6D (informasi siklus hidup proyek). Setiap orang dapat mengakses data dan mengeditnya. Pada level ini dikenal juga dengan "Open BIM". Keuntungan dari tercapainya implementasi BIM pada level 3 adalah menghilangkan risiko informasi yang bertentangan atau pihak mengerjakan informasi yang sudah usang.

Proyek Strategis Nasional

Proyek Strategis Nasional atau dikenal dengan singkatan PSN merupakan proyek yang diajukan pemerintah pusat, pemerintah daerah maupun swasta kepada Komite Percepatan Penyediaan Infrastruktur Prioritas (KPPIP) untuk masuk ke dalam daftar proyek yang dianggap strategis untuk mendukung percepatan pertumbuhan ekonomi, pemerataan pembangunan, kesejahteraan masyarakat dan pertumbuhan pembangunan di daerah. Proyek yang diajukan harus memenuhi 3 kategori kriteria, yaitu kriteria dasar, kriteria strategis dan kriteria operasional. Rincian kriteria dasar antara lain proyek harus memiliki kesesuaian dengan RPJM nasional ataupun daerah, rencana strategis sektor infrastruktur, serta RTRW sepanjang tidak mengubah ruang terbuka hijau. Berikutnya rincian kriteria strategis antara lain proyek harus memiliki peran strategis dalam perekonomian, kesejahteraan sosial, pertahanan dan keamanan nasional, proyek dapat menciptakan komplementaritas antar sektor infrastruktur dan antar wilayah, serta proyek yang masuk kriteria pemerataan distribusi

pembangunan di bagian barat dan timur Indonesia.

Selanjutnya, rincian kriteria operasional antara lain proyek harus memiliki *pre-feasibility study* dan memiliki nilai investasi di atas 100 milyar rupiah dan memiliki peran dalam mendorong pertumbuhan ekonomi di daerah. Berdasarkan Permenko Nomor 9 tahun 2022, sudah ada 200 proyek yang masuk dalam daftar proyek strategis nasional dan 12 program PSN. 200 proyek tersebut terbagi dalam 14 sektor, yaitu sektor jalan dan jembatan, sektor pelabuhan, sektor bandar udara, sektor kereta, sektor kawasan, sektor perumahan, sektor bendungan dan irigasi, sektor air bersih dan sanitasi, sektor tanggul, sektor energi, sektor teknologi, sektor pendidikan, sektor pariwisata, dan sektor perkebunan.



Gambar 4. Sebaran Proyek Strategis Nasional (Sumber: KPPIP)

Pada sektor jalan tol terdapat 53 proyek yang masuk dalam daftar proyek strategis nasional. 8 proyek sudah beroperasi secara penuh, 13 proyek beroperasi sebagian, 21 proyek dalam tahap konstruksi dan 11 proyek dalam tahap persiapan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Peranan BIM pada PSN Jalan Tol

Konsep *Building Information Modelling* merupakan metode yang sangat tepat untuk mendukung target pemerintah dalam mengejar standar rata-rata ketersediaan infrastruktur. Implementasi BIM memiliki peranan penting dalam mendukung percepatan pembangunan infrastruktur [6]. Salah satu sektor utama yang dianggap perlu menerapkan konsep BIM adalah sektor jalan tol. Hal ini disebabkan karena infrastruktur jalan tol merupakan infrastruktur vital yang paling dibutuhkan dalam meningkatkan pertumbuhan dan pemerataan ekonomi di Indonesia. Berdasarkan Informasi Statistik Infrastruktur PUPR yang terupdate pada tahun 2021, terdapat 61 ruas tol yang telah beroperasi dengan total panjang 2.378 km dan terdapat 30 ruas tol yang sedang dalam tahap konstruksi dengan total panjang 1.908,54 km [7] dan di antara nya masuk dalam daftar Proyek Strategis Nasional. Lalu bagaimana implementasi BIM dalam pembangunan infrastruktur PSN jalan tol?

