



JOURNAL OF APPLIED CIVIL ENGINEERING & INFRASTRUCTURE TECHNOLOGY

Published by :



Indonesian Society of
Applied Science (ISAS)



**JOURNAL OF APPLIED CIVIL ENGINEERING AND
INFRASTRUCTURE TECHNOLOGY (JACEIT)**

Indonesian Society of Applied Science (ISAS)

<https://journal.isas.or.id/index.php/JACEIT>

Vol. 7 No. 2 (2026) : Desember 2026

e-ISSN. 2723-5378

**JOURNAL OF APPLIED CIVIL ENGINEERING AND
INFRASTRUCTURE TECHNOLOGY
(JACEIT)**

<https://journal.isas.or.id/index.php/JACEIT>

VOLUME 7, NOMOR 2, DESEMBER 2026

E-ISSN. 2723-5378

DOI: [HTTPS://DOI.ORG/10.52158/](https://doi.org/10.52158/)



Journal of Applied Civil Engineering and Infrastructure Technology (JACEIT) adalah sebuah jurnal *blind peer review* yang didedikasikan untuk publikasi hasil penelitian yang berkualitas dalam bidang ilmu Teknik Sipil dan Rekayasa Infrastruktur namun tak terbatas secara implisit. Semua publikasi di jurnal JACEIT bersifat akses terbuka yang memungkinkan artikel tersedia secara bebas online tanpa berlangganan apapun.

Penerbit

Indonesian Society of Applied Science (ISAS)

Alamat Redaksi

Jl. Raya ITS, Sukolilo, Surabaya, 60111

Email: jaceit@isas.or.id; jaceit.isas@gmail.com



Indonesian Society of Applied Science

Office: Kampus Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Jl. Raya ITS, Sukolilo, Surabaya, 60111.

Phone: +6281234302724, +6287859160488

The Biggest Applied Science Society in Indonesia

<https://isas.or.id>

humas@isas.or.id



SAMBUTAN EDITOR

Journal of Applied Civil Engineering and Infrastructure Technology (JACEIT) merupakan jurnal ilmiah yang dikelola dan dipublikasikan oleh **Indonesian Society of Applied Science (ISAS)**, yang merupakan suatu perkumpulan dari konsorsium Pusat/Unit Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Politeknik Negeri se-Indonesia yang berbadan hukum dari Keputusan Menteri dan Hak Asasi Manusia Republik Indonesia **Nomor AHU-0011316.AH.01.07 Tahun 2019** pada tanggal 8 November 2019.

JACEIT terbit sejak Agustus 2020 dengan ISSN Online 2723-5378, SK LIPI Nomor. 0005.27235378/Jl.3.1/SK.ISSN/2020.08 Tanggal 6 Agustus 2020. **JACEIT** diterbitkan dua kali dalam setahun yaitu Bulan Agustus dan Desember. *Journal of Applied Civil Engineering and Infrastructure Technology (JACEIT)* merupakan jurnal ilmiah dengan ruang lingkup bidang teknik sipil antara lain bidang struktur, manajemen konstruksi, geoteknik, hidroteknik, material maju, pemetaan/geomatika/ sistem informasi geografis, teknik lingkungan, transportasi dan rekayasa teknologi infrastruktur. **JACEIT** juga sudah terindeks **Google Scholar, ROAD, Crossref, WorldCat, One Search, Dimensions, GARUDA dan SINTA**. **JACEIT** memiliki DOI: <https://doi.org/10.52158/> dan sudah terakreditasi **SINTA 4**. Kami akan terus berupaya dalam meningkatkan lembaga pengindeks agar dapat meningkatkan *impact factor* OJS **JACEIT**.

Pada Volume 7 No. 2 Desember 2026 merupakan terbitan artikel *in press* yang ini terdiri atas 10 artikel dengan 26 penulis yang berasal dari 9 perguruan tinggi di Indonesia, yaitu Politeknik Negeri Jakarta, Universitas Indonesia, Politeknik Negeri Banyuwangi, Universitas Islam Lamongan, Universitas Borneo Tarakan, Institut Teknologi Bandung, Politeknik Negeri Ambon, Universitas Jember, Universitas Mercu Buana.

Penerbitan Jurnal ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, terutama ucapan terima kasih kami sampaikan kepada para editor dan reviewer yang sudah rela bekerja keras dalam me-review manuskrip hingga layak publish di jurnal ini. Kami juga mengapresiasi para peneliti, mahasiswa dan praktisi yang sudah menjadikan **JACEIT** sebagai media untuk publikasi hasil penelitiannya. Membutuhkan usaha lebih keras untuk mendapatkan *submission paper* dan menjalin *networking* dari kalangan akademisi dari berbagai Perguruan Tinggi Negeri ataupun Swasta DN/LN serta dari instansi/ lembaga. Semoga manuskrip di **JACEIT** dapat menambah khazanah keilmuan dan wawasan ilmiah, khususnya dalam bidang Teknik Sipil. Kritik dan saran membangun tetap kami harapkan untuk perbaikan jurnal ini.

Banyuwangi, 12 Nopember 2025

Ketua Dewan Redaksi,

Cand. Dr. Zulis Erwanto, S.T., M.T.



DAFTAR ISI TERBITAN

No.	Judul – Penulis	Halaman
1	Simulasi Angka Keamanan Menggunakan Metode Elemen Hingga Berdasarkan Nilai Kohesi (c) dan Sudut Geser Dalam <i>Putera Agung Maha Agung, Zaindra Fakhri Salim, Aida Nurfitriya, Aldo Wirastana Adinegara</i>	76 - 82
2	Perkuatan Tanah Gambut Ambarawa dengan Cerucuk Menggunakan Pemodelan Finite Element Method <i>Chyntia Helmalia Br S. Milala, Dora Melati Nurita Sandi, Mirza Ghulam Rifqi</i>	83 - 87
3	Evaluasi Efektivitas Drainase Jalan Kusuma Bangsa dalam Mengatasi Intensitas Banjir Tahunan dan Strategi Mitigasi Genangan Air di Kabupaten Lamongan <i>Nur Azizah Affandy, Yuniar Eka Andhika</i>	88 - 94
4	Analisis Sifat Tanah Lempung Lunak yang Di Stabilisasi Dengan Limbah Ban Karet dan Fly Ash <i>Hasrullah, Hasan Bisri</i>	95 - 100
5	Penentuan Debit Banjir Rancangan Sungai Saluki Kabupaten Sigi dengan Metode HSS SCS <i>Yosephina Puspa Setyoasri, Dantje Kardana Natakusumah</i>	101 - 109
6	Analisa Produktivitas Tiang Menggunakan Alat Pancang Diesel Hammer Pada Proyek Pembangunan Gedung Kantor Pengadilan Agama Dataran Hunipopu <i>Ramona Istiqamah Marasabessy, Henriette Dorothy Titaley, Maslan Abdin</i>	110 - 113
7	Implementasi Konsep BIM Pada Tahap Pelaksanaan Gedung B Proyek Pembangunan RSPTN Universitas Jember <i>Shifa Ikrima Hayya Isvahani, Anita Trisiana, Ketut Aswatama Wiswamitra</i>	114 - 121
8	Perbandingan Kemampuan Menahan Beban Aksial Kolom Pendek Berlubang Dengan Variasi Jarak Sengkang <i>Muhamad Iqbal Dafa Pratama, Mohamad Galuh Khomari Khomari, I Ketut Hendra Wiryasuta, M. Shofi'ul Amin, Mirza Ghulam Rifqi</i>	122 - 130
9	Perbandingan Kemampuan Menahan Beban Aksial Kolom Pendek Berlubang Dengan Variasi Diameter Tulangan Utama <i>Handi Abdul Halim Pangestu, Mohamad Galuh Khomari, I Ketut Hendra Wiryasuta, Mirza Ghulam Rifqi</i>	131 - 138
10	Analisis Biaya Pekerjaan Timbunan Tanah Dengan Metode Photogrammetry <i>Andita Oktavia, Retna Kristiana</i>	139 - 143



Simulasi Angka Keamanan Menggunakan Metode Elemen Hingga Berdasarkan Nilai Kohesi (c) dan Sudut Geser Dalam (ϕ)

Putera Agung Maha Agung¹, Zaindra Fakhri Salim², Aida Nurfitri³, Aldo Wirastana Adinegara⁴

^{1,2,3}Teknik Sipil, Politeknik Negeri Jakarta

⁴Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

¹putera.agungmagung@sipil.pnj.ac.id, ²zaindra.fakhri.salim.ts21@mhs.w.pnj.ac.id, ³aida.nurfitri.ts21@mhs.w.pnj.ac.id,

⁴aldo.wirastana@ui.ac.id

Abstract

Expansive soil is a type of soil that can expand and shrink based on the moisture content. In Cisauk Subdistrict, Tangerang City, there are many damages to building structures and/ or roads caused by the expansive soil. This research is intended to identify the expansive soil, including its physical characteristics, in determining the cohesion (c) and internal shear angle (ϕ) values using the UU (unconsolidated undrained) triaxial test. Test results indicated that the cohesion value was around 0.33 kg/cm² or 32.94 kN/m², and an internal shear angle of 20.51°. Both datasets were used to analyze slope stability modeling in defining the safety factor (SF) using PLAXIS software in 2D during rainy and dry seasons. Each condition was evaluated by the three slope variations, such as 20°, 40°, and 60°. Modeling results show that the (SF) would be higher on flatter slopes, and on the contrary, would decrease on steeper slopes. In addition, the (SF) would be higher during the dry season than the rainy season. The soil condition would be more saturated during the rainy season.

Keywords: Safety Factor, Cohesion, Internal Angle of Friction, Expansive Soil, Triaxial UU

Abstrak

Tanah ekspansif adalah jenis tanah yang memiliki kemampuan untuk mengembang dan menyusut tergantung pada kadar air yang dikandungnya. Di Kecamatan Cisauk, Kota Tangerang, banyak sekali kerusakan pada struktur bangunan dan/ atau jalan akibat tanah ekspansif. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi tanah ekspansif termasuk karakteristik fisiknya dalam menentukan nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) dengan menggunakan uji triaksial UU (unconsolidated undrained). Hasil pengujian menunjukkan nilai kohesi sebesar 0,33 kg/cm² atau 32,94 kN/m² dan sudut geser dalam sebesar 20,51°. Kedua data ini digunakan untuk menganalisis stabilitas lereng dengan menggunakan perangkat lunak *software* PLAXIS, yang dilakukan dua kali untuk kondisi musim hujan dan kemarau. Setiap kondisi diuji pada tiga variasi kemiringan lereng, yaitu 20°, 40°, dan 60°. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa nilai faktor keamanan (FK) lebih tinggi pada lereng yang lebih landai dan menurun seiring dengan kemiringan yang curam. Selain itu, (FK) lebih tinggi pada musim kemarau dibandingkan musim hujan. Kondisi tanah akan menjadi kadar air akan menjadi lebih jenuh saat musim hujan.

Kata kunci: Angka Keamanan, Kohesi, Sudut Geser Dalam, Tanah Ekspansif, Triaxial UU.

Diterima Redaksi : 2024-08-26 | Selesai Revisi : 2025-02-14 | Diterbitkan Online : 2025-11-12

1. Pendahuluan

Perkembangan infrastruktur di daerah-daerah tropis seperti banyak daerah di Indonesia sering kali mengalami masalah tidak stabilnya tanah yang akhirnya menimbulkan permasalahan pada konstruksi. Salah satu faktor yang menyebabkan permasalahan ini adalah tanah yang mengalami pengembangan dan penyusutan mengikuti kadar air tanah tersebut. Tanah yang memiliki sifat ini disebut dengan tanah ekspansif. Jalan yang dibangun di atas tanah ekspansif dapat mengalami kerusakan akibat perubahan volume tanah [1].

Tanah merupakan lapisan permukaan bumi yang terbentuk atas mineral dan bahan organik melalui proses pelapukan dan dekomposisi bahan organik [2]. Tanah ekspansif terbentuk dari pelapukan batuan yang dapat mengalami perubahan ukuran akibat fluktuasi kelembaban [3]. Tanah ini akan mengalami ekspansi saat kadar air (w_c) meningkat, seperti pada musim hujan, dan menyusut ketika kadar air (w_c) berkurang, seperti pada musim kemarau [4]. Sebagai hasil dari perubahan kelembaban ini, volume tanah ekspansif akan bervariasi secara signifikan seiring dengan perubahan iklim atau cuaca pada lokasi tanah tersebut.



Tabel 1. Derajat Pengembangan Tanah (AASHTO) [5]

Derajat Kembang-Susut	LL (%)	PI (%)
Rendah	< 50	< 25
Sedang	50 – 60	25 – 35
Tinggi	> 60	> 35

Mengutip pada Tabel 1, tanah dengan nilai batas cair (*LL*) lebih dari 60% dan nilai plastisitas indeks (*PI*) lebih dari 35 % dapat dikatakan sebagai tanah dengan derajat pengembangan yang tinggi dan memiliki potensi perubahan volume tanah yang tinggi.

Banyak daerah di Kabupaten Tangerang yang tidak luput dari permasalahan tanah ekspansif. Keadaan tanah yang dipengaruhi oleh cuaca terutama daerah yang berdekatan dengan sungai maupun sumber air lainnya memiliki potensi tanah ekspansif. Contoh pengaruh tanah ekspansif terjadi di daerah sekitar Jalan JLS, Kranggan, Kecamatan Setu, Kota Tangerang Selatan, Banten. Dengan kondisi daerah pemukiman yang berdekatan dengan Sungai Cisadane, jalan-jalan di sekitar daerah tersebut mengalami retak dan patah.

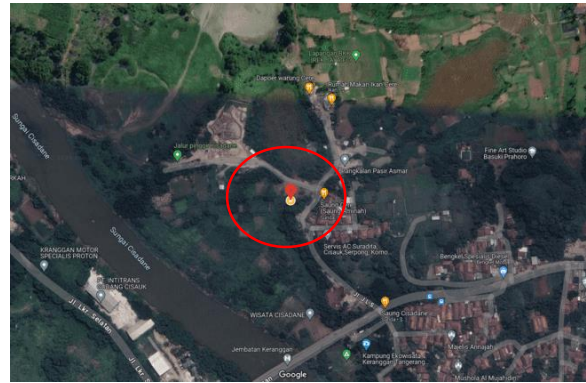
Tanah memiliki sifat-sifat fisik dan mekanis yang dapat mempengaruhi desain dan konstruksi struktur bangunan [6]. Oleh karena itu dibutuhkan pengujian tanah untuk mengetahui karakteristik atau sifat dari tanah yang diuji, terutama jenis tanah ekspansif yang dapat mengembang maupun menyusut bahkan cenderung kaku mengikuti cuaca [7].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat fisik dan mekanis tanah, serta untuk mengetahui besaran deformasi yang terjadi serta angka keamanan (*FK*) pada tanah menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan *software PLAXIS*. Variabel utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah kohesi (*c*) dan sudut geser dalam (ϕ) yang kemudian kedua variabel tersebut digunakan untuk mencari nilai angka keamanan (*FK*) dari simulasi kemiringan yang dipilih.

2. Metode Penelitian

2.1 Lokasi studi

Lokasi yang dijadikan sebagai sampel penelitian ditunjukkan pada Gambar 1. yaitu berada di sekitar Jalan JLS, Kranggan, Kecamatan Setu, Kota Tangerang Selatan, Banten.



Gambar 1. Lokasi Sampel Penelitian

2.2 Tahapan penelitian

Dalam melaksanakan penelitian ini, terdapat beberapa tahapan untuk mencapai tujuan penelitian dengan penjelasan sebagai berikut:

1. **Studi pendahuluan.** Pada tahap ini, dilakukan proses peninjauan literatur serta identifikasi penelitian terdahulu untuk menemukan permasalahan.
2. **Penentuan lokasi penelitian.** Setelah menemukan permasalahan, selanjutnya adalah penentuan lokasi penelitian yang memenuhi kriteria permasalahan yang dapat menunjang kemajuan penelitian.
3. **Pengambilan sampel.** Setelah lokasi ditentukan, langkah selanjutnya adalah mengambil sampel tanah terganggu (*disturbed sample*) untuk digunakan sebagai bahan penelitian di laboratorium pada kedalaman 1,5 m di bawah permukaan tanah.
4. **Analisis laboratorium.** Langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian laboratorium untuk menemukan sifat fisik dan mekanik (triaksial UU (*unconsolidated undrained*) dengan menggunakan sampel *remoulded*) dari tanah.
5. **Analisis data.** Setelah penelitian menghasilkan data, Langkah selanjutnya adalah pengolahan data hasil penelitian serta memahami hasil penelitian dan melakukan pengolahan menggunakan *software PLAXIS*.
6. **Interpretasi hasil.** Langkah selanjutnya adalah mendiskusikan hasil analisis dan temuan penelitian.
7. **Kesimpulan dan saran.** Terakhir adalah membuat kesimpulan dari hasil penelitian terkait perilaku kohesi (*c*) dan sudut geser dalam (ϕ) lapisan tanah ekspansif pada lokasi penelitian.

2.3 Pengumpulan data

Data yang digunakan dalam penelitian ini bersifat data primer yang diambil dan diolah secara langsung melalui pengujian laboratorium. Data yang dikumpulkan berupa sifat fisik dan mekanis tanah meliputi pengujian berikut:

1. **Pengujian fisik:** Batas-batas Atterberg, analisis ayak, hidrometer, berat-volume, berat isi butir, sifat-sifat fisik (*index or material properties*).
2. **Pengujian mekanis:** Pemadatan standar, triaksial UU (*unconsolidated undrained*).

2.4 Analisis data

Dalam melakukan analisis data, metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan serangkaian pengujian sifat fisik tanah.
2. Melakukan pengujian triaksial UU di laboratorium.
3. Melakukan olah data dengan menggunakan software Microsoft Excel.
4. Melakukan analisis deformasi jalan menggunakan software PLAXIS.
5. Melakukan perhitungan angka keamanan (*FK*) dengan metode elemen hingga.

2.5 Teori kekuatan geser tanah (*shear strength*)

Dua parameter penting yang akan dijelaskan dalam bagian ini adalah kohesi (*c*) dan sudut geser dalam (ϕ). Parameter-parameter ini sangat berguna untuk mengevaluasi potensi longsor di daerah studi dan dinyatakan dalam bentuk faktor keamanan (*FK*).

2.6 Kohesi (*c*)

Kohesi (*c*) merupakan gaya tarik-menarik antar partikel dalam suatu material tanah yang mempengaruhi kekuatan geser, meskipun tanpa adanya tekanan luar. Nilai kohesi yang tinggi umumnya ditemukan pada tanah berlempung yang memiliki sifat plastis dan mampu mempertahankan bentuknya dalam kondisi kering maupun jenuh air [8]. Kohesi (*c*) tanah akan bekerja di sepanjang bidang longsor. Kegagalan kohesi (*c*) lebih ditentukan oleh kadar air tanah (w_c).

2.7 Sudut geser dalam (ϕ)

Sudut geser dalam (ϕ) adalah parameter mekanis yang menggambarkan tingkat ketahanan suatu tanah terhadap gaya geser yang bekerja padanya. Semakin besar nilai sudut geser dalam (ϕ), semakin tinggi kemampuan tanah dalam menahan gaya geser sebelum mengalami kegagalan. Parameter ini sangat berpengaruh terhadap kestabilan lereng serta desain fondasi dan struktur geoteknik lainnya [9]. Sudut geser dalam adalah besarnya bidang kontak antara butiran tanah yang saling mengunci satu sama lain dan ikatan yang kuat. Perubahan sudut geser dalam (ϕ) juga disebabkan oleh perubahan kadar air (w_c) yang terjadi saat musim hujan dan musim kemarau.

2.8 Faktor keamanan (*FK*)

Faktor keamanan (*FK*) merupakan rasio antara kekuatan tahanan geser tanah terhadap tegangan geser yang terjadi akibat pembebanan luar dan perubahan kadar air (w_c). Nilai faktor keamanan (*FK*) lebih dari satu menunjukkan bahwa kondisi tanah masih dalam batas aman,

sedangkan nilai kurang dari satu mengindikasikan potensi ketidakstabilan atau kegagalan tanah. Faktor ini digunakan sebagai salah satu indikator utama dalam analisis stabilitas lereng, desain fondasi, serta berbagai perancangan teknik sipil lainnya [10].

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Data hasil pengujian

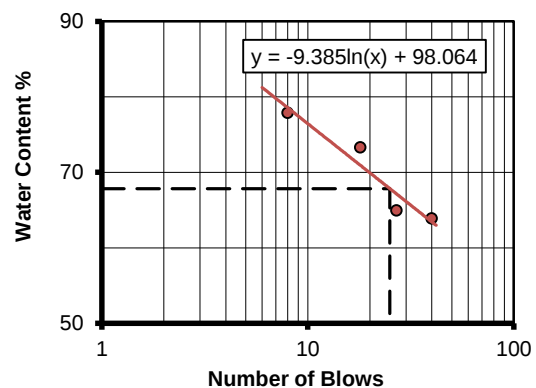
Pengujian yang dilakukan meliputi uji klasifikasi tanah, pengujian berat isi, dan pengujian triaksial UU menggunakan sampel tanah yang terganggu (*disturbed*).

3.1.1 Pengujian batas-batas Atterberg

Batas Atterberg disebut juga sebagai batas-batas konsistensi. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui batas cair (*LL*) dan plastisitas tanah (*PI*) berdasarkan kadar airnya melalui pengujian laboratorium. Nilai (*LL*) dan (*PI*) dapat digunakan untuk menentukan potensi ekspansif tanah. Pengujian ini menggunakan standar ASTM D 4318 [11].

Tabel 2. Tabel Batas-Batas Atterberg

Number of blows	Liquid limit (%)	Plastic limit (%)
40	63,89	-
27	64,97	-
18	73,29	-
8	77,91	-
-	-	32,81
-	-	32,30



Gambar 2. Grafik Batas Cair (LL)

Berdasarkan hasil pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 2 dan Gambar 2, didapat nilai (*LL*) sebesar 67,85% dan (*PL*) sebesar 32,55%. Nilai (*PI*) dihitung sebesar 35,30%. Berdasarkan tabel AASHTO, tanah dengan (*LL*) > 60% dan (*PI*) > 35% tergolong sebagai lapisan tanah ekspansif dengan derajat kembang-susut yang tinggi hingga sangat tinggi.

3.1.2 Pengujian distribusi butir

Pengujian distribusi butir dilakukan untuk mengetahui distribusi ukuran butir tanah dengan menggunakan

metode ayak dan hidrometer. Standar yang digunakan dalam pengujian ini adalah ASTM D7928 [12].

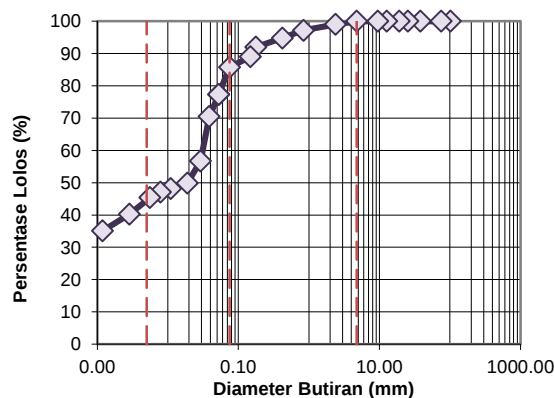
Tabel 3. Hasil Analisa Ayak

Sieve No.	Sieve opening (mm)	Weight retained (g)	Percent retained (%)	Cumulative percent retained (%)	Percent finer (%)
4	4,75	0,00	0,00	0,00	100,0
8	2,38	0,50	1,00	1,00	99,0
20	0,84	0,90	1,80	2,80	97,2
40	0,42	1,20	2,40	5,20	94,8
80	0,18	1,40	2,80	8,00	92,0
100	0,15	1,50	3,00	11,0	89,0
200	0,08	1,60	3,20	14,2	85,8
Pan	-	42,9	85,8	85,8	-

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 3, didapatkan bahwa 85,80% dari total tanah tergolong tanah berbutir halus. Dengan demikian, tanah ini diklasifikasikan sebagai tanah berbutir halus berdasarkan standar USCS dan AASHTO.

Tabel 4. Hasil Pengujian Hidrometer

Elapsed time (min)	Hidrometer reading	Corrected reading	Diameter (mm)	Percent finer (%)
0.5	43.0	45.1	0.053	77.336
1	39.0	41.1	0.039	70.469
2	31.0	33.1	0.029	56.736
5	27.0	29.1	0.019	49.869
15	26.0	28.1	0.011	48.152
30	25.0	27.4	0.008	47.079
60	24.0	26.4	0.006	45.363
240	21.0	23.4	0.003	40.213
1440	18.0	20.4	0.001	35.063



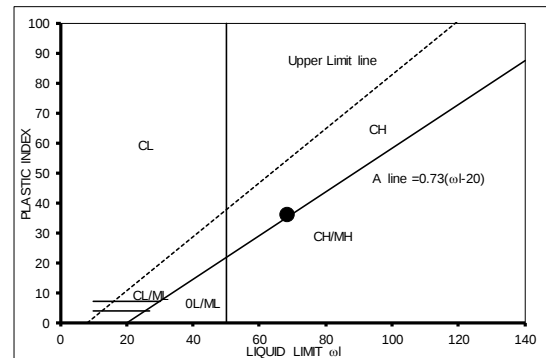
Gambar 3. Grafik Distribusi Butir

Setelah menggabungkan hasil analisis ayak pada Tabel 3 dan hidrometer pada Tabel 4, Gambar 3 menunjukan tanah ini mengandung 44,24% lempung (*clay*), 41,56% lanau (*silt*), dan 14,20% pasir (*sand*).

3.1.3 Klasifikasi tanah

Klasifikasi tanah dilakukan menggunakan standar AASHTO dan USCS berdasarkan hasil pengujian distribusi butir dan batas-batas Atterberg.

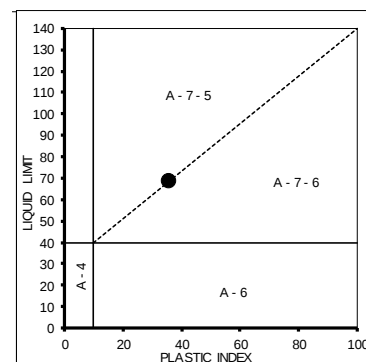
- **Klasifikasi USCS:** Tanah diklasifikasikan sebagai tanah lempung CH.



Gambar 4. Klasifikasi Tanah (USCS) [13]

Hasil penelitian pada Gambar 4 menunjukkan bahwa tanah tergolong CH (lempung anorganik dengan plastisitas tinggi), yang memiliki kohesi tinggi namun rentan terhadap perubahan kadar air.

- **Klasifikasi AASHTO:** Tanah dikategorikan sebagai tanah A-7-5 atau tanah berlempung.



Gambar 5. Klasifikasi Tanah (AASHTO) [14]

Hasil penelitian pada Gambar 5 menunjukkan bahwa tanah tergolong A-7-5 berdasarkan klasifikasi AASHTO, yang merupakan tanah lempung dengan plastisitas tinggi dan daya dukung rendah.

Hasil menunjukan tanah yang diklasifikasikan sebagai CH (*clay high plasticity*) dan A-7-5 (AASHTO), kedua jenis tersebut memiliki plastisitas tinggi serta daya dukung rendah, yang rentan terhadap perubahan volume akibat kadar air. Karakteristik ini memenuhi sifat tanah ekspansif dan membutuhkan penanganan lebih lanjut saat digunakan dalam konstruksi..

3.1.4 Aktivitas (*activity*) atau (A)

Potensi pengembangan tanah dihitung menggunakan nilai aktivitas tanah (A) dengan formula dari Skempton [15] yang dimodifikasi oleh Seed [16].

$$A = \frac{PI}{C-10} \quad [16]$$

Dengan PI sebagai nilai indeks plastisitas, (C) sebagai persen lebih halus dari 0,002 mm dan 10% sebagai faktor reduksi untuk tanah hasil pemadatan.

$$A = \frac{35,30}{37,582 - 10}$$

$$A = 1,280$$

Dengan nilai aktivitas (*A*) sebesar 1,280, tanah ini diklasifikasikan sebagai tanah aktif, dengan potensi pengembangan yang tinggi.

3.1.5 Pengujian berat-volume tanah (*density*) (γ)

Pengujian berat-volume dilakukan untuk menentukan massa tanah dalam satu satuan volume, yang mencakup berat volume basah (*wet density*) dan berat volume kering (*dry density*). Berdasarkan hasil pengujian, nilai *wet density* sebesar 1,715 gr/cm³, menunjukkan berat tanah dalam kondisi mengandung air. Sementara itu, nilai *dry density* sebesar 1,220 gr/cm³ menggambarkan berat tanah setelah kadar airnya dihilangkan melalui proses pengeringan.

3.1.6 Pengujian berat isi butir (*specific gravity*) (G_s)

Berat isi butiran tanah (G_s) merupakan perbandingan antara berat volume tanah (*density*) dengan berat volume air pada suhu standar (artinya tanpa satuan). Berdasarkan hasil pengujian, nilai (G_s) tanah yang diperoleh adalah 2,648, yang menunjukkan bahwa partikel tanah tersebut memiliki massa 2,648 kali lebih besar dibandingkan massa air dalam volume yang sama.

3.1.7 Pengujian sifat-sifat fisik (*index properties*)

Index properties dihitung dengan menggabungkan beberapa parameter dari pengujian sebelumnya. Parameter-parameter yang digabungkan adalah divalidasi dari semua pengujian yang telah dilakukan.

Tabel 5. Hasil pengujian sifat fisik tanah

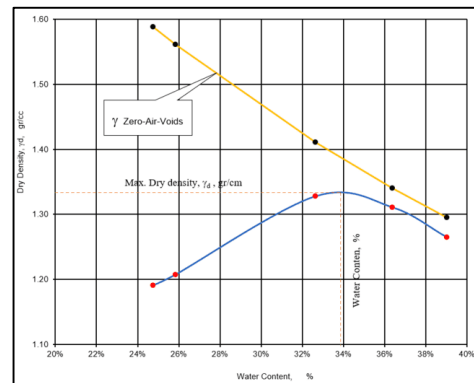
Properties	Notasi	Nilai
Berat tanah basah	W_t	90,10 gr
Volume tanah basah	V_t	52,52 cc
Berat volume	γ	1,72 gr/cc
Berat isi butir	G_s	2,65
Kadar air	w_c	40,56%
Berat isi kering	γ_d	1,22 gr/cc
Porositas	n	0,54
Derajat kejenuhan	S_r	92,16%

Hasil pengujian indeks properties seperti pada Tabel 5 menunjukkan bahwa tanah yang diuji memiliki karakteristik fisik yang mencerminkan tingkat kepadatan, kadar air, dan kejenuhan yang tinggi. Kondisi ini berpengaruh terhadap stabilitas serta daya dukung tanah, terutama dalam kondisi beban eksternal atau perubahan lingkungan.

Secara umum hasil pengujian sifat-sifat fisik ini telah mengindikasikan bahwa lapisan tanah yang diuji memiliki potensi kembang-susut yang besar. Dengan demikian, lapisan tanah memiliki potensi merusak struktur yang berada di atasnya.

3.1.8 Uji pemadatan standar (*standard proctor test*)

Pengujian ini untuk menentukan kadar air optimum dan *maximum dry density* dengan ASTM D 698 [17].



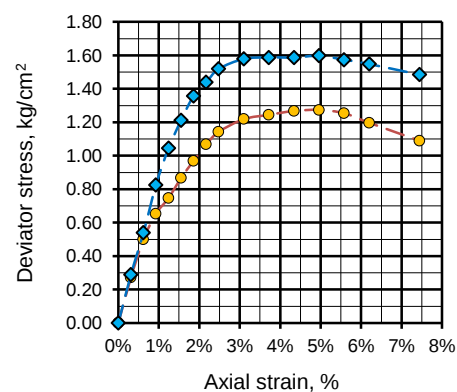
Gambar 6. Grafik Hubungan w_c dan γ_d

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium seperti pada Gambar 6, kadar air optimum atau OMC (*optimum moisture content*) tanah pada lokasi penelitian adalah sebesar 33,95%, sedangkan nilai *maximum dry density* yang diperoleh adalah 1,339 gr/cc.

Dari Gambar 6, terlihat bahwa sisi kering sangat lambat atau sulit mencapai kondisi kadar air optimum (OMC), namun sangat cepat mencapai kondisi basah maksimum. Hal ini menunjukkan bahwa lapisan tanah sangat mudah kembang-susut saat musim hujan akibat proses infiltrasi air hujan.

3.1.9 Uji triaksial UU (*unconsolidated undrained*)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui respon tanah terhadap pembebanan multiarah (arah aksial dan arah lateral atau deviator) sesuai dengan tipe pengujian *unconsolidated undrained* (UU) dengan standar ASTM D2850 [18]. Berikut adalah hasil dari uji triaksial UU untuk menentukan nilai kohesi (*c*) dan sudut geser dalam (ϕ) yang akan digunakan dalam simulasi kelongsoran:

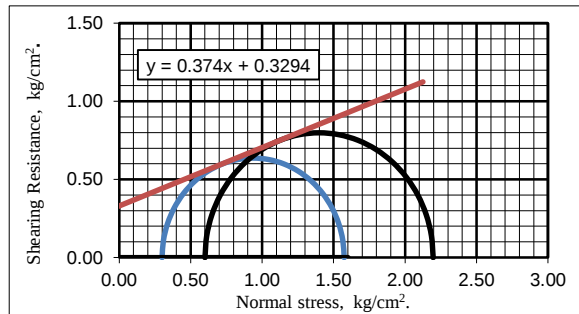


Gambar 7. Grafik hubungan regangan dan tegangan

Berdasarkan grafik pada Gambar 8, didapat parameter berupa tegangan-tegangan (aksial (σ_1) dan deviator (σ_3)) sebagai berikut:

Tabel 6. Hasil Tegangan-Tegangan Dari Uji Triaksial UU

No.	Nama	Satuan	Sampel 1	Sampel 2
1	σ_1	kg/cm ²	1,573	2,197
2	σ_3	kg/cm ²	0,300	0,600
3	$\sigma_1 - \sigma_3$	kg/cm ²	1,273	1,597

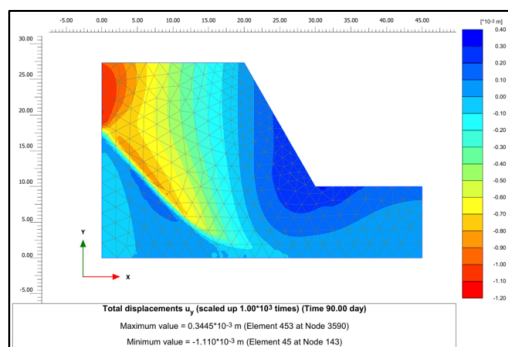


Gambar 8. Lingkaran Mohr dalam Menentukan (c) dan (ϕ)

Berdasarkan pada data dari Tabel 6 yang kemudian dibuat lingkaran Mohr pada Gambar 8, didapatkan hasil berupa nilai kohesi (c) sebesar 0,33 kg/cm² atau 32,94 kN/m² dengan sudut geser dalam (ϕ) adalah 21,506°.

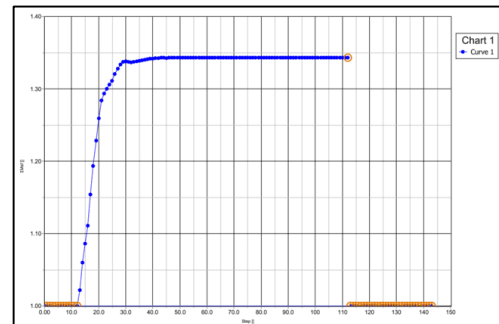
3.2 Perhitungan angka keamanan (FK)

Setelah melakukan pengujian sifat fisik dan mekanis tanah dari sampel yang diambil di area Jalan JLS, Kerangan, Kecamatan Setu, Kota Tangerang Selatan, variabel-variabel dari hasil pengujian tersebut digunakan untuk pemodelan menggunakan perangkat lunak *software PLAXIS*. Tujuan pemodelan ini adalah untuk mengukur deformasi tanah dan angka keamanan lereng dengan variasi kemiringan 20°, 40°, dan 60° pada dua kondisi muka air tanah, yaitu musim hujan dan musim kemarau. Dan didapatkan hasil berupa angka keamanan tanah. Berikut adalah salah satu contoh hasil dari *software PLAXIS*:



Gambar 9. Simulasi Model Lereng 60° Musim Kemarau

Pemodelan menghasilkan nilai deformasi dan faktor keamanan (FK) untuk setiap kondisi lereng dan musim seperti pada Gambar 9 dan Gambar 10. Hasil menunjukkan bahwa faktor keamanan tanah lebih tinggi pada lereng yang lebih landai, dan menurun dengan bertambahnya kemiringan lereng.



Gambar 10. Angka Keamanan (FK) Lereng 60° Musim Kemarau

Faktor keamanan juga lebih tinggi pada musim kemarau dibandingkan dengan musim hujan, karena tanah pada musim kemarau memiliki kekuatan yang lebih besar akibat kandungan air yang lebih rendah. Berikut adalah data dari hasil pemodelan dengan menggunakan *software PLAXIS*:

Tabel 7. Hasil Pemodelan Metode Elemen Hingga

Lereng	Musim	Nilai γ_{dry} (kN/m ³)	Nilai γ_{wet} (kN/m ³)	Nilai γ_s (kN/m ³)	FK
20°	Hujan	12.65	17.58	0,4	4.599
	Kemarau	11.91	14.85	0,3	5.39
40°	Hujan	12.65	17.58	0,4	2.015
	Kemarau	11.91	14.85	0,3	2.346
60°	Hujan	12.65	17.58	0,4	1.181
	Kemarau	11.91	14.85	0,3	1.343

Dari pemodelan ini dengan hasil data seperti Tabel 7, dapat disimpulkan bahwa lereng dengan kemiringan yang lebih curam memiliki risiko keruntuhan yang lebih besar, terutama pada musim hujan, di mana kadar air tanah yang tinggi mengurangi kekuatan tanah secara signifikan. Serta pemodelan lereng berdasarkan pada data tanah yang ada dengan kemiringan lereng 20°, 40°, dan 60° dinyatakan aman.

3.3 Hasil parameter-parameter tanah

Hasil-hasil uji sifat fisik dan mekanik diperlihatkan pada Tabel 8 dan 9. Tabel 10 menunjukkan hasil simulasi menggunakan *software PLAXIS* untuk menentukan besarnya faktor keamanan (FK) .

Tabel 8. Sifat Fisik Tanah

No.	Parameter	Satuan	Nilai
1	Berat isi basah (γ_t)	kN/m ³	17,15
2	Berat isi kering (γ_d)	kN/m ³	12,20
3	Specific gravity (G_s)	-	2,648
4	Batas cair (LL)	%	68,47
5	Batas plastis (PL)	%	32,55
6	Indeks plastisitas (PI)	%	35,92
7	Angka pori (e)	-	0,998
8	Persen lempung, < 0,005 mm	%	41,12
9	Persen lanau, 0,005 – 0,075 mm	%	38,91

No.	Parameter	Satuan	Nilai
10	Persentase pasir, 0,075 – 4,75 mm	%	19,97
11	Klasifikasi tanah USCS	-	CH (Clayey Soil)
12	Klasifikasi tanah AASHTO	-	A-7-5 (Clayey Soil)

Tabel 9. Sifat Mekanis Tanah

No.	Parameter	Satuan	Nilai
1	Kohesi (c)	kg/cm ²	0,33
2	Sudut geser dalam (ϕ)	°	21,506
3	Kadar air optimum (OMC)	%	33,95
4	Berat isi kering maksimum (γ_{dmax})	kg/m ³	1,339

Tabel 10. Angka Keamanan Tanah

Kemiringan lereng	Musim	FK
20°	Hujan	4,599
	Kemarau	5,390
40°	Hujan	2,015
	Kemarau	2,346
60°	Hujan	1,181
	Kemarau	1,343

4. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian sifat fisik tanah, hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa tanah di lokasi tersebut memiliki karakteristik sebagai tanah ekspansif, ditandai dengan nilai batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI) yang tinggi, serta kandungan partikel halus yang signifikan. Jenis tanah lokasi studi berdasarkan nilai aktivitas (A), maka dapat dikategorikan sebagai tanah ekspansif dengan batas-batas konsistensi umumnya sering terjadi pada lapisan lempung dan/ atau terkomposisi dengan lanau berplastisitas tinggi. Plastisitas tinggi mengakibatkan tekanan ke atas (*uplift pressure*) di lokasi studi, sehingga badan jalan menjadi rusak. Penataan drainase sangat diperlukan demi menghindari lapisan tanah ekspansif dari proses infiltrasi selama musim hujan.

Hasil pemodelan menunjukkan bahwa nilai angka keamanan (FK) bervariasi tergantung pada kemiringan lereng dan juga kadar air tanah atau pengaruh musim. Dengan menggunakan metode elemen hingga lereng dengan kemiringan 20°, 40°, dan 60° masih aman dan memenuhi nilai angka keamanan yang disyaratkan.

Terdapat beberapa langkah yang dapat dilakukan untuk meningkatkan keakuratan dan efektivitas analisis. Peningkatan jumlah sampel tanah dalam pengujian laboratorium diperlukan agar data yang diperoleh lebih akurat. Selain itu, penggunaan sampel tanah tidak terganggu (*undisturbed*) disarankan untuk memperoleh hasil yang lebih representatif terhadap kondisi di lapangan. Akurasi pemodelan dalam perangkat lunak *software PLAXIS* juga dapat ditingkatkan dengan menambahkan data dari pengujian lainnya, seperti pengujian konsolidasi. Untuk mengatasi perubahan

volume tanah, diperlukan sistem drainase yang memadai serta penguatan struktural yang sesuai. Dengan menerapkan langkah-langkah ini, diharapkan pengelolaan tanah ekspansif dapat dilakukan secara optimal guna meningkatkan keamanan dan keberlanjutan infrastruktur di wilayah tersebut.

Perubahan dari musim hujan ke kemarau dan sebaliknya, akan menimbulkan siklus basah-kering yang mengakibatkan adanya bagian yang mengalami saat-saat kering di dekat permukaan dan terjadinya retakan akibat proses pembasahan dan/ atau pengeringan. Untuk pertimbangan desain, besarnya pengembangan yang dapat ditolerir sesuai jenis konstruksi perkerasan perlu diperkirakan. Perlu diketahui pula batasan perbedaan penurunan konstruksi perkerasan yang diizinkan.

