



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>

Volume 6, Nomor 1, Agustus 2025

e-ISSN. 2723-5378

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

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

VOLUME 6, NOMOR 1, AGUSTUS 2025

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 6 No. 1, Agustus 2025 ini terdiri atas 10 artikel dengan 35 penulis yang berasal dari 10 perguruan tinggi di Indonesia, yaitu Politeknik Negeri Banyuwangi, Universitas Wiralodra Indramayu, Politeknik Negeri Jakarta, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Universitas Kristen Indonesia Tomohon, Politeknik Negeri Bengkalis, Universitas Jenderal Soedirman, Universitas Samudra, Universitas 17 Agustus 1945 Banyuwangi dan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

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 Jurnal **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.

Semoga manuskrip di Jurnal **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, 2 Maret 2025

Ketua Dewan Redaksi,

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



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



DAFTAR ISI TERBITAN

No.	Judul – Penulis	Halaman
1	Rasio Perbandingan Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal dari Penyelidikan Tanah Terhadap PDA <i>Kholidah Ulfi, Dora Melati Nurita Sandi, Eva Olivia Hutasoit</i>	01-07
2	Analisis Pengendalian Mutu Beton Ready Mix Pada Pekerjaan Pile Cap Menggunakan Statistical Quality Methods Control <i>Eky Yudha Setiawan, Mahdika Putra, Hamdani Abdulgani</i>	08-18
3	Pengaruh Proporsi Silica Fume Dengan Penambahan Zat Additive Terhadap Kuat Tekan Mortar <i>Ayik Asri Novita, Dadang Dwi Pranowo, M. Shofi'ul Amin, Ahmad Utanaka, Catur Bejo Santoso</i>	19-24
4	Evaluasi Non-Physical Waste Pada Proyek Pembangunan Gedung Rumah Sakit X Dengan Penerapan Lean Construction <i>Rasendriya Rizki Danureswara, Suropto</i>	25-29
5	Modifikasi Sudut Masuk Impeller Pompa Sentrifugal Untuk Mengurangi Efek Kavitasi <i>Nu Rhahida Arini, Desy Ramadhani, Lohdy Diana, Reihan Rizky Reivanda</i>	30-35
6	Analysis of Factors Influencing Contractor Performance in Supporting Infrastructure Sovereignty in North Sulawesi <i>Anneke Elisabeth Rattu, Gerel Herke Tulungen, Nicolas Willem James Mandagi, Joni Kutu' Kampilong, Jendry Masinambow</i>	36-45
7	Pengaruh Kombinasi Dua Aditif Terhadap Penundaan Waktu Pemadatan Pada Beton <i>Indriyani Puluhulawa, Muhammad Idham</i>	46-51
8	Penilaian Efisiensi Aplikasi MPDM Calculator Dalam Pengukuran Produktivitas Method Productivity Delay Model <i>Redityo Januardi, Julian Pramudhita Dewangga, Muhammad Syaiful Aliim</i>	52-58





No.	Judul – Penulis	Halaman
9	Implementasi BIM pada Struktur Gedung Laboratorium Terpadu Universitas Samudra Menggunakan Software Revit <i>Ahmad Anwar, Wan Alamsyah, Meilandy Purwandito</i>	59-68
10	Analisis Laju Sedimen Berdasarkan Data Unsteady Flow Real Time Dengan HEC-RAS di DAS Bomo Banyuwangi <i>Habib Marjun Syafaat, Yohanes Pracoyo Widi Prasetyo, Heri Sujatmiko, Dimas Aji Purnomo, Zulis Erwanto</i>	69-80





Rasio Perbandingan Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal dari Penyelidikan Tanah Terhadap PDA

Kholidah Ulfi¹, Dora Melati Nurita Sandi², Eva Olivia Hutasoit³

¹Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Banyuwangi

¹kholidahulfi07@gmail.com, ²doranurita@poliwangi.ac.id, ³eva.oliviahutasoit@poliwangi.ac.id