Pada dasarnya, implementasi BIM di jalan tol dibedakan menjadi 2 tahapan, yaitu tahapan persiapan BIM dan tahapan penerapan BIM. Tahap penerapan BIM terdiri atas:

1. Proses administrasi *Project Information Requirement* (PIR) dan *BIM Execution Plan* (BEP).
2. Tahap penyusunan RTA 2D
3. Tahap modelling 3D
4. Tahap modelling 4D
5. Tahap modelling 5D

Berikut ini tabel rekapan proyek stretegis nasional jalan tol yang sudah dan sedang menerapkan BIM pada pelaksanaan konstruksi.

Tabel 1. Rekapian Proyek Strategis Nasional yang Menerapkan BIM

No.	Nama Proyek	Status Pekerjaan	BUJT	Mulai Konstruksi	Mulai Operasi	Penerapan BIM
1	Jalan Tol Serang – Panimbang	Beroperasi Sebagian	PT. Wika Serang Panimbang Toll Road	2018	-	-
2	Jalan Tol Pandaan – Malang	Selesai	PT. Jasamarga Pandaan Malang	2016	2020	-
3	Jalan Tol Manado – Bitung	Selesai	PT. Jasamarga Manado Bitung	2016	2022	-
4	Jalan Tol Balikpapan – Samarinda	Selesai	PT. Jasamarga Balikpapan Samarinda	2017	2021	-
5	Jalan Tol Medan – Binjai	Selesai	PT. Utama Karya	2015	2018	-
6	Jalan Tol Pekanbaru – Kandis – Dumai	Selesai	PT. Utama Karya	2016	2019	-
7	Jalan Tol Kisaran – Tebing Tinggi	Konstruksi	PT. Utama Karya	2018	-	-
8	Jalan Tol Sigli – Banda Aceh	Beroperasi Sebagian	PT. Utama Karya	2018	-	Tahap modelling 3D hingga 5D
9	Jalan Tol Binjai - Langsa	Konstruksi	PT. Utama Karya	2018	-	Tahap modelling 3D hingga 5D
10	Jalan Tol Bukittinggi – Padang Panjang – Lubuk Alung – Padang	Konstruksi	PT. Utama Karya	2018	-	Tahap modelling 3D hingga 5D
11	Jalan Tol Rantau Prapat – Kisaran	Persiapan	PT. Utama Karya	-	-	-
12	Jalan Tol Langsa – Lhokseumawe	Persiapan	PT. Utama Karya	-	-	-
13	Jalan Tol Lhokseumawe – Sigli	Persiapan	PT. Utama Karya	-	-	-
14	Jalan Tol Pekanbaru – Bangkinang – Payakumbuh – Bukittinggi	Konstruksi	PT. Utama Karya	2018	-	Tahap modelling 3D hingga 5D
15	Jalan Tol Tebing Tinggi – Pematang Siantar – Prapat – Tarutung – Sibolga	Konstruksi	PT. Utama Karya	2017	-	-
16	Jalan Tol Betung (Sp. Sekayu) – Tempino – Jambi	Persiapan	PT. Utama Karya	-	-	Penyusunan RTA 2D
17	Jalan Tol Jambi – Rengat	Persiapan	PT. Utama Karya	-	-	Penyusunan RTA 2D
18	Jalan Tol Rengat – Pekanbaru	Persiapan	PT. Utama Karya	-	-	Penyusunan RTA 2D
19	Jalan Tol Dumai – Sp. Sigambal – Rantau Prapat	Persiapan	PT. Utama Karya	-	-	-
20	Jalan Tol Simpang Indralaya – Muara Enim	Konstruksi	PT. Utama Karya	2018	-	Tahap modelling 3D hingga 5D