Daftar Rujukan

- [1] H. C. Hardiyatmo, *Mekanika tanah I*, 3rd ed. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2002.
- [2] United States Geological Survey (USGS), "What is Soil?"
- [3] T. H. Al-Yaqoub, J. Parol, and D. Znidarcic, "Experimental investigation of volume change behavior of swelling soil," *Appl Clay Sci*, vol. 137, pp. 22–29, Mar. 2017, doi: 10.1016/J.CLAY.2016.11.018.
- [4] T. Daniel, Indarto, and S. R.A.A., "The Effects of Water Content Variation on Adhesion Factor of Pile Foundation in Expansive Soil," *Civil Engineering Dimension*, vol. 15, no. 2, Sep. 2013, doi: 10.9744/ced.15.2.114-119.
- [5] "American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)," 1981
- [6] American Society of Civil Engineers (ASCE), "Soil Mechanics Overview."
- [7] L. D. Jones and I. Jefferson, "Expansive soils. ICE Manual of Geotechnical Engineering: Second Edition, 1, 447–477," pp. 447–477, 2012.
- [8] K. Terzaghi, *Theoretical Soil Mechanics*. John Wiley & Sons. 1943.
- [9] J. E. Bowles, *Foundation analysis and design*. McGraw-Hill, 1996.
- [10] B. M. Das, *Principles of Geotechnical Engineering*. 2010.
- [11] ASTM International, "ASTM D4318-17: Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils," West Conshohocken, 2017.
- [12] ASTM International, "Standard Test Method for Particle-Size Distribution (Gradation) of Fine-Grained Soils Using the Sedimentation (Hidrometer) Analysis, ASTM D7928-21," West Conshohocken, 2021.
- [13] ASTM International, "D2487 - 17: Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)," 2017 doi: 10.1520/D2487-17.
- [14] American Association of State Highway and Transportation Officials, "Standard specification for classification of soils and soil-aggregate mixtures for highway construction purposes," 1991
- [15] Skempton, "International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. The Colloidal 'Activity' of Clays L'Activité colloïdale des argiles," 1953, [Online]. Available: <https://www.issmge.org/publications/online-library>
- [16] H. B. Seed, R. J. Woodward, and R. Lundgren, "Prediction of Swelling Potential for Compacted Clays. Journal of Soil Mechanics and Foundation Engineering Division, 88, 53-87," 1962.
- [17] ASTM International, "Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort, ASTM D698-21," West Conshohocken, 2021.
- [18] ASTM International, "Standard Test Method for Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils, ASTM D2850-21," West Conshohocken, 2021.



Perkuatan Tanah Gambut Ambarawa dengan Cerucuk Menggunakan Pemodelan *Finite Element Method*

Chyntia Helmalia Br S. Milala¹, Dora Melati Nurita Sandi², Mirza Ghulam Rifqi³

¹Teknik Sipil, Politeknik Negeri Banyuwangi

¹chyntiahelmalia@gmail.com, ²doranurita@poliwangi.ac.id*, ³mirza@poliwangi.ac.id

Abstract

Peat soils, which are mainly composed of semi-decayed plant remains, usually have high compressibility and low bearing capacity. The high compressibility and low bearing capacity mean that peat soil must be improved if construction is to be built on it. Research was conducted to find a method for soil improvement. Improvements were made by reinforcing the peat with bamboo stakes using the finite element method modeling. In the results of modeling and calculations using software based on the finite element method, the Ambarawa peat soil, before reinforcement with a bamboo stakes at a 5-day time interval, obtained a total deformation value of 7.18 m. After a 5-day interval, the soil collapsed due to its low bearing capacity, preventing further calculations and leaving the safety number unknown. In the Ambarawa peat soil after reinforcement with a bamboo stakes planned 8 m long bamboo stakes and a distance of 1 m between bamboo stakes based on calculations using finite element method modeling at a time interval of 5 days, the total deformation value was obtained at 3.98 m, a time interval of 10 days at 4.46 m, a time interval of 15 days at 4.46 m. Based on the known deformation value, the maximum safety value of this modeling was obtained at a time interval of 30 days, with a value of 1.173.

Keywords: Bamboo Stakes, Finite Element Method, Peat Soil.

Abstrak

Tanah gambut dimana pembentuk utamanya dari sisa-sisa tumbuhan setengah membusuk, biasanya memiliki kompresibilitas tinggi dan daya dukung rendah. Nilai kompresibilitas yang tinggi dan daya dukung yang rendah mengakibatkan tanah gambut harus diperbaiki jika ingin dibangun konstruksi diatasnya. Sehingga penelitian dilakukan untuk mendapatkan metode perbaikan tanah. Perbaikan dengan melakukan perkuatan dengan cerucuk menggunakan pemodelan *finite element method*. Dalam hasil pemodelan dan perhitungan menggunakan software berbasis *finite element method* tanah gambut Ambarawa sebelum dilakukan perkuatan dengan cerucuk pada interval waktu 5 hari didapatkan nilai deformasi total sebesar 7,18 m. Pada interval waktu 5 hari tanah mengalami runtuh (*collapse*) dikarenakan daya dukung tanah yang kecil sehingga perhitungan tidak dapat dilanjutkan dan nilai angka keamanan tidak dapat diketahui. Pada tanah gambut Ambarawa setelah dilakukan perkuatan dengan cerucuk yang direncanakan panjang cerucuk 8 m dan jarak antar cerucuk 1 m berdasarkan perhitungan menggunakan pemodelan *finite element method* pada interval waktu 5 hari didapatkan nilai deformasi total sebesar 3,98 m, interval waktu 10 hari sebesar 4,46 m, interval waktu 15 hari sebesar 4,46 m. Berdasarkan nilai deformasi yang telah diketahui nilai angka keamanan maksimal pemodelan ini diperoleh pada interval waktu 30 hari sebesar 1,173.

Kata kunci: Cerucuk, *Finite Element Method*, Tanah Gambut.

Diterima Redaksi : 2024-09-09 | Selesai Revisi : 2024-11-12 | Diterbitkan Online : 2025-11-12

1. Pendahuluan

Tanah gambut biasanya dihubungkan dengan material alam yang memiliki kompresibilitas yang tinggi dan kuat geser yang rendah. Material tanah gambut terdiri dari jaringan nabati yang memiliki tingkat pembusukan yang bervariasi. Permasalahan pada tanah gambut dimana pembentuk utamanya terdiri dari sisa-sisa tumbuhan

yang setengah membusuk, yang biasanya memiliki kompresibilitas yang tinggi dan daya dukung yang rendah, sehingga sulit untuk didirikan konstruksi di atasnya. Sifat lain dari tanah gambut adalah sifat mengering yang tidak kembali (*irreversible drying*) sehingga mengakibatkan penurunan permukaan tanah. Perlu dilakukan perkuatan terhadap tanah gambut



Lisensi
Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional

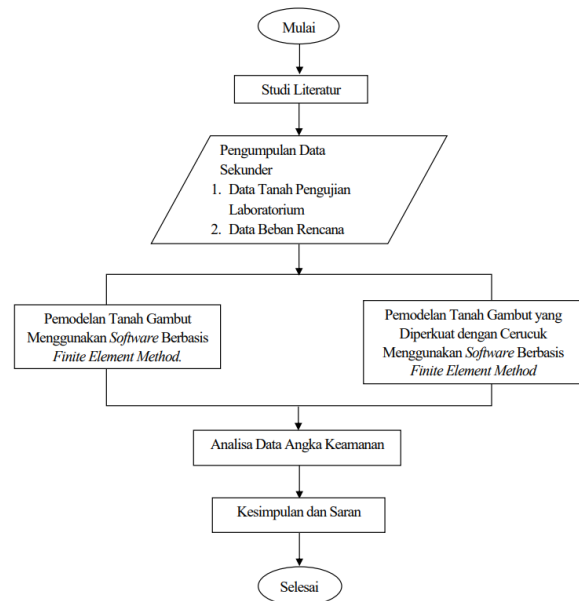
sehingga dapat meningkatkan daya dukung dan mengurangi sifat kompresibilitas yang tinggi. Beberapa penelitian telah dilakukan terkait dengan perkuatan tanah gambut. Penelitian perkuatan tanah gambut dengan menggunakan bambu terhadap daya dukung pondasi dangkal, dimana penelitian dilakukan dengan pemodelan laboratorium pondasi dengan bahan pelat besi. Ukuran dimensi pemodelan yaitu 15 cm x 15 cm x 2 cm. Pemodelan perkuatan dengan material bambu menggunakan pola anyaman dan grid diterapkan pada tanah gambut. Kemudian dilakukan test pembebanan, dan dicatat nilai penurunannya [1]. Penelitian terhadap perkuatan gambut dilakukan dengan menggunakan terpal dan grid bambu, pengujian dilakukan dengan menggunakan dongkrak hidraulis, LVDT dan data Logger [2]. Penelitian perkuatan tanah gambut dengan menggunakan tanah non organik dan semen. Perbandingan komposisi tanah gambut dengan tanah non organik adalah 40%:60%. Pengujian sampel meliputi pengujian sifat fisik dan pengujian mekanis berupa berat jenis, pemadatan standar dan CBR dan melakukan perbandingan antara sesudah dan sebelum penelitian [3]. Studi analisa perilaku interaksi tanah gambut terhadap geotekstil dilakukan untuk mengkaji efektivitas perkuatan geotekstil pada tanah gambut. Metode yang digunakan adalah metode eksperimen skala laboratorium dengan kondisi benda uji tidak terendam air [4]. Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan terkait perkuatan tanah gambut, sehingga dilakukan penelitian perkuatan tanah gambut Ambarawa menggunakan cerucuk bambu metode yang digunakan dengan pemodelan berbasis *finite element method*.

Pengujian parameter tanah gambut Ambarawa dilakukan dengan pengujian konsolidasi, dihasilkan nilai kompresibilitas yang tinggi dengan nilai rata-rata 0,430473, *index swelling* dengan nilai rata-rata 0,00441. Tanah gambut memiliki tekstur yang terbuka dimana selain pori-pori makro, tekstur tanah gambut juga didominasi oleh pori-pori mikro yang berada di dalam serat gambut [5]. Karena tanah gambut memiliki daya dukung yang rendah dan penurunan yang besar maka kondisi ini menjadi masalah utama bagi struktur yang akan dibangun diatasnya. Agar dapat memanfaatkan tanah gambut Ambarawa sebagai lahan konstruksi, perlu dilakukan perbaikan terhadap sifat-sifat tanah yang kurang baik, salah satunya yaitu dengan cara perkuatan tanah dengan cerucuk menggunakan pemodelan dengan *software* berbasis *finite element method* [6]. Pada penelitian ini perkuatan tanah menggunakan cerucuk menggunakan pemodelan *finite element method*. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan *software* berbasis *finite element method* yang merupakan salah satu program aplikasi komputer berdasarkan metode elemen hingga dua dimensi yang digunakan secara khusus untuk menganalisis deformasi dan stabilitas dalam bidang geoteknik. Metode yang dapat diaplikasikan dengan menyusun cerucuk dengan cara memasukkan secara vertikal pada tanah guna agar daya

dukung tanah meningkat jika diberi beban diatasnya menjadi kuat dan stabil [7] [8].

2. Metode Penelitian

Penelitian pemodelan tanah gambut Ambarawa dengan cerucuk menggunakan pemodelan *finite element method* dilakukan dengan beberapa tahapan yang disajikan dalam bentuk *flowchart*. *Flowchart* ini dapat mempermudah pemahaman dan pelaksanaan penelitian agar efisien. Adapun *flowchart* penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Penelitian

2.1. Studi Literatur

Studi literatur dapat dilakukan sebagai pekerjaan awal ialah mengumpulkan materi serta metode yang digunakan dalam penelitian melalui literatur buku, jurnal, artikel dan penelitian terdahulu yang sejenis dan berhubungan dengan judul yang akan diambil. Tinjauan Pustaka dilakukan untuk menjelaskan teori penunjang yang diperlukan dalam menganalisis penelitian, terutama yang berkaitan dengan nilai parameter tanah, angka keamanan tanah.

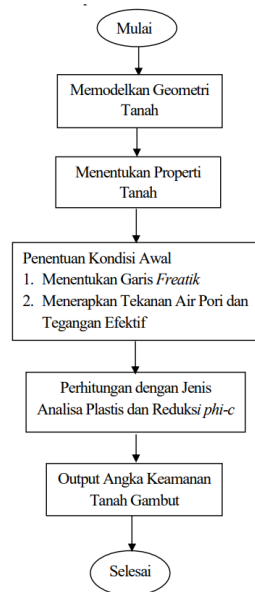
2.2. Pengumpulan Data Sekunder

Data yang digunakan dalam pengerjaan penelitian ini adalah data sekunder yang terdiri dari data tanah dari penelitian laboratorium, data beban rencana dan data properties cerucuk.

2.3. Pemodelan Tanah Gambut Menggunakan Software Berbasis Finite Element Method

Pada tahap ini maka pemodelan geometri dari tanah dapat dilakukan dengan pola pemodelan sesuai dengan lapisan tanah dengan kedalaman tanah gambut 3 m dan tanah asli 7 m [9]. Berikut merupakan *flowchart*

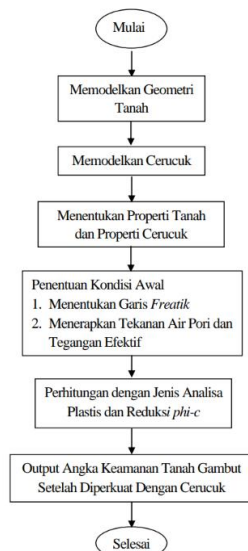
pemodelan tanah asli menggunakan *software* berbasis *finite element method* pada Gambar 2.



Gambar 2. Flowchart Pemodelan Tanah Gambut Tanpa Perkuatan

2.4. Pemodelan Tanah Gambut Yang Diperkuat Dengan Cerucuk Menggunakan *Software* Berbasis *Finite Element Method*

Pada tahap ini pemodelan tanah dengan cerucuk menggunakan diameter 10 cm, panjang cerucuk 8 m dan jarak antara cerucuk 1 m. Berikut merupakan flowchart pemodelan tanah yang diperkuat dengan cerucuk menggunakan *software* berbasis *finite element method* pada Gambar 3.



Gambar 3. Flowchart Pemodelan Tanah Gambut dengan Perkuatan Cerucuk Bambu

2.5. Analisa Data Angka Keamanan

Faktor keamanan dalam mekanika tanah yaitu perbandingan antara kuat geser yang tersedia terhadap kuat geser yang dibutuhkan untuk mencapai ekuilibrium.

Software berbasis *finite element method* dapat digunakan untuk menghitung faktor keamanan ini dengan menggunakan prosedur Reduksi *phi-c*.

2.6. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dapat berupa hasil angka keamanan perkuatan tanah gambut Ambarawa dengan cerucuk menggunakan metode *finite element method*. Saran pada penelitian ini dapat berupa rekomendasi untuk pengembangan penelitian lebih lanjut.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Data Tanah

Parameter yang digunakan berdasarkan data laboratorium dan korelasi dapat dilihat Tabel 1.

Tabel 1. Data Lapisan Tanah.

Parameter	Simbol	Kedalaman		Satuan
		0-3 m	3-10 m	
Jenis Tanah		Gambut	Tanah Asli	
Berat Isi Tanah Jenuh	γ_{sat}	12,5	15,8	kN/m ³
Berat Isi Tanah Tak Jenuh	γ_{dry}	2,7	14,8	kN/m ³
Permeabilitas	k	0	0	m/day
Angka Poisson	ν	0,35	0,35	-
Modulus Elastisitas	E	500	3105	kN/m ²
Kohesi	c	0,882	2,5	kN/m ²
Sudut Geser	ϕ	48,8	22,5	-

3.2. Data Cerucuk

Data propertis cerucuk, diambil dari data sekunder. Cerucuk yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis bambu petung dengan spesifikasi sebagai berikut:

Diameter : 10 cm
Modulus Elastisitas : 12888477 kN/m²
Berat : 0,17 gr/cm³
Angka Poisson : 0,091

Adapun data hasil pengolahan sebagai hasil yang akan dimasukkan kedalam program *finite element method* sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Momen inersia cerucuk} &= \pi/64 \times D^4 \\ &= \pi/64 \times 0,1^4 \\ &= 4,90625 \times 10^{-6} \text{ m}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas penampang cerucuk} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 0,1^2 \\ &= 0,00785 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kekakuan aksial (EA)} &= \text{Modulus elastisitas} \times \text{luas penampang} \\ &= 12888477 \times 0,00785 \\ &= 101174,54445 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kekakuan lendutan (EI)} &= \text{Modulus elastisitas} \times \text{momen inersia cerucuk} \\ &= 12888477 \times 4,90625 \times 10^{-6} \end{aligned}$$

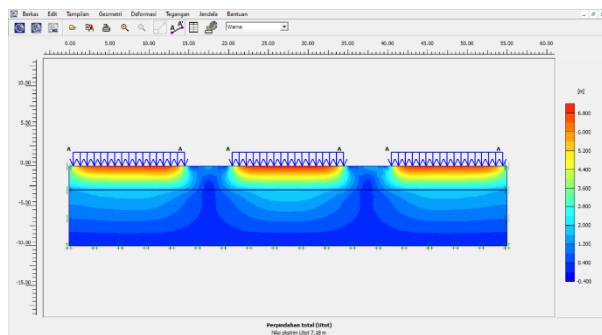
$$= 63,23409028 \text{ kN/m}^2/\text{m}$$

3.3. Data Pembebanan

Perhitungan pembebanan yang digunakan pada proyek akhir ini diperoleh dari perhitungan struktur beban rumah sederhana ukuran 14 m x 7 m dan jarak antar rumah pada pemodelan ini 6 m, dengan beban yang bekerja pada rumah sederhana yang dihitung adalah beban hidup dan beban mati. Dari hasil perhitungan pembebanan yang dilakukan didapatkan hasil beban sebesar 1324,21 kN.

3.4 Pemodelan Tanah Gambut Sebelum Diperkuat dengan Cerucuk

Hasil perhitungan deformasi dalam 5 hari secara total menggunakan program *finite element method* sebesar 7,18 m dapat dilihat pada Gambar 4.

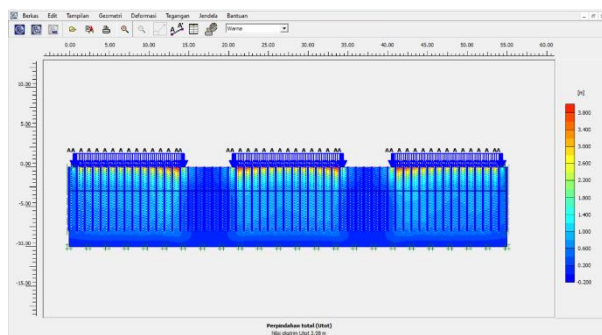


Gambar 4. Deformasi 5 Hari

Dikarenakan perhitungan pada pemodelan tanah gambut ini sudah terjadi *collapse* pada interval waktu 5 hari maka perhitungan tidak dapat dilanjutkan ke tahap berikutnya dan nilai angka keamanan tidak dapat diketahui. Nilai angka keamanan dapat dihitung jika *soil body* tidak mengalami keruntuhan.

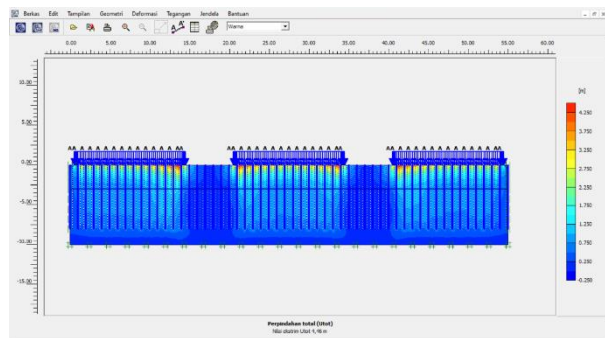
3.5 Pemodelan Tanah Gambut Setelah Diperkuat dengan Cerucuk

Dengan memodelkan cerucuk yang direncanakan panjang cerucuk 8 m dan jarak antar cerucuk 1 m, hasil perhitungan deformasi dalam 5 hari secara total menggunakan program *finite element method* sebesar 3,98 m dapat dilihat pada Gambar 5.



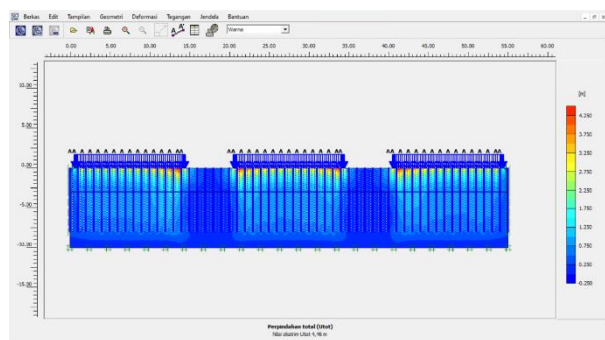
Gambar 5. Deformasi 5 Hari

Hasil perhitungan deformasi dalam 10 hari secara total menggunakan program *finite element method* sebesar 4,46 m dapat dilihat pada Gambar 6.



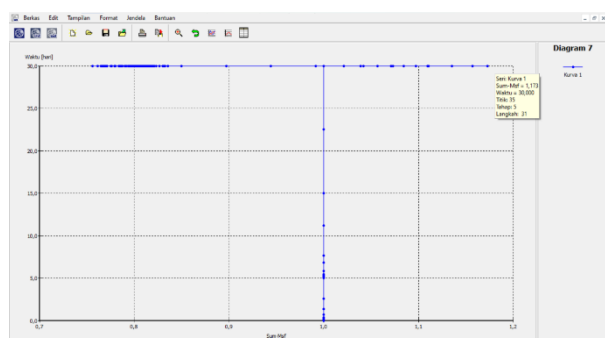
Gambar 6. Deformasi 10 Hari

Hasil perhitungan deformasi dalam 15 hari secara total menggunakan program *finite element method* sebesar 4,46 m dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Deformasi 15 Hari

Angka keamanan pada pemodelan ini berada pada interval waktu 30 hari merupakan hasil angka keamanan maksimal pada pemodelan ini. Dengan menunjukkan kurva didapatkan angka keamanan sebesar 1,173 yang dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Angka Keamanan

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan perkuatan tanah gambut Ambarawa dengan cerucuk menggunakan pemodelan *finite element method* dapat disimpulkan. Hasil deformasi tanah gambut Ambarawa sebelum dilakukan perkuatan dengan cerucuk berdasarkan perhitungan menggunakan pemodelan *finite element method* pada

interval waktu 5 hari didapatkan nilai deformasi total sebesar 7,18 m. Pada interval waktu 5 hari tanah mengalami runtuh (*collapse*) dikarenakan daya dukung tanah yang terlalu kecil oleh karena itu perhitungan tidak dapat dilanjutkan sehingga nilai angka keamanan tidak dapat diketahui. Hasil deformasi tanah gambut Ambarawa setelah dilakukan perkuatan dengan cerucuk yang direncanakan panjang cerucuk 8 m dan jarak antar cerucuk 1 m berdasarkan perhitungan menggunakan pemodelan *finite element method* pada interval waktu 5 hari didapatkan nilai deformasi total sebesar 3,98 m, pada interval waktu 10 hari sebesar 4,46 m, pada interval waktu 15 hari sebesar 4,46 m. Berdasarkan nilai deformasi yang telah diketahui nilai angka keamanan maksimal pada pemodelan ini diperoleh pada interval waktu 30 hari sebesar 1,173.

Banjar," in *Seminar Nasional Infrastruktur Berkelanjutan*, Malang, 2019.

- [5] J. E. Bowles, *Sifat-Sifat Fisis Dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*, Jakarta: Erlangga, 2013.
- [6] A. Gazali, M. G. Perdana and T. A. Rachman, "Studi Evaluasi Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal Berdasarkan Data CPT Pembangunan Gedung Baru Uniska Handil Bakti Kabupaten Barito Kuala," *Jurnal Kacapuri*, 2021.
- [7] H. W. S. A. Laily Endah Fatmawati, "Analisis Perbaikan Tanah Dasar Menggunakan Metode Cerucuk (Mikropile)," *Jurnal Sondir*, pp. 3-6, 2023.
- [8] E. S. A. W. F. Dora Melati Nurita Sandi, "Perencanaan Pondasi Apung Untuk Tanah Lunak Dusun Glagah Agung Kabupaten Banyuwangi," *Jurnal Rekayasa Sipil Dan Lingkungan*, 2019.
- [9] Siemon, "Prediksi Penurunan Tanah Akibat Beban Bangunan Rumah Sakit Bhayangkara TK.III Nganjuk," *Politeknik Negeri Banyuwangi, Banyuwangi*, 2023.

Daftar Rujukan

- [1] S. M. R. D. F. H. B. A. R. K. R. Yulindasari Sutejo, "Pemodelan Perkuatan Menggunakan Bambu Untuk Daya Dukung Pondasi Dangkal Pada Tanah Gambut," *Jurnal Penelitian dan Kajian Bidang Teknik Sipil*, vol. 9, no. 2, pp. 109-114, 2020.
- [2] F. Ramli, "Penggunaan Terpal dan Grid Bambu Sebagai Alternatif Perbaikan Tanah Terhadap Penurunan Pondasi Dangkal Pada Tanah Gambut," *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, vol. 2, no. 3, pp. 343-349, 2014.
- [3] M. A. Masrur, "Potensi Perkuatan Tanah Gambut dengan Penambahan Tanah Non Organik dan Semen," *Indonesian Journal of Civil Engineering Education*, vol. 8, no. 2, pp. 9-18, 2022.
- [4] I. S. D. P. H. Muhammad Fitriansyah, "Perilaku Interaksi Tanah Gambut-Geotekstil Studi Kasus di Tanah Gambut, Kabupaten



Evaluasi Efektivitas Drainase Jalan Kusuma Bangsa dalam Mengatasi Intensitas Banjir Tahunan dan Strategi Mitigasi Genangan Air di Kabupaten Lamongan

Nur Azizah Affandy¹, Yuniar Eka Andhika²

^{1,2}Prodi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Lamongan

¹nurazizah@unisla.ac.id *, ²andhikayuniareka@gmail.com

Abstract

The increasing urban growth in Lamongan Regency, Indonesia, has led to various issues and challenges related to stormwater management and flood risk in Lamongan District, particularly along Kusuma Bangsa Street. This study aims to evaluate the drainage system on Kusuma Bangsa Street by analyzing the capacity of drainage channels using a hydrological and hydraulic analysis approach. Rainfall data with return periods of 2, 5, and 10 years were used to estimate flood discharge. The results indicate that the flood risk in the area has significantly increased, as most existing drainage channels are unable to accommodate the planned flood discharge. Poor maintenance and excessive waste accumulation in certain sections of the channels further reduce the drainage system's capacity. This evaluation is crucial for formulating strategies to improve drainage channels, mitigate flood risk, and enhance the resilience of urban infrastructure in Lamongan District. Flood risk mitigation strategies for this road include redesigning critical drainage sections, implementing green infrastructure solutions to enhance water absorption and reduce surface runoff, and adopting a routine maintenance schedule. These measures are expected to provide a more sustainable approach to urban flood risk management and support the sustainable development of the region.

Keywords: Drainage System, Flood, Hydrological, Hydraulic

Abstrak

Pertumbuhan perkotaan yang meningkat di Kabupaten Lamongan, Indonesia, telah menyebabkan berbagai masalah dan tantangan terkait pengelolaan air hujan dan risiko banjir di Kecamatan Lamongan, khususnya di sepanjang Jalan Kusuma Bangsa. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi sistem drainase di Jalan Kusuma Bangsa dengan menganalisis kapasitas saluran drainase menggunakan pendekatan analisis hidrologi dan hidraulik. Data curah hujan dengan periode ulang 2 tahun, 5 tahun, dan 10 tahun digunakan untuk memperkirakan debit banjir. Hasil penelitian menunjukkan bahwa risiko banjir di wilayah tersebut meningkat secara signifikan karena sebagian besar saluran drainase yang ada tidak mampu menampung debit banjir yang direncanakan. Pemeliharaan yang buruk dan banyaknya sampah di beberapa bagian saluran lebih lanjut mengurangi kapasitas sistem drainase. Evaluasi ini sangat penting untuk merumuskan strategi peningkatan saluran drainase guna mengurangi risiko banjir dan meningkatkan ketahanan infrastruktur perkotaan di Kecamatan Lamongan. Strategi mitigasi risiko banjir di jalan ini mencakup perancangan ulang bagian saluran drainase yang kritis, penerapan solusi infrastruktur hijau untuk meningkatkan penyerapan air dan mengurangi limpasan permukaan, serta mengadopsi jadwal pemeliharaan rutin. Langkah-langkah ini diharapkan dapat memberikan pendekatan yang lebih berkelanjutan dalam mengelola risiko banjir perkotaan dan mendukung pengembangan wilayah secara berkelanjutan.

Kata kunci: Sistem Drainase, Banjir, Hidrologi, Hidrolika.

Diterima Redaksi : 2024-12-16 | Selesai Revisi : 2025-04-11 | Diterbitkan Online : 2025-11-12

1. Pendahuluan

Indonesia sedang mengalami perkembangan signifikan di sektor industri, yang berdampak pada meningkatnya aktivitas penduduk dan penggunaan lahan. Pertumbuhan urbanisasi yang cepat menyebabkan perubahan dalam penggunaan lahan, yang sering kali berdampak negatif pada sistem

drainase [1]. Sistem drainase yang tidak memadai dapat meningkatkan risiko banjir, terutama di daerah dengan tingkat urbanisasi yang tinggi [2]. Oleh karena itu, perhatian dan perbaikan sistem drainase sangat penting untuk mengurangi risiko banjir serta meningkatkan kesadaran masyarakat akan pentingnya sistem drainase yang efektif [3].



Kabupaten Lamongan, di Jawa Timur, merupakan salah satu daerah yang sering menghadapi masalah banjir, terutama di Jalan Kusuma Bangsa. Setiap tahun, daerah ini mengalami genangan air yang signifikan selama musim hujan, yang menyebabkan berbagai masalah yang memengaruhi aktivitas ekonomi, pelayanan, dan operasional pemerintahan [4]. Genangan air tidak hanya mengganggu aktivitas sehari-hari tetapi juga menurunkan kinerja jalan dan merusak infrastruktur di sekitarnya. Situasi ini menghambat transportasi darat dan berdampak negatif pada perekonomian lokal [5].

Masalah banjir di Jalan Kusuma Bangsa sebagian besar disebabkan oleh sistem drainase yang tidak efektif. Beberapa saluran drainase di area ini tidak berfungsi dengan baik akibat kurangnya pemeliharaan dan endapan limbah yang menghalangi aliran air. Saat hujan deras turun, volume air meningkat secara signifikan, dan saluran drainase yang ada tidak dapat menampung aliran air, menyebabkan air meluap ke jalan. Kondisi ini diperburuk oleh sedimentasi dan limbah yang menyumbat saluran drainase utama [6].

Penelitian sebelumnya telah mengidentifikasi berbagai faktor yang berkontribusi terhadap masalah banjir di kawasan perkotaan, termasuk sistem drainase yang tidak memadai dan kurangnya pemeliharaan rutin, serta dampak signifikan dari urbanisasi dan perubahan penggunaan lahan terhadap kapasitas drainase [5], [7]. Dalam konteks ini, evaluasi terhadap sistem drainase yang ada di Jalan Kusuma Bangsa sangat penting untuk memahami kondisi saat ini dan mencari solusi yang efektif untuk mengatasi masalah banjir dan genangan air [8].

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi sistem drainase di Jalan Kusuma Bangsa guna memahami kondisinya saat ini dan merumuskan upaya mitigasi banjir yang efektif. Dengan melakukan evaluasi yang komprehensif, solusi praktis dapat diidentifikasi dan diterapkan untuk meningkatkan kinerja sistem drainase dan mengurangi risiko banjir di masa depan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan terhadap perencanaan infrastruktur yang lebih baik dan mitigasi risiko banjir di Kabupaten Lamongan.

2. Metodologi Penelitian

Langkah pertama dalam penelitian ini melibatkan pengumpulan data, termasuk data primer dan sekunder. Data primer mencakup data pengukuran saluran, yang memberikan informasi rinci tentang dimensi fisik dan kondisi saluran drainase. Data sekunder mencakup informasi komprehensif seperti data sistem drainase yang ada, catatan kejadian banjir, peta stasiun hujan, peta lokasi, data curah hujan historis, dan informasi penggunaan lahan. Data ini secara kolektif memberikan pemahaman menyeluruh tentang karakteristik hidrologi dan infrastruktur area

studi, yang penting untuk analisis dan evaluasi yang efektif.

2.1 Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi diperlukan untuk memperoleh nilai limpasan awal sebelum menghitung analisis hidrolika [9], [10]. Langkah-langkah analisis hidrologi meliputi: Pertama, penentuan stasiun utama dilakukan dengan mengumpulkan data curah hujan harian maksimum selama 20 tahun dari stasiun Lamongan serta melakukan uji konsistensi dan homogenitas. Selanjutnya, analisis Curah Hujan Harian Maksimum (CHHM) menggunakan metode Distribusi Gumbel, Log Pearson Tipe III, dan Normal untuk periode ulang 20 tahun. Data curah hujan yang terpilih kemudian diuji kembali kesesuaiannya menggunakan metode Chi-Square. Setelah itu, analisis intensitas hujan dilakukan menggunakan metode Hasper Der Weduwen. Akhirnya, perhitungan intensitas hujan dilakukan dengan metode Talbot, Sherman, dan Ishiguro, diikuti dengan pembuatan Kurva Intensitas, Durasi, Frekuensi (IDF).

2.2 Analisis Hidrolika

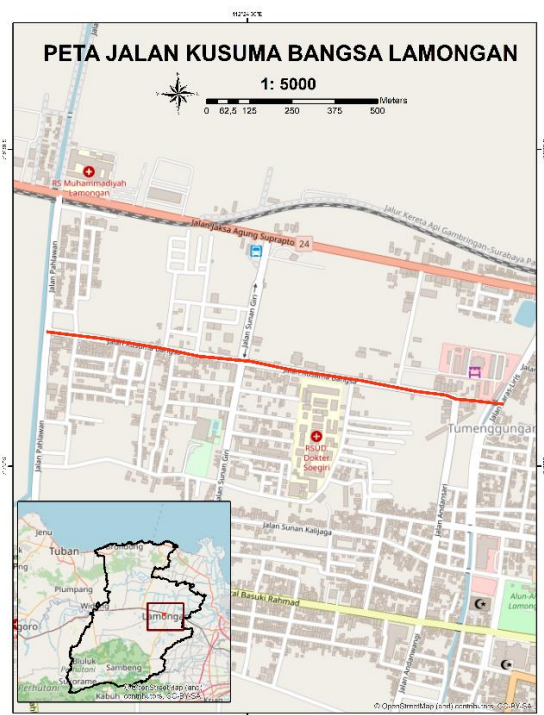
Perhitungan kapasitas saluran yang ada dilakukan untuk menentukan daya tampung saluran dalam kondisi fisik yang ditemukan di Jalan Kusuma Bangsa, Kabupaten Lamongan. Hasil analisis hidrolika meliputi beberapa tahap: Pertama, menghitung daerah tangkapan air dan koefisien limpasan untuk menentukan jumlah air hujan yang menjadi limpasan. Kedua, perhitungan debit rencana didasarkan pada intensitas hujan dan daerah tangkapan untuk menentukan jumlah air yang harus ditampung oleh saluran. Ketiga, perhitungan dimensi saluran dilakukan untuk memastikan saluran memiliki kapasitas yang memadai untuk menampung debit rencana, sehingga dapat mencegah genangan atau banjir di daerah tersebut.

2.3 Evaluasi Sistem Drainase

Evaluasi Sistem Drainase dilakukan di Jalan Kusuma Bangsa sebagai langkah untuk memahami kapasitas saluran yang ada guna merancang perlindungan banjir. Evaluasi ini bertujuan untuk menentukan kemampuan saluran drainase dalam menangani banjir sesuai dengan desain yang ditentukan [11]. Normalisasi saluran menjadi salah satu langkah dalam evaluasi ini, di mana saluran drainase yang ada didesain ulang untuk menampung debit banjir rencana. Normalisasi saluran dilakukan dengan memperlebar dan/atau meluruskan saluran sesuai kondisi topografi dan ketersediaan lahan. Selain itu, kolam retensi merupakan alternatif yang dapat digunakan jika solusi normalisasi tidak memungkinkan di lapangan. Alternatif ini mendukung konsep sistem drainase berkelanjutan, yang menekankan keberlanjutan dan kesinambungan lingkungan dalam pengelolaan air hujan [9].

2.4 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Jalan Kusuma Bangsa, Kabupaten Lamongan, di pusat perkotaan Lamongan. Penelitian ini berfokus pada saluran drainase sepanjang 1.274 meter di sisi utara jalan dan 1.280 meter di sisi selatan jalan, yang dibagi menjadi 12 titik untuk analisis. Jalan Kusuma Bangsa dipilih karena fungsi drainase yang kurang optimal, menyebabkan genangan air di bahu jalan dan banjir. Masalah ini mengganggu aktivitas sehari-hari, merusak infrastruktur, dan berdampak negatif pada kesehatan masyarakat. Penelitian ini bertujuan untuk menemukan solusi efektif guna meningkatkan fungsi drainase dan mengurangi risiko banjir di area tersebut.



Gambar 1. Lokasi Penelitian di Jalan Kusuma Bangsa Kecamatan Lamongan Kabupaten Lamongan

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Analisis Hidrologi

Analisis ini menggunakan data curah hujan selama 10 tahun dari stasiun Lamongan, mencakup periode 2012 hingga 2021. Analisis hidrologi meliputi analisis data curah hujan, uji kesesuaian distribusi, analisis konsentrasi hujan, analisis intensitas hujan, dan analisis debit banjir rencana.

A. Analisis Data Curah Hujan

Analisis ini menggunakan data curah hujan untuk menentukan nilai rata-rata curah hujan tahunan dari stasiun hujan di Lamongan selama periode 10 tahun (2012–2021). Tiga metode yang digunakan dalam analisis ini adalah distribusi Gumbel, distribusi normal, dan distribusi log Pearson tipe III. Hasil analisis data curah hujan disajikan dalam tabel berikut:

DOI : <https://doi.org/10.52158/jaceit.v7i2.1077>

Tabel 1. Data Rata-Rata Curah Hujan

No	Tahun Observasi	CH rata-rata (mm)
1	2012	21,58
2	2013	50,67
3	2014	38,58
4	2015	30,75
5	2016	52,50
6	2017	42,25
7	2018	27,75
8	2019	32,17
9	2020	46,25
10	2021	42,42
ΣX_i		384,92

Tabel 1 menyajikan catatan selama satu dekade tentang data rata-rata curah hujan tahunan dari tahun 2012 hingga 2021 di stasiun Lamongan. Data ini menunjukkan variasi tingkat curah hujan setiap tahun, mulai dari 21,58 mm pada tahun 2012 hingga 52,50 mm pada tahun 2016, dengan total kumulatif sebesar 384,92 mm selama periode tersebut. Data ini, yang bersumber dari Balai Besar Bengawan Solo, sangat penting untuk mengevaluasi hidrologi regional, menilai pengelolaan sumber daya air, serta merencanakan pengendalian banjir dan praktik pertanian di daerah tersebut.

Tabel 2. Distribusi Normal Curah Hujan

Kala Ulang	Log X_r	K_t	$S_d \text{ Log } X_t$	Log X_t	X_t (mm)
2	1.57	0,00	0.188	0,0054	37,37
5	1.57	0,84	0.188	0,8474	47,37
10	1.57	1,28	0.188	1,2874	53,43
25	1.57	1,75	0.188	1,7564	61,43
50	1.57	2,05	0.188	2,0564	66,93

Tabel 2 merangkum data curah hujan dengan menggunakan model distribusi normal untuk berbagai periode ulang (2, 5, 10, 25, dan 50 tahun). Tabel ini mencakup rata-rata curah hujan ($X_r = 38,49$ mm), varian normal standar (K_t), simpangan baku ($S_d = 10,19$ mm), dan perkiraan nilai curah hujan (X_t dalam mm) yang sesuai dengan setiap periode ulang. Nilai-nilai ini sangat penting untuk menilai probabilitas banjir, perancangan infrastruktur, dan perencanaan pengelolaan sumber daya air di wilayah tersebut.

Tabel 3. Curah Hujan Distribusi Gumbel

Periode Ulang	X_r	K_t	S_d	X_t (mm)
2	38.49	-0.135	10.19	37,11
5	38.49	1.058	10.19	49,28
10	38.49	1.848	10.19	57,34
25	38.49	2.607	10.19	65,07
50	38.49	2.847	10.19	67,52

Tabel 3 menunjukkan data curah hujan dengan menggunakan distribusi Gumbel untuk berbagai periode ulang. Kolom dalam tabel mencakup periode ulang dalam tahun, rata-rata curah hujan (X_r), faktor frekuensi distribusi Gumbel (K_t), simpangan baku (S_d), dan perkiraan curah hujan (X_t) dalam milimeter

untuk setiap periode ulang. Seiring dengan meningkatnya periode ulang, nilai curah hujan (X_t) juga meningkat, menunjukkan bahwa kejadian curah hujan ekstrem lebih jarang terjadi tetapi diharapkan memiliki intensitas yang lebih tinggi.

Tabel 4. Curah Hujan Distribusi Log Pearson III

Periode Ulang	Log X_r	K_t	$S_d \text{ Log } X_t$	Log X_t	X_t (mm)
2	1,57	0,00	0,188	0,0054	37,37
5	1,57	0,84	0,188	0,8474	47,37
10	1,57	1,28	0,188	1,2874	53,43
25	1,57	1,75	0,188	1,7564	61,43
50	1,57	2,05	0,188	2,0564	66,93

Tabel 4 merangkum data curah hujan dengan menggunakan model distribusi Log Pearson III untuk berbagai periode ulang (2, 5, 10, 25, dan 50 tahun). Tabel ini mencakup parameter seperti Log X_r (logaritma dari rata-rata curah hujan), K_t (varian normal standar), $S_d \text{ Log } X_t$ (simpangan baku dari logaritma curah hujan), Log X_t (nilai logaritmik), dan X_t (perkiraan nilai curah hujan dalam mm). Nilai-nilai ini penting untuk menilai probabilitas curah hujan, merencanakan langkah-langkah mitigasi banjir, serta mengelola sumber daya air secara efektif di wilayah tersebut.

Tabel 5. Nilai Uji Dispersi Distribusi Frekuensi Curah Hujan

No	Jenis Distribusi	Syarat	Perhitungan	Kesimpulan
1	Normal	$C_s = 0$	-0,22	Tidak Memenuhi
		$C_k = 3$	2,12	Tidak Memenuhi
2	Log Person III	$C_s \neq 0$	-0,65	Memenuhi
		$C_k \neq 0$	-5,25	Memenuhi
3	Gumbel	$C_s = 1,14$	-0,22	Tidak Memenuhi
		$C_k = 5,4$	2,12	Tidak Memenuhi

Tabel 5. merupakan analisis distribusi frekuensi hujan dianalisis menggunakan berbagai metode, dengan metode Log-Pearson Tipe III yang dipilih. Pemilihan metode ini didasarkan pada hasil uji dispersi distribusi frekuensi curah hujan (Tabel 6).

Tabel 6. Rekapitulasi Analisa Frekuensi

Period	R_t (mm)		
	Normal	Gumbel	Log Person III
2	38.49	37,11	37,37
5	47.05	49,28	47,37
10	51.53	57,34	53,43
25	55.91	65,07	61,43
50	59.38	67,52	66,93

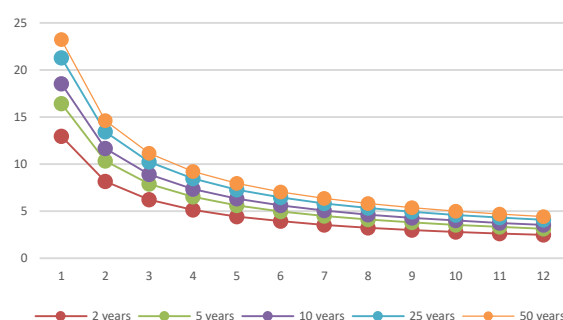
Uji Chi-Square dilakukan dengan membandingkan Chi-Square hitung (χ^2_h) dan Chi-Square kritis (χ^2_{cr}) berdasarkan derajat kebebasan (DK) pada tingkat kesalahan 5%. Jika $\chi^2_h < \chi^2_{cr}$, maka data curah hujan yang diuji cocok dengan distribusi Log Pearson III.