Abstract

The construction of the Politeknik Negeri Banyuwangi Integrated Lecture Building includes a high-rise building that has 7 floors. To determine the actual carrying capacity of the pinned, a Pile Dynamic Analysis Test (PDA Test) was carried out. The bearing capacity of this development foundation is only obtained from PDA testing, so it is necessary to calculate the carrying capacity of other foundations as comparative data. The carrying capacity of the foundation can be known from soil investigations such as the Sondir or Cone Penetrometer Test (CPT) and data from laboratory tests. This study aims to calculate the bearing capacity value of a single pile foundation and calculate the ratio of sondir data and laboratory test data to PDA. The calculation of sonder data (CPT) was carried out using the methods of Aoki and De Alencar (1975), Meyerhoff, Schmertman-Nottingham (1975), Van Der Ween, and Philipponant. Meanwhile, the laboratory test data uses the Terzaghi method, the α method, and the β method. The results of the sondir data calculation obtained the highest Q_u value from the Schmertman Nottingham method, which was 1053.329 tons, and the results from laboratory tests from the Terzaghi method of 365.315 tons. The ratio of the value of Q_u sondir data compared to Q_u PDA that was close to the value of 1 was the Philipponant method of 0.967, while the Q_u laboratory test data compared to Q_u PDA was the Alpha method of 1.435. The value of Q_u sonder compared to Q_u of the laboratory test data that close to the value of 1 was the Schmertman Nottingham method that was compared to the Terzaghi method which was 1.009.

Keywords: Carrying Capacity, PDA, Empirical Approach, Static Approach, Single Pile

Abstrak

Pembangunan Gedung Kuliah Terpadu Politeknik Negeri Banyuwangi termasuk suatu bangunan bertingkat tinggi yang memiliki 7 lantai. Untuk mengetahui daya dukung aktual terpancang dilakukan uji *Pile Dynamic Analysis Test* (Tes PDA). Kekuatan daya dukung pondasi pembangunan ini, hanya didapatkan dari pengujian PDA, sehingga diperlukan perhitungan daya dukung pondasi lainnya sebagai data pembandingan. Daya dukung pondasi, dapat diketahui dari penyelidikan tanah seperti Sondir atau *Cone Penetrometer Test* (CPT) dan data dari uji laboratorium. Penelitian ini bertujuan menghitung nilai daya dukung pondasi tiang pancang tunggal dan menghitung rasio dari data sondir dan data uji laboratotium terhadap PDA. Perhitungan data sondir (CPT) dilakukan dengan metode Aoki dan De Alencar (1975), Meyerhoff, Schmertman-Nottingham (1975), Van Der Ween, dan Philipponant. Sedangkan data uji laboratorium menggunakan metode Terzaghi, metode α , dan metode β . Hasil perhitungan data sondir didapatkan nilai Q_u tertinggi dari metode Schmertman Nottingham yaitu sebesar 1053,329 ton, serta hasil dari uji laboratorium dari metode Terzaghi sebesar 365,315 ton. Rasio nilai Q_u data sondir dibandingkan dengan Q_u PDA yang mendekati nilai 1 ialah metode Philipponant sebesar 0,967, sedangkan Q_u data uji laboratorium dibandingkan Q_u PDA ialah metode Alpha sebesar 1,435. Untuk nilai Q_u sondir dibandingkan Q_u data uji laboratorium yang mendekati nilai 1 ialah metode Schmertman Nottingham yang dibandingkan dengan metode Terzaghi yaitu sebesar 1,009.

Kata kunci: Daya Dukung, PDA, Pendekatan Empiris, Pendekatan Statis, Tiang Pancang Tunggal

Diterima Redaksi : 2024-07-02 | Selesai Revisi : 2024-07-26 | Diterbitkan Online : 2025-03-03

1. Pendahuluan

Pondasi merupakan struktur bawah bangunan yang mempunyai fungsi sebagai penyalur beban di atasnya ke lapisan tanah pendukung [1]. Pemilihan jenis pondasi dan kekuatan struktur bangunan, dapat dilakukan dengan

melihat kondisi daya dukung dari tanah tempat yang akan dilakukan suatu pembangunan. Kondisi daya dukung tanah dapat diketahui dengan melakukan penyelidikan tanah. Penyelidikan tanah harus mencapai kedalaman dimana tanah memberikan daya dukungnya atau berkontribusi penurunan akibat pembebanan