21	Jalan Tol Muara Enim – Lubuk Linggau – Lahat	Konstruksi	PT. Utama Karya	2018	-	-
22	Jalan Tol Lubuk Linggau – Curup – Bengkulu	Konstruksi	PT. Utama Karya	2018	-	Tahap modelling 3D hingga 5D
23	Jalan Tol Kayu Agung – Palembang – Betung	Beroperasi Sebagian	PT. Waskita Sriwijaya Toll	2016	-	Proses Administrasi PIR dan BEP
24	Jalan Tol Cileunyi –Sumedang – Dawuan	Konstruksi	PT. Citra Karya Jabar Tol	2017	-	Tahap modelling 3D hingga 5D
25	Jalan Tol Ciawi – Sukabumi – Ciranjang – Padalarang	Beroperasi Sebagian	PT. Trans Jabar Tol	2012	-	Tahap modelling 3D hingga 5D
26	Jalan Tol Cengkareng – Batu – Ceper – Kunciran	Selesai	PT. Jasamarga Kunciran Cengkareng	2017	2021	-
27	Jalan Tol Serpong – Cinere	Beroperasi Sebagian	PT. Cinere Serpong Jaya	2017	-	-
28	Jalan Tol Cinere – Jagorawi	Beroperasi Sebagian	PT. Translingkar Kita Jaya	2010	-	-
29	Jalan Tol Cimanggis – Cibitung	Beroperasi Sebagian	PT. Cimanggis Cibitung Tollways	2013	-	Proses Administrasi PIR dan BEP
30	Jalan Tol Cibitung – Cilincing	Konstruksi	PT. Cibitung Tanjung Priok Port Tollways	2017	-	Tahap modelling 3D hingga 5D
31	Jalan Tol Bekasi – Cawang – Kp. Melayu	Beroperasi Sebagian	PT. Kresna Kusuma Dyandra Marga	2016	-	Proses Administrasi PIR dan BEP
32	Jalan Tol Serpong – Balaraja	Konstruksi	PT. Trans Bumi Serbaraja	2016	-	Tahap persiapan penerapan BIM
33	Jalan Tol Semanan – Sunter	Konstruksi	PT. JTD Jaya Pratama	2016	-	-
34	Jalan Tol Sunter – Pulo Gebang	Selesai	PT. JTD Jaya Pratama	2017	2022	-
35	Jalan Tol Duri Pulo – Kampung Melayu	Konstruksi	PT. JTD Dwitama	2019	-	-
36	Jalan Tol Kemayoran – Kampung Melayu	Konstruksi	PT. JTD Dwitama	2019	-	-
37	Jalan Tol Ulujami – Tanah Abang	Konstruksi	PT. JTD Tritama	2019	-	-
38	Jalan Tol Pasar Minggu – Casablanca	Konstruksi	PT. JTD Tritama	2020	-	-
39	Jalan Tol Pasuruan – Probolinggo	Beroperasi Sebagian	PT. Transjawa Paspro Jalan Tol	2017	-	Proses Administrasi PIR dan BEP
40	Jalan Tol Probolinggo – Banyuwangi	Konstruksi	PT. Jasamarga Probolinggo Banyuwangi	2017	-	Tahap persiapan penerapan BIM
41	Jalan Tol Krian – Legundi – Bunder – Manyar	Beroperasi Sebagian	PT. Waskita Bumi Wira	2017	-	Penyusunan RTA 2D