Perhitungan parameter statistik Chi-Square dilakukan untuk memastikan kesesuaian distribusi sebelum digunakan dalam analisis hidrologi.

Tabel 7. Perhitungan Uji Sebaran Chi Kuadrat

No	Kemungkinan	Jumlah Ei	Data Oi	$(E_i - O_i)^2 / (E_i - O_i)^2 / E_i$	
1	$17.738 < X < 25.463$	2	1	1	0.50
2	$25.463 < X < 33.188$	2	4	4	2.00
3	$33.188 < X < 40.913$	2	0	4	2.00
4	$40.913 < X < 48.638$	2	3	1	0.50
5	$48.638 < X < 56.363$	2	2	0	0.00
Jumlah		10	10	10	5.00

Dari Tabel 7 dapat diketahui bahwa $X_h^2 = 5.00$ yang mana sebelumnya telah diperoleh $X_{cr}^2 = 5,991$, sehingga parameter-parameter ini membuktikan bahwa data curah hujan ini benar mengikuti sebaran Distribusi Log Pearson Tipe III karena terbukti bahwa $X_h^2 < X_{cr}^2$.



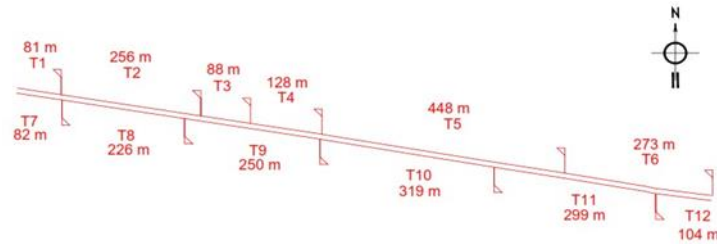
Gambar 2. Kurva Intensitas-Durasi-Frekuensi (IDF)

Gambar 2, yang disediakan menunjukkan data Intensitas-Durasi-Frekuensi (IDF), yang menggambarkan intensitas curah hujan (dalam mm/jam) untuk berbagai periode ulang (2, 5, 10, 25, dan 50 tahun) dan durasi (1 hingga 12 jam). Data ini menyoroti bahwa intensitas curah hujan lebih tinggi untuk durasi yang lebih pendek, yang kemudian menurun seiring dengan meningkatnya durasi. Misalnya, intensitas untuk durasi 1 jam berkisar antara 12,96 mm/jam (periode ulang 2 tahun) hingga 23,20 mm/jam (periode ulang 50 tahun), sedangkan untuk durasi 12 jam, berkisar antara 2,47 mm/jam hingga 4,43 mm/jam untuk periode ulang yang sama. Informasi IDF ini sangat penting untuk merancang sistem pengelolaan air hujan dan infrastruktur perkotaan, memastikan bahwa mereka dapat menangani berbagai kejadian curah hujan, sehingga mengurangi risiko banjir dan meningkatkan ketahanan terhadap kondisi cuaca ekstrem.

3.2 Analisa Hidrolika

A. Analisis Waktu Konsentrasi Hujan

Waktu konsentrasi hujan (t_c) dihitung untuk setiap saluran. Setiap saluran dianalisis secara terpisah karena memiliki penampang yang berbeda (Gambar 3).



Gambar 3. Detail Titik Batas

Hasil dari analisis ini ditampilkan pada Tabel 8.

$$T_c = 0,0195 \times L^{0,77} \times S^{-0,385}$$

$$= 0,0195 \times 81^{0,77} \times 0,02^{-0,385}$$

$$= 2,59 \text{ jam} \rightarrow 155,4 \text{ menit}$$

Tabel 8. Waktu Konsentrasi Hujan

	Nama Saluran	L	S	t_c (jam)
Kiri	1	81	0.02	2.59
	2	256	0.02	6.29
	3	88	0.02	2.76
	4	128	0.02	3.69
	5	448	0.02	9.67
	6	273	0.02	6.61
Kanan	7	82	0.02	2.62
	8	226	0.02	5.71
	9	250	0.02	6.17
	10	319	0.02	7.45
	11	299	0.02	7.09
	12	104	0.02	3.14

B. Analisis Intensitas Hujan

Intensitas hujan dianalisis menggunakan metode Mononobe. Analisis dilakukan untuk tiga periode ulang: 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun, dan 50 tahun. Data hujan yang digunakan diperoleh dari perhitungan metode distribusi Log Pearson III. Hasil analisis intensitas hujan untuk setiap saluran ditampilkan pada Tabel 9.

Analisis intensitas hujan untuk kala ulang 50 tahun dilakukan pada Titik 1.

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t_c} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$= \frac{66,93}{24} \left(\frac{24}{2,59} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$= 12,30 \text{ mm/jam}$$

Tabel 9. Intensitas Curah Hujan

Point	T_c	I (mm/jam)				
		2 tahun	5 tahun	10 tahun	25 tahun	50 tahun
1	2.59	6.87	8.71	9.82	11.29	12.30
2	6.29	3.80	4.82	5.44	6.25	6.81
3	2.76	6.58	8.34	9.41	10.82	11.79
4	3.69	5.42	6.88	7.76	8.92	9.72
5	9.67	2.85	3.61	4.08	4.69	5.11
6	6.61	3.68	4.66	5.26	6.05	6.59
7	2.62	6.82	8.64	9.75	11.20	12.21
8	5.71	4.05	5.14	5.80	6.67	7.26
9	6.17	3.85	4.88	5.51	6.33	6.90
10	7.45	3.40	4.30	4.85	5.58	6.08
11	7.09	3.51	4.45	5.01	5.77	6.29
12	3.14	6.04	7.66	8.64	9.93	10.82

Dalam Tabel 9, " T_c " merepresentasikan waktu konsentrasi dalam jam untuk berbagai titik, sedangkan " I (mm/jam)" merepresentasikan intensitas hujan dalam milimeter per jam untuk periode ulang 2, 5, 10, 25, dan 50 tahun. Data ini menunjukkan bagaimana intensitas hujan bervariasi di berbagai lokasi dan periode ulang, yang sangat penting untuk analisis hidrologi dan perencanaan infrastruktur guna mengelola serta mengurangi dampak dari kejadian hujan yang bervariasi.

C. Analisis Debit Banjir Rencana

Perhitungan debit banjir rencana dilakukan menggunakan metode rasional. Serupa dengan analisis intensitas hujan, analisis ini dilakukan untuk periode ulang 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun, dan 50 tahun.

Tabel 10. Rekapitulasi Perencanaan Debit Banjir

Point	Q (m ³ /s)				
	2 tahun	5 tahun	10 tahun	25 tahun	50 tahun
1	0,067	0,085	0,096	0,110	0,120
2	0,370	0,047	0,053	0,061	0,066
3	0,641	0,081	0,092	0,105	0,115
4	0,053	0,067	0,076	0,087	0,095
5	0,003	0,035	0,040	0,046	0,050
6	0,036	0,045	0,051	0,059	0,064
7	0,066	0,084	0,095	0,109	0,119
8	0,039	0,050	0,056	0,065	0,071
9	0,037	0,047	0,054	0,062	0,067
10	0,033	0,042	0,047	0,054	0,059
11	0,034	0,043	0,049	0,056	0,061
12	0,059	0,075	0,084	0,97	0,105

Perhitungan Tabel 10, menentukan debit banjir rencana untuk periode ulang 2 tahun pada Titik 1 menggunakan formula metode rasional, di mana C adalah koefisien limpasan, I adalah intensitas hujan (mm/jam), dan A adalah luas daerah tangkapan (km²). Hasil perhitungan adalah 0,067 m³/detik.

3.3 Analisis Hidraulik

Dalam studi ini, analisis hidraulik dilakukan untuk mengevaluasi apakah saluran drainase yang ada dapat menampung aliran air yang diperkirakan. Hal ini dilakukan dengan menghitung kapasitas penampang saluran dan membandingkannya dengan debit rencana untuk berbagai periode ulang (2 tahun, 5 tahun, dan 10 tahun). Tujuannya adalah memastikan saluran memiliki kapasitas yang memadai untuk mencegah banjir dan menjaga kelancaran aliran air selama kejadian hujan deras.

Tabel 11. Data Saluran

No	Dimensi Saluran	Notasi	Unit	hasil
1	Konstruksi	BB	m ²	Batu bata
2	Lebar Saluran	b	m	1
3	Kedalaman total saluran	h	m	1
4	Kedalaman Air	H	m	0,85
5	Kemiringan dasar saluran	s	%	0,02

3.4 Evaluasi Saluran Drainase

Evaluasi saluran drainase dilakukan untuk menilai efektivitas saluran dalam mengalirkan air selama hujan deras guna mencegah banjir. Hal ini melibatkan perbandingan antara debit banjir rencana yang diperkirakan berdasarkan analisis hidrologi untuk periode ulang 2, 5, dan 10 tahun dengan kapasitas aktual saluran yang ada. Faktor seperti kondisi fisik, penyumbatan, dan perubahan penggunaan lahan memengaruhi kapasitas saluran saat ini. Jika kapasitas aktual lebih kecil dari debit rencana, diperlukan perbaikan untuk memastikan saluran dapat menangani berbagai skenario hujan deras.

Tabel 12. Evaluasi Saluran Drainase untuk Debit Periode Ulang 2 Tahun

Nama Saluran	Periode Ulang 2 tahun (Q ₂)		Kondisi
	Q _{exist} (m ³ /detik)	Q _{plan} (m ³ /detik)	
1	0,033	0,105	Melimpah
2	0,033	0,370	Melimpah
3	0,033	0,641	Melimpah
4	0,033	0,530	Melimpah
5	0,033	0,003	Ok
6	0,033	0,036	Melimpah
7	0,033	0,066	Melimpah
8	0,033	0,039	Melimpah
9	0,033	0,037	Melimpah
10	0,033	0,033	Ok
11	0,033	0,034	Melimpah
12	0,033	0,059	Melimpah

Hasil analisis pada Tabel 12, menunjukkan bahwa dari 12 saluran yang dievaluasi untuk periode ulang 2 tahun, hanya dua saluran (Saluran 5 dan Saluran 10) yang memenuhi kapasitas rencana, ditandai dengan status "Ok." Sementara itu, sepuluh saluran lainnya diberi status "Melimpah," karena debit eksisting lebih kecil dari debit rencana yang diperlukan untuk mengatasi banjir. Hal ini menunjukkan perlunya peningkatan kapasitas atau perbaikan pada saluran-saluran ini untuk mengurangi risiko banjir dan memastikan infrastruktur drainase dapat mengelola beban air yang diharapkan selama kejadian hujan pada periode ulang 2 tahun.

Tabel 13. Evaluasi Saluran Drainase untuk Periode Ulang 5 Tahun (Q₅)

Nama Saluran	Periode Ulang 5 Tahun (Q ₅)		Kondisi
	Q _{exist} (m ³ /detik)	Q _{plan} (m ³ /detik)	
1	0,033	0,085	Melimpah
2	0,033	0,047	Melimpah
3	0,033	0,081	Melimpah

DOI : <https://doi.org/10.52158/jaceit.v7i2.1077>

Nama Saluran	Periode Ulang 5 Tahun (Q ₅)		Kondisi
	Q _{exist} (m ³ /detik)	Q _{plan} (m ³ /detik)	
4	0,033	0,067	Melimpah
5	0,033	0,035	Melimpah
6	0,033	0,045	Melimpah
7	0,033	0,084	Melimpah
8	0,033	0,050	Melimpah
9	0,033	0,047	Melimpah
10	0,033	0,042	Melimpah
11	0,033	0,043	Melimpah
12	0,033	0,075	Melimpah

Tabel 13 menunjukkan hasil evaluasi saluran drainase untuk periode ulang 5 tahun (Q₅), yang membandingkan debit eksisting (Q_{exist}) dan debit rencana (Q_{plan}) untuk setiap saluran. Setiap saluran memiliki debit eksisting sebesar 0,033 m³/detik, yang mencerminkan kapasitas aktual saat ini. Debit rencana bervariasi antara 0,035 m³/detik hingga 0,085 m³/detik, mencerminkan kebutuhan untuk mengelola debit banjir yang diperkirakan terjadi setiap lima tahun berdasarkan analisis hidrologi. Status "Tidak OK" menunjukkan bahwa dalam semua kasus, debit eksisting lebih kecil dari debit rencana, menandakan bahwa saluran-saluran ini tidak memiliki kapasitas yang cukup untuk menangani banjir dengan periode ulang 5 tahun. Hal ini menekankan perlunya perbaikan atau peningkatan kapasitas untuk mengurangi risiko banjir dan memastikan sistem drainase dapat mengelola aliran air selama kejadian hujan ekstrem.

3.5. Diskusi

Berdasarkan hasil analisis debit untuk periode ulang 2 tahun (Q₂) dan 5 tahun (Q₅) pada tabel-tabel sebelumnya, terlihat jelas bahwa sebagian besar saluran drainase berada dalam kondisi "Tidak OK." Hal ini menunjukkan bahwa kapasitas saluran saat ini tidak memadai untuk menampung debit banjir rencana untuk kedua periode tersebut. Masalah ini menimbulkan risiko banjir yang signifikan di wilayah pelayanan, terutama selama hujan deras atau cuaca ekstrem lainnya.

Untuk mengatasi masalah ini, langkah pertama adalah melakukan evaluasi mendalam terhadap setiap saluran untuk menentukan penyebab utama kapasitas yang tidak memadai. Selanjutnya, peningkatan kapasitas saluran perlu dipertimbangkan melalui beberapa pendekatan. Salah satu pendekatan adalah perbaikan fisik, seperti memperbesar dimensi saluran atau meningkatkan kemampuan saluran untuk mengalirkan air dengan lebih cepat dan efisien. Selain itu, pembersihan dan pemeliharaan secara rutin sangat penting untuk menjaga saluran dalam kondisi optimal tanpa sumbatan atau hambatan lainnya yang dapat mengurangi kapasitas [12], [13].

Pengelolaan air hujan juga memainkan peran penting dalam strategi pengurangan banjir. Sistem drainase harus terintegrasi dengan infrastruktur pengelolaan air

lainnya, seperti sistem infiltrasi air, taman hujan, atau bahkan sistem pemanenan air hujan untuk penggunaan kembali. Hal ini dapat membantu mengurangi tekanan pada saluran utama dan mengendalikan aliran air hujan secara lebih efektif di daerah perkotaan maupun pedesaan [14].

Terakhir, kebijakan tata ruang yang lebih baik perlu diterapkan untuk menghindari peningkatan risiko banjir di masa depan. Ini mencakup pengelolaan penggunaan lahan yang lebih bijaksana untuk meminimalkan limpasan permukaan, menjaga fungsi alami tanah, dan menerapkan standar bangunan yang memperhitungkan dampaknya terhadap aliran air. Melibatkan masyarakat dalam proses ini juga penting untuk meningkatkan kesadaran akan pentingnya pengelolaan air hujan yang berkelanjutan dan membangun ketahanan terhadap banjir.

Dengan menerapkan pendekatan holistik ini, diharapkan risiko banjir akibat kapasitas saluran drainase yang tidak mencukupi dapat dikurangi, keselamatan masyarakat dapat ditingkatkan, dan kualitas lingkungan hidup yang lebih baik dapat dipertahankan dalam jangka panjang [15].

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis debit untuk periode ulang 2 tahun (Q2) dan 5 tahun (Q5) pada saluran drainase yang dievaluasi, sebagian besar saluran menunjukkan bahwa kapasitas saat ini tidak memadai untuk menangani debit banjir yang diharapkan pada periode tersebut ($>0,033 \text{ m}^3/\text{detik}$). Evaluasi ini menyoroti perlunya peningkatan kapasitas saluran, seperti perluasan fisik, pembersihan rutin, dan optimalisasi sistem pengelolaan air hujan untuk meningkatkan kemampuan saluran menangani aliran air yang tinggi. Mengintegrasikan infrastruktur drainase dengan kebijakan tata ruang yang lebih baik dan melibatkan partisipasi masyarakat dalam pengelolaan air hujan juga menjadi kunci untuk mengurangi risiko banjir di masa depan serta meningkatkan ketahanan lingkungan perkotaan atau pedesaan terhadap banjir.

Daftar Rujukan

- [1] F. Apahdil, M. Masril, and D. Kurniawan, "Evaluasi Saluran Drainase Primer Jalan Sudirman Sampai Jalan Pemuda Kota Bukittinggi," *Ensiklopedia Research and Community Service Review*, vol. 2, no. 3, pp. 112–118, Jun. 2023, doi: 10.33559/err.v2i3.1766.
- [2] Q. Zhou, G. Leng, J. Su, and Y. Ren, "Comparison of urbanization and climate change impacts on urban flood volumes: Importance of urban planning and drainage adaptation," *Science of The Total Environment*, vol. 658, pp. 24–33, Mar. 2019, doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.12.184.
- [3] S. Ertan and R. N. Çelik, "The Assessment of Urbanization Effect and Sustainable Drainage Solutions on Flood Hazard by GIS," *Sustainability*, vol. 13, no. 4, p. 2293, Feb. 2021, doi: 10.3390/su13042293.
- [4] I. Rizkyandi, B. Sarwono, and Y. R. Savitri, "Perencanaan Sistem Drainase Di Daerah Aliran Sungai (Das) Kali Dapur / Otik Sehubungan Dengan Perkembangan Kota Lamongan," *Jurnal Hidroteknik*, vol. 1, no. 2, p. 43, Sep. 2015, doi: 10.12962/jh.v1i2.1664.
- [5] S. Suyanto and A. Maulidiyah, "Analisis Kapasitas Saluran Drainase Calung Dalam Penanganan Banjir Di Kota Pasuruan," *Composite: Journal of Civil Engineering*, vol. 2, no. 2, pp. 44–55, Dec. 2023, doi: 10.26905/jtsc.v2i2.10925.
- [6] R. Andimuthu, P. Kandasamy, B. V Mudgal, A. Jeganathan, A. Balu, and G. Sankar, "Performance of urban storm drainage network under changing climate scenarios: Flood mitigation in Indian coastal city," *Sci Rep*, vol. 9, no. 1, p. 7783, May 2019, doi: 10.1038/s41598-019-43859-3.
- [7] F. Piadeh, K. Behzadian, and A. M. Alani, "A critical review of real-time modelling of flood forecasting in urban drainage systems," *J Hydrol (Amst)*, vol. 607, p. 127476, Apr. 2022, doi: 10.1016/j.jhydrol.2022.127476.
- [8] M. Arifin, "Evaluasi Kinerja Sistem Drainase Perkotaan Di Wilayah Purwokerto," *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 13, no. 1, pp. 53–65, 2018, doi: https://doi.org/10.47200/jts.v13i1.839.
- [9] W. Prayogo *et al.*, "Evaluation of an Urban Drainage System in a Big City," *Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering)*, vol. 12, no. 4, p. 1036, Dec. 2023, doi: 10.23960/jtep-l.v12i4.1036-1052.
- [10] D. M. Ade putri and E. Prawati, "Evaluasi Sistem Drainase," *JUMATISI: Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil*, vol. 4, no. 1, pp. 262–265, Jun. 2023, doi: 10.24127/jumatisi.v4i1.4018.
- [11] A. Widiastomo, R. Wigati, B. A. Priyambodho, S. Subekti, and N. P. Purnaditya, "Analisis dan Evaluasi Kapasitas Sistem Drainase di Perumahan Dasana Indah Kabupaten Tangerang," *Fondasi : Jurnal Teknik Sipil*, vol. 11, no. 2, p. 254, Nov. 2022, doi: 10.36055/fondasi.v11i2.17024.
- [12] F. R. Rustan, E. Aprianti, A. T. Abdullah, and R. Puspaningtyas, "Kinerja Saluran Drainase Terhadap Genangan Air Pada Bahu Jalan D. I. Panjaitan Menuju Bundaran Pesawat Lepo-Lepo," *Potensi : Jurnal Sipil Politeknik*, vol. 22, no. 1, pp. 1–12, Mar. 2020, doi: 10.35313/potensi.v22i1.1706.
- [13] K. M. Mulya F., E. Wardhani, and A. Kramawijaya, "Evaluasi Perencanaan Sistem Penyaluran Drainase di Kelurahan Jurumudi Kecamatan Benda Kota Tangerang," *Jurnal Reka Lingkungan*, vol. 8, no. 2, pp. 90–100, Jun. 2020, doi: 10.26760/rekalingkungan.v8i2.90-100.
- [14] S. Sara Khaerina, R. Pranoto, and B. Jatmika, "Evaluasi Kinerja Sistem Drainase Crossing Jl. Raya Cibadak," *Jurnal TESLINK : Teknik Sipil dan Lingkungan*, vol. 1, no. 2, pp. 23–34, Mar. 2020, doi: 10.52005/teslink.v1i2.13.
- [15] J. Joyce, N.-B. Chang, R. Harji, and T. Ruppert, "Coupling infrastructure resilience and flood risk assessment via copulas analyses for a coastal green-grey-blue drainage system under extreme weather events," *Environmental Modelling & Software*, vol. 100, pp. 82–103, Feb. 2018, doi: 10.1016/j.envsoft.2017.11.008.



Analisis Sifat Tanah Lempung Lunak yang Di Stabilisasi Dengan Limbah Ban Karet dan *Fly Ash*

Hasrullah¹, Hasan Bisri²

^{1,2}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Borneo Tarakan

¹hasrullah.ray@borneo.ac.id*, ²hasabisri@gmail.com

Abstract

Soft soil in construction is often a problem. This is because the bearing capacity of the soil is very low. Various soil improvement methods have been developed, one of which is the soil stabilization method. This study aims to investigate the effect of the addition of waste rubber tires and fly ash as stabilizer materials on changes in the physical and mechanical properties of soft clay soil. In addition, the effect of the length of curing of the soil mixture with stabilizer was also observed. After identifying the clay soil locally, the clay soil was mixed with stabilizer materials at several percentages (5%, 10%, 15% and 20%), which were then cured for 7, 14, and 28 days before testing the physical and mechanical properties. The results revealed that rubber tire powder plus fly ash mixed in soft clay soil had a positive effect on the physical and mechanical properties of the soil. The results of the consistency limits test showed a decrease in moisture content by 53.23% and the plasticity index (PI) value of the soil by 27.32% from its original condition. This decrease depends on the length of the soaking period. In addition, the CBR test results also increased significantly. The largest data value was obtained at 20% stabilizer mixing with 28 days of curing time by 10.32%. This shows that rubber tire powder and fly ash can work well as a binder (pozzolan) because they can bind the soil so that the carrying capacity of the soil increases.

Keywords: Rubber Tires, Soil Repair, Soft Clay

Abstrak

Tanah lunak dalam konstruksi sering menjadi permasalahan. Hal ini disebabkan karena daya dukung tanah tersebut sangat rendah. Berbagai metode perbaikan tanah telah banyak dikembangkan, salah satunya dengan metode stabilisasi tanah. Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki bagaimana pengaruh penambahan limbah ban karet dan *fly ash* sebagai bahan stabilizer terhadap perubahan sifat fisik dan mekanis tanah lempung lunak. Di samping itu pengaruh lamanya pemeraman campuran tanah dengan bahan stabilizer juga diamati. Setelah mengidentifikasi tanah lempung secara lokal, tanah lempung tersebut dicampurkan dengan bahan stabilizer dengan beberapa persentase (5%, 10%, 15% dan 20%) yang selanjutnya di peram selama 7, 14 dan 28 hari sebelum dilakukan pengujian sifat fisis dan mekanisnya. Dari hasil penelitian mengungkapkan bahwa serbuk ban karet yang ditambah *fly ash* yang dicampurkan pada tanah lempung lunak berpengaruh positif terhadap sifat fisis dan mekanis tanah. Hasil pengujian batas-batas konsistensi menunjukkan terjadinya penurunan kadar air sebesar 53,23% dan nilai indeks plastisitas (PI) tanah sebesar 27,32% dari kondisi insialnya. Penurunan ini tergantung pada lamanya masa peram. Selain itu dari hasil pengujian CBR, juga mengalami peningkatan nilai secara signifikan. Nilai data terbesar diperoleh pada pencampuran bahan stabilizer 20% dengan waktu pemeraman 28 hari sebesar 10,32%. Hal ini menunjukkan bahwa serbuk ban karet dan *fly ash* dapat bekerja baik sebagai bahan pengikat (*pozzolan*) karena dapat mengikat tanah sehingga nilai daya dukung tanah meningkat

Kata kunci: Ban Karet, Perbaikan Tanah, Tanah Lempung Lunak

Diterima Redaksi : 2025-01-24 | Selesai Revisi : 2025-05-07 | Diterbitkan Online : 2025-11-12

1. Pendahuluan

Limbah yang dihasilkan manusia setiap tahun terus meningkat. Limbah dalam jumlah besar dihasilkan di seluruh dunia setiap tahunnya dengan laju yang terus meningkat. Lebih dari 1.000.000.000 ban dibuang setiap tahunnya [1]. Limbah ban seringkali mengakibatkan pencemaran dan degradasi lingkungan bila tidak dikelola dengan baik. Upaya untuk memanfaatkan

kembali limbah ini sangat membantu dalam melestarikan lingkungan. Limbah-limbah ini dapat dikelola dengan berbagai cara, diantaranya dengan cara pembakaran, penimbunan ditempat pembuangan akhir, atau mendaur ulang. Selain itu, menambahkan karet ke tanah dapat efektif dalam sifat mekanis tanah berbutir halus dan kasar [2]. Mengingat bobotnya yang ringan dan kekuatannya yang sesuai serta pertimbangan lingkungan, ban bekas selalu menarik untuk aplikasi



Lisensi
Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional

teknik sipil, termasuk persiapan beton, pelapis tempat pembuangan sampah dan sistem kedap air dan aspal [3]. Selain itu karena sifat geotekniknya yang menarik, seperti daya tahan, dan densitas curah yang rendah, ban bekas dapat dicampur dengan tanah dan dapat digunakan dalam proyek geoteknik seperti dinding penahan. Daya tahan campuran tanah-karet juga sangat penting dan telah diselidiki dalam banyak penelitian [3]. Meskipun potensi aplikasinya sangat luas, penelitian yang dilakukan pada campuran tanah lempung dan ban bekas masih terbatas. Demikian halnya dengan *fly ash*, yang merupakan salah satu residu yang dihasilkan dari pembakaran batu bara di pembangkit listrik dan tersusun dari partikel-partikel halus. *Fly ash* memiliki titik leleh hingga 1300°C dan memiliki kerapatan massa (densitas) pada kisaran 2,0-2,5/cm³, selain itu *fly ash* mampu mengoksidasi silikon dioksida (SiO₂), aluminium oksida (Al₂O₃), tembaga oksida (Fe₂O₂) dan kalsium (Ca) sehingga dapat dikatakan bahwa *fly ash* memiliki kesamaan dengan semen [4]. Tidak hanya *fly ash*, ban karet yang sering kita temui sebagai limbah di lingkungan sekitar juga dapat di manfaatkan sebagai bahan *stabilizer* yang ramah lingkungan [5].

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Menyelidiki seberapa besar pengaruh penambahan limbah ban karet dan *fly ash* serta masa peram terhadap perubahan sifat fisik dan sifat mekanis tanah lempung lunak.
- Menentukan berapa persentase bahan *stabilizer* (*fly ash* dan abu ban karet) yang harus ditambahkan serta waktu peram (*curing time*) yang paling baik untuk mendapatkan hasil yang optimal.

2. Metode Penelitian

Jenis penelitian ini termasuk penelitian deskriptif kuantitatif. Pada penelitian ini peneliti melakukan identifikasi dan deskripsi mengenai suatu fenomena tanpa berusaha menggambarkan hubungan sebab akibat. Penelitian ini dilaksanakan dalam empat tahapan, yaitu: tahap persiapan, tahap pekerjaan lapangan, tahap pengujian di laboratorium dan tahap analisis data.

Tahap Pengujian

- Pengujian Indeks Properties tanah

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat fisis dari tanah lempung lunak. Pengujian ini meliputi:

- ✓ Uji kadar air (*water content*) [6]
- ✓ Uji berat jenis (*specific gravity*) [7]
- ✓ Uji batas cair [8]
- ✓ Uji batas plastis, [9]

- Pengujian Pemadatan (*compaction*)

Pemadatan yang dilakukan di laboratorium berpedoman pada standar SNI. Pengujian ini bertujuan untuk nilai kadar air optimum dan kepadatan maksimum [10].

- Pencampuran Limbah Ban Karet, *fly ash* dengan Tanah Lempung. Variasi persentase dari bahan pencampuran benda uji yang terdiri dari tanah lempung, limbah plastik dan *fly ash* ditunjukkan pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1 Variasi Persentase Bahan Pencampuran Benda Uji

Variasi	Persentase Pencampuran Benda Uji			Masa Peram			
	Tanah Lempung	Stabilizer					
	%	Abu Ban (%)	Fly Ash (%)	(Hari)			
1	85	5	10	0	7	14	28
2	80	10	10	0	7	14	28
3	75	15		0	7	14	28

- Pengujian CBR Laboratorium (*California Bearing Ratio*)

Pengujian CBR dilakukan untuk mengetahui kekuatan tanah. Prosedur pengujian berpedoman pada standar SNI [11]. Variasi campuran tanah yang digunakan sebagai sampel uji adalah variasi campuran seperti yang terlihat pada Tabel 1.

3. Hasil dan Pembahasan

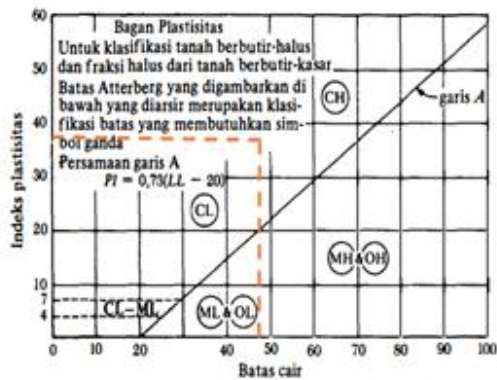
A. Tanah Asli

Sifat Fisik Tanah Kondisi Asli (*Initial Condition*)

Berikut ini adalah hasil pengujian sifat fisik tanah kondisi asli.

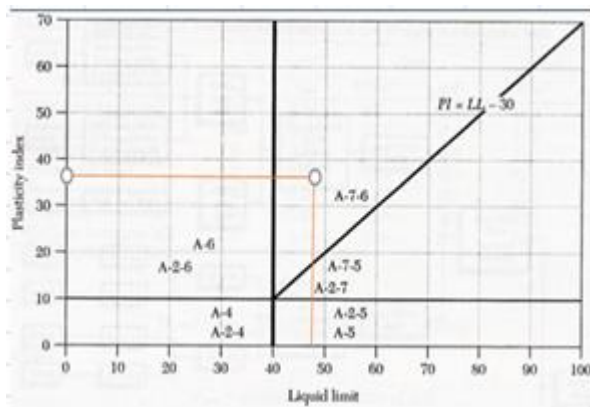
Tabel 2 Sifat Fisik Tanah Kondisi Asli

No.	Pengujian	Hasil	Satuan
1	Kadar air	74,54	%
2	Berat Jenis	2,69	
3	Analisa ukuran butiran		
	a. Gravel	0	%
	b. Sand	49	%
	c. Clay/Silty	51	%
4	Batas-batas <i>Atterberg Limit</i>		
	a. Batas cair (LL)	48,98	%
	b. Batas plastis (PL)	10,20	%
	c. Indeks plastis (IP)	38,78	%
5	Uji Pemadatan (Proctor)		
	a. Kadar air optimum	16,10	%
	b. Berat volume kering	1,62	gr/cm ³
6	Uji <i>California Bearing Ratio</i> (CBR)		
	Kadar air	21,42	%



Gambar 1 Sistem Klasifikasi Tanah menurut USCS

Berdasarkan Gambar 1 sistem klasifikasi tanah menurut USCS (*Unified Soil Classification System*), tanah ini termasuk tanah lempung lunak dengan plastisitas tinggi (CH). Sedangkan berdasarkan sistem klasifikasi ASSHTO (Gambar 2), menunjukkan bahwa tanah tersebut termasuk dalam golongan A-7-6 dengan nilai indeks group 14,22. Sampel tersebut memenuhi syarat klasifikasi A-7-6 dikarenakan sampel yang lolos saringan 200 minimum 36% dengan *liquid limit* minimum 41% dan indeks plastis sebesar minimum 11% [12,13].



Gambar 2 Sistem Klasifikasi Tanah Menurut AASHTO

Sifat Mekanis Tanah Kondisi Initial (*Initial Condition*)

a. Hasil Pengujian Pemadatan (*Compaction Test*)

Hasil pengujian pemadatan disajikan dalam Tabel 3 berikut

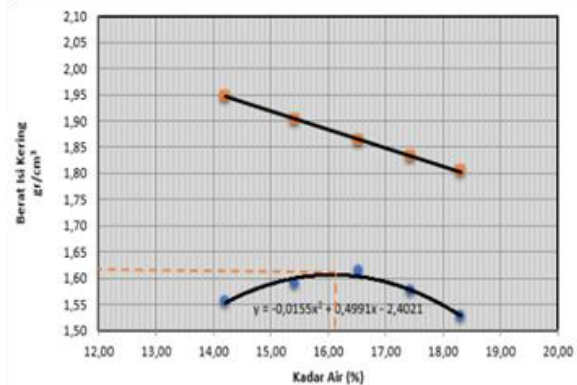
Tabel 3 Karakteristik Sifat Mekanis

No	Pengujian Sifat Fisik	Standart ASTM	Hasil	Satuan
1	Pemadatan (<i>Standart Proctor</i>)	D-698		
	Kadar air optimum (OMC)		16,10	%

DOI : <https://doi.org/10.52158/jaceit.v7i2.1103>

No	Pengujian Sifat Fisik	Standart ASTM	Hasil	Satuan
	γ_d maks		1,62	%
2	<i>California Bearing Ratio (CBR)</i>	D-633-1994	2,48	%

Hasil pengujian pemadatan berupa kadar air optimum dan berat isi kering pada Tabel 3 dan Gambar 3, akan digunakan sebagai patokan penambahan air pada sampel uji CBR.



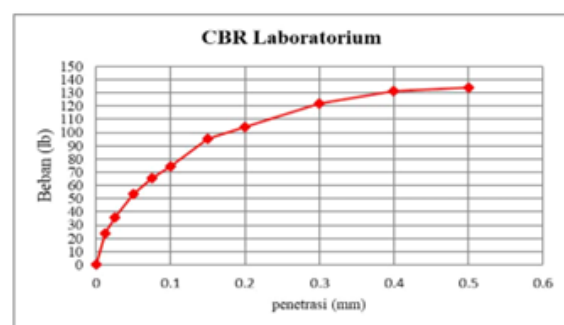
Gambar 3 Kadar Air Optimum dan Berat Isi kering

b. CBR (*California Bearing Ratio*)

Pengujian CRB (*California Bearing Ratio*) merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengetahui kekuatan tanah, yaitu dengan membandingkan gaya perlawanan penetrasi piston terhadap tanah dengan gaya perlawanan yang serupa pada contoh standar berupa batu pecah. Hasil uji CBR pada tanah asli ditunjukkan pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4 Hasil Pengujian CBR Tanah Asli

Penurunan (inchi)	Beban (lbs)	CBR (%)
0,1	74,5	2,48
0,2	104,3	2,32



Gambar 4 CBR Tanah Asli

B. Tanah Lempung Lunak yang Distabilisasi dengan Bahan Stabilizer

Sifat Fisik Tanah Yang Distabilisasi

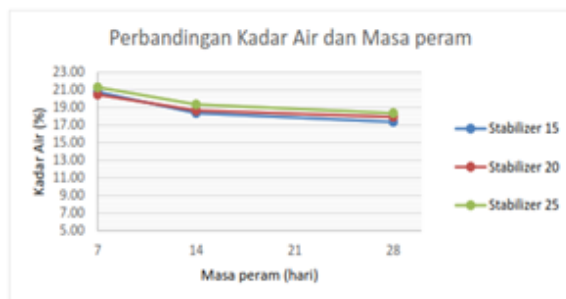
a) Kadar air (w)

Hasil uji kadar air pada tanah yang telah distabilisasi di ditampilkan pada tabel berikut

Tabel 5 Hasil Pengujian Kadar Air Tanah Lempung Lunak Yang Telah Di Stabilisasi

Variasi Campuran	Kadar Air Optimum (%)	Masa Peram		
		7 hari	14 hari	28 hari
TA + Stabilizer 15%	16,10	20,79%	18,37%	17,36%
TA + Stabilizer 10%	16,10	20,48%	18,68%	17,93%
TA + Stabilizer 25%	16,10	21,31%	19,36%	18,36%

Dari Tabel 5 diatas terlihat bahwa pengaruh penambahan bahan *stabilizer* pada tanah lempung lunak terhadap perubahan kadar air mengalami penurunan. Pada kondisi awal, kadar air tanah asli sebesar 74,54% mengalami penurunan seiringnya dengan peningkatan penambahan persentase *stabilizer* dari 15% hingga 25%, hingga tersisa kadar air sebesar 18,36% dengan masa peram 28 hari. Ini mencerminkan bahwa terjadinya penyerapan air oleh *fly ash* dan serbuk ban karet yang sangat tinggi dalam tanah yang juga dipengaruhi oleh durasi waktu pemeraman, sehingga persentase kadar air tanah lempung menurun.



Gambar 5 Pengaruh Penambahan *Stabilizer* terhadap Kadar Air dan Masa Peram

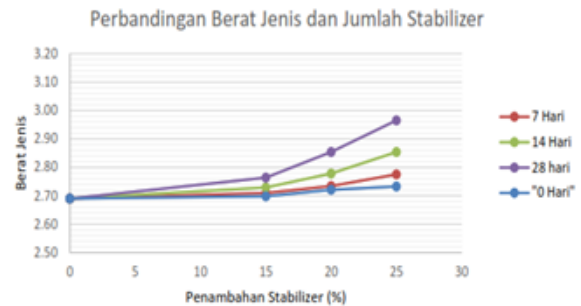
b) Berat Jenis

Perbandingan berat jenis pada sampel yang telah mengalami stabilisasi ditampilkan pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6 Uji Berat Jenis Sampel Yang Telah Distabilisasi

Variasi Campuran	Berat Jenis 0 hari	Masa Peram		
		7 hari	14 hari	28 hari
Tanah Asli (TA)	2,69	2,69	2,69	2,69
TA + <i>Stabilizer</i> 15%	2,70	2,71	2,73	2,76
TA + <i>Stabilizer</i> 10%	2,72	2,73	2,78	2,85
TA + <i>Stabilizer</i> 25%	2,73	2,78	2,85	2,97

Pada Tabel 6 hasil uji berat jenis menjelaskan bahwa penambahan campuran atau *Stabilizer* pada tanah lempung sangat berpengaruh terhadap berat jenis sampel, semakin tinggi penambahan *stabilizer* maka semakin besar pula peningkatan berat jenis sampelnya.



Gambar 6 Perbandingan Jumlah *Stabilizer* Dan Berat Jenis

c) Uji Analisa Saringan Tanah

Gradasi tanah yang telah mengalami stabilisasi memiliki gradasi yang cukup beragam seperti yang ditunjukkan pada Tabel 7. Hal ini dapat dilihat dari perbandingan antara tanah asli dan tanah yang telah distabilisasi pada variasi *clay* atau yang lolos saringan nomor 200 mengalami penurunan presentase. Beberapa sampel mengalami peningkatan pada variasi *gravel* atau yang tertahan pada saringan nomor 4.

Tabel 7 Gradasi Tanah Berdasarkan Uji Saringan

Masa Peram	Variasi Tanah	Tanah Asli	<i>Stabilizer</i>		
			15%	20%	25%
0 Hari	a. Gravel	0,00	-	-	-
	b. Sand	49,11	-	-	-
	c. Silty/Clay	50,89	-	-	-
7 Hari	a. Gravel	-	4,91	0,93	0,83
	b. Sand	-	97,49	99,88	99,70
	c. Silty/Clay	-	2,51	0,12	0,30
14 Hari	a. Gravel	-	3,87	8,68	5,45
	b. Sand	-	99,90	99,02	98,67
	c. Silty/Clay	-	0,10	0,98	1,33
28 Hari	a. Gravel	-	8,57	3,93	5,70
	b. Sand	-	99,80	98,34	99,86
	c. Silty/Clay	-	0,20	1,66	0,14

d) Uji Batas-Batas Atterberg Tanah Peram

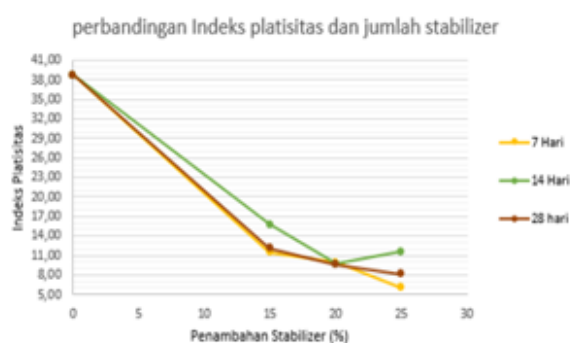
Pada sampel tanah yang telah distabilisasi mengalami peningkatan yang cukup bervariasi yang diakibatkan oleh masa peram dan jumlah *stabilizer* yang berbeda seperti yang ditunjukkan pada Tabel 8. Pada batas cair dan batas plastis terlihat peningkatan yang cukup signifikan pada hari ke 28 dengan jumlah *stabilizer* sebanyak 25% dengan nilai 53,363. Indeks plastisitas

tertinggi terdapat pada hari ke 14 dengan penambahan stabilizer sebanyak 15% dengan nilai 15,748.

Tabel 8 Hasil Uji Batas-Batas Atterberg Tanah yang Dicampur dengan Stabilizer

Uji Atterberg	Tanah Asli	Stabilizer	7 Hari	14 hari	28 Hari
LL	48,979	15%	52,390	47,525	51,164
		20%	47,525	48,667	50,526
		25%	49,759	50,482	53,363
PL	10,196	15%	40,929	31,777	39,042
		20%	40,073	38,918	40,909
		25%	43,743	38,918	45,264
PI	38,783	15%	11,459	15,748	12,121
		20%	9,920	9,748	9,617
		25%	6,016	11,563	8,099

Pengaruh jumlah stabilizer terhadap peningkatan indeks plastisitas dapat dilihat pada Gambar 7 berikut.



Gambar 7 Perbandingan Jumlah Stabilizer dan Indeks Plastisitas

e) Berat Volume Tanah (γ)

Dari hasil pengujian berat volume tanah lempung yang telah di tambahkan stabilizer pada Tabel 9, tanah lempung yang tergolong dalam kelompok tanah yang mempunyai potensi perubahan volume yang cukup tinggi, karena rata-rata lempung mengalami pemuaian ketika kadar air bertambah. Penyusutan terjadi ketika kadar air berkurang sampai batas susut. Nilai berat volume kering (*dry density*) tanah berkurang seiring bertambahnya kadar air optimum.