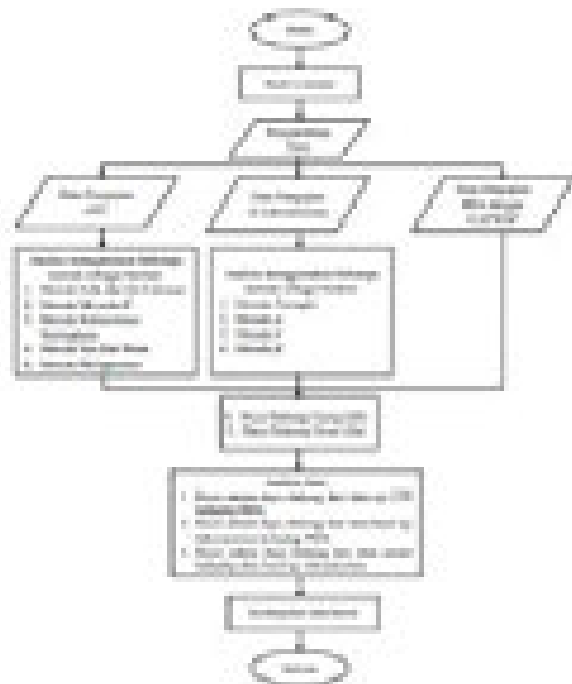


struktur yang akan dibangun di atasnya [2]. Penelitian dari Supriyanto menghitung nilai daya dukung dari data sondir, Nspt, dan uji laboratorium yang menghasilkan perhitungan daya dukung untuk pondasi dalam metoda Terzaghi & Meyerhof, menggunakan Data NSPT dan Sondir, menunjukkan hasil yang hampir sama [3]. Selain itu, ada penelitian dari Gazali et al menghitung daya dukung ultimate pondasi tiang pancang tunggal dari data CPT yang menghasilkan perbandingan nilai daya dukung ultimit teoritis pondasi tiang pancang tunggal menggunakan Metode Mayerhof dengan Metode Price & Wardle adalah nilai daya dukung pondasi tiang pancang tunggal menggunakan metode Price & Wardle lebih besar daripada metode Meyerhof baik pada sondir 1 (S-1), sondir 2 (S-2) dan sondir 3 (S-3), Sehingga hasil yang mendekati dengan kenyataan adalah metode Meyerhof [4]. Pada penelitian Azzahra yang membandingkan metode Meyerhoff dan metode Aoki De Calencar untuk menghitung nilai daya dukung pada proyek Bendung D.I Serbang dihasilkan perhitungan daya dukung dari metode mayerhoff lebih besar daripada metode Aoki dan De Alencer, maka metode mayerhoff lebih efisien daripada metode Aoki de Alencer [5]. Pada penelitian ini studi analisa daya dukung tanah untuk pondasi tiang pancang dilaksanakan pada proyek Pembangunan Kuliah Terpadu Politeknik Negeri Banyuwangi. Gedung tersebut termasuk kedalam kategori konstruksi gedung bertingkat (*High Rise Building*) dimana gedung ini memiliki 7 lantai. Pada pembangunan tersebut melakukan penyelidikan tanah di lapangan yaitu *Cone Penetrometer Test* (CPT) atau sondir dengan dua titik dengan kedalaman 0 m – 4 m. Selain itu, juga dilakukan penyelidikan tanah di laboratorium. Hasil penyelidikan tanah didapatkan bahwa kondisi lapisan tanah pada proyek ini adalah lanau kepasiran dengan lempung. Karakteristik tanah yang mendominasi ialah tanah pasir. Pada Pembangunan Gedung Kuliah Terpadu, kekuatan daya dukung pondasi hanya didapatkan dari pengujian tes PDA yang dilakukan analisa gelombang menggunakan *Case Pile Wave Analysis Program* (CAPWAP), sehingga diperlukan perhitungan daya dukung lain untuk mengetahui daya dukung suatu pondasi tersebut. Penelitian ini akan menggunakan data dari CPT, uji laboratorium dan PDA. Hasil perhitungan lainnya ini, yang akan dijadikan pembandingan terhadap daya dukung suatu pondasi dari data PDA, sehingga akan diperoleh hasil yang lebih akurat. Pada penelitian perhitungan daya dukung pondasi tiang pancang ini, menggunakan beberapa metode dari para ahli. Perhitungan dengan beberapa metode tersebut dilakukan guna mendapatkan hasil perhitungan yang nilainya mendekati PDA.