42	Jalan Tol Jakarta Cikampek II Sisi Selatan	Konstruksi	PT. Jasamarga Japek Selatan	2017	-	Tahap modelling 3D hingga 5D
43	Jalan Tol Semarang - Demak	Konstruksi	PT. PP Semarang Demak	2017	-	Tahap modelling 3D hingga 5D
44	Jalan Tol Yogyakarta - Bawen	Konstruksi	PT. Jasamarga Jogja Bawen	2019	-	Penyusunan RTA 2D
45	Pembangunan Fly Over Dari dan Menuju Terminal Teluk Lamong	Konstruksi	PT. Pelindo	2018	-	-
46	Penambahan Lingkup Jalan Tol Ngawi - Kertosono - Kediri	Beroperasi Sebagian	PT. Jasamarga Ngawi Kertosono Kediri	2015	-	-
47	Penambahan Lingkup Jalan Tol Depok - Antasari	Beroperasi Sebagian	PT. Citra Waspphutowa	2018	-	Tahap persiapan penerapan BIM
48	Penambahan Lingkup Jalan Tol Solo - Yogyakarta - Kulon Progo	Konstruksi	PT. Jogjasolo Marga Makmur	2022	-	Tahap modelling 3D hingga 5D
49	Penambahan Lingkup Jalan Tol Bogor Ring Road	Beroperasi Sebagian	PT. Marga Sarana Jabar	2009	-	-
50	Jalan Tol Gedebage - Tasikmalaya - Cilacap	Persiapan	PT. Jasamarga Gedebage Cilacap	-	-	-
51	Jalan Tol Akses Pelabuhan Patimban	Persiapan	Request for Proposal	-	-	-
52	Pembangunan Jalan Tol Gilimanuk - Negara - Pekutatan	Persiapan	PT. Toll Jagat Kerthi Bali	-	-	-
53	Pembangunan Akses Pelabuhan Tanjung Priok Timur Baru (NPEA)	Persiapan	PT. Pelindo	-	-	-

Sumber: (KPPIP, 2022) dan (BPJT, 2022)

Implementasi BIM pada PSN Jalan Tol Tahap Konstruksi

Berdasarkan tabel di atas, terdapat 53 PSN jalan tol, dimana 7 proyek telah selesai konstruksi dan beroperasi secara penuh. Sisanya 46 PSN jalan tol yang berada dalam status persiapan, konstruksi konstruksi dan beroperasi sebagian. Dari 45 PSN jalan tol 4 PSN jalan tol atau sekitar 52% yang sudah mulai mengimplementasikan BIM. Selanjutnya, PSN jalan tol yang sudah mengimplementasikan BIM diklasifikasikan berdasarkan tingkat kedewasaan dengan pendekatan Bew and Richards. Tingkat kedewasaan implementasi BIM dilihat dan ditentukan dari deskripsi masing-masing level. Adapun deskripsi singkat dari setiap level dijabarkan sebagai berikut:

Tabel 2. Deskripsi Level Implementasi BIM

Level	Deskripsi Singkat
BIM Level 0	Pengelolaan CAD 2D tidak terkelola, model CAD dapat didistribusikan secara manual atau elektronik
BIM Level 1	Model CAD dikelola dalam format 2D atau 3D atau kolaborasi keduanya sehingga memungkinkan kolaborasi terhadap struktur data. Namun masih sebatas visualisasi
BIM Level 2	Data proyek telah berdimensi 4D dan 5D dengan memuat detail perhitungan volume, schedule serta biaya. Pada tingkatan 2, semua komponen akan terintegrasi dalam output 3D. Model tersebut berfungsi untuk memperkirakan aliran keuangan proyek terhadap kemajuan fisik yang telah dilakukan

BIM Level 3	Platform data 6D hingga 7D yang memungkinkan output BIM berupa hasil analisis rinci mengenai aspek ekonomi dan operasional saat fase konstruksi, serta perencanaan pada fase pemeliharaan konstruksi. Pada level 3, integrasi data yang terbentuk akan membantu stakeholder dalam pengelolaan dan pengoperasian infrastruktur melalui sistem keberlanjutan sehingga menghasilkan bisnis yang tepat sasaran dan akurat,
-------------	--

Maka, dari deskripsi pada Tabel 2, terdapat beberapa PSN jalan tol yang sedang dalam tahap konstruksi sudah mengimplementasikan BIM pada level 2, diantaranya:

Tabel 3. PSN Jalan Tol Tahap Konstruksi dengan BIM Level 2

No.	Nama Proyek	Penerapan BIM	Level BIM
1	Jalan Tol Sigli - Banda Aceh	Tahap modelling 3D hingga 5D	BIM Level 2
2	Jalan Tol Binjai - Langsa	Tahap modelling 3D hingga 5D	BIM Level 2
3	Jalan Tol Padang - Pekanbaru	Tahap modelling 3D hingga 5D	BIM Level 2
5	Jalan Tol Simpang Indralaya - Muara Enim	Tahap modelling 3D hingga 5D	BIM Level 2
6	Jalan Tol Lubuk Linggau - Curup - Bengkulu	Tahap modelling 3D hingga 5D	BIM Level 2
7	Jalan Tol Cileunyi - Sumedang - Dawuan	Tahap modelling 3D hingga 5D	BIM Level 2
8	Jalan Tol Ciawi - Sukabumi - Ciranjang - Padalarang	Tahap modelling 3D hingga 5D	BIM Level 2
9	Jalan Tol Cibitung - Cilincing	Tahap modelling 3D hingga 5D	BIM Level 2
10	Jalan Tol Jakarta Cikampek II Sisi Selatan	Tahap modelling 3D hingga 5D	BIM Level 2
11	Jalan Tol Semarang - Demak	Tahap modelling 3D hingga 5D	BIM Level 2

12 Penambahan Lingkup Jalan Tol Solo – Yogyakarta – Kulon Progo	Tahap modelling 3D hingga 5D	BIM Level 2
---	------------------------------	-------------

Jalan Tol Padang – Pekanbaru

Jalan Tol Padang – Pekanbaru merupakan bagian Jalan Tol Trans Sumatera yang menghubungkan Padang dan Pekanbaru dengan panjang ruas 254, 8 km. PT Wijaya Karya sebagai kontraktor yang ditunjuk oleh PT. Hutama Karya mengerjakan 56 km ruas jalan selama 24 bulan. Keterkaitannya dengan implementasi BIM, ruas Tol Bangkinang – Padang mengoperasikan Bentley Software (2D – 4D) sebagai perangkat pengelolaan manajemen konstruksi. BIM diterapkan pada tahapan perencanaan trase dan geometri jalan, perencanaan struktur, simulasi penjadwalan hingga perhitungan perkiraan anggaran biaya (Kompas.com, n.d.). Pemanfaatan BIM pada Proyek Strategis Nasional tersebut mampu menekan biaya pekerjaan galian dan timbunan hingga mencapai 1,2 triliun serta menghemat waktu pekerjaan survey dan galian timbunan hingga 3 bulan.

Jalan Tol Semarang – Demak

Jalan Tol Semarang – Demak yang membentang di jalur Pantura sejauh 27 km dan menghubungkan kota Semarang dan Demak hingga Surabaya merupakan bagian dari jaringan Tol Trans Jawa. Pembangunan ruas jalan tol bertujuan untuk mengurai titik kemacetan yang sering terjadi di jalur Pantura dan mempermudah akses mobilisasi antar wilayah. Selain itu, pembangunan jalan tol juga berfungsi sebagai tanggul penahan banjir rob. Dalam proses pelaksanaan konstruksi, beberapa inovasi telah diterapkan seperti penggunaan teknik photogrammetry pada tahapan survey pemetaan. Penerapan photogrammetry pada tahapan konstruksi memberikan kemudahan bagi stakeholder terkait untuk menilai progress pekerjaan dan menghitung volume menggunakan pendekatan.

Selain pengukuran dengan metode photogrammetry, inovasi dengan menerapkan BIM (*Building Information Modelling*) pada pembangunan proyek Jalan Tol Semarang – Demak juga diupayakan. Penerapan BIM sudah sampai pada pemodelan 3D, 4D, visualisasi, dan BIM Kolaborasi. BIM pada pelaksanaan proyek ini memiliki manfaat diantaranya meningkatkan produktivitas pekerjaan lapangan, mempermudah perekaman dan pencatatan progress pelaksanaan konstruksi, serta mengeliminasi konflik baik sebelum pelaksanaan pekerjaan hingga proses pelaksanaan.