Tabel 9 Hasil Pengujian Berat Volume Tanah Lempung Lunak Yang Telah Di Stabilisasi

Variasi	Uji Pemadatan	Hasil	Satuan
0%	Optimum Moisture Content (OMC)	16,10	%
	Max Dry Density (MDD)	1,62	gr/cm ³
15%	Optimum Moisture Content (OMC)	23,77	%
	Max Dry Density (MDD)	1,15	gr/cm ³

Variasi	Uji Pemadatan	Hasil	Satuan
20%	Optimum Moisture Content (OMC)	7,22	%
	Max Dry Density (MDD)	1,19	gr/cm ³
25%	Optimum Moisture Content (OMC)	25,81	%
	Max Dry Density (MDD)	1,22	gr/cm ³

Sifat Mekanis Tanah Yang Distabilisasi

CBR (California Bearing Ratio)

Hasil uji CBR (*California Bearing Ratio*) yang dilakukan pada tanah yang telah distabilisasi di tunjukkan pada Tabel 10 berikut.

Tabel 10 Nilai CBR Berdasarkan Pengujian California Bearing Ratio

Variasi	Nilai CBR Dalam Masa Peram				Nilai CBR Tanah Asli
	0 Hari	7 hari	14 Hari	28 Hari	
Stabilizer 15%	3,08	3,97	4,87	6,16	2,48
Stabilizer 20%	3,29	4,27	5,07	6,46	
Stabilizer 25%	3,68	4,47	5,26	7,25	

Tanah asli yang dicampurkan dengan bahan stabilizer mengalami peningkatan nilai CBR, seperti yang terlihat pada Tabel 10. Peningkatan nilai CBR ini disebabkan terjadinya ikatan kimiawi akibat penambahan *fly ash* dan abu ban karet. Penambahan ini menyebabkan pengikatan antar partikel tanah lempung lunak dengan bahan stabilizer yang semakin banyak sehingga kepadatan tanah akan meningkat.

Lama pemeraman yang dilakukan juga mempengaruhi besarnya peningkatan nilai CBR, hal ini dikarenakan *fly ash* memiliki sifat *pozzolan* yang menghasilkan kemampuan mengikat pada tanah. Efeknya adalah meningkatkan kohesi antar butiran dan meningkatkan kekuatan konsistensi tanah, hal ini yang menyebabkan tanah lempung lunak menjadi padat. Seperti yang terlihat dari Gambar 8 berikut.



Gambar 8. Pengaruh Masa Peram dan Penambahan Stabilizer terhadap Nilai CBR

Penambahan *fly ash* dan abu ban karet sebagai *stabilizer* pada tanah lempung bersifat *pozzolanic*. Dari penambahan kedua *stabilizer* tersebut akan meningkatkan kepadatan tanah dan mengurangi kemampuan pengembangan atau *swelling*. Pada pemeraman tersebut nilai CBR maksimum terjadi pada masa pemeraman 28 hari pada *stabilizer* 25%.

Dari hasil penelitian ini, menegaskan kesesuaian campuran tanah lempung lunak dan karet sebagai material timbunan. Dari sudut pandang teknik dan praktis, penggunaan bahan *stabilizer* dapat mengurangi tekanan pada dinding penahan tanah sehingga dapat memangkas biaya konstruksi.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa tanah lempung lunak yang dicampurkan bahan *stabilizer* berupa campuran serbuk ban karet dan *fly ash*, setelah dilakukan pengujian sifat fisik menunjukkan terjadinya penurunan kadar air, batas cair dan indeks plastisitasnya dari kondisi awal (*initial condition*). Sedangkan parameter berat volume tanah, *specific gravity* (Gs), dan *plastic limit* (PL) mengalami peningkatan. Nilai peningkatan dan penurunan yang terjadi secara signifikan juga berubah seiring dengan penambahan persentase bahan *stabilizer* dan penambahan waktu masa peram. Pada pengujian sifat mekanis tanah lempung lunak yang dicampurkan dengan bahan *stabilizer* terjadi perubahan nilai CBR. Dari hasil pengujian menunjukkan terjadinya peningkatan nilai CBR dari kondisi awal (*initial condition*). Peningkatan nilai CBR terjadi secara signifikan seiring dengan penambahan persentase bahan *stabilizer* dan penambahan waktu masa peram. Nilai CBR maksimum terjadi pada penambahan bahan *stabilizer* sebesar 25% dengan masa peram 28 hari sebesar 7,25% dari kondisi awal CBR tanah lempung 2,48%. Peningkatan nilai CBR terjadi disebabkan karena adanya proses *pozzolan* antara air yang terkandung dalam tanah dengan serbuk ban karet dan *fly ash* selama masa pemeraman sehingga tanah semakin padat

Evaluasi material untuk berbagai aplikasi geoteknik memerlukan studi terfokus yang membahas setiap subjek Diharapkan kedepannya penggunaan ban bekas

sebagai bahan *stabilizer*, di upayakan melalui pendekatan ekonomi sirkular, sehingga diharapkan dapat bermanfaat menanggulangi limbah ban di Indonesia

Ucapan Terimakasih

Kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pimpinan dan seluruh civitas akademik Universitas Borneo Tarakan atas fasilitas pembiayaan berupa bantuan dana pengelolaan riset yang disediakan oleh UBT melalui Riset Kompetensi Dosen (RKD) yang dikelola oleh LPPM UBT sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik dan berharap kedepannya lebih banyak lagi penelitian yang dapat dilakukan dengan fasilitas pembiayaan riset yang sejenis.

Daftar Rujukan

- [1] K Strukar, at al. Potential Use of Rubber as Aggregate in Structural Reinforced Concrete element. *Engineering Structures*, vol. 188, pp. 452-468. 2019.
- [2] Akbarimehr. D., Eslami. A., and Aflaki.E. Geotechnical Behaviour of Clay Soil Mixed with Rubber Waste. *Journal of Cleaner Production* vol 271. 2020.
- [3] Anvari. SM, at al. Effect of Granulated Rubber on Shear Strength of Fine-Grained Sand. *Journal of rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 9(5), pp.936-944. 2017.
- [4] Kusuma, R. I., & Mina, E. Stabilisasi Tanah Dengan Menggunakan Fly Ash Dan Pengaruhnya Terhadap Nilai Kuat Tekan Bebas (Studi Kasus Jalan Raya Bojonegara, Kab. Serang). *Fondasi : Jurnal Teknik Sipil*, 5(1). 2017. <https://doi.org/10.36055/Jft.V5i1.1251>
- [5] Ichsan, Muh.. Pengaruh Variasi Kandungan Zeolit sebagai Bahan Stabilisasi Tanah Laterit Terhadap kuat Tekan. Tesis, Makassar, Universitas Hasanuddin. 2021.
- [6] SNI 1965-2008. *Cara uji penentuan kadar air untuk tanah dan batuan di laboratorium*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, Indonesia. 2008.
- [7] SNI 1964-2008. *Cara Berat jenis tanah di laboratorium*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, Indonesia. 2008.
- [8] SNI 1967-2008. *Cara Uji Penentuan Batas Cair Tanah*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, Indonesia. 2008.
- [9] SNI 1966-2008. *Cara Uji Penentuan Batas Plastis dan Indeks Plastisitas Tanah*. Jakarta, Indonesia. 2008.
- [10] SNI 1742-2008. *Cara Uji Kepadatan Ringan Untuk Tanah*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, Indonesia. 2008.
- [11] SNI 1744-2012. 2012, *Metode Uji CBR Laboratorium*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, Indonesia
- [12] Terzaghi, K., Peck, R. B. *Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa*, Erlangga, Jakarta. 1987.
- [13] Wesley. *Mekanika Tanah*, 6rd edn, Badan Penerbit Pekerjaan Umum. 1977.



Penentuan Debit Banjir Rancangan Sungai Saluki Kabupaten Sigi dengan Metode HSS SCS

Yosephina Puspa Setyoasri¹ Dantje Kardana Natakusumah²

^{1,2}Program Studi Magister Pengelolaan Sumber Daya Air, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

¹yosephinapuspas@gmail.com*

Abstract

This study aims to determine the design flood discharge as the basis for planning the construction of a sabo dam on the Saluki River. The sabo dam is intended to protect the existing weir structure and ensure the sustainability of raw water supply in the Pasigala region (Palu, Sigi, Donggala). The 7.4-magnitude earthquake that struck on September 28, 2018, had a severe impact on infrastructure in Central Sulawesi, including water resources facilities along the Saluki River. As part of post-disaster rehabilitation and reconstruction efforts, a weir and intake structure were built to meet raw water needs. However, the Saluki River—classified as a third-order river within the Palu watershed—carries sediment and debris during flood events, posing a threat to infrastructure. Debris flow is a hazardous phenomenon involving a high-speed mixture of water, mud, gravel, and rocks that can damage downstream structures. Therefore, constructing a sabo dam upstream of the weir is essential. This preliminary study employed hydrological analysis using the Synthetic Unit Hydrograph method of the Soil Conservation Service (SCS-UH) to estimate the design flood discharge, considering the limited rainfall data in the area. The analysis resulted in flood discharges for various return periods: $Q_2 = 116.14 \text{ m}^3/\text{s}$; $Q_5 = 158.15 \text{ m}^3/\text{s}$; $Q_{10} = 185.97 \text{ m}^3/\text{s}$; $Q_{25} = 221.12 \text{ m}^3/\text{s}$; $Q_{50} = 247.19 \text{ m}^3/\text{s}$; and $Q_{100} = 273.08 \text{ m}^3/\text{s}$. These values serve as a reference for designing the sabo dam, analyzing sediment transport and storage capacity, and developing flood mitigation strategies for the Saluki River sub-watershed.

Keywords: Palu Disaster, Saluki River, Flood Discharge, Sabo Dam, SCS-UH.

Abstrak

Kajian ini bertujuan untuk menentukan debit banjir rancangan sebagai dasar perencanaan pembangunan sabo dam di Sungai Saluki. Pembangunan sabo dam bertujuan melindungi struktur bendung dan menjamin ketersediaan air baku di wilayah Pasigala (Palu, Sigi, Donggala). Bencana gempa bumi berkekuatan 7,4 SR pada 28 September 2018 berdampak besar terhadap infrastruktur, termasuk prasarana sumber daya air di Sungai Saluki. Sebagai bagian dari rehabilitasi dan rekonstruksi pasca bencana, telah dibangun bendung dan intake untuk memenuhi kebutuhan air baku. Namun, karakteristik Sungai Saluki sebagai sungai ordo tiga yang membawa sedimen dan debris saat banjir menimbulkan potensi kerusakan infrastruktur. Aliran debris merupakan fenomena pencampuran air, lumpur, kerikil, dan batuan yang mengalir cepat dan destruktif. Oleh karena itu, pembangunan sabo dam di hulu bendung menjadi kebutuhan penting. Studi ini menggunakan analisis hidrologi dengan metode Hidrograf Satuan Sintetis Soil Conservation Service (HSS SCS) untuk memperkirakan debit banjir rancangan, mengingat keterbatasan data pos hujan di wilayah tersebut. Hasil analisis menunjukkan nilai debit kala ulang: $Q_2 = 116,14 \text{ m}^3/\text{detik}$; $Q_5 = 158,15 \text{ m}^3/\text{detik}$; $Q_{10} = 185,97 \text{ m}^3/\text{detik}$; $Q_{25} = 221,12 \text{ m}^3/\text{detik}$; $Q_{50} = 247,19 \text{ m}^3/\text{detik}$; dan $Q_{100} = 273,08 \text{ m}^3/\text{detik}$. Nilai-nilai ini akan digunakan sebagai dasar dalam desain sabo dam, analisis kapasitas tampung dan transport sedimen, serta perencanaan mitigasi banjir di Sub DAS Saluki. Hasil kajian ini memberikan kontribusi awal yang signifikan dalam perencanaan infrastruktur pengendali debris secara terpadu.

Kata kunci: Bencana Palu, Sungai Saluki, Debit Banjir, Sabo Dam, HSS SCS.

Diterima Redaksi : 2025-02-13 | Selesai Revisi : 2025-03-16 | Diterbitkan Online : 2025-11-12

1. Pendahuluan

Provinsi Sulawesi Tengah memiliki topografi dengan kemiringan yang besar dan berada pada daerah rawan gempa. Kondisi ini menyebabkan Provinsi Sulawesi Tengah menjadi wilayah yang juga sangat rawan bencana banjir dan longsor. Karakteristik sedimen di Provinsi Sulawesi Tengah mudah lepas (*granular*) dan

tidak kompak (*solid*). Karakteristik ini menyebabkan kondisi tanah yang mudah bergerak apabila terjadi gempa, dan mudah berpindah oleh air sehingga sangat mudah longsor dan turut membawa apa pun yang ada di atasnya. Fenomena longsor yang dipicu oleh terlalu tingginya kadar air di dalam tanah yang terjadi pada daerah dengan topografi curam disertai material longsor bercampur air disebut sebagai banjir debris.



Lisensi
Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional

Banjir ini memiliki durasi yang singkat disertai banyaknya material yang terbawa menjadi penyebab banyaknya korban jiwa dan kerusakan infrastruktur serta prasarana lainnya [1].

Bencana gempa bumi berkekuatan 7,4 SR yang terjadi pada 28 September 2018 berdampak pada 4 Kota/Kabupaten di Provinsi Sulawesi Tengah, yaitu Kota Palu, Kabupaten Parigi Moutong, Kabupaten Sigi, dan Kabupaten Donggala [2]. Jalur sesar aktif Palukoro tersebar memanjang dari Teluk Palu ke selatan hingga ke Kabupaten Sigi. Panjang pergerakan sesar dari lokasi gempa yang berpusat di Kabupaten Donggala hingga lokasi terdampak diperkirakan sekitar 155 km dengan lebar zona sesar sekitar 40 km. Dampak getaran gempa bumi di jalur sesar aktif Palukoro mengakibatkan 77 lokasi lereng berbukitan di wilayah Palu, Sigi dan Donggala mengalami tekanan pada massa batuan tanahnya sehingga berpotensi memicu terjadinya longsor [3]. Setelah Gempa Palu, bencana longsor terjadi pada perbukitan di barat dan timur Kabupaten Sigi, berlokasi 35 km dari pusat gempa. Bencana longsor diikuti oleh bencana banjir debris yang dipicu dengan terjadinya hujan [4].

Bencana yang terjadi mengakibatkan kerusakan berbagai bangunan dan prasarana yang ada termasuk bangunan prasarana sumber daya air, di antaranya adalah kerusakan prasarana sumber air baku Pasigala (Palu, Sigi, dan Donggala), dan terjadinya bencana longsor pada beberapa sungai di DAS Palu [5]. Banjir dan longsor dengan membawa material sedimen dari hulu sungai kerap terjadi sebagai bencana lanjutan/*secondary disaster*. Gempa bumi menyebabkan kondisi tanah di area tersebut (bagian hulu) menjadi tidak stabil dan mudah terjadi longsor saat terjadi banjir. Gempa bumi yang memicu terjadinya longsor menyebabkan kerusakan secara masif pada struktur batuan dan lereng menimbulkan potensi terjadinya aliran sedimen, pada intensitas hujan tinggi serta dapat menyebabkan aliran debris [6]. Material longsor yang terbentuk akibat terjadinya gempa bumi di Sulawesi Tengah berpotensi menyebabkan longsor susulan dengan tipe pergerakan berupa *debris flow* [7].

Sungai Saluki merupakan sungai ordo 3 yang berada di DAS Palu. DAS Palu memiliki karakteristik morfologi yang berbelok (*meandering*) hampir di sepanjang ruas sungai, tidak memiliki aliran dasar (*base flow*) dengan tipikal batuan dasar yang poros (pasir berbatu) [8]. Selain itu, karakteristik aliran sungai di DAS Palu termasuk dalam aliran debris. Aliran debris adalah fenomena yang terjadi ketika pencampuran air, lumpur, dan kerikil serta material batuan yang mengalir dengan kecepatan tinggi dan berpotensi merusak infrastruktur di bawahnya [9]. Sebagai bentuk upaya rehabilitasi rekonstruksi pasca bencana, pada Sungai Saluki telah dibangun prasarana sumber daya air berupa bendung dan intake. Dengan karakteristik banjir di DAS Palu yang kerap membawa material sedimen / debris, maka perlu dilakukan pembangunan infrastruktur sumber daya air

lainnya berupa sabo dam di hulu bendung guna melindungi struktur bendung dan menjamin keberlanjutan ketersediaan air baku di wilayah Pasigala.

Teknologi Sabo merupakan bangunan dalam pengendalian sedimen, menahan sedimen di area produksi, mengendalikan fluktuasi dasar sungai dan menampung sedimen di bagian hulu [10]. Beberapa kelebihan teknosabo sebagai konsep menyeluruh berbasis ramah lingkungan yaitu: 1) Mengedepankan kesetimbangan angkutan sedimen hulu-hilir, dibuktikan dengan adanya fungsi bangunan sabo sebagai penahan sementara ekstra sedimen saat banjir dan pengalir sedimen tersebut ke hilir secara perlahan, dan 2) mendukung kelangsungan suplai sedimen pada alur sungai untuk pemeliharaan lingkungan badan air sekaligus keselamatan manusia [11]. Berbeda dengan bangunan pengendali banjir lainnya seperti *revetment* dan tanggul banjir yang dibangun sejajar dengan arah sungai dan berfungsi meningkatkan kapasitas sungai serta mengurangi terjadinya erosi tebing sungai, bangunan sabo dam merupakan bangunan pengendali aliran debris atau lahar yang dibangun melintang alur sungai dengan prinsip kerja mengendalikan sedimen dengan cara menahan, menampung dan mengalirkan material/pasir yang terbawa oleh aliran dan meloloskan air ke hilir [12]. Bangunan sabo dam sebagai bangunan pengendali sedimen pada Sungai Saluki, sangat sesuai dengan fungsinya yaitu sebagai pengendali sedimen pada aliran debris pada daerah vulkanik maupun non vulkanik.

Sebagai bagian dalam perencanaan sabo dam di Sungai Saluki, analisis pertama yang perlu dilakukan adalah analisis hidrologi, yaitu menghitung debit banjir rancangan dengan kala ulang 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun, 50 tahun, dan 100 tahun. Lingkup kajian adalah studi awal berupa analisis hidrologi untuk menentukan debit banjir kala ulang. Analisis debit banjir rancangan akan sangat bermanfaat sebagai data dasar untuk menentukan debit maksimum rencana yang mungkin terjadi sebagai dasar dalam penentuan analisis dimensi prasarana sumber daya air dan analisis lanjutan dalam perencanaan sabo dam. Nilai debit banjir rancangan akan menjadi komponen penting dalam menentukan dimensi sabo dam, analisis sedimen transport dan analisis kapasitas sabo dam. Analisis dimensi, sedimen transport dan kapasitas sabo dam menjadi batasan pada kajian ini dan menjadi rekomendasi pada penelitian berikutnya.

2. Metode Penelitian

2.1. Lokasi Studi

Sungai Saluki berada di Kecamatan Gumbasa, Kabupaten Sigi, Provinsi Sulawesi Tengah. Secara administratif Daerah Tangkapan Air (DTA) Sungai Saluki meliputi sebagian besar Kecamatan Gumbasa, Kecamatan Lindu, dan Kecamatan Palolo. Kecamatan Gumbasa berbatasan dengan Kecamatan Tanambulava

di sebelah utara, Kecamatan Kulawi di sebelah selatan, Kecamatan Palolo dan Lindu di sebelah timur, serta Kecamatan Dolo Selatan di Sebelah Barat [13] seperti pada Gambar 1.

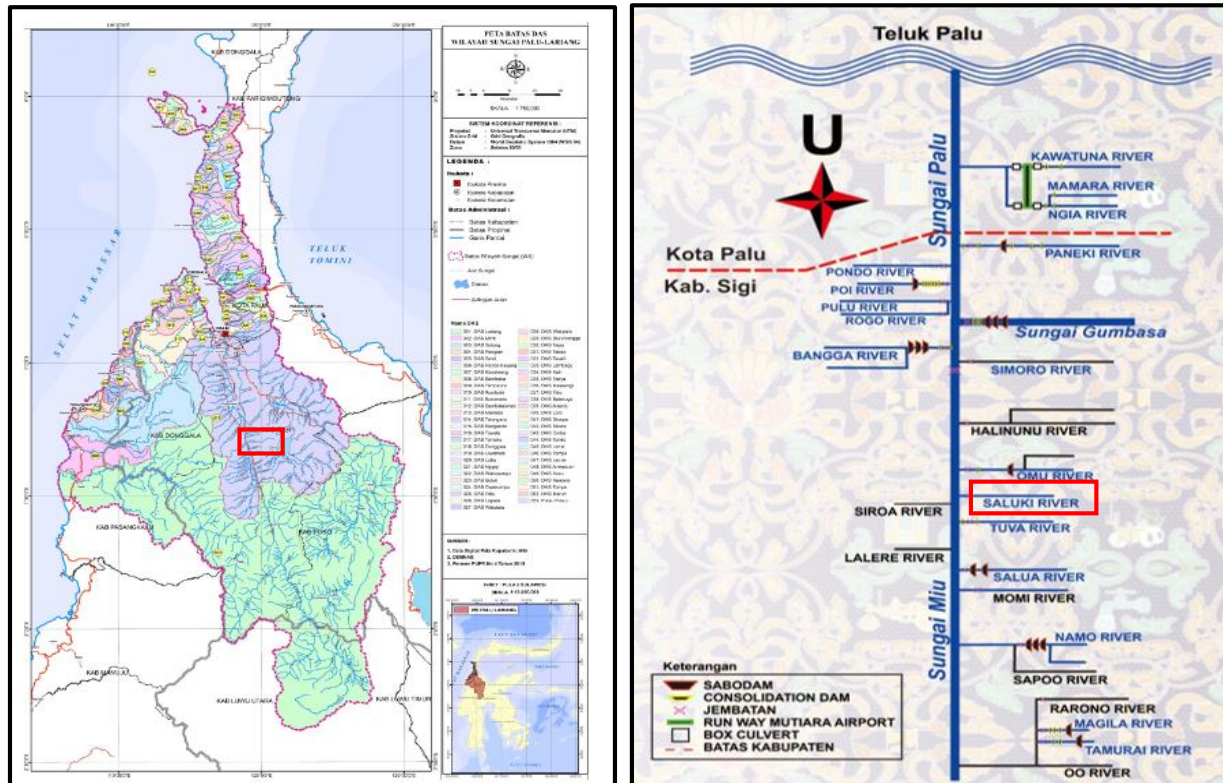
Sungai Saluki merupakan sungai orde 3 di DAS Palu dengan luas Daerah Tangkapan Air (DTA) seluas 62,07 km² seperti pada Gambar 2. Dalam Pola PSDA (Pengelolaan Sumber Daya Air Wilayah Sungai Palu-Lariang), Sungai Saluki memiliki panjang alur 13,34 km seperti pada Gambar 3. Karakteristik Sungai Saluki

berdasarkan analisis, memiliki sungai terpanjang 42,23 km dengan kemiringan DAS 0,59%.

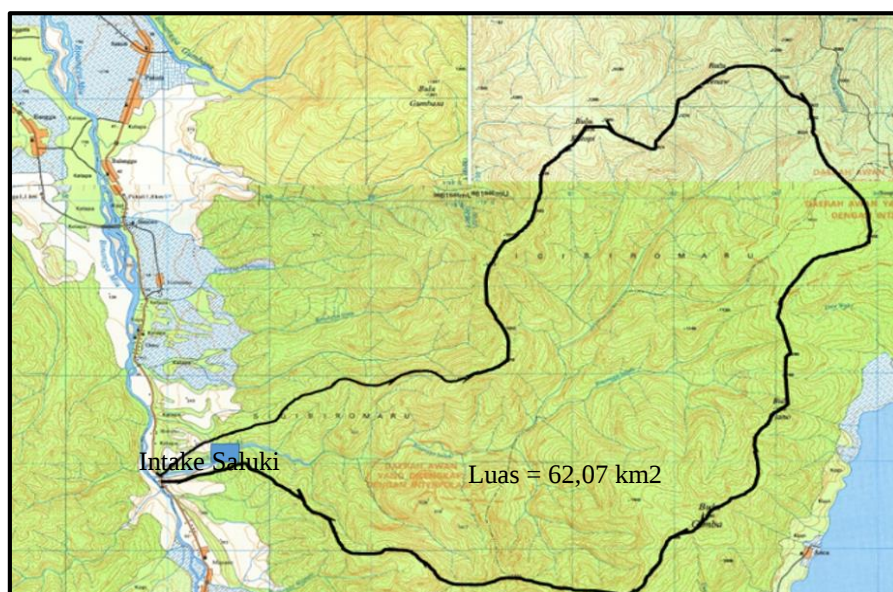
Berikut adalah Tabel 1 karakteristik Subdas Saluki.

Tabel 1. Karakteristik Subdas Saluki

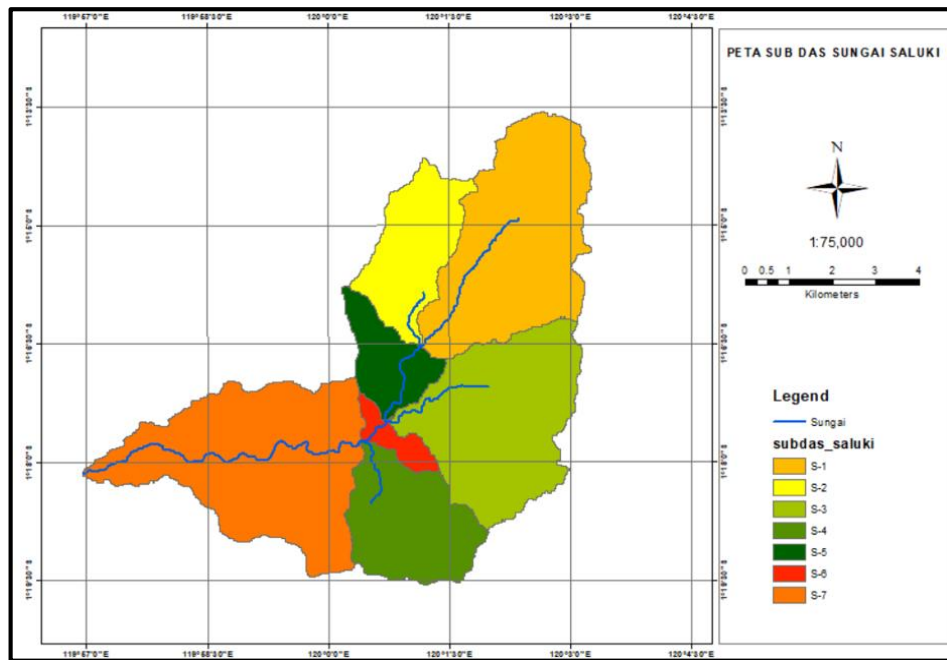
Karakteristik	Nilai
Luas DAS (A)	62,07 km ²
Panjang Sungai (L)	42,23 km
Kemiringan/slope DAS (s)	0,59
Panjang sungai ke titik berat (Lc)	21,73 km



Gambar 1. Peta DAS Palu dan Skema Sungai Palu



Gambar 2. Peta Catchment Area dan Lokasi Intake (JICA, 2024)

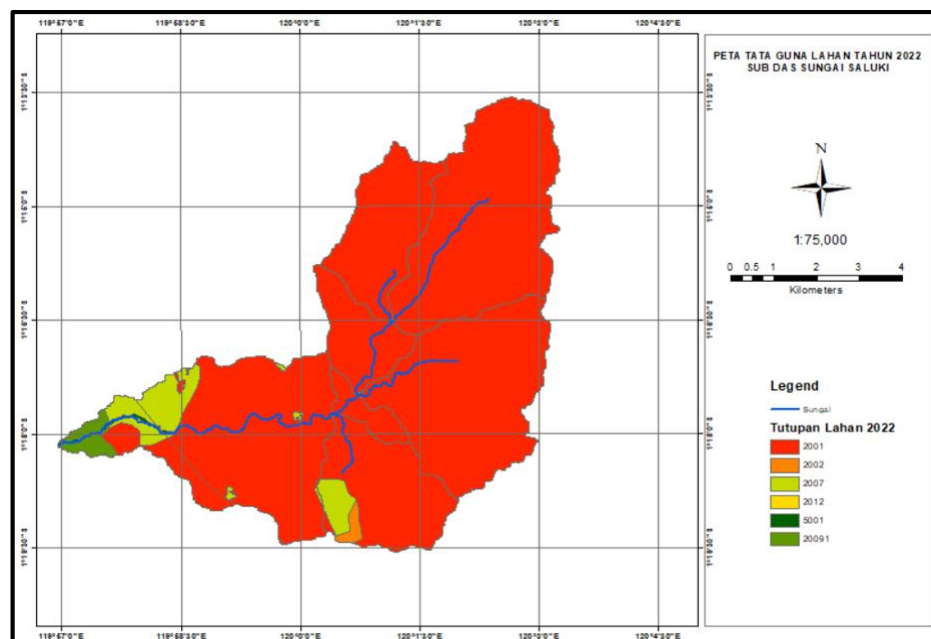


Gambar 3. Peta Subdas Saluki

Berdasarkan hasil analisis tutupan lahan pada Subdas Saluki dengan data tutupan lahan dari Kementerian Lingkungan Hidup (2022), tutupan lahan didominasi oleh hutan lahan kering primer seluas 57,934 km² (93,35%). Ciri-ciri hutan lahan kering primer berdasarkan BAPLAN Departemen Kehutanan Tahun 2001 adalah kenampakan hutan belum menampakan penebangan [14]. Selain hutan lahan kering primer, tutupan lahan pada Subddas Saluki berupa hutan lahan kering sekunder, pertanian lahan kering, semak/belukar dan tubuh air (sungai). Detail tutupan lahan pada subdas Saluki ditunjukkan pada Tabel 2 dan Gambar 4.

Tabel 2. Karakteristik Subdas Saluki

Tutupan Lahan	Kode	Luas (Km2)	Persentase
Hutan Lahan Kering Primer	2001	57,94	93,35%
Hutan Lahan Kering Sekunder	2002	0,29	0,47%
Pertanian Lahan Kering	20091	0,73	1,18%
Semak/Belukar	2007	2,94	4,73%
Tubuh Air	5001	0,167	0,27%
Total		62,07	100%



Gambar 4. Peta Tutupan Lahan pada Subdas Saluki

Jenis Tanah di Subdas Saluki didominasi dengan jenis tanah Aluvial Humik dengan tekstur tanah berupa *clay*. Tanah aluvial humik berasal dari lahan yang sering maupun baru mengalami banjir, sehingga digolongkan ke dalam tanah yang masih muda dan kaya akan bahan organik. Tanah aluvial humik dengan tekstur *clay* pada wilayah berlereng merupakan faktor pemicu meningkatnya aliran permukaan dan terjadinya longsor akibat intensitas curah hujan yang meningkat [15]. Tanah aluvial berdasarkan HWSD (*Hydrological Soil Group*) tanah pada Subdas Saluki terbagi menjadi 2 kelas yaitu Kelas C dengan tekstur tanah berupa *clay* dan Kelas D dengan tekstur *sandy clay loam* / lempung kepasiran seperti pada Tabel 3. Berikut adalah tabel klasifikasi jenis tanah di Subdas Saluki:

Tabel 3. Jenis Tanah Subdas Saluki

Kelas	Tekstur Tanah	Luas (Km2)	Persentase
C	Clay	59,00	95,05%
D	Sandy clay loam	3,07	4,95%
Total		62,07	100%

SCS telah mengembangkan sistem klasifikasi tanah berdasarkan sifat tanah dan dikelompokkan menjadi 4 kelompok hidrologi dengan karakteristik masing-masing kelas seperti pada Tabel 4, sebagai berikut [16]:

Tabel 4. Klasifikasi *Hydrologic Soil Group*

Kelas	Keterangan	Laju Infiltrasi (mm)
A	Potensial air larian paling kecil. Termasuk tanah pasir dalam dengan unsur debu dan liat. Laju infiltrasi tinggi.	8-12
B	Potensial air larian kecil. Tanah berpasir lebih dangkal dari A. Tekstur halus sampai sedang, laju infiltrasi sedang.	4-8
C	Potensi air larian sedang. Tanah dangkal dan mengandung cukup liat. Tekstur halus sampai halus. Laju infiltrasi rendah.	1-4
D	Potensi air larian tinggi, mayoritas tanah liat, dangkal dengan lapisan kedap air dekat permukaan tanah. Infiltrasi sangat rendah.	0-1

2.2. Uji Outlier

Pemeriksaan uji outlier berupa outlier atas dan bawah untuk mengetahui suatu datum dari suatu seri data memiliki nilai sangat berbeda dengan datum-datum lainnya, baik terlalu besar atau pun terlalu kecil [17]. Data outlier adalah data pencilon yang menyimpang terlalu jauh dari data lainnya dalam suatu rangkaian data. Data outlier akan mempengaruhi hasil analisis menjadi bias yang menyebabkan analisis tidak mencerminkan fenomena yang [18]. Uji Outlier berfungsi untuk memastikan tidak adanya data curah hujan yang menyimpang jauh dari kumpulan datanya [19].

2.3. Curah Hujan Wilayah

Perhitungan curah hujan wilayah pada Sungai Saluki menggunakan metode Poligon Thiessen. Metode Thiessen mengubah hujan titik menjadi hujan wilayah dengan menggunakan rata-rata terbobot. Masing-masing stasiun hujan ditentukan luas daerah pengaruhnya terhadap suatu DAS berdasarkan Poligon Thiessen [20]. Metode Poligon Thiessen memperhitungkan bobot dari masing-masing stasiun yang mewakili luasan di sekitar. Pada suatu luasan di dalam DAS dianggap bahwa hujan adalah sama dengan yang terjadi pada stasiun yang terdekat, sehingga hujan yang tercatat pada suatu stasiun mewakili stasiun tersebut. Metode ini digunakan apabila penyebaran stasiun hujan di daerah yang ditinjau tidak merata. Hitungan curah hujan rerata dilakukan dengan memperhitungkan daerah pengaruh dari tiap stasiun. Secara matematis hujan wilayah dapat ditulis:

$$P = \frac{A_1P_1 + A_2P_2 + A_3P_3 + \dots + A_nP_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (1)$$

Dengan P adalah hujan wilayah; $P_1, P_2, \dots, P_n$ adalah hujan wilayah pada stasiun 1, 2, ..., n ; $A_1, A_2, \dots, A_n$ adalah luas daerah yang mewakili stasiun 1, 2, ..., n [21].

2.4. Hujan Rancangan

Hujan rancangan dihitung dengan analisis frekuensi. Analisis frekuensi digunakan untuk menentukan hujan rencana dengan data hujan maksimum tahunan. Analisis frekuensi dilakukan dengan bantuan *software hydrognomon*. *Hydrognomon* adalah aplikasi perangkat lunak bebas untuk analisis data hidrologi terutama dalam bentuk *time series*. Analisis data hidrologi terdiri dari waktu aplikasi pengolahan seri, seperti langkah waktu agregasi dan regulasi, interpolasi, analisis regresi, dan infilling nilai yang hilang, tes konsistensi, penyaringan data dan visualisasi grafis tabular dari *time series* [22].

2.5. Debit Banjir Rancangan

Analisis debit banjir rancangan menggunakan metode Hidrograf Satuan Sintesis *Soil Conservation Service* (HSS SCS). HSS SCS adalah metode yang pada awalnya dikembangkan untuk memprediksi volume limpasan langsung untuk peristiwa hujan tertentu dan terutama untuk evaluasi limpasan badai di daerah aliran sungai pertanian kecil [23]. Metode HSS SCS mengekspresikan hidrograf dalam bentuk perbandingan antara debit Q dan debit puncak Q_p dan waktu dengan waktu naik (*time of rise*) [24]. Data yang diperlukan dalam analisis banjir dengan HSS SCS adalah:

a. Data Karakteristik DAS

Karakteristik fisik DAS yang digunakan dalam analisis berupa luas DAS, kemiringan sungai, panjang sungai, dan jarak sungai terpanjang ke titik berat DAS.

b. Waktu Puncak (T_p) dan Waktu Dasar (T_b)

Rumus yang digunakan untuk menentukan *time lag* rumus dari Snyder sebagai berikut:

$$T_L = C_t (L \times L_c)^n \quad (2)$$

dengan T_L adalah *time lag* (jam), C_t adalah koefisien penyesuaian waktu = 1, L adalah panjang sungai utama (km), L_c adalah jarak titik berat ke outlet (km), n adalah 0,3 [24].

Untuk durasi hujan satuan T_r (1 jam), maka waktu puncak HSS SCS didefinisikan sebagai berikut:

$$T_p = \left(\frac{T_r}{2} + T_L \right) \quad (3)$$

Selanjutnya berdasarkan koordinat tidak berdimensi dari hidrograf satuan SCS, waktu dasar Hidrograf Satuan (T_b) didefinisikan sebagai berikut [14]:

$$T_b = 5 \times T_r \quad (4)$$

c. Debit Puncak

Jika waktu puncak dan waktu dasar diketahui, maka debit puncak hidrograf satuan sintesis akibat tinggi hujan satu satuan $R = 1$ mm yang jatuh selama durasi hujan satu satuan $T_r = 1$ jam dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$Q_p = \frac{0,2083 \times A}{T_p} \quad (5)$$

dengan Q_p adalah debit puncak ($m^3/detik$), A adalah luas DAS (km^2), T_p adalah waktu puncak (jam) [25].

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Uji Outlier

Data hujan yang digunakan dalam analisis adalah data hujan maksimum tahunan dari Stasiun Tuva dan Stasiun Palolo. Rentang data hujan dari tahun 2004 sampai dengan tahun 2023 (20 tahun). Langkah pertama yang dilakukan dalam analisis hidrologi adalah menguji data hujan terbebas dari outlier/pencilan. Berdasarkan hasil uji outlier, data hujan dari kedua stasiun terbebas dari pencilan yang dapat menyebabkan analisis menjadi bias. Berikut adalah hasil uji outlier data hujan Stasiun Tuva (Tabel 5) dan Stasiun Palolo (Tabel 6).

Tabel 5. Uji Outlier Stasiun Tuva

Stasiun Tuva				
No	Tahun	Hujan (x) - (mm)	US Water Resources	Grubbs & Beck
		Log (x)		Ln (x)
1	2004	78.00	1.89	4.36
2	2005	88.00	1.94	4.48
3	2006	90.70	1.96	4.51
4	2007	100.30	2.00	4.61
5	2008	90.50	1.96	4.51
6	2009	93.00	1.97	4.53
7	2010	97.00	1.99	4.57
8	2011	65.00	1.81	4.17
9	2012	87.00	1.94	4.47
10	2013	109.00	2.04	4.69
11	2014	77.20	1.89	4.35
12	2015	87.50	1.94	4.47
13	2016	60.00	1.78	4.09
14	2017	100.20	2.00	4.61
15	2018	80.00	1.90	4.38

Stasiun Tuva				
No	Tahun	Hujan (x) - (mm)	US Water Resources	Grubbs & Beck
		Log (x)		Ln (x)
16	2019	60.30	1.78	4.10
17	2020	140.10	2.15	4.94
18	2021	57.90	1.76	4.06
19	2022	188.50	2.28	5.24
20	2023	200.00	2.30	5.30
Rata-rata		=	1.96	4.52
Simpangan Baku		=	0.15	0.33
Koef. Skew (Cs)		=	0.96	-
Cek Outlier Atas				
Pemeriksaan Metode Water Resources				
Kn (untuk n=20)		=	2.385	
Outlier Atas		=	204.15	
(Tidak ada Outlier Atas)				
Outlier Bawah		=	41.45	
(Tidak ada Outlier Bawah)				
Pemeriksaan Metode Grubbs & Beck				
Kn (untuk n=20)		=	2.385	
Outlier Atas		=	204.15	
(Tidak ada Outlier Atas)				
Outlier Bawah		=	41.45	
(Tidak ada Outlier Bawah)				

Tabel 6. Uji Outlier Stasiun Palolo

Stasiun Palolo				
No	Tahun	Hujan (x) - (mm)	US Water Resources	Grubbs & Beck
		Log (x)		Ln (x)
1	2004	43.80	1.64	3.78
2	2005	72.30	1.86	4.28
3	2006	81.20	1.91	4.40
4	2007	86.00	1.93	4.45
5	2008	85.70	1.93	4.45
6	2009	87.80	1.94	4.48
7	2010	25.40	1.40	3.23
8	2011	29.10	1.46	3.37
9	2012	30.60	1.49	3.42
10	2013	84.50	1.93	4.44
11	2014	82.50	1.92	4.41
12	2015	95.60	1.98	4.56
13	2016	60.00	1.78	4.09
14	2017	68.50	1.84	4.23
15	2018	84.30	1.93	4.43
16	2019	90.30	1.96	4.50
17	2020	62.50	1.80	4.14
18	2021	51.10	1.71	3.93
19	2022	94.30	1.97	4.55
20	2023	60.10	1.78	4.10
Rata-rata		=	1.81	4.16
Simpangan Baku		=	0.18	0.41
Koef. Skew (Cs)		=	-1.22	-
Cek Outlier Atas				
Pemeriksaan Metode Water Resources				

Stasiun Palolo				
No	Tahun	Hujan (x) - (mm)	US Water Resources	Grubbs & Beck
			Log (x)	Ln (x)
Kn (untuk n=20)	=			2.385
Outlier Atas	=			171.37
	(Tidak ada Outlier Atas)			
Outlier Bawah	=			24.06
	(Tidak ada Outlier Bawah)			

3.2. Curah Hujan Wilayah

Perhitungan curah hujan wilayah dilakukan menggunakan Metode Poligon Thiesen, dengan koefisien bobot luas wilayah Subdas Saluki yang terpengaruh terhadap lokasi pos curah hujan. Koefisien yang diperoleh untuk Stasiun Tuva 0,94 dan Stasiun Palolo 0,06. Berikut adalah Tabel 7 Hujan Wilayah Subdas Saluki:

Tabel 7. Hujan Wilayah Sungai Saluki

Tahun	Hujan Harian Maksimum Tahunan		
	Sta. Tuva (mm)	Sta. Palolo (mm)	Hujan Wilayah (mm)
2004	78	44	75.78
2005	88	72	86.98
2006	91	81	90.08
2007	100	86	99.37
2008	91	86	90.19
2009	93	88	92.66
2010	97	25	92.36
2011	65	29	62.67
2012	87	31	83.35
2013	109	85	107.41
2014	77	83	77.54
2015	88	96	88.02
2016	60	60	60.00
2017	100	69	98.15
2018	80	84	80.28
2019	60	90	62.24
2020	140	63	135.07
2021	58	51	57.46
2022	189	94	182.40
2023	200	60	190.94

3.3. Hujan Rancangan

Perhitungan hujan rancangan menggunakan perangkat lunak *hydrognomon*, dengan data masukan berupa hujan wilayah. Tabel 8 adalah hasil data hujan Metode Gumbel yang diperoleh dengan perangkat lunak *hydrognomon*:

Tabel 8. Hujan Wilayah Sungai Saluki

Periode Ulang (T)	Hujan Rencana (mm)
2	89,7372
5	121,533
10	142,584
25	169,182
50	188,915
100	208,501

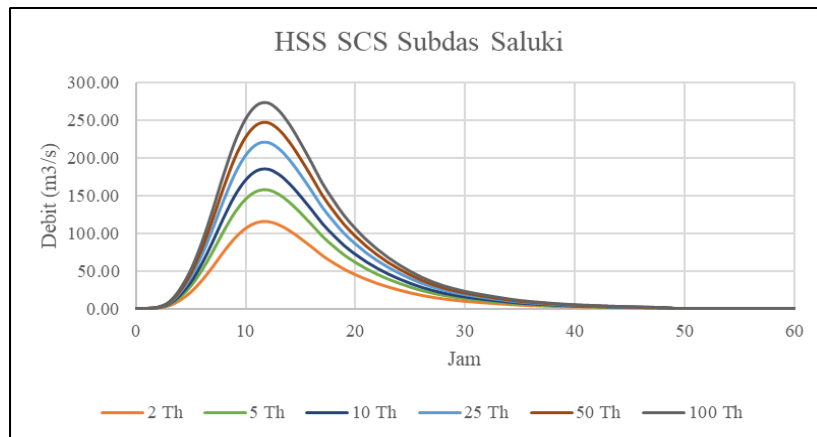
3.4. Debit Banjir Rancangan

Analisis debit banjir rancangan menggunakan HSS SCS dengan hasil ditunjukkan pada Tabel 9 dan grafik hidrograf ditunjukkan pada Gambar 5.