2. Metode Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan pada Pembangunan Gedung Kuliah Terpadu Politeknik Negeri Banyuwangi yang beralamatkan di Jalan Raya Jember kilometer 13, Desa Labanasem, Kecamatan Kabat, Kabupaten Banyuwangi, Provinsi Jawa Timur, 68461. Gedung Kuliah Terpadu

Politeknik Negeri Banyuwangi memiliki tinggi bangunan 45,21 m dengan total lantai berjumlah 7 lantai. Penelitian perhitungan daya dukung tiang pancang tunggal berdasarkan data CPT (sondir) dan data uji laboratorium pada Pembangunan Gedung Kuliah Terpadu Politeknik Negeri Banyuwangi 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 yang dapat dilakukan sebagai pekerjaan awal ialah pendalaman materi tentang perhitungan daya dukung pondasi tiang pancang dari data CPT, data pengujian di laboratorium dan tes PDA berdasarkan metode dinamis yang menggunakan rumus perhitungan menurut beberapa ahli. Dari hasil studi literatur ini, peneliti dapat memperoleh gagasan, teori, atau metode yang akan digunakan dalam penelitian.

2.2. Pengumpulan Data

Data yang akan dipakai ialah data sekunder. Data yang diperoleh meliputi hasil pengujian tanah CPT, data pengujian di laboratorium, data PDA, dan *As build drawing*.

2.3. Data-Data

Data yang diperoleh ialah data sondir, data uji laboratorium, dan data pengujian PDA dengan CAPWAP. Pengujian PDA yang dipakai dalam penelitian ini ialah tiang pancang no. A.13.3. Dalam penelitian ini data sondir yang digunakan ialah data Sondir 1 (S1) sedalam 4,2 m. Nilai dari data sondir yang digunakan dalam perhitungan nantinya ialah nilai

perlawanan konus (q_c). Setelah data sondir didapatkan maka dapat dilakukan analisa menggunakan beberapa metode. Data pengujian di laboratorium yang digunakan dalam penelitian ini adalah data dari pengujian *direct shear* dan data pengujian *dry density*. Untuk data yang digunakan dari pengujian *direct shear* ialah nilai kohesi dan sudut geser dalam. Sedangkan nilai yang digunakan dari data pengujian *dry density* ialah nilai berat isi kering tanahnya.

2.4. Perhitungan Daya Dukung Ujung dan Daya Dukung Geser

Metode yang akan digunakan untuk menghitung daya dukung tiang pancang dari data sondir ialah metode Aoki dan De Alencar (1975), metode Meyerhoff, metode Schmertman-Nottingham (1975), metode Van Der Ween, dan metode Philipponant. Sedangkan metode yang digunakan untuk menghitung daya dukung tiang pancang dari data laboratorium adalah metode Terzaghi, metode α , dan metode β . Berdasarkan beberapa metode tersebut akan dicari rasio terdekat pengujian langsung dengan data perencanaan. Perhitungan diawali menghitung nilai daya dukung ujung dan nilai daya dukung gesek untuk mendapatkan hasil nilai daya dukung ultimatanya. Setelah didapatkan nilai daya dukung pondasi tiang pancang tunggal berdasarkan data sondir dan data hasil uji di laboratorium menggunakan metode dari beberapa ahli. Perhitungan nilai daya dukung ijin diperoleh dengan cara membagi nilai daya dukung ultimatanya dengan faktor aman yaitu 2,5 [6]. Berikut adalah rumus yang digunakan dalam perhitungan menggunakan data dari sondir.

1. Metode Aoki De Calencar

Aoki De Alencar mengusulkan untuk memperkirakan kapasitas kuat dukung ultimit pondasi tiang pancang. Kapasitas daya dukung persatuan luas (q_b) dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut [7]:

$$Q_b = q_b \times A_p \quad (1)$$

Kapasitas dukung selimut dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$Q_s = F \times A_s \quad (2)$$

$$Q_u = Q_b + Q_s \quad (3)$$

Dengan :

Q_b = Daya dukung ujung

Q_s = Daya dukung selimut

Q_u = Daya dukung ultimate

2. Metode Meyerhoff

Tahanan ujung dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini [6].

$$Q_b = f_b \times A_p \quad (4)$$

Persamaan untuk menghitung daya dukung selimut pondasi ialah sebagai berikut.

$$Q_s = A_s \times f_s \quad (5)$$

$$Q_u = Q_b + Q_s - W_p \quad (6)$$

Dengan :