Jalan Tol Solo – Yogyakarta

Sebagai bagian jaringan Jalan Trans Jawa, pembangunan Jalan Tol Solo Yogyakarta bertujuan untuk meningkatkan konektivitas, aksesibilitas pergerakan manusia dan barang, serta mendorong pertumbuhan ekonomi di sekitar kawasan pembangunan. Jalan tol ini dibangun sepanjang 96,57 km dengan estimasi biaya yang dikeluarkan sebesar Rp 26,6 triliun. Pembangunan tol dibagi dalam tiga seksi, yaitu Seksi 1 (Kartasura – Purwomartani) sepanjang 42,37 km, seksi 2 (Puwomartani – Gamping) sepanjang 23, 42 km, dan seksi 3 (Gamping – Purworejo) sepanjang 30.77 km. Untuk mempercepat proses pelaksanaan konstruksi, PT. Adhi Karya selaku kontraktor mengimplementasikan penggunaan BIM. Implementasi pemanfaatan BIM pada proyek ini diantaranya pekerjaan drainase, pekerjaan tanah, pekerjaan perkerasan berbutir, hingga perkerasan aspal dan struktur. Pelaksanaan BIM pada proyek mendukung perubahan alinyemen rencana dan perubahan BOQ terutama pada item pekerjaan galian dan timbunan dengan cepat. Akibatnya kesepakatan terkait perubahan yang ada dapat segera disetujui oleh semua pihak yang terlibat.

Implementasi BIM pada PSN Jalan Tol yang sudah Beroperasi Penuh

Dari 53 PSN jalan tol yang terdaftar dalam Permenko nomor 9 tahun 2022, terdapat 8 proyek yang sudah selesai konstruksi dan beroperasi secara penuh. Jalan tol tersebut antara lain, Tol Pandaan – Malang, Tol Manado – Bitung, Tol Balikpapan – Samarinda, Tol Medan – Binjai, Tol Pekanbaru-Kandis-Dumai, Tol Cengkareng-Batu-Ceper-Kunciran, dan Tol Sunter – Pulo Gebang. Berdasarkan hasil pengumpulan data melalui *website* resmi BPJT dan BUJT, terdapat 2 proyek jalan tol yang proses konstruksinya mengimplementasikan BIM, yaitu Jalan Tol Manado – Bitung dan Jalan Tol Balikpapan – Samarinda.

Tabel 4. PSN Jalan Tol yang Beroperasi Penuh dengan BIM Level 2

No.	Nama Proyek	Level BIM
1	Jalan Tol Manado – Bitung	BIM Level 2
2	Jalan Tol Balikpapan - Samarinda	BIM Level 2

Jalan Tol Manado – Bitung

Tol Manado – Bitung yang dibangun sepanjang 39,8 km adalah jalan tol terpanjang di Pulau Sulawesi. Sebagai bagian dari Jalan Tol Trans Sulawesi yang terintegrasi dengan jaringan jalan tol di Pulau Jawa dan Pulau Bali, pembangunan jalan ini memberi manfaat berupa pemangkas waktu perjalanan. Sebelum beroperasinya jalan tol tersebut, perjalanan yang ditempuh antara kedua kota membutuhkan waktu 1,5 jam. Namun, dengan adanya jalan Tol Manado – Bitung waktu tempuh hanya 30 menit. Lebih lanjut, beroperasinya jalan tol akan berimplikasi pada peningkatan arus lalu lintas menuju Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) Bitung dan Pelabuhan Hub Internasional Bitung sebagai jalan akses utama. Akibatnya akan terjadi pertumbuhan ekonomi di sekitar kawasan terdampak seperti Manado, Minahasa Utara, dan Bitung. Karena pembangunan Tol ini syarat akan manfaat, dalam proses pelaksanaannya PT. PP, Tbk selaku kontraktor dan pioneer penggunaan BIM sejak 2017 melakukan percepatan tahapan konstruksi dengan menerapkan konsep BIM. Penerapan 4D BIM pada proyek tersebut diimplementasikan pada pelaksanaan pembangunan jembatan yang dibangun di atas