Tabel 9. Hujan Wilayah Sungai Saluki

Periode Ulang (T)	Debit Rencana (mm)
2	116,14
5	158,15
10	185,97
25	221,12
50	247,19
100	273,08

Debit Banjir yang yang dihasilkan pada penelitian ini merupakan data awal yang penting serta dapat digunakan dan menjadi referensi dalam analisis/kajian perubahan morfologi sungai akibat adanya pengaruh bangunan pengendali sedimen berupa sabo dam di Sungai Saluki. Hidrograf Satuan Sintetis SCS debit banjir rancangan Sungai Saluki ditunjukkan pada Gambar 5, di mana debit puncak Q100 tahun adalah 273,08 m³/detik. Debit banjir rancangan kemudian dikalibrasi dengan debit banjir yang pernah terjadi. Tercatat pada Bulan Oktober 2022, terjadi banjir di Desa Omu pada saat proses konstruksi Bendung dan Intake Saluki, sebesar 200 m³/detik.



Gambar 5. Hidrograf Satuan Sintesis SCS Sungai Saluki

3.5. Dampak Gempa Bumi terhadap Geo-Hidrometrologi dan Upaya Struktural Mitigasi Bencana Banjir Debris Sungai Saluki

Gempa bumi yang terjadi di Kota Palu adalah bencana alam yang dampaknya tidak hanya terbatas pada guncangan tanah dan kerusakan bangunan. Dalam banyak kasus termasuk di Kabupaten Sigi, gempa dapat memicu bencana lain yang berhubungan dengan kondisi geologi dan hidrometrologi. Bencana geo-hidrometrologi adalah bencana yang terjadi akibat interaksi antara faktor geologi (tanah, batuan dan tektonik) dengan faktor hidrometrologi (hujan, banjir dan erosi) [26]. Gempa tahun 2018 mengurangi daya ikat tanah/kekuatan tanah, terutama di daerah dengan tanah lunak atau mudah bergerak. Dampak ini semakin besar jika gempa terjadi saat atau setelah hujan deras. Kondisi tanah yang sudah lemah akan semakin jenuh oleh air, sehingga potensi pergerakan tanah meningkat drastis dan berpotensi menimbulkan bencana banjir debris [27]. Kemiringan lahan yang curam juga memiliki peranan penting dalam proses pembentukan aliran debris. Kondisi kemiringan sungai menambah kecepatan aliran sehingga dapat membawa material/sedimen yang dilalui [28].

Teknologi sabo dam merupakan salah satu upaya mitigasi struktural yang dapat meminimalisasi terjadinya banjir debris. Pada prinsipnya teknosabo adalah suatu teknologi yang digunakan untuk mengendalikan aliran sedimen yang terangkut oleh aliran sungai ataupun untuk mencegah atau mengurangi aliran debris atau lumpur di daerah sumber sedimen [29]. Perencanaan dan pembangunan sabodam yang baik sebagai upaya mitigasi bencana banjir debris perlu memperhatikan rencana operasi dan pemeliharaan bangunan sabo dam agar tetap layak fungsi sesuai dengan tingkat layanan yang direncanakan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis perhitungan dengan Metode HSS SCS, diperoleh debit banjir rancangan adalah Q 2th

sebesar 116,14 m³/detik, Q 5th sebesar 158,15 m³/detik, Q 10th sebesar 185,97 m³/detik, Q 25th sebesar 221,12 m³/detik, Q 50th sebesar 247,19 m³/detik, dan Q 100th sebesar 273,08 m³/detik. Penelitian mendatang diharapkan dapat menganalisis efektivitas bangunan sabo dam dalam pengendalian sedimen di Sungai Saluki serta menganalisis kapasitas tampungan sabo dam, sehingga dapat menjadi panduan dalam operasi dan pemeliharaan bangunan sabo dam dalam upaya mitigasi struktural banjir debris di Sungai Saluki.

Daftar Rujukan

- [1] Martini. "Identifikasi Sumber Bencana Alam dan Upaya Penanggulangannya di Sulawesi Tengah". *Infrastruktur*. Volume 1. Nomor 2. PP. 96-102. Desember 2011.
- [2] Sukino, Widarti Gularsih; Samad, Muhammad Ahsan; Manggasing, Nasir; Rivai, Abdul. "Manajemen Mitigasi Bencana Kota Palu". *Journal of Public Administration and Government*. Volume 1. Nomor 2. PP. 1-8. Oktober 2019.
- [3] Sukatja, Bambang C.; Banata, W.R.; Bahri, Pedri. "Mitigasi Penanggulangan Bencana Banjir Debris Pasca Gempa Palu 2018". *Jurnal Teknik Hidraulik*. Vol. 12. No. 1. PP. 25-38. Juni 2021.
- [4] M H Z Putra et al 2023 *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* **1201** 012028.
- [5] Gubernur Sulawesi Tengah. Peraturan Gubernur Sulawesi Tengah Nomor 10. 2019.
- [6] Bo, Zhao; Su, Lijun; Xu, Qiang; Li, Weile; Xu, Chong; Wang, Yunsheng. "A Review of Recent Earthquake-Induced Landslides on The Tibetan Plateau". *Earth-Science Reviews*. Volume 244. PP.104534. 2023.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0012825223002234>
- [7] Widjaja, Budijanto; Gautama, Kevin Arya. "Prediksi Dampak Longsor Susulan di Desa Poi Palu dengan Model Bingham". in *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil*. PP. 95-99. 2019.
- [8] Kementerian Pekerjaan Umum. Pola Pengelolaan Sumber Daya Air Wilayah Sungai Palu-Lariang. Jakarta. 2022.
- [9] Kristiawan, Yohandi; Sumaryono. "Pemodelan Aliran Bahan Rombakan di Kecamatan Sambelia, Kabupaten Lombok Timur, Nusa Tenggara Barat". *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*. Vol. 11. No. 1. April 2020.
- [10] Takahashi, T. "Debris Flow: Mechanics, Prediction and Countermeasures". 1st ed. Taylor & Francis. 2007.
- [11] Alfianto, Ardian; Cecilia, Shandy; Hidayah, Alidina Nurul; Anjelita; Sukatja, Cosmas Bambang. "Perencanaan Sabo untuk Mengendalikan Laju Sedimentasi di Rawapening". *Jurnal Sumber Daya Air*. Vol. 17. No. 1. Mei 2021.

- [12] Djudi; Hassan, Chandra; Soewarno; Yunita, F.Tata; Gardiawan, Gideon Rizal. "Stabilitas Pondasi Mengambang pada Bangunan Sabo". Puslitbang Sumber Daya Air. 2014.
- [13] Badan Pusat Statistik Kabupaten Sigi. Kecamatan Gumbasa dalam Angka 2019. 2019 <https://sigikab.bps.go.id/id/publication/2019/09/26/3b968e45b1e2dabe593a9c02/kecamatan-gumbasa-dalam-angka-2019.html>.
- [14] Savitri, Endang; Pramono, Irfan Budi. "Reklasifikasi Peta Penutupan Lahan untuk Meningkatkan Akurasi Kerentanan Lahan". *Jurnal Wilayah dan Lingkungan*. Volume 5. Nomor 2. PP. 83-94. Agustus 2017.
- [15] Ahmad, Asmita; Farida, Meutia; Juita, Nirmala. "Analisis Spasial Tekstur Tanah terhadap Penilaian Risiko Bencana Hidrometeorologi di Kecamatan Rumbia-Kelara, Kabupaten Jeneponto". *Jurnal Wilayah dan Lingkungan*. Volume 10. Nomor 1. PP. 42-54. April 2022.
- [16] Krisnayanti, Denik Sri; Welkis, Davianto, F; Sir, Tri. M.W.; Bunganaen, Wilhelmus; Damayanti, C. Alvine. "Kajian Nilai Curve Number pada Daerah Aliran Sungai Manikin di Kabupaten Kupang". *Jurnal Teknik Sumber Daya Air*. Volume 1. Nomor 1. PP. 1-10. Juni 2021.
- [17] Layaliya, Hannah Nuril. "Kajian Morfologi Sungai akibat Bangunan Pengendali Sedimen dan River Improvement di Sungai Namo Kabupaten Sigi". M.T. Thesis, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan. Institut Teknologi Bandung. Bandung. Indonesia. 2025.
- [18] Ruhiat, Dadang. "Implementasi Distribusi Peluang Gumbel untuk Analisis Data Curah Hujan Rencana". *Teorema: Teori dan Riset Matematika*. Vol. 7. No. 1. PP. 213-214. Maret 2022.
- [19] Robot, Jeffier Andrew; "Manaoma, Tiny; Wuisan, Eveline; Tangkudung, Hanny. Analisis Debit Banjir Sungai Ranoyapo menggunakan Metode HSS Gama-I dan HSS Limantara". *Jurnal Sipil Statik*. Vol. 2. No. 1. PP. 1-12. Januari 2014.
- [20] Ningsih, Dewi Handayani Untari. "Metode Thiessen Polygon untuk Ramalan Sebaran Curah Hujan Periode Tertentu pada Wilayah yang tidak Memiliki Data Curah Hujan". *Jurnal Teknologi Inforansi DINAMIK*. Volume 17. Nomor 2. PP. 154-163. Juli 2012.
- [21] Triatmojo, B. Hidrologi Terapan. Yogyakarta. Beta Offset. 2009.
- [22] Rizal, Syaiful Nanang. Kajian Sistem Drainase dan Zero Run off Villa Botosari. Fakultas Teknik, Universitas Jember. Indonesia. 2022.
- [23] K.X. Soulis. "Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Method Current Applications Remaining Challenges, and Future Perspectives". *Water*. Vol. 13. No. 2. PP. 192. 2021.
- [24] Natakusumah, D.K. Cara Menghitung Debit Banjir dengan Metode Hidrograf Satuan Sintetis. Fakultas Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung. 2010.
- [25] Sari, Anggi Nidya; Pranoto, Radius; Suryan, Viktor. "Perhitungan Hidrograf Banjir dengan Metode Hidrograf Satuan Sintetis SCS (Soil Conservation Service) di Kota Palembang". *Journal of Airport Engineering Technology (JAET)*. Volume 1. No.1. PP. 1-7. December, 2020.
- [26] Adi, Seno. "Karakterisasi Bencana Banjir Bandang di Indonesia". *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia*. Volume 15. Nomor 1. PP. 42-51. April 2013.
- [27] Fajarwati, Yuli; Fathani, Teuku Faisal; Faris, Fikri; Wilopo, Wahyu. "Desain Sabo Dam Tipe Conduit sebagai Pengendali Daya Rusak Aliran Debris". *Inersia*. Volume XVI. Nomor 2. PP. 105-116. Desember 2020.
- [28] Utomo, Bayu Seto Waseso; Iswardoyo, Jati; Ruzardi. "Uji Laboratorium Pengaruh Kemiringan Lereng terhadap Kejadian Longsoran Aliran Debris Pasir Merapi". *Jurnal Sumber Daya Air*. Volume 16. Nomor 1. PP. 23-34. Mei 2020.
- [29] Haryono, Singgih; Mulyana, Arif Rahmat; Soewarno; Subagyo, Arif. "Penerapan Teknik Sabo untuk Pengendalian Daya Rusak Air di Dataran Tinggi Dieng". *Jurnal Teknik Hidraulik*. Volume 3. Nomor 2. PP. 157-168. Desember 2012.



Analisa Produktivitas Tiang Menggunakan Alat Pancang Diesel Hammer Pada Proyek Pembangunan Gedung Kantor Pengadilan Agama Dataran Hunipopu

Ramona Istiqamah Marasabessy¹, Henriette Dorothy Titaley², Maslan Abdin³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Ambon

¹monamarasabessy@gmail.com, ²titaleyhd@gmail.com, ³maslanabdin@gmail.com

Abstract

The pile driving process is a crucial stage in foundation construction, ensuring the stability and strength of the building structure. Piling can be done with various types of tools, one of which is a diesel hammer. Diesel hammers are renowned for delivering significant impact energy to piles, enabling effective and efficient soil penetration. The purpose of this research is to determine the cycle time of the piling process and to determine the productivity of piling using diesel hammer tools. The method used in this research is direct observation in the field. The results obtained from the research were the average cycle time in the piling process using a diesel hammer piling tool at 101 points for 16 days, which was 50.35 minutes during normal working hours and 59.94 minutes during overtime. The productivity of the diesel hammer on the work of the Religious Court Office Building was the lowest on the first day, with a productivity value of 10.48 m/hour, and the highest occurred on day fifteen, with a productivity value of 17.25 m/hour. During overtime working hours, the highest productivity was recorded on the fifteenth day at 16.71 m/hour, while the lowest was on the first day at 4.01 m/hour.

Keywords: Produktivitas, Pilling, Diesel Hammer

Abstrak

Proses pemancangan tiang pancang merupakan tahap penting dalam konstruksi fondasi, yang berfungsi untuk memastikan stabilitas dan kekuatan struktur bangunan. Pemancangan tiang dapat dilakukan dengan berbagai jenis alat, salah satunya adalah *diesel hammer*. *Diesel Hammer* dikenal karena kemampuannya memberikan energi tumbukan yang besar pada tiang pancang, memungkinkan tiang untuk menembus tanah dengan efektif dan efisien. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui waktu siklus proses pemancangan dan mengetahui produktivitas pemancangan menggunakan alat *diesel hammer*. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah observasi langsung ke lapangan. Hasil yang didapat dari penelitian adalah waktu siklus rata-rata pada proses pemancangan dengan menggunakan alat pancang *diesel hammer* pada 101 titik selama 16 hari adalah 50,35 menit pada jam kerja normal dan 59,94 menit pada waktu lembur. Produktivitas *diesel hammer* pada pekerjaan Gedung Kantor Pengadilan Agama paling rendah terjadi pada hari pertama dengan nilai produktivitas sebesar 10,48 m/jam dan yang paling tinggi terjadi pada hari ke lima belas dengan nilai produktivitas sebesar 17,25 m/jam. Sedangkan pada jam kerja lembur produktivitas paling tinggi terjadi pada hari ke lima belas yaitu sebesar 16,71 m/jam dan yang paling rendah pada hari pertama yaitu sebesar 4,01 m/jam.

Kata kunci: Produktivitas, Pemancangan, Diesel Hammer

Diterima Redaksi : 2025-05-08 | Selesai Revisi : 2025-07-01 | Diterbitkan Online : 2025-11-12

1. Pendahuluan

Dalam bidang konstruksi teknologi alat pemancangan semakin berkembang dengan perkembangan zaman. Tiang pancang telah digunakan sebagai struktur pondasi jembatan, gedung serta struktur lainnya pada zaman dahulu. Teknik pemancangan tiang tertua yaitu

pemukul jatuh (*drop hammer*) yang masih menggunakan tenaga manusia dan pada tahun 1930-an berkembang dengan menggunakan mesin diesel (*diesel hammers*). Diesel hammer merupakan salah satu jenis alat pemukul atau pemancang tiang (*pile driver*) ke dalam tanah dalam. Tiang yang dipancang tentu saja bukan tiang biasa, melainkan tiang pancang yang kuat seperti paku bumi. Dalam kegiatan konstruksi terdapat



Lisensi
Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional

tiga hal yang harus diperhatikan yaitu biaya, mutu, dan waktu [1].

Produktivitas tidak dapat diukur dengan akurat, tetapi dapat diukur dengan suatu pendekatan karena banyak sekali kesulitan dalam mengukur produktivitas [2]. Produktivitas adalah tingkat dimana suatu pekerjaan dihasilkan oleh individu atau gugus tugas per satuan waktu [3]. Produktivitas didefinisikan sebagai perbandingan atau rasio antara output (hasil produksi) dan input (komponen produksi: tenaga kerja, bahan, peralatan, dan waktu). Dalam proyek konstruksi waktu pekerjaan akan berdampak terhadap produktivitas [4].

Penelitian ini memiliki kebaruan yaitu menggunakan data riil proyek di lokasi dengan perbedaan cuaca yang belum banyak dianalisis sebelumnya pada studi serupa dan juga dalam hal penggunaan jenis alat berat yang berbeda.

Pada pembangunan Proyek Gedung Kantor Pengadilan Agama Dataran Hunipopu menggunakan alat tiang pancang jenis Diesel Hammer. Alat ini merupakan salah satu jenis alat pemukul atau pemancang tiang (*Pile Driver*) ke dalam tanah dalam. Tiang yang dipancang tentu saja bukan tiang biasa, melainkan tiang pancang yang kuat seperti paku bumi. Penggunaan alat berat ini sering dijumpai pada proyek-proyek besar gedung bertingkat, dermaga, jembatan, tower, jalan layang, dan lainnya yang berhubungan dengan tanah. Namun dalam proses pengerjaan pondasi tersebut, menemukan kendala dilapangan yang mengakibatkan keterlambatan dalam menyelesaikan pondasi tersebut sehingga berimbas pada penurunan produktivitas.

2. Metode Penelitian

2.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan pada Pembangunan Gedung Kantor Pengadilan Agama Dataran Hunipopu yang beralamatkan di Jl. Trans Seram, Waipirit, Kecamatan Kairatu, Kabupaten Seram Bagian Barat, Provinsi Maluku. Analisa produktivitas pemancangan tiang menggunakan alat *diesel hammer* pada Pembangunan Gedung Kantor Pengadilan Agama Dataran Hunipopu.

2.2. Jenis Data

Adapun jenis data yang dipakai dalam penelitian ini adalah data primer. Data yang diperoleh berupa waktu pekerjaan pemancangan tiang ke dalam tanah mulai dari tahap persiapan, menentukan posisi, pengelasan joint sampai dengan pemancangan.

2.3. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data merupakan cara yang dilakukan untuk memperoleh data. Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini

ialah observasi dan studi pustaka. Observasi adalah pengumpulan data melalui peninjauan dan pengamatan langsung dilapangan, terkait dengan waktu pemancangan mulai dari pengangkatan tiang sampai pemancangan selesai dilakukan.

2.4. Produktivitas

Produktivitas alat berat adalah batas kemampuan alat berat untuk bekerja. Produktivitas suatu alat berat sangat dipengaruhi oleh hubungan antara daya yang dibutuhkan, daya yang tersedia, dan daya yang digunakan [5].

Produktivitas alat tergantung pada kapasitas dan waktu siklus alat (*cycle time*). Dalam melaksanakan pekerjaan dengan menggunakan alat berat terdapat faktor yang mempengaruhi produktivitas alat.

Tabel 1. Efisiensi Alat [4]

Kondisi	Pemeliharaan Mesin				
	Operasi Alat	Baik Sekali	Baik	Normal	Buruk Buruk Sekali
Baik sekali		0.83	0.81	0.76	0.70
Baik		0.78	0.75	0.71	0.65
Normal		0.72	0.69	0.65	0.60
Buruk		0.63	0.61	0.57	0.52
Buruk sekali		0.52	0.50	0.47	0.42

Faktor- faktor diatas sangat berpengaruh pada proses pelaksanaan pekerjaan pemancangan di lapangan pekerjaan dalam hal ini efisiensi pekerjaan yang dilakukan.

2.5. Waktu Siklus

Dalam operasi penggunaan alat dikenal pula waktu siklus, yaitu waktu yang diperlukan alat untuk beroperasi pada pekerjaan yang sama secara berulang. Waktu siklus ini akan berpengaruh terhadap kapasitas produksi dan koefisien peralatan. Waktu siklus produksi adalah rangkaian aktivitas suatu pekerjaan dan operasi pemrosesan sampai mencapai suatu tujuan atau hasil yang terus terjadi, berkaitan dengan pembuatan suatu produk.

Penentuan waktu siklus (T_s) untuk pemancangan dengan menggunakan alat pancang diesel hammer dihitung sejak mulai persiapan dan menentukan posisi (T_1), kemudian waktu pemancangan (T_2), dan waktu pengelasan joint/sambungan (T_3).

Waktu Siklus:

$$T_s = T_1 + T_2 + T_3 \quad (1)$$

2.7 Alat Pancang Tiang

Dalam pemasangan tiang ke dalam tanah, tiang dipancang dengan alat pemukul yang dapat berupa

pemukul (*hammer*), mesin uap, pemukul getar, atau pemukul yang hanya dijatuhkan.

1. Diesel Hammer

Diesel hammer adalah sebuah alat yang digunakan untuk memancang/memukul tiang pancang ke dalam tanah yang digunakan untuk pondasi sebuah bangunan bertingkat, jembatan, dermaga, tower, dan lain-lain.

Pemukul diesel hammer terdiri dari silinder, ram, balok anvil, dan sistem injeksi bahan bakar. Diesel hammer memiliki satu silinder dengan dua mesin diesel, piston/ram, tangki bahan bakar, injector, dan mesin pelumas.

Produktivitas alat pemancangan tiang pancang pile driver diesel hammer dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Produktivitas} = (V \times p \times F_a \times 60)/T \quad (2)$$

dengan:

V = Kapasitas (titik)

p = Panjang tiang (meter)

F_a = Faktor efisiensi alat

T = Waktu siklus (menit)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Waktu Siklus Proses Pemancangan Dengan Menggunakan Alat Pancang Diesel Hammer
 Data pengamatan waktu siklus penggunaan alat pancang diesel hammer dapat dilihat pada Tabel 2.

No Pile	Tipe Tiang		T1	T2	T3	TS
	D	P	Menit	Menit	Menit	Menit
64	25 x 25	18	23	20	14	57
63	25 x 25	18	24	20	33	77
Total Siklus						134
Rata-rata Siklus						67

No Pile	Tipe Tiang		T1	T2	T3	TS
	D	P	Menit	Menit	Menit	Menit
62	25 x 25	18	16	17	142	175
Total Siklus						175
Rata-rata Siklus						175

Tabel 2 menunjukkan bahwa, pada hari ke-1 ada tiga titik tiang pancang dengan dimensi 25x25 cm waktu siklus yang didapatkan adalah 134 menit, dengan rata-rata siklus 67 menit selama jam kerja normal dan pada Tabel 3 menunjukkan waktu siklus 175 menit dengan rata-rata siklus 175 menit selama lembur.

Tabel 4. Waktu Siklus Rata-rata Alat Pancang Diesel Hammer Per hari (Jam Kerja Normal)

Hari Ke	Waktu Siklus Rata-rata/Hari
1	67
2	59,3
3	50,3
4	47
5	50,3
6	59
7	47
8	51
9	43,3
10	43,2
11	47,8
12	49
13	48,2
14	43
15	40,7
16	59,5
Rata-rata	50,35

Tabel 5. Waktu Siklus Rata-rata Alat Pancang Diesel Hammer per Hari (Waktu Lembur)

Hari Ke	Waktu Siklus Rata-rata/Hari
1	175
2	66
3	69
5	56,3
6	49,8
7	48,5
8	48
9	58,5
10	42,8
12	43,8
13	38,7
14	40,8
15	42
Rata-rata	59,94

Pada Tabel 4 dan 5, waktu siklus alat pancang *diesel hammer* yang diambil selama 16 hari pekerjaan memiliki waktu siklus sebesar 50,35 menit untuk jam kerja normal dan 59,94 menit untuk waktu lembur.

3.2 Produktivitas Pemancangan Menggunakan Alat Diesel Hammer

Untuk nilai alat pancang diesel hammer, V = 1 (alat yang terpakai di lapangan), nilai P yaitu kedalaman pancang tertanam 18 meter, F_a = 0,65 karena kondisi operasi baik namun pemeliharaan alat buruk, dan untuk nilai Ts didapat dari hasil rata-rata siklus pengamatan. Produktivitas berdasarkan hasil pengamatan dilapangan sebanyak 101 titik selama 14 hari (rencana tiang pancang yang tertanam dalam sehari yaitu 10 titik).

Produktivitas jam kerja normal:

Hari ke-1

$$Q = (V \times P \times F_a \times 60)/T_s \\ = (1 \times 18 \times 0,65 \times 60)/67$$

$$= 702/67$$

$$= 10,48 \text{ m/jam}$$

Jadi, untuk satu jam pemancangan dari hasil perhitungan didapatkan 10,48 meter/jam dari total panjang tiang tertanam 18 meter.

Produktivitas waktu lembur:

Hari ke-1

$$Q = (V \times P \times Fa \times 60)/Ts$$

$$= (1 \times 18 \times 0,65 \times 60)/175$$

$$= 702/175$$

$$= 4,01 \text{ m/jam}$$

Jadi, untuk satu jam pemancangan dari hasil perhitungan didapatkan 4,01 meter dari total panjang tiang tertanam 18 meter.

Tabel 6. Produktivitas Diesel Hammer

Hari ke	Produktivitas Rata-rata (Jam kerja normal) (m/jam)	Produktivitas Rata-rata (Waktu Lembur) (m/jam)
1	10,48	4,01
2	11,84	11,84
3	13,96	10,17
4	14,94	-
5	13,96	12,47
6	11,90	11,90
7	14,94	11,47
8	13,76	14,63
9	16,21	12
10	16,25	16,40
11	14,87	-
12	14,33	16,03
13	14,56	14,56
14	16,33	16,33
15	17,25	16,71
16	11,80	-

Pada Tabel 6 menunjukan waktu siklus *diesel hammer* sebanyak 101 titik selama 16 hari. Produktivitas paling tinggi pada jam kerja normal adalah pada hari ke-15 yaitu 17,25 m/jam dan paling rendah terjadi pada hari ke-1 yaitu 10,48 m/jam. Sedangkan pada jam kerja lembur produktivitas paling tinggi terjadi pada hari ke-15 yaitu 16,71 m/jam dan yang paling rendah pada hari ke-1 yaitu 4,01 m/jam.

4. Kesimpulan

Waktu siklus rata-rata pada proses pemancangan dengan menggunakan alat pancang diesel hammer pada 101 titik selama 16 hari adalah 50,35 menit pada jam kerja normal dan 59,94 menit pada waktu lembur.

Produktivitas diesel hammer pada pekerjaan Gedung Kantor Pengadilan Agama paling rendah pada jam kerja normal terjadi pada hari ke-1 dengan nilai produktivitas sebesar 10,48 m/jam dan yang paling

tinggi terjadi pada hari ke-15 dengan nilai produktivitas sebesar 17,25 m/jam. Sedangkan pada jam kerja lembur produktivitas paling tinggi terjadi pada hari ke-15 yaitu sebesar 16,71 m/jam dan yang paling rendah pada hari ke-1 yaitu sebesar 4,01 m/jam.

Daftar Rujukan

- [1] Abdurrahman, "Analisa Produktivitas Pekerjaan Pemancangan Tiang Pancang Pada Proyek Pembangunan Bank Bca Kcu Kota Pekanbaru," 2020.
- [2] H. Tannady, C. H. Santoso, M. Kelly, and Yulianto, "Mengukur produktivitas kerja karyawan seven eleven mangga dua," *J. Ind. Eng. Manag. Syst.*, vol. 8, no. 2, pp. 1–6, 2017, [Online]. Available: <https://journal.ubm.ac.id/index.php/jiems/article/view/119>
- [3] A. B. Utama, G. Primaswari, and A. B. Utomo, "Produktivitas Hydraulic static pile driver Pada Proyek Pembangunan Rumah Susun Mahasiswa Politeknik Pekerjaan Umum," *Jurnal.Polines*, vol. 18, no. 2, pp. 98–108, 2022.
- [4] Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia, "LAMPIRAN Nomor : 28/PRT/M/2016 Tentang Analisis Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum," pp. 1–883, 2016.
- [5] E. Handayani and F. Akbar, "Kajian Efisiensi Produktifitas Alat Berat pada Proyek Jalan (Studi kasus: Ruas Jalan Mendalo Darat (Sp.Tiga)-Bts.Kota Jambi)," *J. Civronlit Unbari*, vol. 5, no. 1, p. 16, 2020, doi: 10.33087/civronlit.v5i1.63.



Implementasi Konsep BIM Pada Tahap Pelaksanaan Gedung B Proyek Pembangunan RSPTN Universitas Jember

Shifa Ikrima Hayya Isvahani¹, Anita Trisiana², Ketut Aswatama Wiswamitra³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember

¹shifaisvahani2@gmail.com, ²anita.teknikunej@gmail.com, ³ketut.teknik@unej.ac.id

Abstract

The construction project for Building B of RSPTN University of Jember still employs conventional methods, utilizing AutoCAD and Microsoft Excel, which results in a lack of integration between disciplines and an inefficient volume calculation process. To overcome this, this study implements BIM to improve coordination, clash detection, and automation of work volume calculations. The purpose of this study is to implement Building Information Modeling (BIM) technology using Autodesk Revit and Navisworks to improve the accuracy of coordination between disciplines through clash detection and to simplify and accelerate the calculation of work volumes on the construction project of Building B of RSPTN University of Jember. The implementation method of this research includes the creation of a 3D model of the building using Autodesk Revit, which integrates the disciplines of architectural structure and QTO calculation. Furthermore, clash detection analysis was carried out using Autodesk Navisworks. The study's results showed that the use of BIM through Autodesk Revit and Navisworks was effective in significantly identifying clashes between building elements, utilizing the clash detection feature. In addition, the volume calculation process became more accurate and efficient, as indicated by the minimal discrepancy between the BIM-based and conventional methods. BIM enables automated volume calculations directly from a 3D model, which includes detailed information for each construction element. The implementation of BIM has been proven to minimize the risk of errors, accelerate decision-making processes, and improve the overall effectiveness of project execution in the construction phase.

Keywords: BIM, Revit, Naviswork, Clash Detection, QTO

Abstrak

Proyek pembangunan Gedung B RSPTN Universitas Jember masih menggunakan metode konvensional dengan AutoCAD dan Microsoft Excel, yang menyebabkan kurangnya integrasi antar disiplin dan proses perhitungan volume yang tidak efisien. Untuk mengatasi hal tersebut, penelitian ini mengimplementasikan BIM guna meningkatkan koordinasi, deteksi benturan, dan otomatisasi perhitungan volume pekerjaan. Tujuan penelitian ini adalah mengimplementasikan teknologi Building Information Modelling (BIM) menggunakan Autodesk Revit dan Naviswork untuk meningkatkan akurasi koordinasi antar disiplin melalui clash detection serta mempermudah dan mempercepat perhitungan volume pekerjaan pada proyek pembangunan Gedung B RSPTN Universitas Jember. Metode pelaksanaan penelitian ini meliputi pembuatan pemodelan 3D gedung menggunakan Autodesk Revit yang mengintegrasikan disiplin struktur arsitektur dan perhitungan QTO. Selanjutnya, dilakukan analisis clash detection menggunakan Autodesk Naviswork. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan BIM dengan Autodesk Revit dan Naviswork mampu mengidentifikasi bentrokan antar elemen bangunan secara signifikan melalui fitur clash detection. Selain itu, proses perhitungan volume pekerjaan menjadi lebih akurat dan efisien dilihat dari selisih perhitungan volume antara BIM dan metode konvensional yang kecil, karena menggunakan BIM memungkinkan perhitungan dilakukan secara otomatis langsung dari model tiga dimensi yang sudah terintegrasi dengan informasi setiap elemen konstruksi. Implementasi BIM terbukti mampu meminimalkan risiko kesalahan, mempercepat proses pengambilan keputusan, dan meningkatkan efektivitas pelaksanaan proyek konstruksi.

Kata kunci: BIM, Revit, Naviswork, Deteksi Benturan, QTO

Diterima Redaksi : 2025-06-02 | Selesai Revisi : 2025-06-27 | Diterbitkan Online : 2025-11-12

1. Pendahuluan

Pengembangan konsep Building Information Modelling (BIM) saat ini menjadi terobosan yang signifikan dalam dunia konstruksi. Teknologi BIM merupakan teknologi yang sangat kompleks karena dapat digunakan dari

mulai pra pembangunan sampai dengan pasca pembangunan [1]. Penggunaan BIM di Indonesia belum dilakukan secara merata, namun seiring dengan berjalannya waktu pemerintah mendukung dengan menerbitkan peraturan pemerintah yaitu UU No. 2 Tahun 2017 tentang Jasa Konstruksi, Pasal 5 Ayat (5)



Lisensi
Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional

[2]. Dengan demikian, Kementerian PUPR sangat mendorong penggunaan dan penerapan teknologi bidang *Architecture, Engineer, and Construction* (AEC) [3], seperti peraturan dalam lampiran Permen PUPR nomor 22 tahun 2018 yang berbunyi “Penggunaan *Building Information Modelling* (BIM) wajib diterapkan pada Bangunan Gedung Negara tidak sederhana dengan kriteria luas diatas 2000 m² (dua ribu meter persegi) dan diatas 2 (dua) lantai” [4].

Meskipun demikian, pada tahap pelaksanaan gedung B RSPTN Universitas Jember masih mengandalkan metode konvensional dalam perhitungan volume pekerjaan, yakni melalui gambar kerja 2D dari *AutoCad* dan pengolahan data secara manual menggunakan *Microsoft Excel*. Penggunaan *Building Information Modelling* (BIM) pada proyek pembangunan RSPTN Universitas Jember merupakan alternatif untuk meningkatkan akurasi dalam *clash detection*, dan *quantity take off*.

Tujuan dari penelitian ini menggunakan *software Autodesk Revit* dan *Autodesk Naviswork* yaitu untuk mengetahui sejauh mana penerapan *Building Information Modelling* (BIM) dapat digunakan pada tahap pelaksanaan proyek konstruksi gedung, khususnya dalam tiga aspek utama. Pertama, untuk mendeteksi potensi *clash* antar elemen bangunan sejak dini sehingga dapat segera dilakukan perbaikan sebelum eksekusi di lapangan. Kedua, untuk menghitung volume pekerjaan struktur dan arsitektur secara lebih efisien dan akurat. Ketiga, untuk mengevaluasi implementasi BIM sebagai alat bantu pengambilan keputusan dalam pelaksanaan proyek konstruksi.

2. Metode Penelitian

Penelitian dilakukan pada proyek pembangunan Gedung B RSPTN Universitas Jember. Pengambilan data didapatkan melalui Kontraktor Pelaksana berupa data sekunder yang terdiri dari data *Shop Drawing* dan *Bill of Quantity* (BoQ) proyek pembangunan Gedung B RSPTN Universitas Jember 2024. Data tersebut digunakan dalam memodelkan ulang gedung, mendeteksi benturan, dan melihat *Quantity Take Off* (QTO) dengan menggunakan program bantu BIM.

2.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan pada proyek pembangunan Gedung B RSPTN Universitas Jember yang berlokasi di Jalan Slamet Riyadi No. 62 Kecamatan Patrang, Kabupaten Jember.

2.2. Data Penelitian

Data penelitian ini menggunakan data sekunder yang terdiri dari data *Shop Drawing* dan *Bill of Quantity* (BoQ) proyek pembangunan Gedung B RSPTN Universitas Jember 2024 yang didapatkan dari Kontraktor Pelaksana.

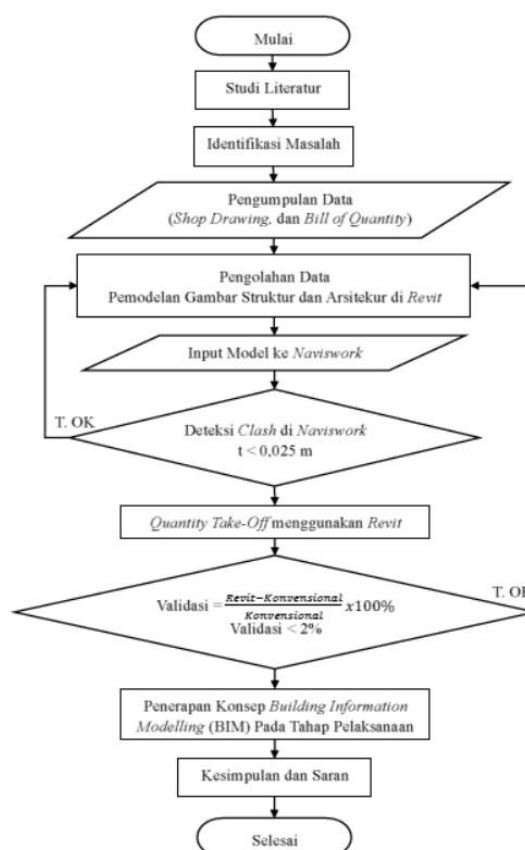
2.3. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian disusun sebagai berikut:

1. Mencari sumber acuan mengenai BIM pada jurnal, skripsi, artikel, buku ataupun penelitian terdahulu yang berkaitan.
2. Melakukan identifikasi atau penyelidikan terhadap proyek pembangunan RSPTN Universitas Jember.
3. Melakukan pengumpulan data pembangunan RSPTN Universitas Jember melalui Kontraktor Pelaksana.
4. Setelah semua data sudah terkumpul, melakukan pengolahan data dengan melakukan pemodelan menggunakan *Revit* dan mendeteksi benturan dengan menggunakan *Naviswork*.
5. Setelah selesai melakukan pemodelan, deteksi benturan, dan mengetahui volume, langkah selanjutnya yaitu menarik kesimpulan terhadap hasil penelitian pada proyek pembangunan Gedung B RSPTN Universitas Jember dan memberikan saran agar penelitian ini dapat dilanjutkan ataupun dikembangkan menjadi lebih baik lagi.

2.4. Diagram Alir Penelitian

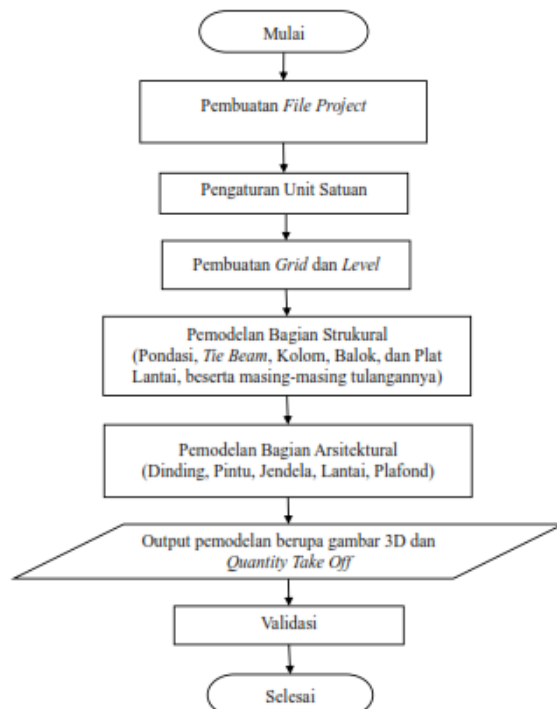
Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.5. Diagram Alir Pengerjaan Revit

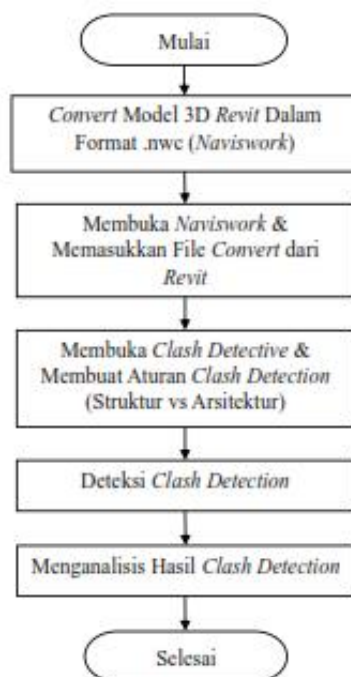
Diagram alir pengerjaan *Revit* dapat dilihat pada Gambar 2:



Gambar 2. Diagram Alir Pengerjaan Revit

2.6. Diagram Alir Pengerjaan Naviswork

Diagram alir pengerjaan Naviswork dapat dilihat pada Gambar 3:



Gambar 3. Diagram Alir Pengerjaan Naviswork

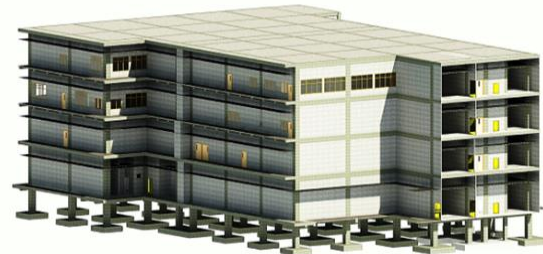
3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan analisis terhadap data sekunder proyek pembangunan Gedung B RSPTN Universitas Jember pada penelitian ini didapatkan hasil:

3.1 Pemodelan ulang Bangunan Gedung

DOI : <https://doi.org/10.52158/jaceit.v7i2.1227>

Didapatkan hasil pemodelan ulang pada pekerjaan struktur dan arsitektur proyek pembangunan Gedung B RSPTN Universitas Jember menggunakan program bantu Revit. Hasil pemodelan dapat dilihat pada gambar 4:



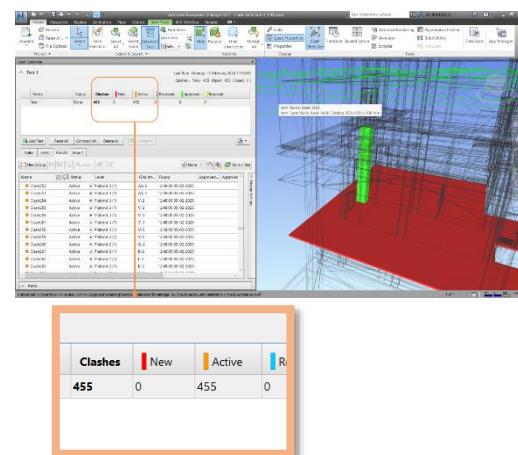
Gambar 4. Pemodelan 3D Pekerjaan Struktur dan Arsitektur

Gambar 4 menunjukkan hasil pekerjaan struktur dan arsitektur gedung B dengan menggunakan *software Revit*. Gambar struktur terdiri dari pondasi *pile cap*, kolom, balok, dan plat lantai. Sedangkan gambar arsitektur terdiri dari dinding, pintu, jendela, lantai, dan plafond.

3.2 Clash Detection

Setelah dilakukan pemodelan struktur dan pemodelan arsitektur menggunakan *software Autodesk Revit*, maka dilakukan pendeteksi benturan (*Clash Detection*). *Clash Detection* merupakan proses yang digunakan untuk mendeteksi benturan atau tumpang tindih antara elemen-elemen yang ada dalam model *Building Information Modelling (BIM)*.