ketinggian >50 m, pekerjaan tanah yang memaksimalkan *R-O-W (Right of The Way)*, serta review alinyemen horizontal untuk pekerjaan galian, drainase, dan fasilitas pelengkap lainnya. Manfaat BIM pada proyek tersebut antara lain memberikan efisiensi pada pekerjaan galian, memudahkan pihak terkait memahami alur kerja melalui simulasi penjadwalan dan metode pekerjaan, serta kecepatan eksekusi pada pelaksanaan konstruksi dan keselamatan kerja. Selain itu, deteksi terhadap kemungkinan clash saat pelaksanaan juga mempermudah tim proyek untuk mengungkap potensi masalah diawal dan mengintegrasikannya. Apalagi kemudahan distribusi dan monitoring logistik juga dapat dikontrol. Pemanfaatan BIM pada proyek Tol Manado – Bitung mampu mengefisiensi biaya senilai 3.3 miliar.

Jalan Tol Balikpapan – Samarinda

Jalan Tol Balikpapan – Samarinda sebagai pionir jalan tol pertama di Pulau Kalimantan menghubungkan dua ibu kota provinsi, yaitu Samarinda dan Balikpapan. Jalan tol ini sudah beroperasi penuh sejak Agustus 2021. Ruang lingkup peranan BIM pada pelaksanaan konstruksi adalah analisis kelongsoran yang terjadi pada Seksi 5 Bandara Sepinggang – Simpang Susun KM 13. Review dilakukan untuk memperoleh alternatif penanganan tepat guna dengan design terbaik pada kasus kelongsoran tersebut. Kegiatan implementasi BIM terkait permasalahan tersebut diuraikan dalam bentuk pemodelan dan desain. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan software Openroad dan Openbridge terutama pada perencanaan *pile slab* dan turap. Kemudian model turap yang dirancang dianalisis kembali dengan menggunakan software Plaxis 2D dan 3D untuk memastikan apakah turap yang didesain aman terhadap konstruksi. Integrasi data melalui platform yang saling terhubung akan mempercepat proses kerja pada tahapan perencanaan. Implikasinya akan berpengaruh pada progress pelaksanaan tahapan proyek dan efisiensi biaya.

KESIMPULAN

Adapun beberapa kesimpulan yang dapat ditarik dari hasil kajian dan pengumpulan data, antara lain:

1. Sebanyak 52% Proyek Strategis Nasional pada sektor jalan tol telah mengimplementasikan BIM.
2. Terdapat 12 PSN Jalan Tol pada tahap konstruksi sedang mengimplementasikan BIM pada level 2.
3. Terdapat 2 PSN Jalan Tol yang sudah selesai konstruksi telah mengimplementasikan BIM pada level 2, yaitu Jalan Tol Manado – Bitung dan Jalan Tol Balikpapan – Samarinda.
4. BUJT PSN Jalan Tol yang belum menerapkan BIM berpotensi besar mengadopsi implementasi BIM pada BUJT yang telah berhasil menerapkan BIM pada proses konstruksinya.