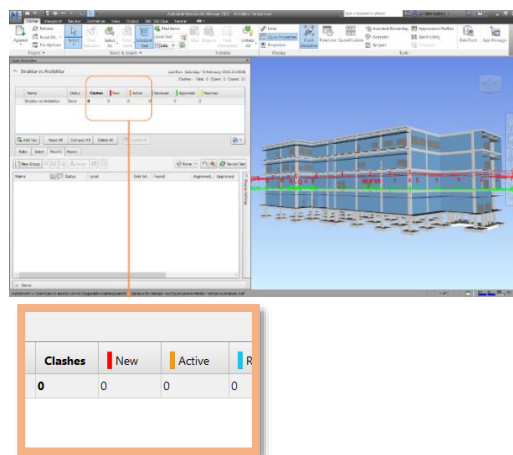
Pada proyek gedung B RSPTN Universitas Jember ini dilakukan *clash detection* pada elemen struktur dan arsitektur untuk memastikan bahwa desain dan konstruksi tidak memiliki masalah yang dapat menghambat pelaksanaan. Secara umum deteksi *clash* memiliki toleransi yang beragam, namun secara umum 25 mm adalah aturan praktis yang baik (*GlobalCad*). Hasil dari pengecekan *clash detection* dapat dilihat pada Gambar 5:



Gambar 5. Hasil Clash Detection Antar Elemen Struktur dan Arsitektur

Gambar 5 menunjukkan hasil awal *clash detection* dengan menggunakan *software Naviswork*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa terdapat 455 benturan (*clash*). Benturan ini mencakup beberapa lokasi kritis, seperti antara lantai dan *pile* yang umumnya terjadi karena perbedaan elevasi referensi atau kekeliruan dalam penempatan pondasi struktur terhadap sistem lantai. Selain itu, benturan antara plafond dan kolom muncul akibat kurangnya koordinasi antara desain arsitektur dan posisi kolom struktur yang telah ditentukan, sedangkan benturan antara balok dan pintu disebabkan oleh tidak sinkronnya ketinggian kusen pintu dengan jalur balok struktural yang melintang.

Benturan lain yang teridentifikasi adalah antara kolom dan dinding, yang kerap terjadi karena elemen kolom dalam model struktur tidak sepenuhnya mempertimbangkan tebal dan posisi dinding arsitektur. Hal ini menunjukkan perlunya peninjauan kembali integrasi antar elemen desain. Secara umum, banyaknya jumlah benturan menandakan bahwa koordinasi antar model belum optimal, dan *clash detection* menjadi alat penting dalam mengidentifikasi serta menyelesaikan potensi konflik desain sejak dini. Dengan demikian, hasil ini menjadi landasan penting untuk perbaikan model sebelum pembangunan fisik, sehingga dapat menghindari konflik di lapangan. Berikut untuk perbaikan *clash detection* dapat dilihat pada Gambar 6:



Gambar 6. Perbaikan *Clash Detection* Antar Elemen Struktur Dan Arsitektur

Gambar 6 menunjukkan hasil pengecekan ulang *clash detection* setelah dilakukan perbaikan pada gambar struktur dan gambar arsitektur. Setelah dilakukan analisis *clash detection* awal yang menghasilkan 455 benturan antara elemen struktur dan arsitektur, maka dilakukan serangkaian perbaikan langsung pada model 3D di *Autodesk Revit* dengan memperhatikan posisi, elevasi, dan dimensi dari masing-masing elemen bangunan, serta menyesuaikannya agar tidak saling bertabrakan. Tujuannya adalah untuk menciptakan integrasi desain yang presisi dan konstruksi yang bebas dari kendala teknis di lapangan.

Beberapa langkah korektif yang dilakukan yaitu penyesuaian elevasi lantai dan *pile* agar tidak saling menembus, modifikasi jalur plafond agar tidak berbenturan dengan kolom, serta menyesuaikan posisi pintu dengan mengubah tinggi kusen pintu agar tidak bertabrakan dengan balok yang melintang di atasnya. Selain itu, dilakukan penggeseran dinding agar tidak bertabrakan dengan posisi kolom struktural. Seluruh perbaikan ini dilakukan dengan tetap mempertahankan kaidah teknis dan estetika desain.

Setelah seluruh elemen diperbaiki, model yang telah diperbarui kemudian diuji kembali melalui proses *clash detection* menggunakan *Autodesk Naviswork* dengan parameter toleransi tetap sebesar 25 mm. Hasilnya menunjukkan bahwa tidak terdapat lagi benturan antara elemen struktur dan arsitektur. Hal ini menandakan bahwa koordinasi model telah berhasil diselaraskan dan seluruh potensi konflik desain telah terselesaikan. Keberhasilan ini menegaskan pentingnya penggunaan BIM dan *clash detection* sebagai upaya preventif terhadap kesalahan konstruksi, sekaligus meningkatkan efisiensi dan keakuratan pelaksanaan proyek di lapangan.

3.2. Quantity Take Off (QTO)

Quantity Take Off (QTO) bertujuan untuk menampilkan jumlah material, pada penelitian ini yang dibutuhkan yaitu menampilkan jumlah material atau volume untuk pekerjaan struktur dan arsitektur yang mencakup volume dari pekerjaan pondasi, kolom, tie beam, balok, plat lantai, dinding, pintu, jendela, lantai, dan plafond. Berikut hasil *Quantity Take Off (QTO)* dari pemodelan struktur dan arsitektur pada *Autodesk Revit* dapat dilihat pada Tabel 1 s/d Tabel 11 dibawah ini.

Tabel 1. Tabel *Quantity Take Off* Pondasi

Struktur Pondasi			
Lokasi	Item Pekerjaan	Type Item	Volume (m ³)
Pile	Pondasi	P1	201,60
Pile	Pondasi	P2	88,20
Pile	Pondasi	P3	100,80
Pile	Pondasi	P4	54,95
Pile	Pondasi	P5	37,73
Pile	Pondasi	P6	5,60
Total			488,88

Dari Tabel 1 diketahui untuk pondasi P1 dengan volume 201,60 m³, pondasi P2 dengan volume 88,20 m³, pondasi P3 dengan volume 100,80 m³, pondasi P4 dengan volume 54,95 m³, pondasi P5 dengan volume 37,73 m³, dan pondasi P6 dengan volume 5,60 m³. Jadi, total pembetonan pada pondasi yaitu 488,88 m³.

Tabel 2 Quantity Take Off pada Struktur Kolom

Struktur Kolom			
Lokasi	Item Pekerjaan	Type Item	Volume (m ³)
Lantai 1	Kolom	K1	220,27
Lantai 1	Kolom	K2	22,91
Lantai 2	Kolom	K1	117,65
Lantai 2	Kolom	K2	11,91
Total			372,74

Dari Tabel 2 diketahui untuk lantai 1 kolom K1 volume 220,27 m³; kolom K2 volume 22,91 m³, dan untuk lantai 2 kolom K1 volume 117,65 m³; kolom K2 volume 11,91 m³. Jadi, total pembetonan pada kolom yaitu 372,74 m³. Jadi, total pembetonan pada kolom yaitu 372,74 m³.

Tabel 3 Quantity Take Off pada Balok

Struktur Balok			
Lokasi	Item Pekerjaan	Type Item	Volume (m ³)
Lantai 1	Tie Beam	TB1	141,71
Lantai 1	Balok	B3	16,20
Lantai 2	Balok	B1	174,12
Lantai 2	Balok	B2	84,16
Lantai 2	Balok	B3	11,55
Lantai 2	Balok	B4	2,46
Lantai 2	Balok	B5	9,05
Total			

Dari Tabel 3 diketahui untuk lantai 1 Tie Beam TB1 volume 141,71 m³; Balok B3 volume 16,20 m³; dan untuk lantai 2 Balok B1.A volume 12,38 m³; Balok B1.B volume 73,02 m³; Balok B1.C volume 88,72; Balok B2 84,16 m³; Balok B3 volume 11,55 m³; Balok B4 volume 2,46 m³; Balok B5 volume 9,05 m³. Jadi, total pembetonan pada balok yaitu 439,25 m³.

Tabel 4 Quantity Take Off pada Plat Lantai

Plat Lantai			
Lokasi	Item Pekerjaan	Type Item	Volume (m ³)
Lantai 1	Pelat	A-125	208,70
Lantai 2	Pelat	A-125	199,58
Total			408,28

Dari Tabel 4 diketahui untuk plat lantai 1 volume 208,70 m³ dan plat lantai 2 volume 199,58 m³. Jadi, total pembetonan pada balok yaitu 408,28 m³.

Tabel 5 Quantity Take Off pada Pembesian

Penulangan			
Lokasi	Item Pekerjaan	Type Item	Weight (kg)
Penulangan Pondasi			
Pile	Pondasi	P1	36.832,35
Pile	Pondasi	P2	17.426,40
Pile	Pondasi	P3	16.164,11
Pile	Pondasi	P4	9.246,60
Pile	Pondasi	P5	7.070,00
Pile	Pondasi	P6	1.036,66
Jumlah			87.776,12
Penulangan Kolom			
Lantai 1	Kolom	K1	44.724,07
Lantai 1	Kolom	K2	5.749,08
Lantai 2	Kolom	K1	24.026,06
Lantai 2	Kolom	K2	3.119,10
Jumlah			77.618,31

Penulangan Balok

Lantai 1	Tie Beam	TB1	26.171,25
Lantai 1	Balok	B3	3.015,87
Lantai 2	Balok	B1	28.310,10
Lantai 2	Balok	B2	24.907,54
Lantai 2	Balok	B3	1.535,34
Lantai 2	Balok	B4	568,23
Lantai 2	Balok	B5	2.735,71
Jumlah			87.244,04

Penulangan Plat Lantai

Lantai 1	Plat Lantai	A-125	25.886,72
Lantai 2	Plat Lantai	A-125	29.820,53
Jumlah			55.707,25
Total			308.345,72

Dari Tabel 5 diketahui jumlah volume penulangan pondasi yaitu 87.776,12 kg, jumlah volume penulangan kolom yaitu 77.618,31 kg, jumlah volume penulangan balok yaitu 87.244,04 kg, dan jumlah volume penulangan plat lantai yaitu 55.707,25 kg. Jadi, total pembesian pada Gedung B proyek pembangunan RSPTN Universitas Jember yaitu 308.345,72 kg.

Tabel 6 Quantity Take Off pada Dinding

Wall Material Take Off		
Level	Type	Area (m ²)
Lantai 1	Dinding 200 x 600 x 100 mm	3.230
Lantai 2	Dinding 200 x 600 x 100 mm	2.482
Lantai 3	Dinding 200 x 600 x 100 mm	3.180
Lantai 4	Dinding 200 x 600 x 100 mm	2.860
Total		11.752

Dari Tabel 6 diketahui untuk dinding lantai 1 dengan total 3.230 m², dinding lantai 2 total 2.482 m², dinding lantai 3 total 3.180 m², dan dinding lantai 4 total 2.860 m². Jadi, total volume dinding yaitu 11.752 m².

Tabel 7 Quantity Take Off pada Pintu

Door Material Take Off			
Level	Family	Type	Count (unit)
Lantai 1	Pintu	P1	33
		P2	4
		P3	14
		P5	4
		P6	3
		P8	4
		SHF1	1
		SHF2	2
		Jumlah	65
Lantai 2	Pintu	P1	25
		P2	14
		P3	4
		P5	1
		P6	2
		SHF2	4
		SL1A	22
		Jumlah	72
Lantai 3	Pintu	P1	23
		P3	16
		P4	9
		P5	8
		P6	2
		P7	9
		SHF2	3

Door Material Take Off			
Level	Family	Type	Count (unit)
Lantai 4	Pintu	SL10K	2
		SL20K	3
		Jumlah	75
		P1	32
		P3	16
		P4	1
		P5	15
		P6	3
		SHF2	3
		Jumlah	70
Total		282	

Dari Tabel 7 diketahui untuk kebutuhan pintu lantai 1 dengan total 65 unit, pintu lantai 2 total 72 unit, pintu lantai 3 total 75 unit, dan pintu lantai 4 total 70 unit. Jadi, total volume pintu yaitu 282 unit.

Tabel 8 <i>Quantity Take Off</i> pada Jendela			
Window Material Take Off			
Level	Family	Type	Count (unit)
Lantai 1	BV	BV 1	1
	BV	BV 2	1
	Jendela	J1	2
	Jendela	J2	3
	Jendela	J3	2
	Jendela	J4	2
	Jendela	J-MRI	2
	Jendela	JPB	4
Jumlah			17
Lantai 2	Jendela	J2	1
	Jendela	J3	1
	Jendela	J4	2
Jumlah			4
Lantai 3	BV	BV 1	1
	Jendela	J2	8
	Jendela	J3	11
	Jendela	J4	6
Jumlah			26
Lantai 4	Jendela	J2	5
	Jendela	J3	6
	Jendela	J4	8
Jumlah			19
Total			66

Dari Tabel 8 diketahui untuk kebutuhan jendela lantai 1 dengan total 17 unit, jendela lantai 2 total 4 unit, jendela lantai 3 total 26 unit, dan jendela lantai 4 total 19 unit. Jadi, total volume jendela yaitu 66 unit.

Tabel 9 Quantity Take Off pada Lantai		
Floor Material Take Off		
Level	Type	Area (m ²)
Lantai 1	Lantai Polished	1213
	Lantai Unpolished	433
	Lantai Vinyl	552
Jumlah		2198
Lantai 2	Lantai Polished	1737
	Lantai Unpolished	147
	Lantai Vinyl	31
Jumlah		1915
Lantai 3	Lantai Polished	1161
	Lantai Unpolished	200
	Lantai Vinyl	560
Jumlah		1921

Floor Material Take Off		
Level	Type	Area (m ²)
Lantai 4	Lantai Polished	1709
	Lantai Unpolished	166
	Lantai Vinyl	108
Jumlah		1983
Total		8017

Dari tabel 9 diketahui untuk jumlah volume lantai 1 yaitu 2198 m², jumlah lantai 2 yaitu 1915 m², jumlah lantai 3 yaitu 1921 m², dan jumlah lantai 4 yaitu 1983 m². Jadi, total volume pada lantai yaitu 8017 m².

Tabel 10 Quantity Take Off pada Plafond		
Ceiling Material Take Off		
Level	Type	Area (m ²)
Plafond 1	Plafond Gypsum 9mm	1700
	Plafond GRC 6mm	159
	Jumlah	1859
Plafond 2	Plafond Gypsum 9mm	1749
	Plafond GRC 6mm	146
	Jumlah	1895
Plafond 3	Plafond Gypsum 9mm	1675
	Plafond GRC 6mm	201
	Jumlah	1876
Plafond 4	Plafond Gypsum 9mm	1702
	Plafond GRC 6mm	167
	Jumlah	1869
Total		7499

Dari Tabel 10 diketahui untuk jumlah volume plafond lantai 1 yaitu 1859 m², jumlah volume plafond lantai 2 yaitu 1895 m², jumlah volume plafond lantai 3 yaitu 1876 m², jumlah volume plafond lantai 4 yaitu 1869 m². Jadi, total volume pada plafond yaitu 7499 m².

3.3. Validasi

Validasi digunakan untuk melihat perbandingan perhitungan volume hasil BIM dengan perhitungan konvensional agar menjadi valid dan tidak memiliki selisih perbedaan yang sangat jauh. Validasi dilakukan dengan mengambil semua pekerjaan struktur dan pekerjaan arsitektur. Jika didapatkan hasil yang valid maka dilanjutkan pada tahap berikutnya, namun apabila sebaliknya atau tidak valid maka dilakukan pengecekan ulang terhadap pemodelan sesuai pekerjaan yang dianalisis. Hasil validasi ditunjukkan dalam Tabel 11 dan Tabel 12 sebagai berikut:

Tabel 11 Validasi Struktur			
Validasi Pondasi			
Item Pekerjaan	Volume		Galat %
	Konvensional (m ³)	Revit (m ³)	
P1	201,60	201,60	0,00
P2	88,20	88,20	0,00
P3	100,80	100,80	0,00
P4	54,95	54,95	0,00
P5	37,73	37,73	0,00
P6	5,60	5,60	0,00
Validasi Kolom			
Volume			

Item Pekerjaan	Konvensional (m ³)	Revit (m ³)	Galat %
K1 Lantai 1	221,01	220,27	0,33
K2 Lantai 1	22,91	22,91	0,00
K1 Lantai 2	117,65	117,65	0,00
K2 Lantai 2	11,91	11,91	0,00
Validasi Balok			
Item Pekerjaan	Volume		Galat %
	Konvensional (m ³)	Revit (m ³)	
Tie Beam	141,71	141,71	0,00
B3 Lantai 1	16,16	16,20	0,25
B1A Lantai 2	12,38	12,38	0,03
B1B Lantai 2	73,02	73,02	0,01
B1C Lantai 2	88,76	88,72	0,04
B2 Lantai 2	84,34	84,16	0,21
B3 Lantai 2	11,55	11,55	0,00
B4 Lantai 2	2,47	2,46	0,51
B5 Lantai 2	9,04	9,05	0,11
Validasi Pelat			
Item Pekerjaan	Volume		Galat %
	Konvensional (m ³)	Revit (m ³)	
Plat Lantai 1	208,57	208,70	0,06
Plat Lantai 2	198,68	199,58	0,45
Validasi Penulangan			
Item Pekerjaan	Volume		Galat %
	Konvensional (kg)	Revit (kg)	
Pondasi P1	36389,08	36832,35	1,22
Pondasi P2	17427,2	17426,4	0,00
Pondasi P3	16314,75	16164,11	0,92
Pondasi P4	9225,14	9246,6	0,23
Pondasi P5	7007,37	7070	0,89
Pondasi P6	1024,92	1036,66kg	1,15
K1 Lantai 1	45087,53	44724,07	0,81
K2 Lantai 1	5825,47	5749,08	1,31
K1 Lantai 2	24208,06	24026,06	0,75
K2 Lantai 2	3147,19	3119,1	0,89
Tie Beam	26699,9	26171,25	1,98
B3 Lantai 1	3062,25	3015,87	1,51
B1A Lantai 2	2408,94	2392,74	0,67
B1B Lantai 2	11783,69	11648,1	1,15
B1C Lantai 2	14529,07	14269,26	1,79
B2 Lantai 2	25378,72	24907,54	1,86
B3 Lantai 2	1514,48	1535,34	1,38
B4 Lantai 2	573,37	568,23	0,90
B5 Lantai 2	2690,44	2735,71	1,68
Plat Lantai 1	26081,27	25886,72	0,75
Plat Lantai 2	29886,99	29820,53	0,22

Dari Tabel 11 diketahui bahwa galat dari pembetonan dan penulangan struktur kurang dari 2%.

Tabel 12 Validasi Arsitektur

Dinding			
Item Pekerjaan	Volume		Galat %
	Konvensional (m ²)	Revit (m ²)	
Dinding L1	3.230,06	3.230,00	0,00
Dinding L2	2.484,82	2.482,00	0,11
Dinding L3	3.191,86	3.180,00	0,37
Dinding L4	2.860,08	2.860,00	0,00
Pintu			
Volume			

Item Pekerjaan	Konvensional (unit)	Revit (unit)	Galat %
Pintu Lantai 1	65,00	64,00	0,00
Pintu Lantai 2	72,00	72,00	0,00
Pintu Lantai 3	75,00	75,00	0,00
Pintu Lantai 4	70,00	70,00	0,00
Jendela			
Item Pekerjaan	Volume		Galat %
	Konvensional (unit)	Revit (unit)	
Jendela L1	17,00	17,00	0,00
Jendela L2	4,00	4,00	0,00
Jendela L3	26,00	26,00	0,00
Jendela L4	19,00	19,00	0,00
Lantai			
Item Pekerjaan	Volume		Galat %
	Konvensional (m ²)	Revit (m ²)	
Lantai 1	2.198,00	2.198,00	0,00
Lantai 2	1.915,00	1.915,00	0,00
Lantai 3	1.921,00	1.921,00	0,00
Lantai 4	1.983,00	1.983,00	0,00
Plafond			
Item Pekerjaan	Volume		Galat %
	Konvensional (m ²)	Revit (m ²)	
Plafond 1	1.859,00	1.859,00	0,00
Plafond 2	1.895,00	1.895,00	0,00
Plafond 3	1.876,00	1.876,00	0,00
Plafond 4	1.869,00	1.869,00	0,00

Dari Tabel 12 diketahui bahwa galat pada arsitektur gedung B RSPTN Universitas Jember yang berupa dinding, pintu, jendela, lantai, dan plafond adalah 0%.

3.4 Implementasi BIM Pada Tahap Pelaksanaan

Pada tahap pelaksanaan proyek pembangunan Gedung B RSPTN Universitas Jember, metode yang digunakan masih bersifat konvensional, yaitu penggambaran menggunakan AutoCAD dan perhitungan volume menggunakan MS Project. Metode ini memiliki kelemahan utama seperti kurangnya integrasi antar disiplin struktur dan arsitektur, sehingga koordinasi antar tim menjadi tidak optimal. Perubahan pada *shop drawing* tidak otomatis *terupdate* ke seluruh dokumen terkait, sehingga berpotensi menyebabkan kesalahan komunikasi dan revisi manual yang memakan waktu. Selain itu, penggunaan *MS Excel* untuk perhitungan volume kurang akurat dan tidak mampu menangani data kuantitas material secara detail dan *real-time*.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, penelitian ini mengimplementasikan pemodelan 3D berbasis *Building Information Modelling* (BIM) dari desain struktur dan arsitektur.

Hasil dari penerapan BIM dalam penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat sebanyak 455 benturan yang terdeteksi antara elemen struktur dan elemen arsitektur. Temuan ini menunjukkan bahwa BIM efektif dalam mengidentifikasi potensi konflik desain secara dini sebelum proses konstruksi dimulai. Dengan

diketuinya benturan ini sejak awal, risiko keterlambatan di lapangan akibat kesalahan koordinasi dapat diminimalkan secara signifikan, sehingga pelaksanaan proyek dapat berjalan lebih efisien dan tepat waktu. Selain itu, penggunaan BIM dalam penelitian ini juga memungkinkan proses *Quantity Take-Off* (QTO) dilakukan secara otomatis dan terintegrasi langsung dari model 3D yang telah dibangun. Volume pekerjaan struktur dan arsitektur dapat dihitung dengan lebih cepat dan akurat dibandingkan metode konvensional. Proses ini tidak hanya mengurangi risiko kesalahan perhitungan, tetapi juga mempercepat waktu penyusunan estimasi biaya dan kebutuhan material di lapangan

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian “Implementasi Konsep *Building Information Modelling* (BIM) Pada Tahap Pelaksanaan Gedung B Proyek Pembangunan RSPTN Universitas Jember” yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan *Building Information Modelling* (BIM) memberikan kontribusi signifikan dalam tahap pelaksanaan proyek konstruksi gedung. Melalui proses *clash detection*, ditemukan sebanyak 455 benturan antara elemen struktur dan elemen arsitektur dalam model bangunan.

Selain itu, hasil perbedaan *Quantity Take Off* (QTO) pada pekerjaan struktur menggunakan *Building Information Modelling* (BIM) dibandingkan dengan perhitungan konvensional galatnya rata-rata di bawah 2%. Galat ini terjadi karena metode konvensional cenderung menyederhanakan bentuk dan Sementara itu, *Revit* menghitung berdasarkan model 3D yang lebih akurat dan rinci. Sedangkan hasil perbedaan *Quantity Take Off* (QTO) pada pekerjaan arsitektur menggunakan *Building Information Modelling* (BIM) dibandingkan dengan perhitungan konvensional galatnya rata-rata 0%.

Implementasi Building Information Modelling (BIM) pada tahap pelaksanaan proyek konstruksi gedung dalam penelitian ini terbukti memberikan manfaat nyata dalam meningkatkan efisiensi dan akurasi proses konstruksi. Melalui fitur *clash detection*, BIM mampu mendeteksi sebanyak 455 benturan antara elemen struktur dan arsitektur secara dini, yang memungkinkan perbaikan dilakukan sebelum pelaksanaan di lapangan, sehingga berpotensi mengurangi risiko keterlambatan dan konflik kerja. Selain itu, fitur *Quantity Take-Off* (QTO) memungkinkan perhitungan volume pekerjaan dilakukan secara otomatis, cepat, dan konsisten, baik untuk elemen struktural maupun arsitektural. Hasil ini menunjukkan bahwa BIM tidak hanya mendukung visualisasi dan koordinasi desain, tetapi juga berperan sebagai alat strategis dalam perencanaan pelaksanaan proyek, pengendalian mutu, serta efisiensi biaya dan waktu. Dengan demikian, implementasi BIM sangat direkomendasikan sebagai metode modern dalam manajemen proyek konstruksi, khususnya di era digital saat ini.

Daftar Rujukan

- [1] I. A. Reista, A. Annisa, and I. Ilham, “Implementasi *Building Information Modelling* (BIM) dalam Estimasi Volume Pekerjaan Struktural dan Arsitektural,” *J. Sustain. Constr.*, vol. 2, no. 1, pp. 13–22, 2022, doi: 10.26593/josc.v2i1.6135.
- [2] BPK, “Undang-Undang Republik Indonesia No 2 Tahun 2017 Tentang Jasa Konstruksi,” *Republik Indones.*, vol. 02, pp. 2–4, 2017, [Online]. Available: http://www.lkpp.go.id/v3/files/attachments/5_shOZLkcQtAW WUCHVmDOnNvhtzMvlPLyp.pdf
- [3] N. Nelson and J. S. Tamtana, “Faktor Yang Memengaruhi Penerapan *Building Information Modeling* (Bim) Dalam Tahapan Pra Konstruksi Gedung Bertingkat,” *JMTS J. Mitra Tek. Sipil*, vol. 2, no. 4, p. 241, 2019, doi: 10.24912/jmts.v2i4.6305.
- [4] PUPR, “Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 22/PRT/M/2018 Tentang Pembangunan Bangunan Gedung Negara,” *JDIH Kementerian. PUPR*, pp. 1–20, 2018, [Online]. Available: <https://jdih.pu.go.id/detail-dokumen/2594/1>



Perbandingan Kemampuan Menahan Beban Aksial Kolom Pendek Berlubang Dengan Variasi Jarak Sengkang

Muhamad Iqbal Dafa Pratama¹, Mohamad Galuh Khomari², I Ketut Hendra Wiryasuta³, M. Shofi'ul Amin⁴,
Mirza Ghulam Rifqi⁵

^{1,2,3,4,5} Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Banyuwangi

¹muhamadiqbaldafapratama@gmail.com, ²mohamadgaluh@poliwangi.ac.id, ³hendrawiryasuta@poliwangi.ac.id,

⁴shofiul@poliwangi.ac.id, ⁵mirza@poliwangi.ac.id

Abstract

This study investigates the effect of stirrup spacing variation on the axial load capacity of short reinforced concrete columns with openings. The research focuses on square cross-section short columns measuring 12 cm × 12 cm × 45 cm, incorporating a pipe opening that reduces the cross-sectional area by 5.58%. The objective is to determine whether varying the stirrup spacing can enhance the axial compressive strength of perforated columns, which typically experience strength reduction due to the decreased cross-sectional area. The study was conducted experimentally in a laboratory using 20 MPa concrete, with longitudinal reinforcement of $\phi 10$ mm and stirrups of $\phi 6$ mm. Two types of columns were tested: solid columns (with 19 cm stirrup spacing) and perforated columns (with 8 cm stirrup spacing). Test results indicate that reducing stirrup spacing in perforated columns was not sufficiently effective to equal or surpass the axial strength of solid columns. The solid columns had an average axial compressive strength of 296.71 kN, while the perforated columns with 8 cm stirrup spacing showed a slightly lower strength of 288.92 kN, representing a decrease of 2.62%.

Keywords: Hollow Short Column, Stirrup Spacing, Axial Strength, Reinforced Concrete, Structural Strengthening

Abstrak

Penelitian ini membahas pengaruh variasi jarak sengkang terhadap kemampuan kolom pendek berlubang dalam menahan beban aksial. Ruang lingkup penelitian difokuskan pada kolom pendek beton bertulang berpenampang persegi berukuran 12 cm × 12 cm × 45 cm dengan lubang pipa 5,58% dari luas penampang. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah variasi jarak sengkang dapat meningkatkan kekuatan tekan aksial kolom berlubang yang kapasitasnya menurun akibat berkurangnya luas penampang. Penelitian dilakukan secara eksperimental di laboratorium menggunakan beton mutu 20 MPa, dengan tulangan utama $\phi 10$ mm dan sengkang $\phi 6$ mm. Dua jenis kolom diuji, yaitu kolom tanpa lubang (jarak sengkang 19 cm) dan kolom berlubang (jarak sengkang 8 cm). Hasil pengujian menunjukkan bahwa upaya penambahan variasi jarak sengkang pada kolom berlubang belum cukup efektif untuk membuat kekuatan aksial kolom berlubang sama atau melebihi kekuatan aksial kolom tanpa lubang dimana, kolom tanpa lubang memiliki kuat tekan rata-rata sebesar 296,71 kN, sementara kolom berlubang dengan variasi jarak sengkang 8 cm lebih kecil 2,62% yaitu sebesar 288,92 kN.

Kata kunci: Kolom Pendek Berlubang, Jarak Sengkang, Kuat Tekan Aksial, Beton Bertulang, Perkuatan Struktur

Diterima Redaksi : 2025-06-26 | Selesai Revisi : 2025-07-08 | Diterbitkan Online : 2025-11-12

1. Pendahuluan

Kolom adalah komponen struktur bangunan yang tugas utamanya menyangga beban aksial tekan vertikal, dengan bagian tinggi tidak ditopang paling tidak tiga kali dimensi lateral terkecil. Kolom berfungsi sebagai penerus beban seluruh bangunan ke pondasi. Kolom merupakan salah satu elemen vertikal dari suatu struktur yang dibebani beban aksial dengan atau tanpa momen untuk diteruskan ke pondasi, baik beban aksial akibat berat sendiri maupun beban aksial akibat beban luar [1]. Kekuatan rencana dari suatu kolom adalah berbanding

lurus antara faktor reduksi kekuatan dan kekuatan nominalnya [2].

Dalam pekerjaan struktur kolom tidak boleh ada cacat karena kolom tidak tercetak sempurna, tidak sesuai dengan ukuran yang direncanakan, maupun berongga akibat satu dan lain hal, dikarenakan apabila hal tersebut terjadi akan sangat berpengaruh terhadap kekuatan itu sendiri [3]. Kolom sering digunakan sebagai saluran untuk pipa drainase atau instalasi mekanikal dan elektrik, hal tersebut biasanya dirancang untuk estetika bangunan. Pemasangan pipa-pipa ini dapat mengurangi luas penampang kolom. Pengurangan luas penampang



tersebut berpotensi menurunkan kapasitas kekuatan kolom [4]

Pengurangan luas penampang pada kolom memiliki dampak pada kekuatan struktur kolom. Berdasarkan penelitian yang dilakukan [5] penambahan pipa PVC pada kolom, yang menyebabkan pengurangan luas penampang kolom, berpengaruh terhadap kapasitas beban aksial. Semakin besar lubang pada kolom, semakin berkurang kapasitas beban aksialnya. Kolom dengan variasi luas lubang 2% terhadap luas penampang mengalami penurunan kapasitas beban aksial sebesar 1,18%. Sementara itu, kolom dengan variasi luas lubang 4% mengalami penurunan sebesar 2,52%, dan kolom dengan variasi luas lubang 6% mengalami penurunan sebesar 4,34%.

Ada beberapa hal yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kapasitas aksial kolom. Pada penelitian [6] penambahan beton jaket dan tulangan sengkang berkontribusi pada peningkatan kapasitas aksial serta daktilitas kolom. Kolom yang diperkuat dengan tambahan tulangan sengkang memiliki deformasi aksial dan kapasitas aksial yang lebih tinggi dibandingkan dengan kolom inti serta kolom yang diperkuat tanpa tambahan sengkang. Selain itu, peningkatan kapasitas aksial juga semakin signifikan seiring dengan bertambahnya kuat tekan beton jaket yang digunakan sebagai elemen perkuatan. Jarak maksimum sengkang dibatasi oleh diameter tulangan longitudinal, diameter sengkang, dan dimensi penampang melintang kolom. Sedangkan jarak minimum sengkang dibatasi oleh ukuran butir maksimum agregat kasar yang digunakan [7].

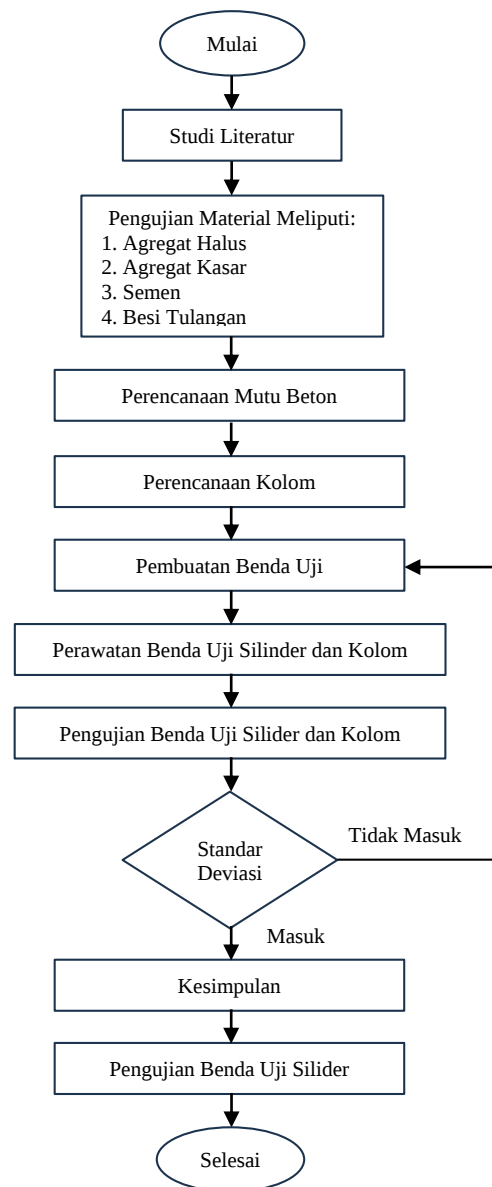
Kolom sebagai elemen struktural utama berperan penting dalam menahan beban aksial. Namun, berdasarkan uraian diatas dampak pengurangan luas penampang kolom akibat pemasangan pipa dapat menurunkan kapasitas beban aksialnya. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa semakin besar pengurangan luas penampang, semakin besar penurunan kapasitas beban aksial. Di sisi lain, upaya perkuatan seperti penambahan tulangan sengkang terbukti efektif meningkatkan kapasitas aksial kolom. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi jarak sengkang terhadap kemampuan menahan beban aksial pada kolom pendek berlubang. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan solusi optimal untuk meningkatkan kinerja kolom, khususnya pada kasus kolom berlubang yang rentan terhadap penurunan kekuatan.

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan dapat diambil rumusan masalah yaitu, bagaimana perbandingan beban aksial kolom pendek berlubang beton dengan variasi jarak sengkang?

Adapun tujuan artikel ini adalah untuk mengetahui perbandingan beban aksial kolom pendek beton berlubang dengan variasi sengkang.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan yang disajikan dalam bentuk *flowchart* atau diagram alir, berikut diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.1. Studi Literatur

Studi literatur yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pemdalaman materi meliputi standar pengujian material penyusun beton bertulang, persamaan beban aksial kolom, efek kekangan pada kolom, standar deviasi pengujian beton silinder, kriteria kolom dan penelitian

terdahulu. Hasil studi literatur akan digunakan sebagai gagasan, teori dan metode pada penelitian.

2.2. Pengujian Material

Pengujian material meliputi material penyusun beton silinder dan kolom beton. Material yang diuji antara lain agregat halus, agregat kasar, semen, dan besi tulangan. Berikut uraian rekap hasil pengujian material dapat dilihat pada Tabel 1, Tabel 2, Tabel 3, dan Tabel 4.

Tabel 1. Rekap Hasil Pengujian Pasir

No.	Pengujian	Hasil	
1	Berat jenis	2,509	
2	Berat volume	Dengan rojokan	Tanpa rojokan
		1,605	1,379
3	Kadar air resapan	1,833%	
4	Kelembapan	3,03%	
5	Analisa saringan	Zona 3	

Dari Tabel 1. Menunjukkan hasil berat jenis pasir didapatkan rata-rata 2,509 nilai tersebut memenuhi persyaratan berdasarkan ASTM C 128-78 sebesar 1,66-3,30. Pengujian berat volume pasir rojokan dan tanpa rojokan didapatkan hasil rata-rata 1,605 gram/cm³ dan 1,379 gram/cm³, nilai tersebut memenuhi persyaratan ASTM C 29-78 yaitu 0,4-1,9 gram/lt. Kadar resapan 1,833% memenuhi ASTM C 128 yaitu dibawah 4%. Kelembapan pasir 3,03% memenuhi ASTM C 556-72 yaitu dibawah 4%. Dan untuk Analisa saringan diperoleh angka kehalusan 1,987 dan masuk pada zona 3 atau pasir termasuk dalam kategori agak halus.

Tabel 2. Rekap Hasil Pengujian Krikil

No.	Pengujian	Hasil	
1	Berat jenis	2,486	
2	Berat volume	Dengan rojokan	Tanpa rojokan
		1,462	1,359
3	Kadar air resapan	1,94%	
4	Kelembapan	1,66%	
5	Analisa saringan	Zona 10 mm	

Dari Tabel 2. Menunjukkan hasil berat jenis Krikil didapatkan rata-rata 2,486 nilai tersebut memenuhi ASTM C 128-73 sebesar 1,66-3,30. Pengujian berat volume Krikil rojokan dan tanpa rojokan didapatkan hasil rata-rata 1,462 gr/cm³ dan 1,359 gr/cm³, nilai tersebut memenuhi persyaratan ASTM C 29-78 yaitu 0,4-1,9 kg/lt. Kadar resapan 1,94% memenuhi ASTM C 127-77 yaitu dibawah 4%. Kelembapan krikil 1,66% memenuhi ASTM C 556-72 yaitu dibawah 4%. Dan untuk Analisa saringan masuk pada gradasi maksimum 10 mm.

Tabel 3. Rekap Hasil Pengujian Semen

No.	Pengujian	Hasil	
1	Berat jenis	3,09	
2	Berat volume	Dengan rojokan	Tanpa rojokan
		1,058	1,170

Berdasarkan Tabel 3, berat jenis semen rata-rata dari pengujian sebesar 3,09 dari nilai yang didapatkan telat memenuhi persyaratan ASTM C 188-95 berat jenis semen portland mempunyai besaran antara 3,0-3,2. Dan hasil berat volume semen dengan rojokan yaitu 1,058 gr/cm³ dan tanpa rojokan sebesar 1,17 gr/cm³.

Pengujian kuat tarik tulangan menggunakan alat UTM (*Universal Testing Machine*) yang berada di Lab uji bahan politeknik negeri banyuwangi. Hasil pengujian besi tulangan meliputi tulangan polos BJTP 280 Ø6 dan BJTP 280 Ø10. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4. Hasil Pengujian Tulangan Ø6

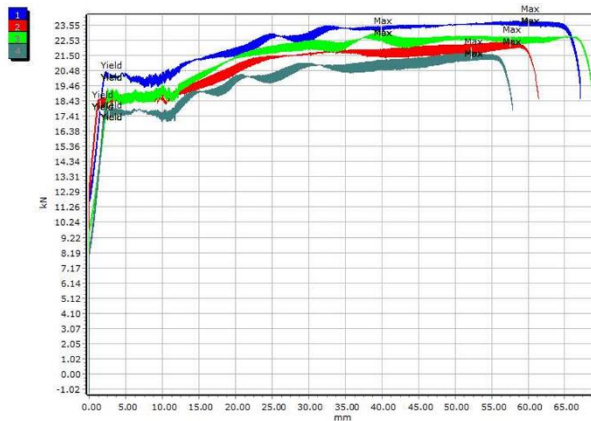
No.	Area (mm ²)	Maximum Force (MPa)	Yield Stress (MPa)
1.	26,51	23,87	753,68
2.	26,51	22,48	697,23
3.	26,51	23,04	695,08
4.	26,51	21,68	653,05
Average	26,51	22,77	699,76

Tabel 5. Hasil Pengujian Tulangan Ø10

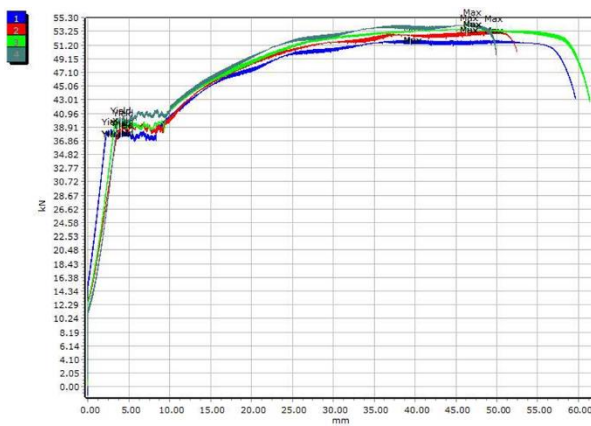
No.	Area (mm ²)	Maximum Force (MPa)	Yield Stress (MPa)
1.	71,63	51,97	527,15
2.	71,63	53,37	529,99
3.	71,63	53,55	551,51
4.	71,63	54,36	545,20
Average	71,63	53,31	538,46

Dari Tabel 4 dan 5 diketahui kuat tarik tulangan Ø6 dan Ø10 yaitu 699,76 MPa dan 538,46 MPa, hasil ini menunjukkan mutu tulangan memenuhi bahkan melebihi mutu yang seharusnya yaitu 280 MPa.

Curva hasil pengujian besi tulangan Ø6 dan besi tulangan Ø10 menunjukkan posisi *yield stress* dan *maximum force*-nya, berikut curva pengujian dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Curva Pengujian Tulangan Ø6



Gambar 3. Curva Pengujian Tulangan Ø10

Curva menunjukkan transisi elastis-plastis yang jelas dan mengalami keruntuhan secara daktail, sehingga dapat disimpulkan bahwa kedua jenis tulangan tersebut layak digunakan dalam elemen struktur beton bertulang.

2.3. Perencanaan Mutu Beton

Perencanaan mutu beton pada penelitian ini menggunakan proporsi campuran sesuai dengan [8], yang menggunakan mutu beton $F'c$ 20 MPa. Dengan nilai slump 100 ± 20 mm.

Tabel 6. Sample Beton

Benda Uji Silinder	Simbol	Jumlah
	Benda Uji	Benda Uji
Benda Uji Silinder 15 x 30 cm	BS	3
Total Jumlah Benda Uji		3

2.4. Perencanaan Kolom

Kolom yang direncanakan pada penelitian ini adalah kolom pendek. Bila kolom dianggap sebagai kolom pendek maka kolom tersebut untuk mencapai kekuatan batasanya tidak perlu memperhitungkan atau diaman terhadap bahaya tekuk [9]. Pemisah atas kolom pendek dan kolom langsing didasari atas nilai rasio kelangsingan kolom yaitu :

DOI : <https://doi.org/10.52158/jaceit.v7i2.1271>

1. Kolom pendek yang tidak diberi bresing

$$\frac{k.Lu}{r} \leq 22 \quad (1)$$

2. Kolom Panjang/langsing yang tidak diberi bresing

$$\frac{k.Lu}{r} \leq 22 \quad (2)$$

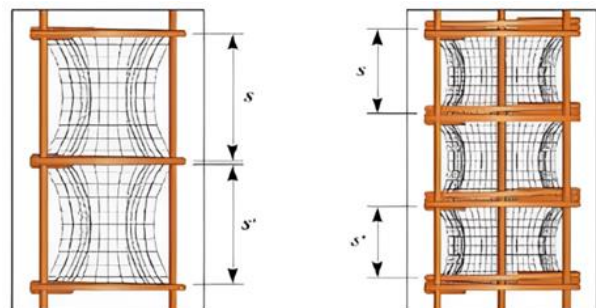
dengan:

Lu = tinggi bagian kolom yang tidak ditumpu secara lateral

k = faktor yang tergantung pada jenis dukungan pada ujung-ujung kolom

r = radius girasi Penampang berdasarkan SNI 2847

untuk upaya perkuatan kolom berlubang yaitu dengan memperpendek jarak antar sengkang. Wibowo (2018), telah melakukan berbagai penelitian terkait kolom pendek beton bertulang dan variasi sengkang, dan hasilnya adalah pada kolom penggunaan tulangan transversal atau sengkang ini sangat berpengaruh pada kekuatan kolom. Semakin pendek jarak antar sengkang pada kolom maka akan semakin kuat struktur kolom tersebut. Hal ini dikarenakan sengkang berfungsi sebagai pengekang akan berfungsi lebih maksimal [10].



Gambar 4. Ilustrasi Kekangan Pada Kolom [10]

Pada Gambar 4, menunjukkan kolom dengan jarak sengkang yang lebih pendek maka efek kekangan akan bekerja lebih maksimal.

Berikut spesifikasi kolom tanpa lubang dan berlubang yang digunakan dalam penelitian ini :

1. Kolom tanpa lubang (KN)

- Diameter tulangan utama 4Ø8
- Diameter tulangan geser Ø6-195
- Dimensi kolom 12x12 cm dengan tinggi 45 cm
- Selimut beton 20 mm

2. Kolom berlubang (JS)

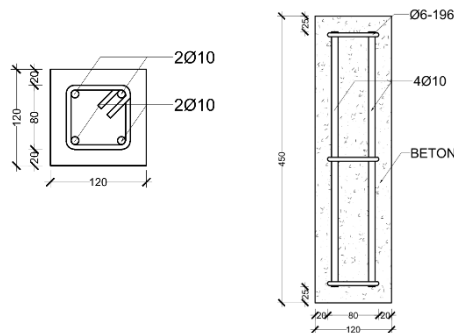
- Diameter tulangan utama 4Ø8
- Diameter tulangan geser Ø6-80
- Dimensi kolom 12x12 cm dengan tinggi 45 cm
- Selimut beton 20 mm
- Pipa PVC 1" (5% dari luas penampang kolom)

Tabel 7. Variasi Benda Uji Kolom

Variasi Kolom		Simbol Benda Uji	Jumlah Benda Uji
Kolom Beton Bertulang Normal		KN	3
Kolom Beton Bertulang Berlubang Jarak Sengkang		JS	3
Total Jumlah Benda Uji			6

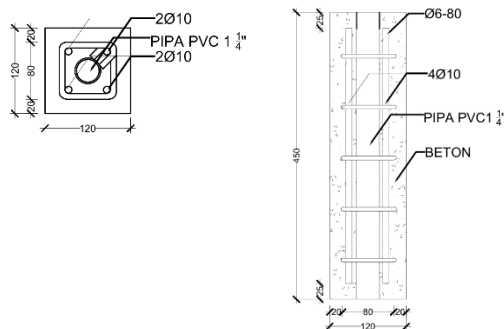
Pada Tabel 7, menunjukkan variasi benda uji kolom pada penelitian ini hanya ada 2 variasi yaitu KN (kolom beton bertulang normal) dan JS (kolom beton bertulang dengan variasi jarak sengkang).

Berikut Gambar 5 tentang rencana benda uji kolom pendek tanpa lubang (KN) dan kolom pendek berlubang (JS).



Gambar 5. Gambar Rencana Kolom Tanpa Lubang (KN)

Gambar 5 adalah rencana kolom pendek tanpa lubang sesuai dengan rencana spesifikasi (KN).



Gambar 6. Gambar Rencana Kolom Berlubang (JS)

Gambar 6 adalah rencana kolom pendek tanpa lubang sesuai dengan rencana spesifikasi (JS).

2.5. Kuat Tekan Silinder Beton

Kuat tekan beton merupakan besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur jika dibebani dengan gaya tekan tertentu oleh mesin tekan [11]. Perhitungan kuat tekan benda uji dilakukan dengan membagi beban maksimum yang diterima oleh benda uji selama pengujian dengan luas Penampang melintang

rata yang ditentukan. Perhitungan tersebut dapat dilihat pada Persamaan 3.

$$\text{Kuat Tekan Beton} = P/A \quad (3)$$

Standar deviasi ditetapkan berdasarkan Tingkat mutu pengendalian pelaksanaan pencampuran betonnya. Makin baik mutu pelaksanaannya makin kecil nilai standar deviasi. Untuk perhitungan standar deviasi beton normal menggunakan Persamaan 4.

$$S = \frac{\sqrt{(x_l - x_{rt})^2}}{(n-1)} \quad (4)$$

Dengan keterangan:

S = Standar deviasi

X_i = Data kuat tekan masing-masing benda uji

X_{rt} = Data kuat tekan rata-rata dari masing masing benda uji

n = Jumlah benda uji

Tabel 8. Klasifikasi Standar Deviasi [11]

Standar Deviasi (kg/cm ²)		
Standar Laboratorium	Standar Konstruksi Umumnya	Kualitas Kontrol
<14,1	<28,1	Terbaik
14,1 – 17,6	28,1 – 35,2	Sangat Baik
17,6 – 21,1	35,2 – 42,2	Baik
21,1 – 24,6	42,2 – 49,2	Cukup
>24,6	>49,2	Kurang

2.6. Beban Aksial Kolom

Sebelum dilakukannya pengujian kolom, dihitung terlebih dahulu beban aksial rencana. Hal ini dilakukan karna alat UTM (*Universal Testing Machine*) yang digunakan untuk menguji benda uji kolom mempunyai kapasitas maksimal 500 kN, perhitungan beban aksial dilakukan untuk merencanakan beban aksila pengujian kolom nanti tidak melebihi kapasitas alat UTM.

Berdasarkan SNI Beton 03-2847-2019 [1] kapasitas maksimum beban aksial pada elemen struktur non-prategang dengan jumlah pengikat (sengkang) yang memadai dapat dihitung menggunakan rumus:

$$\phi P_n = 0,8 (0,85.f_c.(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}) \quad (5)$$

Pada penelitian ini, kolom beton dimodifikasi dengan memberikan lubang pada penampangnya. Lubang tersebut dibuat menggunakan pipa PVC dengan diameter tertentu untuk menciptakan variasi luas lubang. Oleh karena itu, rumus kapasitas beban aksial diperbarui menjadi:

$$\phi P_n = 0,8 (0,85.f_c.(A_g - \text{lubang pipa} - A_{st}) + f_y A_{st}) \quad (6)$$

Dengan :

A_g = Luas Penampang Kolom

A_{st} = Luas Total Tulangan Tekan Memanjang

Secara praktis pada praktek dilapangan dapat digunakan rasio tulangan memanjang, P_g sebesar 1% hingga maksimum 8% terhadap luas Penampang kolom beton. Berikut persamaan A_{st} (Luas total tulangan tekan memanjang):

$$A_{st} = \text{Jumlah Tulangan } (1/4 \cdot \pi \cdot D) \quad (7)$$

Dan berikut persamaan A_g (Luas Penampang kolom)

$$A_g = \text{Panjang} \times \text{Lebar} \quad (8)$$

$$= 196,54 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat Tekan BS3} &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{36371,99}{176,625} \\ &= 205,93 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Dari Tabel 9 dan Tabel 10 didapatkan nilai rata-rata kuat tekan beton silinder yaitu sebesar 20,07 MPa yang artinya kuat tekan yang didapat lebih besar dari mutu rencana yaitu sebesar f'_c 20 MPa dan dengan standar deviasi 8,24 yang termasuk ke dalam kategori terbaik dalam standar laboratorium karena kurang dari <14,1 kg/cm² pada Tabel 8 kontrol standar deviasi.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton

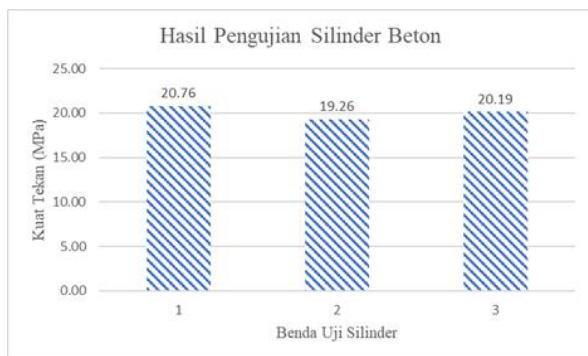
Pengujian kuat tekan benda uji silinder beton menggunakan alat uji CTM (*Compression Testing Machine*) yang ada di laboratorium uji bahan Teknik Sipil Politeknik Negeri Banyuwangi.

Tabel 9. Data Pengujian Kuat Tekan Beton Silinder

Nama Benda Uji	Berat Beton Silinder (kg)	Dimensi		Beban Max (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Rata - rata (MPa)
		t (mm)	d (mm)			
BS 1	12,53	300	150	367,01	20,77	
BS 2	12,45	300	150	340,43	19,26	20,07
BS 3	12,54	300	150	356,69	20,19	

$$\begin{aligned} \text{Kuat Tekan BS1} &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{37423,6}{176,625} \\ &= 211,88 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kuat Tekan BS2} &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{34713,75}{176,625} \end{aligned}$$



Gambar 7. Diagram Kuat Tekan Beton Silinder



Gambar 8. Pengujian Beton Silinder Menggunakan CTM

Tabel 10. Standar Deviasi Hasil Pengujian Benda Uji Beton Silinder

Xi (kg/cm)	rata-rata (Xrt)	(x-xrt) ²	Σ(x-xrt) ²	Standar Deviasi	Standar Deviasi	Klasifikasi
211.88		50.39		3.55		
196.54	204.78	67.96	119.66	4.12	8.24	Terbaik
205.93		1.31		0.57		

3.2. Hasil Beban Aksial Kolom

Berikut perhitungan beban aksial kolom berdasarkan persamaan 6.

1. Kolom Pendek Tanpa Lubang

Diketahui :

$$f'_c = 20,07 \text{ MPa}$$

$$A_g = 14400 \text{ mm}^2$$

$$A_{st} = 314 \text{ mm}^2$$

$f_y = 538,46 \text{ MPa}$

Sehingga

$$P_n \max = 0,8 (0,85 \times f_c' \times (A_g - A_{st}) + A_{st} \times f_y) \\ = 327,501 \text{ kN}$$

2. Kolom Pendek Berlubang

$f_c' = 20,07 \text{ MPa}$

$A_g = 13595 \text{ mm}^2$

$A_{st} = 314 \text{ mm}^2$

$f_y = 538,46 \text{ MPa}$

Sehingga

$$P_n \max = 0,8 (0,85 \times f_c' \times (A_g - A_{st}) + A_{st} \times f_y) \\ = 315,893 \text{ kN}$$

Pada perhitungan beban aksial kolom tanpa lubang dan kolom berlubang diatas data nilai material seperti beton dan besi tulangan menggunakan nilai sesuai dengan pengujian material yang telah dilakukan, dan untuk A_g telah dikurangi dengan luas pipa 1". Diketahui perhitungan beban aksial kolom tanpa lubang 327,501 kN dan kolom berlubang 315,839 kN. Dari hasil tersebut diketahui beban aksial rencana kolom tidak melebihi kapasitas alat uji UTM.

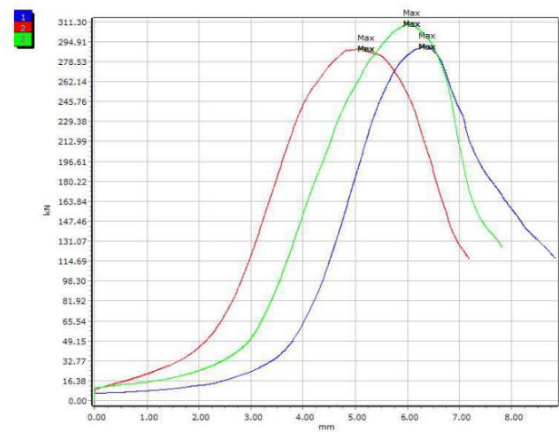
3.3. Pengujian Kuat Tekan Kolom

Pengujian kolom menggunakan alat UTM (*Universal Testing Machine*). Pengujian kuat tekan kolom normal dilakukan untuk dibandingkan hasil kuat tekannya dengan kolom berlubang dengan variasi jarak sengkang, dan untuk mendapatkan kesimpulan seberapa efektif pengaruh penambahan variasi jarak sengkang pada kolom berlubang.

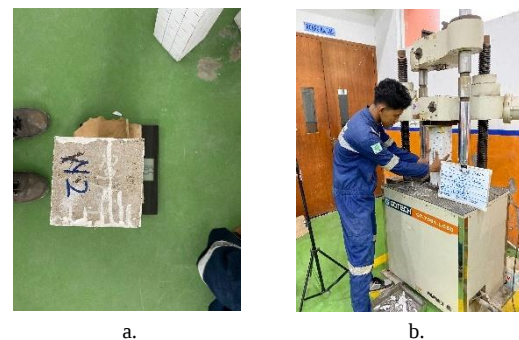
Tabel 11. Hasil Beban Aksial Kolom Normal

Data	Kolom Normal		
	KN1	KN2	KN3
Beban Aksial (KN)	291.20	289.14	309.80
Rata-Rata Beban Aksial (kN)	296.71		

Curva pengujian kuat tekan kolom normal menggunakan UTM (*Universal Testing Machine*) dapat dilihat pada Gambar 9 dan dokumentasi pengujian kolom normal menggunakan UTM dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 9. Curva Pengujian Beban Aksial Kolom Normal

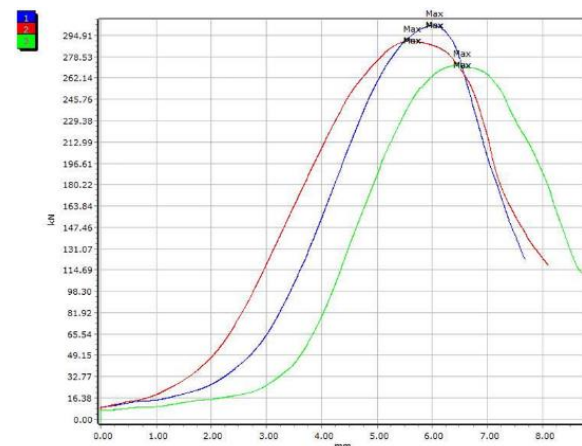


Gambar 10. Pengujian Kolom Normal Menggunakan UTM

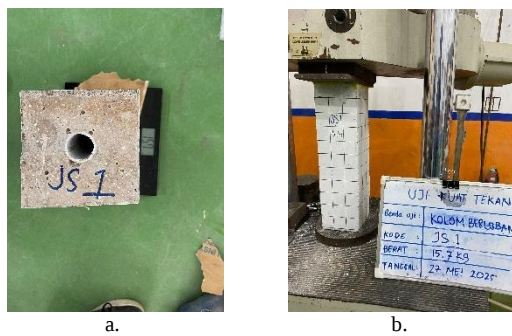
Tabel 12. Hasil Beban Aksial Kolom Normal

Data	Variasi Jarak Sengkang		
	JS1	JS2	JS3
Beban Aksial (KN)	303.14	291.08	272.54
Rata-Rata Beban Aksial (kN)	288.92		

Curva pengujian kuat tekan kolom normal menggunakan UTM (*Universal Testing Machine*) dapat dilihat pada Gambar 11 dan dokumentasi pengujian kolom normal menggunakan UTM dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 11. Curva Pengujian Beban Aksial Kolom Berlubang



Gambar 12. Pengujian Kolom Berlubang Menggunakan UTM

Dari curva pada Gambar 9 dan Gambar 11, hasil uji kuat tekan aksial pada kolom pendek beton bertulang menunjukkan bahwa semua spesimen mengalami kenaikan beban secara linier hingga mencapai beban maksimum, kemudian diikuti dengan penurunan bertahap hingga kolom mengalami keruntuhan. Penurunan setelah titik puncak menunjukkan bahwa keruntuhan terjadi secara bertahap (daktil), meskipun beberapa spesimen menunjukkan kecenderungan keruntuhan lebih tajam (getas).

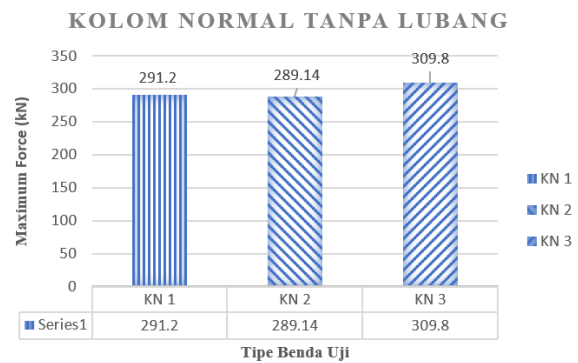
Diketahui untuk rata-rata beban aksial yang dapat ditahan kolom normal sebesar 296,71 Kn dan untuk kolom berlubang variasi jarak sengkang sebesar 288,92 Kn dan dapat dikatakan bahwa penambahan perkuatan variasi jarak sengkang bekerja cukup efektif pada kolom berlubang, dimana nilai kuat tekan maksimum kolom berlubang dengan variasi jarak sengkang mendekati nilai kolom normal. Adapun faktor yang menyebabkan beban aksial dari kolom berlubang dapat mendekati atau menyamai beban aksial dari kolom tanpa lubang meskipun luas penampang kolom berlubang lebih kecil karna adanya lubang antara lain:

1. Distribusi Beban yang Efektif

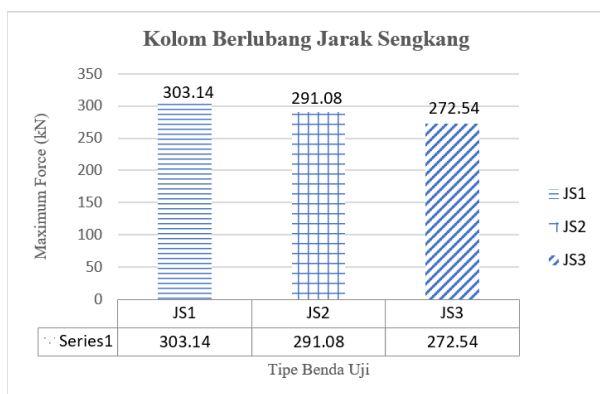
Meskipun ada lubang, posisi lubang (pipa PVC) berada di tengah penampang dan tidak terlalu besar yaitu 5,58% dari luas penampang kolom. Ini membuat distribusi tegangan masih dapat tersebar merata melalui beton di sekitarnya yang cukup tebal, terutama karena ada dukungan dari tulangan dan sengkang.

2. Efek Kekangan

Semakin rapat jarak sengkang, semakin tinggi efek kekangan terhadap inti kolom, sehingga terjadi peningkatan kekuatan beton tekan akibat tekanan lateral dari tulangan geser. Hal ini memperkuat beton di sekitar area lubang.



Gambar 13. Grafik Beban Aksial Kolom Tanpa Lubang



Gambar 14. Grafik Beban Aksial Kolom Berlubang

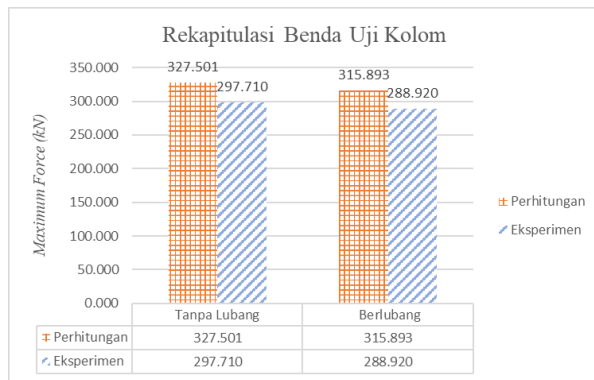
Dari diagram kuat tekan Gambar 13 dan 14 menunjukkan perbedaan beban aksial yang tidak begitu jauh berbeda antar setiap tipe benda ujinya.

3.4. Perbandingan Hasil Perhitungan dan Pengujian

Sebelum Pengujian dilakukan perhitungan beban aksial, kemampuan kolom menahan beban aksial dengan mutu beton, dimensi, dan tulangan yang direncanakan. Hasil perhitungan perencanaan kemampuan menahan beban aksial kolom tanpa lubang sebesar 327,501 kN dan untuk kolom berlubang sebesar 315,893 kN. Sedangkan hasil kemampuan menahan beban aksial pada eksperimen yang telah dilakukan memiliki nilai sedikit lebih kecil dari rencana, dimana untuk kolom tanpa lubang memiliki nilai sebesar 297,710 kN dan untuk kolom berlubang 288,92 kN.

Tabel 13. Beban Aksial Perhitungan dan Eksperimen

No.	Keterangan	Beban Aksial (kN)
1	Perhitungan Kolom Tanpa Lubang	327,501
2	Perhitungan Kolom Berlubang	315,893
3	Eksperimen Kolom Tanpa Lubang	297,710
4	Eksperimen Kolom Berlubang	288,920



Gambar 15. Grafik Beban Aksial Perhitungan dan Eksperimen

Dari Tabel 13 dan Gambar 15 menunjukkan bahwa hasil pengujian dan perhitungan tidak sesuai, atau hasil beban aksial pengujian jauh lebih kecil dari hasil perhitungan. Hal ini bisa terjadi karena kurang cermatnya pelaksanaan pemcampuran beton atau faktor lain.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan teoretis menggunakan rumus desain SNI 2847:2019, kapasitas aksial kolom tanpa lubang adalah sebesar 327,501 kN, sedangkan kolom berlubang mencapai 315,893 kN. Penurunan kapasitas secara teoretis sebesar 11,608 kN atau sekitar 3,54% menunjukkan pengaruh pengurangan luas penampang akibat lubang pada kolom.

Sementara itu, hasil pengujian eksperimen menunjukkan bahwa kolom tanpa lubang mampu menahan beban aksial rata-rata sebesar 296,71 kN, sedangkan kolom berlubang dengan jarak sengkang 8 cm hanya mampu menahan 288,92 kN. Selisih beban aksial tersebut sebesar 7,79 kN, yang menunjukkan penurunan sebesar 2,62% secara eksperimental. Penurunan ini lebih kecil dibanding hasil teoretis, yang mengindikasikan bahwa upaya perkuatan menggunakan sengkang yang lebih rapat belum cukup berhasil menjaga kekuatan kolom untuk menyamai atau melebihi kekuatan kolom tanpa lubang.

Penelitian ini bisa dijadikan acuan untuk menambah variasi benda uji kolom seperti luas lubang, dan menambahkan variasi jarak sengkang yang lebih bervariasi, untuk mendapatkan hasil yang lebih detail.

Daftar Rujukan

- [1] Badan Standardisasi Nasional, "Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung," *SNI 2847-2019*, no. 8, p. 720, 2019.
- [2] A. Hernadi, R. Sahara, and S. U. Dewi, "Perbandingan Kekuatan Kolom Berdasarkan SNI 2847:2013 dan SNI 2847:2019," *Borneo Eng. J. Tek. Sipil*, vol. 5, no. 3, pp. 237–247, 2021.
- [3] Suhaimi, "Jurnal Rekayasa Teknik dan Teknologi Pengaruh Penggunaan Pipa Pada Kolom Terhadap Kuat The Effect of Using Pipes in Columns on the Compressive," vol. 6, no. 1, pp. 52–56, 2022.
- [4] M. Marzon, M. Islam, and E. Elhusna, "Analisis Penampang Kolom Beton Bertulang Persegi Panjang Berlubang," *Inersia, J. Tek. Sipil*, vol. 10, no. 2, pp. 1–12, 2019.
- [5] S. Laris Parningotan, H. . Manalip, and H. Banu Dwi, "Pengaruh Variasi Luas Pipa Pada Elemen Kolom Beton Bertulang Terhadap Kuat Tekan," *TEKNO Vol.15/No.67/April 2017*, vol. 15, no. 67, 2017.
- [6] I. B. Dharma Giri, "Pengaruh Variasi Mutu Jacket Beton Dan Penambahan Tulangan Lateral Terhadap Kapasitas Aksial Kolom Bujur Sangkar," *J. Ilm. Tek. Sipil*, vol. 25, no. 1, p. 65, 2021.
- [7] F. Kumaseh, S. Wallah, and R. Pandaleke, "Pengaruh jarak sengkang terhadap kapasitas beban aksial maksimum kolom beton berpenampang lingkaran dan segi empat," *J. Sipil Statik*, vol. 3, no. 9, pp. 644–650, 2015.
- [8] S. E. D. J. B. K. N. 73/SE/Dk/2023, "Tabel Acuan dan Tata Cara Penyusunan Biaya," pp. 1–12, 2023.
- [9] A. Antonius, *PERILAKU DASAR DAN DESAIN BETON BERTULANG BERDASARKAN SNI-2847-2019*, 1st ed. Semarang: UNISSULA Press, Universitas Islam Sultan Agung, 2021.
- [10] N. Rachman, A. Wibowo, and I. Wijatmoko, "Pengaruh Kekangan Jarak Sengkang pada Perilaku Aksial Kolom Beton Bertulang yang Diperkuat Menggunakan Metode Jacket Beton Bertulang Bambu," pp. 1–9, 2018.
- [11] Badan Standardisasi Nasional, "Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder," *Badan Standarisasi Nasional, Jakarta*, 1974.



Perbandingan Kemampuan Menahan Beban Aksial Kolom Pendek Berlubang Dengan Variasi Diameter Tulangan Utama

Handi Abdul Halim Pangestu¹, Mohamad Galuh Khomari², I Ketut Hendra Wiryasuta⁴, Mirza Ghulam Rifqi⁵

¹Teknik Sipil, Politeknik Negeri Banyuwangi

¹hndiabdulhalim@gmail.com, ²mohamadgaluh@poliwangi.ac.id, ⁴hendrawiryasuta@poliwangi.ac.id,

⁵mirza@poliwangi.ac.id

Abstract

The aesthetic demands of the architectural side of a building are often used as the main reason for installing drainage pipes or mechanical and electrical installations in the column. The addition of these holes results in a reduction in the cross-sectional area of the column, which will affect the compressive strength of the column. According to Article 6.3.4 of SNI Regulation 2847-2013, the installation of channels or pipes within a column is allowed, provided that their total cross-sectional area does not exceed 4% of the column's cross-sectional area. However, in practice, this limit is often surpassed in the field. This study aims to compare the compressive strength of normal columns and perforated columns under identical quality and dimensional conditions. The method for determining the compressive strength of concrete involves planning, manufacturing, and testing both normal columns and perforated columns. This process includes variations in the diameter of the main reinforcement, using a PVC pipe that constitutes 5.58% of the column's cross-sectional area. Testing is conducted once the concrete has reached an age of 28 days. The research findings indicate that the perforated concrete column, which featured variations in the diameter of the main reinforcement, achieved an average compressive strength of 311.610 kN. This represents a 4.98% increase compared to the normal concrete column, which had an average compressive strength of 296.713 kN. The results of this study recommend the use of perforated columns with variations in the main reinforcement diameter as an alternative to columns that require pipe installation space, without significantly reducing the compressive strength. These findings can help the construction industry enhance space and material efficiency in building structures.

Keywords: Axial Load Capacity, Column, Main Reinforcement, PVC Pipe

Abstrak

Tuntutan estetika dari sisi arsitektural dalam sebuah bangunan sering dijadikan sebagai alasan utama pemasangan pipa-pipa drainase ataupun instalasi mekanikal elektrik di dalam kolom. Penambahan lubang tersebut mengakibatkan terjadi pengurangan luas penampang kolom yang akan mempengaruhi kekuatan tekan kolom. Dalam peraturan SNI 2847-2013 pasal 6.3.4 sudah dijelaskan penempatan saluran atau pipa di dalam kolom diperbolehkan dengan syarat tidak boleh melebihi 4% dari luas penampang kolom, namun dalam praktik di lapangan sering melebihi batas tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan kemampuan kuat tekan kolom normal dengan kolom berlubang dalam memikul beban tekan dengan mutu yang sama dan dimensi yang sama. Metode yang digunakan untuk menentukan kuat tekan beton dilakukan perencanaan, pembuatan, dan pengujian kuat tekan pada kolom normal dan kolom berlubang variasi diameter tulangan utama dengan diameter pipa PVC 5,58% dari luas penampang kolom. Pengujian dilakukan setelah beton berumur 28 hari. Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh bahwa kolom beton berlubang dengan variasi diameter tulangan utama memiliki kuat tekan rata-rata sebesar 311,610 kN, lebih besar 4,98% dibandingkan kolom beton normal yang memiliki kuat tekan rata-rata sebesar 296,713 kN. Hasil penelitian ini merekomendasikan penggunaan kolom berlubang dengan variasi diameter tulangan utama sebagai alternatif pada kolom yang membutuhkan ruang instalasi pipa, tanpa menurunkan kekuatan tekan secara signifikan. Hasil ini dapat dimanfaatkan oleh industri konstruksi untuk meningkatkan efisiensi ruang dan material pada struktur bangunan.

Kata kunci: Kapasitas Beban Aksial, Kolom, Pipa PVC, Tulangan Utama



Lisensi
Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional

1. Pendahuluan

Berdasarkan SNI 2847-2019 kolom adalah elemen struktural vertikal yang berperan sebagai penahan beban tekan dalam suatu rangka bangunan, berfungsi mendukung balok dan menyalurkan beban dari atas, termasuk beban atap, balok, dan pelat, ke tanah melalui pondasi. Fungsi utama kolom dalam konstruksi adalah sebagai penyangga beban vertikal, menjaga kestabilan struktur, serta memastikan distribusi beban yang merata ke pondasi, sehingga kegagalan kolom dapat berdampak serius dan membahayakan penghuni bangunan [1]. Hal ini sejalan dengan penelitian terdahulu yang menegaskan bahwa keruntuhan kolom dapat menyebabkan keruntuhan total Struktur karena kolom merupakan komponen tekan utama dalam sistem rangka bangunan [2].

Perkembangan desain arsitektur modern yang menekankan aspek estetika, seperti pada bangunan minimalis, sering kali menghendaki agar instalasi air seperti pipa drainase atau instalasi mekanikal-elektrikal harus ditanam di dalam kolom. Pemasangan pipa di dalam kolom ini dapat menyebabkan berkurangnya luas penampang kolom, yang pada akhirnya menurunkan kapasitas aksial kolom dalam menahan beban. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa semakin besar diameter pipa yang dipasang di dalam kolom, semakin signifikan penurunan kapasitas aksial kolom tersebut [3]. Beberapa temuan serupa juga menyatakan bahwa semakin besar dan banyak lubang pada kolom, maka kekuatan tekan kolom semakin menurun secara signifikan [4][5]. Pipa PVC di dalam kolom beton dapat menyebabkan berkurangnya luas penampang efektif kolom akibat terbentuknya rongga, sehingga berpengaruh signifikan terhadap penurunan kuat tekan beton [6].

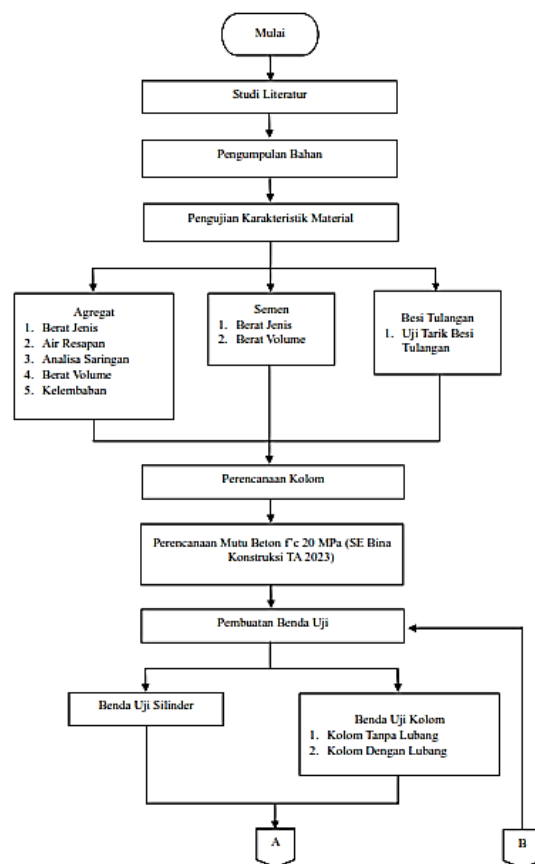
Berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa keberadaan serta ukuran lubang pada kolom berdampak signifikan terhadap kinerja Struktur secara keseluruhan jika dibandingkan dengan kolom tanpa lubang. Studi lain juga membuktikan bahwa kolom berlubang mengalami penurunan kekuatan aksial dan momen nominal, serta penurunan daktilitas jika luas lubang melebihi batas tertentu [7].

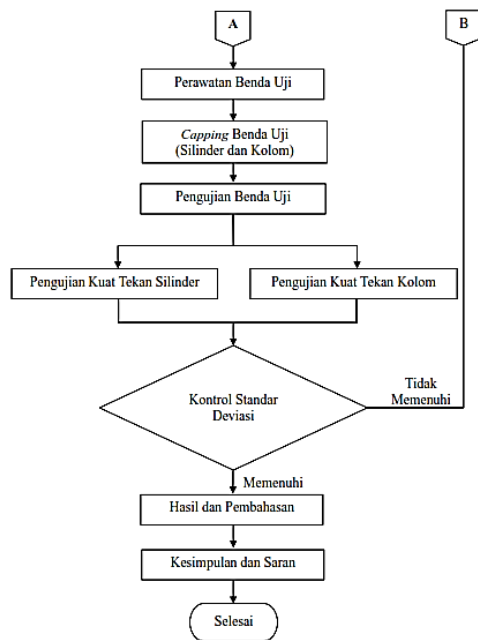
Berdasarkan SNI 2847-2023 pasal 6.3.4 telah mengatur bahwa penempatan saluran atau pipa di dalam kolom diperbolehkan dengan syarat tidak boleh melebihi 4% dari luas penampang kolom yang diperlukan untuk kekuatan atau perlindungan terhadap kebakaran [8]. Namun, dalam praktik di lapangan, sering ditemukan pemasangan pipa yang melebihi batas tersebut, sehingga dapat mengurangi kekuatan konstruksi secara berlebihan dan meningkatkan risiko keruntuhan struktur karena ketidakmungkinan kolom menahan beban. Penelitian terdahulu juga menegaskan pentingnya fungsi luas lubang pada kolom demi menjaga kinerja struktur [9].

Dalam rekayasa struktur beton bertulang, penambahan tulangan utama pada kolom dapat meningkatkan kapasitas beban aksial dan lentur kolom, karena tulangan baja dengan kekuatan tarik yang tinggi dapat memperkuat beton dalam menahan beban. Penelitian lain bahwa peningkatan rasio luas tulangan utama pada kolom berlubang dapat meningkatkan kapasitas aksial dan momen nominal kolom, sehingga dapat mendekati atau bahkan melampaui kuat tekan kolom tanpa lubang [2], sesuai prinsip-prinsip yang diatur dalam SNI 2847-2019. Beberapa penelitian juga menambahkan bahwa penggunaan tulangan spiral pada kolom berongga lebih efektif dalam meningkatkan kekuatan tekan dibandingkan tulangan persegi panjang [10].

2. Metode Penelitian

Adapun dalam penelitian ini dimulai dari studi literatur dimana pada bagian ini dilakukan pengumpulan berbagai materi, jurnal yang nantinya digunakan untuk acuan dalam melakukan penelitian kemudian dilanjutkan dengan pengujian karakteristik material, perencanaan kolom, perencanaan mutu beton f'_c 20 MPa (SE Bina Konstruksi TA 2023), pembuatan benda uji, dan pengujian benda uji. Untuk mempermudah pelaksanaan dan meminimalisir kesalahan teknis dibuat diagram alir, berikut diagram alir dapat dilihat pada Gambar 1.





Gambar 1 Diagram Alir

2.1. Pengumpulan Bahan

Pengumpulan bahan penyusun beton dilakukan pada tahap awal dalam pembuatan benda uji seperti semen portland tipe 1, agregat halus (pasir lumajang), agregat kasar (kerikil) yang dipatkan di PT. King Beton Banyuwangi, air, dan besi tulangan harus dipilih dengan teliti sesuai dengan standar mutu yang berlaku.

2.2. Pengujian Karakteristik Material

Pangujian karekteristik material yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pengujian agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), dan semen. Dimana pengujian mencakup pengujian berat jenis, air resapan, analisa saringan, berat volume, dan kadar lumpur

2.3. Perencanaan Kolom

Kolom dibedakan dalam dua tipe yaitu kolom pendek dan kolom panjang/langsing. Ukuran untuk menentukan kolom pendek adalah berdasarkan nilai kelangsingan yang dinyatakan oleh $\frac{k.Lu}{r}$ untuk kolom *braced frame* $k \leq 1$, kolom *unbraced frame* $k \geq 1$, tetapi nilai ini seharusnya berdasarkan nilai dari bantuan *alignment chart* [11]. Secara terinci pengaruh kelangsingan ditentukan oleh :

1. Untuk mementukan struktur tekan yang tidak di *breising* terhadap goyangan penyamping, pengaruh dari kelangsingan boleh diabaikan jika :

$$\frac{k.Lu}{r} < 22 \quad (1)$$

2. Untuk komponen struktur tekan yang *braising* terhadap goyangan menyamping, pengaruh dari kelangsingan boleh diabaikan jika :

$$\frac{k.Lu}{r} < 34 - 12. (M_1/M_2) \leq 40 \quad (2)$$

Keterangan :

L_u = tinggi bagian kolom yang tidak ditumpu secara leteral

k = faktor yang tergantung pada jenis dukungan pada ujung-ujung kolom

r = radius girasi penampang berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 6.2.5.1

M_1 = momen ujung terfaktor yang lebih kecil pada kolom

M_2 = momen ujung terfaktor yang lebih besar pada kolom

2.4. Perencanaan Campuran Beton

Perencanaan campuran beton (*mix design*) dilakukan sesuai dengan perencana campuran beton Bina Konstruksi TA 2023 [12]. Campuran beton dibuat benda uji silinder 3 buah dan benda uji kolom 6 buah sesuai pada Tabel 1.

Tabel 1 Komposisi Campuran Beton 20 Mpa

No.	Material	Koef	
1	Semen Portland	348	Kg
2	Pasir Pasang	790	Kg
3	Kerikil	1009	Kg
4	Air	202	Kg

2.5. Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji dilakukan ketika semua tahapan awal telah selesai dilakukan, dimana pada tahap ini dilakukan pencampuran material penyusun beton sesuai dengan proporsi yang telah direncanakan sesuai pada Tabel 2.



Gambar 2 Pembuatan Benda Uji Kolom

Tabel 2 Jumlah Benda Uji

Kode	Jumlah Benda Uji	Umur (hari)
BS	3	28
KN	3	28
TU	3	28

2.6. Perawatan Benda Uji

Perawatan benda uji dilakukan dengan merendam didalam bak yang berisi air. Dimana umur perencanaan benda uji 28 hari.

2.7. Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan dengan menggunakan alat *compression Testing machine* untuk pengujian benda uji silinder dan alat *Universal Testing Machine* digital untuk pengujian benda uji kolom. Kuat tekan akan terlihat otomatis menjadi satuan Mega Pascal karena mesin yang digunakan adalah mesin digital sehingga langsung terkonversi.

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal. 10.3.6.2 rumus untuk kapasitas beban aksial maksimum pada kolom struktur non-prategang dengan jumlah pengikat (sengkang) [8] adalah :

$$P_{n\max} = 0,8 (0,85f'c (A_g - A_{st}) f_y A_{st}) \quad (3)$$

Penelitian ini menggunakan luas lubang terhadap luas penampang kolom. Untuk mendapatkan luas lubang tersebut digunakan pipa PVC dengan diameter pipa yang dibutuhkan. Maka kapasitas beban aksial menjadi :

$$P_{n\max} = 0,8 (0,85f'c (A_g - A_{st} - A_{\text{pipa}}) f_y A_{st}) \quad (4)$$

Keterangan:

- A_g = Luas Penampang kolom
- A_{st} = Luas total tulangan tekan memanjang
- $f'c$ = Kuat Tekan Beton (MPa)
- A_{pipa} = Luas penampang pipa PVC



Gambar 3 Alat Uji *Universal Testing Machine*

Universal Testing Machine (UTM) pada Gambar 3 dipergunakan untuk menguji kuat tekan kolom bertulang. Alat ini terintegrasi dengan komputer dengan tampilan grafik dan dapat merekam hasil secara *real-time*. Penggunaan alat *universal testing machine* dalam penelitian ini sangat penting untuk memperoleh data kuat tekan aksial maksimum (P_n) dari setiap spesimen kolom, baik kolom normal maupun kolom berlubang dengan variasi diameter tulangan utama. Data yang dihasilkan dari *universal testing machine* bersifat akurat dan dapat diandalkan sebagai dasar analisis perbandingan kapasitas aksial maksimum antar variasi kolom yang diuji. Berikut dokumentasi pengujian benda uji kolom bertulang dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Pengujian Kuat Tekan Kolom

2.8. Standar Deviasi

Pangukuran standar deviasi pada kuat tekan beton dilakukan melalui beberapa langkah, setelah melakukan pengujian kuat tekan beton, selanjutnya hasil nilai rata-rata kuat tekan beton dihitung dengan menjumlahkan seluruh hasil uji kemudian dibagi dengan jumlah benda uji yang diuji. Setelah memperoleh nilai rata-rata, langkah berikutnya adalah menghitung variansi, yaitu rata-rata kuadrat selisih antara setiap nilai kuat tekan dengan nilai rata-rata seperti pada Tabel 3. Variansi ini kemudian digunakan untuk menghitung standar deviasi dengan mengambil akar kuadrat dari nilai variansi tersebut. Berdasarkan SNI 2847-2013, standar deviasi dapat dinyatakan sebagai berikut [8]:

$$S = \frac{\sqrt{(xi - x_{rt})^2}}{(n-1)} \quad (5)$$

Keterangan:

- X_i = nilai kuat tekan pada benda uji ke- i
- X_{rt} = nilai rata-rata kuat tekan
- n = jumlah benda uji

Tabel 3 Kontrol Standar Deviasi [8]

Standar Deviasi (kg/cm^2)		
Standar	Standar Konstruksi	Kualitas Kontrol
Laboratorium	Umumnya	
< 14,1	< 28,1	Terbaik
14,1 – 17,6	28,1 – 35,2	Sangat Baik
17,6 – 21,1	35,2 – 42,2	Baik
21,1 – 24,6	42,2 – 49,2	Cukup
> 24,6	> 49,2	Kurang

2.9. Pembahasan dan Kesimpulan

Dari data kuat tekan yang telah diolah pada standar deviasi dari masing-masing benda uji, kemudian selanjutnya data tersebut diplot kedalam grafik sehingga dapat terlihat secara jelas perubahan dan pengaruh kolom berlubang terhadap variasi diameter tulangan utama. Dari analisa yang telah dilakukan kemudian dapat disimpulkan tentang perbandingan kemampuan menahan beban aksial kolom pendek normal dengan kolom pendek berlubang dan dapat diberikan saran yang membangun pada penelitian yang telah dikerjakan.

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian yang sudah dilakukan untuk penelitian ini didapat data sebagai berikut.