Saran

Penelitian dapat dilanjutkan dengan menilai tingkat kedewasaan penerapan BIM dengan mengumpulkan data primer melalui wawancara dan kuesioner kepada *stakeholder* PSN Jalan Tol.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Sriwijaya, khususnya Jurusan Teknik Sipil yang telah memberikan dukungan dalam penyusunan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Al - Ashmori, Y. Y., Othman, I., Rahmawati, Y., Amran, Y. M., Sabah, S. A., Rafindadi, A. D., & Mikic, M. (2020). BIM benefits and its influence on the BIM implementation in Malaysia. *Ain Shams Engineering Journal*.
- Autodesk. (Accessed Desember 9, 2017). *Building Information Modelling*. San Rafael, CA, USA: Autodesk Inc.
- Azhar, S., Hein, M., & Sketo, B. (2008). Building Information Modelling (BIM): Benefits, Risks, and Challenges. *Proceedings of The 44th ASC*.
- Azhar, S., Khalfan, M., & Maqsood, T. (2012). Building Information Modeling (BIM): Now and. *Australasian Journal of Construction Economics and Building*, 15- 28.
- Bew, M., & Richards, M. (2008). *Bew-Richards BIM Maturity Model*
- Borrmann, A., Konig, M., Koch, C., & Beetz, J. (2018). *Building Information Modelling - Why? What?*
- BPJT. (2022). *bpjt.pu.go.id*. Retrieved from *bpjt.pu.go.id*: https://bpjt.pu.go.id/booklet/buku_BPJT_2_022/mobile/index.html#p=171
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2008). *BIM Handbook*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Febriansyah, F. S. (2021, November). Implementasi BIM Pada Proyek Jalan Tol Pasuruan - Probolinggo Seksi 4 Untuk Perhitungan Quantity Take - Off Timbunan. *Agregat*, Vol 6 No 2.
- Hartono, W., Handayani, D., & Syafi'i. (2021). Tingkat Kedewasaan Penerapan BIM (Building Information Modelling) Pada Kontraktor Jembatan di Indonesia. *Jurnal Riset Rekayasa Sipil*, Vol 4 No 2(Maret).
- Johartiming, E. F., Winarto, J. S., Chandra, H. P., & Ratnawidjaja, S. (2021). Investigasi Implementasi Building Information Modelling pada Sektor Konstruksi di Surabaya. *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*, 60 - 67.
- Kompas.com. (n.d.). Retrieved from [tps://biz.kompas.com/read/2022/06/30/160924228/terapkan-sistem-bim-hki-berhasil-sambungkan-tol-pekanbaru-bangkinang](https://biz.kompas.com/read/2022/06/30/160924228/terapkan-sistem-bim-hki-berhasil-sambungkan-tol-pekanbaru-bangkinang)
- KPPIP. (2022). *kppip.go.id*. Retrieved from *kppip.go.id*: <https://kppip.go.id/proyek-strategis-nasional/jalan-dan-jembatan/>
- Martins, S. S., Evangelista, A. J., Hammad, A. A., Tam,
- V. W., & Haddad, A. (2020). Evaluation of 4D BIM tools applicability in. *International Journal of Construction Management*.
- Othman, I., Al - Ashmori, Y. Y., Rahmawati, Y., Amran, Y. M., & Al - Bared, M. M. (2021). The level of Building Information

Modelling (BIM) Implementation in. Ain Shams Engineering Journal, 455 - 463.

Pantiga, J., & Soekiman, A. (2021). Kajian Implementasi Building Information Modelling (BIM) di Dunia Konstruksi Indonesia. *Rekayasa Sipil*, 15(2), 104 - 110.

PUPR, K. (2021). *Informasi Statistik Infrastruktur PUPR 2021*. Jakarta: Pusat Data dan Teknologi Informasi Sekretariat Jenderal, Kementerian PUPR.

PUPR, K. (2021). *Laporan Tahunan Badan Pengatur Jalan Tol 2021 Peningkatan Tata Kelola dalam Penyelenggaraan Jalan Tol di Indonesia*. Jakarta: PUPR.



**POLITEKNIK PEKERJAAN UMUM
BADAN PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA
KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT**

Jalan Prof. Soedarto, SH No.15 Tembalang Semarang 50275

Telp/Fax. 024-7472848

Email : info@politeknikpu.ac.id

www.politeknikpu.ac.id

ISSN 3024-8345



9 773024 834005