3.1. Hasil Uji Karakteristik Material

Berikut merupakan hasil rekapitulasi dari pengujian karakteristik material yang akan digunakan dalam pembuatan benda uji kolom agar beton yang dihasilkan dapat memiliki kekakuan yang diharapkan. Berdasarkan pengujian yang sudah dilakukan di dapat hasil sebagai berikut.

Tabel 4 Rekapitulasi Pengujian Agregat Halus (pasir)

No	Pengujian	Hasil	
1	Berat Jenis	2,509	
2	Berat Volume	Dengan Rojokan	Dengan Rokokan
		1,605 gr/cm ³	1,379 gr/cm ³
3	Kadar Air Resapan	1.01%	
4	Kelembapan	3,03%	
5	Analisa Saringan	Zona 3	

Berdasarkan Tabel 4 hasil pengujian menunjukkan berat jenis pasir sebesar 2,509, dengan berat volume masing-masing 1,605 gr/cm³ (dengan rojokan) dan 1,379 gr/cm³ (tanpa rojokan). Kadar air resapan sebesar 1,01% dan kadar kelembapan menunjukkan pasir dalam kondisi cukup stabil 3,03%. Berdasarkan analisa saringan, pasir tergolong Zona 3 dengan gradasi halus yang sesuai untuk campuran beton.

Tabel 5 Rekapitulasi Pengujian Agregat Kasar (kerikil)

No	Pengujian	Hasil	
1	Berat Jenis	2,486	
2	Berat Volume	Dengan Rojokan	Dengan Rokokan
		1,462 gr/cm ³	1,359 gr/cm ³
3	Kadar Air Resapan	1.379%	
4	Kelembapan	1,660 %	
5	Analisa Saringan	Zona 3	

Berdasarkan Tabel 5 hasil pengujian menunjukkan berat jenis pasir sebesar 2,486, dengan berat volume masing-masing 1,462 gr/cm³ (dengan rojokan) dan 1,359 gr/cm³ (tanpa rojokan). Kadar air resapan sebesar 1,379% dan kadar kelembapan menunjukkan pasir dalam kondisi cukup stabil 1,660%. Berdasarkan analisa saringan, pasir tergolong Zona 3 sesuai untuk campuran beton.

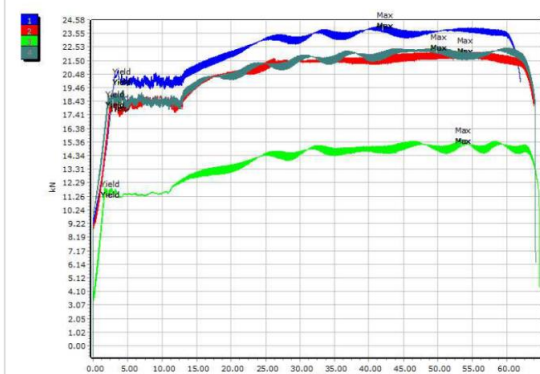
Tabel 6 Rekapitulasi Pengujian Semen

No	Pangujian	Hasil	
1	Berat Jenis	3,09	
2	Berat Volume	Dengan Rojokan	Tanpa Rojokan
		1,058 gr/cm ³	1,17 gr/cm ³

Berdasarkan Tabel 6 hasil pengujian menunjukkan berat jenis semen sebesar 3,09. Berat volume semen masing-masing sebesar 1,058 gr/cm³ (dengan rojokan) dan 1,17 gr/cm³ (tanpa rojokan), yang mencerminkan kerapatan semen dalam kondisi tertentu.

Tabel 7 Rekapitulasi Pengujian Besi Tulangan ø6

No.	Area	Maximum Force (kN)	Yield Stress (MPa)
1	26,51	23,87	753,68
2	26,51	22,48	697,23
3	26,51	23,04	695,08
4	26,51	21,68	653,05
Average	26,51	22,77	699,76

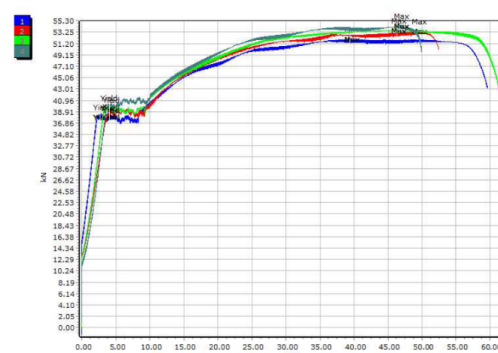


Gambar 5 Grafik Uji Tarik Besi Tulangan ø6

Berdasarkan Tabel 7 dan Gambar 5, hasil pengujian nilai gaya tarik maksimum berkisar antara 21,68 kN hingga 23,87 kN, dengan rata-rata sebesar 22,77 kN. Sementara pada nilai pada *Yield Stress* menunjukkan nilai berkisar 653,05 MPa hingga 753,68 MPa. Data ini digunakan untuk perencanaan perhitungan desain kolom dengan beban aksial pada kolom pendek bertulang.

Tabel 8 Rekapitulasi Pengujian Besi Tulangan ø10

No.	Area	Maximum Force (kN)	Yield Stress (MPa)
1	71,63	51,97	527,15
2	71,63	53,37	529,99
3	71,63	53,55	551,51
4	71,63	54,36	545,2
Average	71,63	53,31	538,46

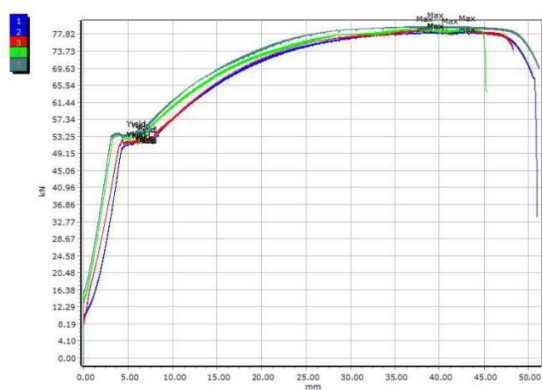


Gambar 6 Grafik Uji Tarik Besi Tulangan ø10

Berdasarkan Tabel 8 dan Gambar 6, hasil pengujian nilai gaya tarik maksimum berkisar antara 51,97 kN hingga 54,36 kN, dengan rata-rata sebesar 53,31 kN. Sementara pada nilai pada *Yield Stress* menunjukkan nilai berkisar 527,15 MPa hingga 551,51 MPa, dengan rata-rata 538,46 MPa. Data ini digunakan untuk perencanaan perhitungan desain kolom dengan beban aksial pada kolom pendek bertulang.

Tabel 9 Rekapitulasi Pengujian Besi Tulangan $\phi 12$

No.	Area	Maximum Force (kN)	Yield Stress (MPa)
1	109,73	78,42	474,72
2	109,73	78,96	474,62
3	109,73	79,13	483,96
4	109,73	79,82	488,05
Average	109,73	79,08	480,34



Gambar 7 Grafik Uji Tarik Besi Tulangan $\phi 12$

Berdasarkan Tabel 9 dan Gambar 7, hasil pengujian nilai gaya tarik maksimum berkisar antara 78,49 kN hingga 79,82 kN, dengan rata-rata sebesar 79,08 kN. Sementara pada nilai pada *Yield Stress* menunjukkan nilai berkisar 474,62 MPa hingga 488,05 MPa, dengan rata-rata 480,34 MPa. Data ini digunakan untuk perencanaan perhitungan desain kolom dengan beban aksial pada kolom pendek bertulang.

3.2. Hasil Mix Design

Berdasarkan kuat tekan yang direncanakan dan perhitungan yang telah dilakukan didapatkan kebutuhan material yang digunakan untuk membuat benda uji kolom yang disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10 Kebutuhan Material

No.	Material	Koef	Total material
1	Semen Portland	348 Kg	18,684 Kg
2	Pasir Pasang	790 Kg	42,416 Kg
3	Kerikil	1009 Kg	54,174 Kg
4	Air	202 Kg	10,846 Kg

3.3. Hasil Pengujian Kuat Silinder

Pengujian Kuat Tekan Silinder dilakukan menggunakan alat *Compression Testing Machine*. Hasil pengujian kuat tekan silinder disajikan pada Tabel 11.

Tabel 11 Hasil Kuat Tekan Silinder

Tipe Benda Uji	Kapasitas Tekan (kN)	Rata-rata Kuat Tekan (kN)
BS 1	20,77	
BS 2	19,26	20,07
BS 3	20,19	

Pada umur mortar 28 hari nilai kuat tekan mencapai 20,07 Mpa Dengan standar deviasi pengujian yaitu 8,24 dan termasuk dalam kategori sangat baik.

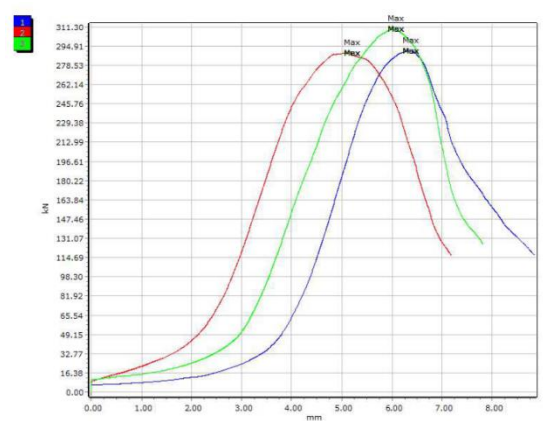
3.4 Hasil Pengujian Kuat Tekan Kolom Beton Normal

Pengujian Kuat Tekan Kolom Beton Normal dilakukan menggunakan alat *Universal Testing Machine*. Hasil Pengujian kuat tekan benda uji kolom disajikan pada Tabel 12

Pengujian benda uji kolom pada umur 28 hari dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12 Hasil Kuat Tekan Kolom Benton Normal

Tipe Benda Uji	Kapasitas Tekan (kN)	Rata-rata Kuat Tekan (kN)
KN 1	291,2	
KN 2	289,14	296,71
KN 3	309,8	



Gambar 8 Grafik Uji Kuat Tekan Kolom Beton Normal

Sesuai Gambar 8, hasil pengujian menunjukkan bahwa KN 3 memiliki nilai maksimum force tertinggi yaitu sebesar 309,8 kN, diikuti oleh KN 1 sebesar 291,2 kN, dan KN 2 sebesar 289,14 kN. Nilai gaya maksimum tersebut menggambarkan kapasitas aktual kolom beton dalam menahan beban tekan. Data pada grafik ini juga berfungsi sebagai nilai pembanding (kontrol) dalam analisis struktur terhadap kolom dengan kondisi modifikasi tertentu, sehingga dapat dinilai seberapa

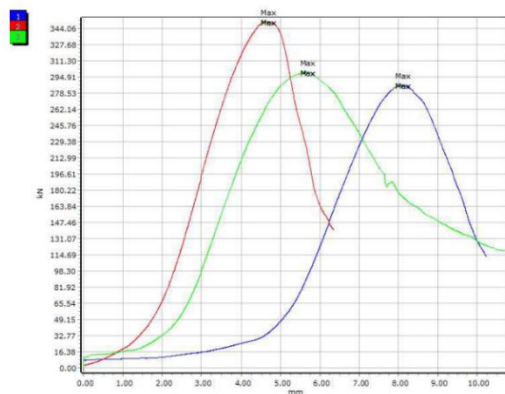
besar pengaruh variasi geometri terhadap kapasitas tekan kolom.

3.5 Hasil Pengujian Kuat Tekan Kolom Beton Berlubang

Pengujian kuat tekan kolom beton berlubang dilakukan menggunakan alat *Universal Testing Machine*. Hasil pengujian kuat tekan benda uji disajikan pada Tabel 13. Pengujian benda uji kolom beton berlubang pada umur 28 hari dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13 Hasil Kuat Tekan Kolom Beton Berlubang

Tipe Benda Uji	Kapasitas Tekan (kN)	Rata-rata Kuat Tekan (kN)
TU 1	285,74	311,610
TU 2	349,96	
TU 3	299,13	



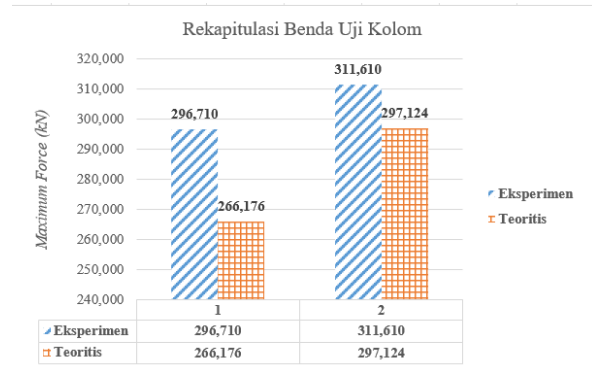
Gambar 9 Grafik Uji Kuat Tekan Kolom Beton Berlubang

Berdasarkan Gambar 9, hasil pengujian menunjukkan bahwa TU2 memiliki kapasitas tekan tertinggi sebesar 349,96 kN, disusul oleh TU3 sebesar 299,13 kN, dan TU1 dengan nilai terendah yaitu 285,74 kN. Dari hasil ini dapat dilihat bahwa peningkatan diameter tulangan utama pada kolom berlubang memberikan pengaruh terhadap peningkatan kapasitas tekan kolom.

3.6 Perbandingan Hasil Pengujian Teoritis dengan Eksperimen

Tabel 14 Perbandingan Nilai Pengujian Teoritis dengan Eksperimen

Tipe Benda Uji	Kapasitas Tekan (kN)	Rata-rata Kuat Tekan (kN)
KN 1	291,20	296,713
KN 2	289,14	
KN 3	309,80	
TU 1	285,74	311,610
TU 2	349,96	
TU 3	299,13	

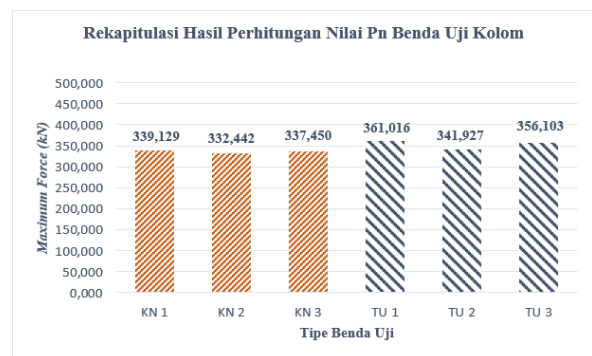


Gambar 10 Grafik Perbandingan Hasil Perhitungan Teoritis dengan Eksperimen

Berdasarkan Gambar 10, rata-rata kuat tekan eksperimen kolom beton normal yaitu sebesar 296,130 kN sedangkan pada eksperimen kolom beton berlubang yaitu sebesar 311.610 kN. Sehingga dapat disimpulkan juga bahwa kolom beton berlubang lebih kuat terhadap kemampuan menahan beban aksial.

3.7 Rekapitulasi

Berdasarkan hasil rekapitulasi pengujian yang ditampilkan pada grafik. Hasil perhitungan nilai P_n Benda Uji Kolom, dapat diamati bahwa terdapat perbedaan nilai kapasitas aksial maksimum (P_n) antara kolom normal (KN) dan kolom berlubang dengan Variasi diameter tulangan utama (TU). Nilai P_n pada kolom normal (KN 1, KN 2, KN 3) berkisar antara 332,442 kN hingga 337,450 kN. Sementara itu, kolom berlubang dengan variasi diameter tulangan utama (TU 1, TU 2, TU 3) menunjukkan nilai P_n yang lebih tinggi, yaitu antara 341,927 kN hingga 361,016 kN. Berikut adalah diagram hasil perhitungan nilai P_n pada benda uji kolom dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11 Diagram Hasil Perhitungan Nilai P_n

Berdasarkan Gambar 11, peningkatan nilai P_n pada kolom berlubang dibandingkan kolom normal menunjukkan bahwa modifikasi geometri berupa lubang pada kolom tidak menurunkan kapasitas aksial, bahkan cenderung meningkatkan kapasitas tersebut. Hal ini dapat disebabkan oleh redistribusi tegangan dan kemungkinan efek penguatan lokal di sekitar area lubang, meskipun secara teoritis penambahan lubang

sering diasosiasikan dengan penurunan kapasitas. Hasil ini menunjukkan bahwa desain kolom berlubang yang diuji masih mampu menahan beban aksial lebih besar dibandingkan kolom normal dalam kondisi laboratorium.

Berdasarkan hasil rekapitulasi pengujian, kolom berlubang dengan variasi diameter tulangan utama menunjukkan kapasitas aksial maksimum yang lebih tinggi dibandingkan kolom normal. Hasil ini memberikan rekomendasi penting bagi berbagai pihak terkait. Pertama, bagi industri konstruksi, desain kolom berlubang dapat dijadikan alternatif struktural yang efisien, khususnya pada bangunan yang memerlukan ruang tambahan untuk instalasi pipa atau sistem mekanikal elektrik tanpa mengurangi kapasitas beban aksial kolom. Hal ini memungkinkan peningkatan fleksibilitas desain serta efisiensi penggunaan ruang dan material dalam konstruksi gedung. Kedua, bagi perancang dan konsultan struktur, hasil penelitian ini memberikan dasar ilmiah yang kuat untuk mempertimbangkan modifikasi geometri kolom berlubang dalam perencanaan struktur. Dengan demikian, inovasi desain yang adaptif terhadap kebutuhan arsitektural dan mekanikal dapat dikembangkan tanpa mengorbankan aspek kekuatan struktur. Ketiga, bagi masyarakat dan pengguna bangunan, penerapan kolom berlubang memungkinkan integrasi instalasi teknis secara lebih rapi dan estetis, serta berpotensi mengurangi biaya konstruksi dan pemeliharaan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa perbandingan kemampuan menahan beban aksial kolom pendek berlubang dengan variasi diameter tulangan utama yaitu kolom pendek berlubang variasi diameter tulangan utama memiliki rata kuat tekan sebesar 311,610 kN yang lebih besar 4,897% dari kolom pendek normal yang memiliki rata-rata 296,713 kN. Hal tersebut dikarenakan kolom pendek berlubang memiliki luas penampang tulangan utama yang lebih besar dibandingkan dengan tulangan utama pada kolom pendek normal.

Ucapan Terimakasih

Terima kasih kepada semua dosen yang sudah membimbing serta memberi semangat kepada penulis dalam menyelesaikan penulisan dan pengerjaan jurnal ini. Terima kasih juga kepada Politeknik Negeri Banyuwangi yang sudah memberikan fasilitas untuk menunjang pelaksanaan penelitian ini.

Daftar Rujukan

- [1] Badan Standardisasi Nasional, "Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung," *SNI 2847-2019*, no. 8, p. 720, 2019.
- [2] A. Nasution and M. Islam, "Analisis Kolom Beton Bertulang Pada Penampang Persegi Berlubang," *Inersia, J. Tek. Sipil*, vol. 11, no. 1, pp. 19–26, 2019, doi: 10.33369/ijts.11.1.19-26.
- [3] Lara Fiana, "Modeling The Effect Of Hole Diameter On Axial And Moment Capacity Columns By Using ANSYS Software," pp. 1–20, 2023.
- [4] S. Batubara and D. Manik, "Pengaruh Lubang Pada Kolom Akibat Gaya Aksial Tekan," *J. Rekayasa Konstr. Mek. Sipil*, vol. 1, no. 1, pp. 1–8, 2018, doi: 10.54367/jrkms.v1i1.202.
- [5] B. D. H. Laris Parningotan Situmorang, H. Manalip, "Pengaruh Variasi Luas Pipa Pada Elemen Kolom Beton Bertulang Terhadap Kuat Tekan," *TEKNO Vol.15/No.67/April 2017*, vol. 15, no. 67, 2017.
- [6] S. Suhaimi and H. Mahsul, "Pengaruh Penggunaan Pipa Pada Kolom Terhadap Kuat Tekan Beton Mutu K-250, K-225 Dan K-200," *J. Rekayasa Tek. dan Teknol.*, vol. 6, no. 1, 2022, doi: 10.51179/rkt.v6i1.1347.
- [7] A. R. Tuga, Y. L. Suku, and M. Y. Nisanon, "Analisis Perilaku Struktur Gedung Berkolom Masif Dan Berlubang," *Teknosiar*, vol. 14, no. 1, pp. 1–9, 2020, doi: 10.37478/teknosiar.v14i1.1130.
- [8] S. 2837-2913, "Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung SNI 2847-2013," *Standar Nas. Indones.*, p. 265, 2013.
- [9] Y. L. Suku and K. Je, "Modeling and Analysis of the Effect of Holes in Reinforced Concrete Column Structures," *J. Civ. Eng. Forum*, vol. 6, no. 1, p. 27, 2020, doi: 10.22146/jcef.48722.
- [10] S. Zuraidah, K. Budihastono, and ..., "Peningkatan Kekuatan Kolom Berongga Untuk Memikul Beban Maksimum," *J. Tek. Sipil* ..., pp. 1–12, 2017, [Online]. Available: <https://ejournal.unitomo.ac.id/index.php/sipil/article/view/266>
- [11] A. Antonius, *No Title*, Cetakan Pe. Semarang: UNISSULA Press, Universitas Islam Sultan Agung ISBN 978-623-7097-94-5, 2021.
- [12] S. E. D. J. B. K. N. 73/SE/Dk/2023, "SE Bina Kontruksi TA/2023," pp. 1–12, 2023.



Analisis Biaya Pekerjaan Timbunan Tanah Dengan Metode *Photogrammetry*

Andita Oktavia¹, Retna Kristiana²

^{1,2} Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana

¹anditaoktavia59@gmail.com, ²retna.kristiana@mercubuana.ac.id

Abstract

Recently, the construction industry has rapidly developed technology, particularly in infrastructure construction. One alternative is Free and Open Source Software (FOSS) Photogrammetry to factor in the cost of landfill work on the Padang – Sicincin toll road project. The photogrammetry method is a science and part of the art of obtaining mathematically precise measurements. The photogrammetry method can be an alternative solution for increasing cost effectiveness in projects with direct cost calculations. Surveyors conduct data measurement in the hoarding work for each layer of the Padang - Sicincin toll road project. Then, in the field, there was an inaccuracy in the x, y, z results when data was collected using a total station. According to the analysis results, the volume of the fill material deviated by 5.4%. The photogrammetry method indicated a difference of 26.95 m³ more than the manual method. The cost deviation from the previously calculated volume results was Rp2,234,719.26, making the photogrammetry method cheaper than the manual method.

Keywords: Landfill Work, Photogrammetry, Software Pix4D, Software Civil3D, Volume, Cost

Abstrak

Dewasa ini, industri konstruksi telah berkembang teknologi secara pesat, terutama pada bidang konstruksi infrastruktur. Contoh alternatif yakni Free and Open Source Software (FOSS) Photogrammetry ke faktor biaya pekerjaan timbunan tanah pada proyek jalan tol Padang – Sicincin. Metode Photogrammetry ialah ilmu serta seni agar mendapatkan pengukuran secara tepat melalui cara matematis. Metode photogrammetry dapat menjadi alternatif solusi dalam meningkatkan efektifitas biaya pada proyek dengan perhitungan biaya langsung. Pada setiap pekerjaan penimbunan layer jalan pada proyek jalan tol Padang - Sicincin dilaksanakan proses pengambilan data ukur oleh surveyor. Kemudian Pada aktual di lapangan terjadi ketidakakurasian hasil x,y,z saat dilaksanakan pengambilan data menggunakan total station. Maka berdasarkan hasil analisis penelitian terdapat deviasi volume sebesar 5,4% dimana pada metode photogrammetry memiliki selisih 26,95 m³ lebih banyak dibandingkan dengan metode manual. Adapun deviasi biaya dari hasil perhitungan volume yang didapatkan sebelumnya, yakni pada metode photogrammetry sebesar Rp2.234.719,26,- lebih terjangkau dibandingkan dengan metode manual.

Kata kunci: Pekerjaan Timbunan Tanah, Photogrammetry, Software Pix4D, Software Civil3D, Volume, Biaya

Diterima Redaksi : 2025-07-01 | Selesai Revisi : 2025-07-08 | Diterbitkan Online : 2025-11-12

1. Pendahuluan

Infrastruktur yang dibangun untuk memperkuat konektivitas dan memudahkan pergerakan orang serta barang meliputi jalan, jalan tol, dan jembatan [1]. Jalan tol merupakan sarana transportasi darat yang sangat penting, karena membantu kelancaran lalu lintas sekaligus meningkatkan efisiensi distribusi barang dan jasa demi mendorong pertumbuhan ekonomi [2]. Seperti halnya pada proyek pembangunan Jalan Tol Padang Sicincin berlokasi di Kab. Padang Pariaman Provinsi Sumatera Barat.

Dalam setiap keberjalanan proyek, selalu dibutuhkan manajemen proyek yang baik. Manajemen proyek adalah disiplin ilmu dan kerangka kerja yang digunakan

untuk merencanakan, melaksanakan, dan menyelesaikan proyek konstruksi dengan memastikan setiap tahapan rampung tepat waktu, sesuai anggaran, dan memenuhi standar mutu [3]. Hubungan antara waktu pelaksanaan dan besaran biaya menjadi faktor krusial dalam mencapai efisiensi proyek. Secara umum, suatu proyek dianggap berhasil apabila selesai seefisien mungkin dalam hal durasi dan serendah mungkin dalam hal biaya, tanpa menurunkan kualitas hasil akhir [4]. Untuk meraih hal tersebut diperlukan pemilihan metode kerja yang tepat agar efektivitas dan efisiensi dapat terwujud.

Dewasa ini, teknologi pada industri konstruksi telah berkembang secara pesat, terutama pada bidang



konstruksi infrastruktur. Sebagai contoh adalah *Free and Open Source Software (FOSS) Photogrammetry* [5]. Teknologi ini adalah sebuah metode yang menggunakan dua atau lebih gambar untuk menghasilkan data visual 3D dengan pengukuran yang akurat [6] [7]. Metode photogrammetry dapat menjadi alternatif solusi dalam meningkatkan efektifitas biaya pada proyek dengan perhitungan biaya langsung [8]. Selain efektifitas biaya, penggunaan metode ini mampu meningkatkan efektifitas waktu sehingga waktu yang dibutuhkan menjadi lebih singkat dibandingkan metode manual. Untuk mendukung penggunaan metode photogrammetry dan kebutuhan survei drone, perlu didukung dengan penggunaan software Pix4D. Software ini berfungsi untuk mengubah gambar darat atau udara dari capture foto yang dihasilkan oleh drone menjadi peta digital dan model 3D [1].

Penelitian ini mengangkat studi kasus pada proyek pembangunan Jalan Tol Padang – Sicincin di Kabupaten Padang Pariaman, Provinsi Sumatera Barat. Berdasarkan hasil observasi, ditemukan ketidakakuratan koordinat x, y, dan z saat pengambilan data dengan total station pada setiap tahapan penimbunan lapisan jalan. Ketidaktepatan pengukuran ini berpotensi memengaruhi biaya dan durasi proyek, sehingga diputuskan untuk melakukan analisis ulang menggunakan metode fotogrametri dengan perangkat lunak Free and Open Source Software (FOSS).

Untuk memetakan kontur lahan pembangunan tol secara lebih akurat, diperlukan pemodelan 3D yang memanfaatkan hasil tangkapan drone melalui Pix4D, lalu diolah dalam software Civil 3D. Penelitian ini bertujuan mengembangkan metodologi pembuatan

model 3D menggunakan photogrammetry, yang menjadi landasan penulisan skripsi ini.

2. Metode Penelitian

Penelitian dilakukan dengan studi literatur disertai dengan mempelajari dan memahami penelitian terdahulu yang menjadi rujukan photogrammetry pada proses pengambilan data. Dengan lokasi penelitian proyek Pembangunan Jalan Tol Padang Sicincin berlokasi di Kab. Padang Pariaman Provinsi Sumatera Barat dan objek penelitian ini ada pada pekerjaan timbunan Sta 24+300 – 24+400. Dengan data primer berupa foto udara hasil dari *drone mapping* dan data sekunder berupa RAB. Data primer yang sudah diperoleh selanjutnya diolah pada software Pix4D guna mengintegrasikan algoritma photogrammetry sehingga dapat diperoleh gambar darat atau udara ke dalam peta digital dan model 3D [1]. Dan kemudian dapat diketahui apakah terdapat deviasi elevasi dan volume melalui pemodelan pada software BIM yaitu Civil 3D dan selanjutnya dapat dihitung biaya. Sehingga dari hasil tersebut dapat dibandingkan dengan data sekunder yang ada yaitu berupa RAB [9].

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengambilan Data Volume

Pengambilan data timbunan STA 24+300 – 24+400 dengan metode manual, dalam analisis ini menggunakan Waterpass Merk Sokkia B40A. Untuk pengambilan data ini dilakukan oleh 4 orang surveyor. Waktu yang dibutuhkan untuk pengambilan data dari STA 24+300 – STA 24+400 selama 5 jam. Berikut adalah hasil pengukuran waterpass yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Waterpass

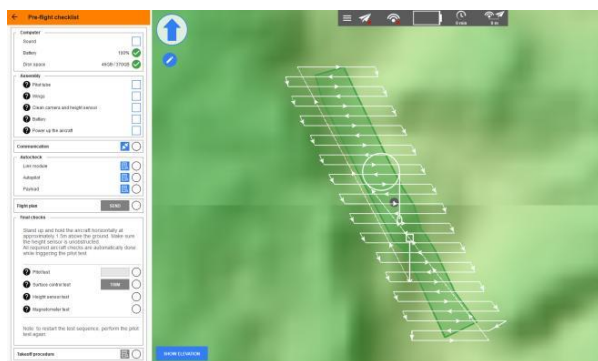
<i>Station</i>	<i>Point</i>	<i>Back Sight</i>	<i>Fore Sight</i>	<i>Ih</i> (BS + FS)	<i>Dist</i>	<i>Elevasi Actual</i>
	SPG6	4,326		44,011		39,685
	R6		0,820		26,000	43,191
	R5		0,876		24,000	43,135
	R4		0,654		20,000	43,357
	R3		0,382		15,000	43,629
	R2		0,217		10,000	43,794
	R1		0,558		5,000	43,453
24+400,0	CL		0,712		0,000	43,299
	L1		0,830		-5,000	43,181
	L2		0,892		-10,000	43,119
	L3		1,440		-12,000	42,571
	R5		0,865		24,000	43,146
	R4		0,588		20,000	43,423
	R3		0,379		15,000	43,632
	R2		0,470		10,000	43,541
	R1		0,368		5,000	43,643
24+390,0	CL		0,600		0,000	43,411
	L1		0,708		-5,000	43,303
	L2		0,849		-10,000	43,162
	L3		1,174		-12,000	42,837

Station	Point	Back Sight	Fore Sight	Ih (BS + FS)	Dist	Elevasi Actual
	L4		1,273		-14,000	42,738
	R6		1,033		24,000	42,978
	R5		0,720		23,000	43,291
	R4		0,744		20,000	43,267
	R3		0,503		15,000	43,508
	R2		0,838		10,000	43,173
	R1		0,764		5,000	43,247
24+380,0	CL	0,749			0,000	43,262
	L1	0,894			-5,000	43,117
	L2	1,008			-10,000	43,003
	L3	1,812			-13,000	42,199

3.2 Pengambilan Data Photogrammetry

Pengambilan data *Photogrammetry* dalam analisis kali ini mempergunakan drone UAV Delair tipe UX-11 kemudian pengolahan data yang dihasilkan dari drone *photogrammetry* diolah mempergunakan *Software* Pix4D 2022. Waktu yang dibutuhkan untuk pengambilan data dari STA 24+300 – STA 24+400 selama 45 menit. Berikut tahapan tahapan untuk pengambilan data *photogrammetry*:

- Pertama, *Flight plan* yakni area atau trase yang direncanakan untuk misi pengambilan data foto udara. Pada langkah ini, penulis memanfaatkan *software* Google Earth guna mendapatkan plan profile dan Delair Flight Deck Pro guna mendapatkan plan area drone untuk *take-off* dan *landing*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Plan Area Drone

- Kedua, pengambilan data dengan drone *photogrammetry* UAV UX-11 selama 30 menit, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengambilan Data Dengan Drone Photogrammetry

- Ketiga, validasi data drone dengan menggunakan *software* After Flight,2022. Kemudian di-export seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.

Export			
Altitude (WGS...	Longitude (C...	Latitude (CRS)	Altitude (CRS)
219.040m	98.47896538°	3.71537424°	219.040m
218.800m	98.47876337°	3.71534822°	218.800m
218.950m	98.47856321°	3.71535912°	218.950m
219.858m	98.47835946°	3.71539216°	219.858m
220.084m	98.47815910°	3.71542726°	220.084m
219.790m	98.47795793°	3.71546346°	219.790m
218.578m	98.47775777°	3.71546603°	218.578m

Gambar 3. Validasi Data Drone Berdasarkan Output Software

- Keempat, pengolahan data dari *software* After Flight,2022 dengan menggunakan *Software* Pix4D,2022. Pengolahan data *Photogrammetry* dilaksanakan untuk menghasilkan data DEM dan Orthomosaic yang selanjutnya diolah kembali untuk dijadikan *surface* pada *software* BIM yakni Civil 3D sehingga didapatkan *volume common borrow material*.

3.3 Pengolahan Data Volume

Data STA 24+300 – 24+400 berupa titik *point* yang didapat dari pengukuran waterpass serta DEM yang sudah didapatkan dari hasil pengolahan foto udara yang selanjutnya diolah kembali untuk dijadikan *surface* pada *software* BIM yaitu Civil 3D sehingga didapatkan

volume common borrow material. Volume yang dikeluarkan oleh *software* Civil 3D berbentuk tabel, seperti pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Volume Data Waterpass

Station	Cut Area (Sq.m.)	Cut Volume (Cu.m.)	Reusable Volume (Cu.m.)	Fill Area (Sq.m.)	Fill Volume (Cu.m.)	Cum. Cut Vol. (Cu.m.)	Cum. Reusable Vol. (Cu.m.)	Cum. Fill Vol. (Cu.m.)	Cum. Net Vol. (Cu.m.)
24+300	0.00	0.00	0.00	3.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24+310	0.00	0.00	0.00	2.60	29.80	0.00	0.00	29.80	-29.80
24+320	0.00	0.00	0.00	3.52	30.61	0.00	0.00	60.42	-60.42
24+330	0.00	0.00	0.00	3.52	35.19	0.00	0.00	95.61	-95.61
24+340	0.00	0.00	0.00	4.90	42.08	0.00	0.00	137.69	-137.69
24+350	0.00	0.00	0.00	4.50	46.98	0.00	0.00	184.67	-184.67
24+360	0.00	0.00	0.00	4.02	42.58	0.00	0.00	227.25	-227.25
24+370	0.00	0.00	0.00	4.67	43.45	0.00	0.00	270.70	-270.70
24+380	0.00	0.00	0.00	5.73	52.05	0.00	0.00	322.75	-322.75
24+390	0.00	0.00	0.00	10.10	79.16	0.00	0.00	401.91	-401.91
24+400	0.00	0.00	0.00	8.52	93.07	0.00	0.00	494.98	-494.98

Tabel 3. Volume Data Drone Photogrammetry

Station	Cut Area (Sq.m.)	Cut Volume (Cu.m.)	Reusable Volume (Cu.m.)	Fill Area (Sq.m.)	Fill Volume (Cu.m.)	Cum. Cut Vol. (Cu.m.)	Cum. Reusable Vol. (Cu.m.)	Cum. Fill Vol. (Cu.m.)	Cum. Net Vol. (Cu.m.)
24+300	0.00	0.00	0.00	1.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24+310	0.00	0.00	0.00	1.30	14.61	0.00	0.00	14.61	-14.61
24+320	0.00	0.00	0.00	4.49	28.95	0.00	0.00	43.57	-43.57
24+330	0.00	0.00	0.00	4.79	46.40	0.00	0.00	89.97	-89.97
24+340	0.00	0.00	0.00	3.97	43.84	0.00	0.00	133.81	-133.81
24+350	0.00	0.00	0.00	4.33	41.54	0.00	0.00	175.35	-175.35
24+360	0.00	0.00	0.00	4.75	45.43	0.00	0.00	220.77	-220.77
24+370	0.00	0.00	0.00	4.57	46.61	0.00	0.00	267.38	-267.38
24+380	0.00	0.00	0.00	5.27	49.18	0.00	0.00	316.56	-316.56
24+390	0.00	0.00	0.00	8.80	70.33	0.00	0.00	386.89	-386.89
24+400	0.00	0.00	0.00	7.43	81.14	0.00	0.00	468.02	-468.02

Setelah data volume didapatkan dari output Civil 3D seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2 dan Tabel 3, maka dapat dilakukan perhitungan harga satuan pekerjaan konstruksi yang dijabarkan dalam perkalian kebutuhan bahan bangunan, upah kerja, dan peralatan dengan harga bangunan, standar pengupahan pekerja dan harga sewa/beli peralatan untuk menyelesaikan per

satuan pekerjaan timbunan baik pada metode manual maupun *photogrammetry* dengan rumus 1 [10].

$$\text{Jumlah Harga} = \text{Volume} \times \text{Harga Satuan} \quad (1)$$

Sehingga dapat diperoleh hasil seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4. RAB Pekerjaan Timbunan Dengan Waterpass

No	Uraian	Lokasi	Volume				Jumlah Harga (Rp)
			Satuan	Kuantitas	Waktu	Harga Satuan (Rp)	
A	B		C	D		E	F=D*E
1	Tenaga Kerja:	24+300 - 24+400	Org/jam				
	Surveyor			1	5	25.714,29	128.571,45
	Asisten Surveyor			3	5	15.714,29	235.714,35
2	Alat Waterpass Sokkia		Set	1		9.000.000,00	9.000.000,00
3	Galian Biasa untuk Timbunan 0-5 km		M3	494,97		82.549,88	40.859.714,10
Harga							50.223.999,00

Tabel 5. RAB Pekerjaan Timbunan Dengan Drone *Photogrammetry*

No	Uraian	Lokasi	Volume			Jumlah Harga (Rp)	
			Satuan	Kuantitas	Waktu		
			Harga Satuan (Rp)				
A	B		C	D	E	F=D*E	
1	Tenaga Kerja:	24+300 - 24+400	Org/jam				
	Surveyor			1	1	25.714,29	25.714,29
	Asisten Surveyor			1	1	15.714,29	15.714,29
2	Alat Drone Fotogrammetry		Set	1	572.000.000,00	572.000.000,00	
3	Galian Biasa untuk Timbunan 0-5 km		M3	468,02	82.549,88	38.634.994,84	
Harga						610.676.423,00	

Dari Tabel 4 dan Tabel 5, maka dapat dilihat dari segi biaya bahwa biaya pada penggunaan *drone photogrammetry* lebih besar dibandingkan dengan biaya pada penggunaan *waterpass*. Hal ini disebabkan oleh biaya pengadaan *drone photogrammetry* jauh lebih mahal. Tetapi dalam segi *quantity*, waktu dan hasil untuk penggunaan jangka panjang, *drone photogrammetry* lebih memiliki keunggulan antara lain:

- Menghasilkan pemodelan tiga dimensi atau volume yang akurat [5].
- Jumlah tenaga operasional yang dibutuhkan lebih sedikit.
- Memerlukan waktu yang lebih singkat dan efisien [8].
- Output* yang dihasilkan *drone photogrammetry* konsisten dengan tingkat akurasi 0 – 2 cm.

4. Kesimpulan

Dari analisis yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa metode *drone photogrammetry* dirasa lebih efektif karena hanya membutuhkan waktu 4 jam lebih 15 menit beserta dengan pengolahannya pada software Pix4D atau selisih 45 menit dibandingkan metode konvensional berupa *waterpass* yang membutuhkan waktu 5 jam. Serta pada pekerjaan timbunan, biaya yang dikeluarkan dengan metode *photogrammetry* yang meliputi biaya alat dan SDM sebesar Rp610.676.423,-, dirasa lebih mahal dibandingkan dengan metode konvensional *waterpass* yang hanya mengeluarkan biaya sebesar Rp 50.223.999,-. Namun apabila hanya dilihat dari segi volume tanpa alat serta SDM, biaya yang dikeluarkan pada metode *photogrammetry* lebih terjangkau yakni Rp 38.634.994,84,-, selisih Rp2.234.719,26 dengan metode manual, serta dalam segi *quantity*, waktu dan hasil untuk penggunaan jangka panjang *drone photogrammetry* lebih unggul dibandingkan dengan pengambilan data menggunakan *waterpass*. Sehingga, strategi untuk penerapan metode *photogrammetry* dapat dijadikan sebagai salah satu solusi meningkatkan kinerja proyek infrastruktur jalan tol selanjutnya.

Daftar Rujukan

- [1] N. A. Failsur, D. Suwandhi and Mertotaroen, "Monitoring Geometri konstruksi Jalan Tol Mempergunakan Fotogrametri

- Wahana Tanpa Awak," *Jurnal Seminar Nasional Geomatika*, vol. 3, no. 29, 2019.
- [2] A. A. Kadzafi, M. Khamim and Marjono, "Penyusunan Project Planning Pembangunan Jalan Tol Balikpapan - Samarinda Seksi 2.2," *JOS - MRK*, vol. 2, no. 3, pp. 195-201, 2021.
- [3] P. Laksana and M. Huda, "Identifikasi Tingkat Kepentingan Penerapan Manajemen Proyek Konstruksi Berdasarkan ISO 21500 pada Proyek Konstruksi (Studi Kasus Proyek Gereja Mawar Sharon Kota Surabaya)," vol. 7, 2019.
- [4] M. Mar'aini and Y. R. Akbar, "Penentuan Jalur Kritis untuk Manajemen Proyek (Studi Kasus Pembangunan Jalan Selensan-Kota Baru-Bagan Jaya)," *Jurnal Pustaka Manajemen (Pusat Aset Kajian Manajemen)*, vol. 2, no. 1, pp. 6-13, 2022.
- [5] N. I. K. Dewi, "Photogrammetry dalam Perancangan: Pemetaan dan Pemodelan Kawasan Desa Wisata," *Jurnal Arsitektur Terracotta*, vol. 2, no. 1, 2020.
- [6] S. D. Tjiong and N. B. Yudo Prasetyo, "Analisis Pemodelan 3 Dimensi Pada Metode Close Range Photogrammetry Menggunakan Free and Open Source Software," *Jurnal Geodesi Undip*, vol. 10, no. 1, pp. 216-223, 2021.
- [7] Fajrin, P. S. Apriliansyah and Defwaldi, "Pemetaan 3D Bangunan Cultural Heritage Panggung Krapyak Dengan Teknik Close Range Photogrammetry," *El-Jughrafiyah*, vol. 2, no. 1, 2022.
- [8] D. L. Elian, "Analisa biaya, Mutu, dan Waktu Pengambilan Data Topografi Mempergunakan Metode Terestris dan Drone Mapping atau UAV (Unmanned Aerial Vehicle)," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 9, no. 3, 2021.
- [9] M. R. S. Budi and A. S. Manggala, "Perbandingan Estimasi Anggaran Biaya dan Schedule Proyek Pembangunan Rumah Sakit Al Huda Banyuwangi mempergunakan Metode SNI dan Metode Bow," *Jurnal Rekayasa Infrastruktur Hexagon*, vol. 3, no. 2, 2018.
- [10] P. W. Mahesa, T. T. Arsjad and D. R. O. Walangitan, "RENCANA ANGGARAN BIAYA PADA JEMBATAN LATUPPA- BASTEM KECAMATAN MUNGKAJANG, KOTA PALOPO," *Jurnal Sipil Statik*, vol. 9, no. 4, pp. 763-770, 2021.

JACEIT



9 772723 537002