Q_b = Daya dukung ujung

Q_s = Daya dukung selimut

Q_u = Daya dukung ultimate

W_p = Berat tiang

3. Metode Schmertman Nottingham

Kapasitas dukung ultimit neto (Q_u), dihitung dengan persamaan berikut [6].

$$Q_u = A_p \cdot f_b + A_s \cdot f_s - W_p \quad (7)$$

Dengan :

Q_u = Daya dukung ultimate

W_p = Berat tiang

4. Metode Van Der Ween

Daya dukung ujung tiang dapat dihitung dengan persamaan berikut [1]:

$$Q_b = \frac{q_{ca}}{3\alpha} \times A_p \quad (8)$$

Daya dukung selimut didapatkan dari perhitungan menggunakan persamaan berikut.

$$Q_s = \frac{1}{2} P \times q_s \quad (9)$$

Dengan :

q_{ca} = Harga rata-rata konus disepanjang 3,5D di atas dasar pondasi sampai 1D dibawah dasar pondasi

Q_b = Daya dukung ujung

Q_s = Daya dukung selimut

P = Keliling tiang

5. Metode Philipponant

Daya dukung ujung tiang dapat dihitung dengan persamaan berikut [1]:

$$Q_b = \frac{q_p \times A_p}{2} \quad (10)$$

Daya dukung selimut didapatkan dari perhitungan menggunakan persamaan berikut.

$$Q_s = \frac{P}{2} \times JHP \quad (11)$$

Dengan :

Q_b = Daya dukung ujung

Q_s = Daya dukung selimut

Untuk rumus yang digunakan perhitungan menggunakan data uji laboratorium dapat dilihat berikut ini,

1. Metode Terzaghi

Tahanan ujung dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini [8].

$$Q_b = A_p (q \cdot N_q \cdot \alpha_q + \gamma \cdot b \cdot N_\gamma \cdot \alpha_\gamma) \quad (12)$$

Daya dukung selimut didapatkan dari perhitungan menggunakan persamaan berikut.

$$Q_s = 0,5 \cdot f \cdot L \cdot C_p \quad (13)$$

Dengan :

A_p = Luas penampang tiang pancang

Q = Tegangan vertikal efektif pada ujung tiang ($\gamma \cdot z$)

γ = Berat volume tanah di ujung tiang (ton/m³)

α_q dan α_γ = Faktor penampang

α_q = 1 untuk penampang persegi dan bulat

α_γ = 0,4 untuk penampang persegi

α_γ = 0,3 untuk penampang bulat

b = Dimensi tiang

Q_b = Daya dukung ujung
 Q_s = Daya dukung selimut
 C_p = Keliling tiang
 L = Kedalaman tiang

2. Metode Alpha

Tahanan ujung dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini [6].

$$Q_b = A_p \cdot q_b \quad (14)$$

Daya dukung selimut didapatkan dari perhitungan menggunakan persamaan berikut.

$$Q_s = A_s \cdot \alpha \cdot c_u \quad (15)$$

Dengan :

Q_b = Daya dukung ujung
 A_p = Luas penampang ujung tiang
 q_b = Tahanan ujung tiang
 Q_s = Daya dukung selimut
 A_s = Luas selimut tiang
 α = Faktor adhesi
 c_u = Kohesi tak terdrainase

3. Metode Beta

Tahanan ujung dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini [6].

$$Q_b = q \cdot N_t \quad (16)$$

Daya dukung selimut didapatkan dari perhitungan menggunakan persamaan berikut.

$$Q_s = A_s \cdot f_s \quad (17)$$

Dengan :

Q_b = Daya dukung ujung
 q = Tegangan vertikal efektif pada ujung tiang
 N_t = Koefisien daya dukung ujung
 Q_s = Daya dukung selimut
 A_s = Luas selimut tiang

2.5. Analisa Data (Penentuan Rasio Hubungan)

Perhitungan rasio ini didapatkan dari hasil perhitungan kapasitas daya dukung pondasi tiang pancang tunggal dari berbagai formula dinamik menurut para ahli yang menggunakan data CPT dan data pengujian di laboratorium kemudian dibagi dengan hasil tes PDA untuk menentukan nilai rasio keduanya. Rasio yang akan dihitung ialah rasio antara daya dukung dari data uji CPT terhadap PDA, rasio antara daya dukung dari data uji laboratorium terhadap PDA, dan rasio antara daya dukung dari data sondir terhadap data hasil uji laboratorium. Setelah dilakukan perhitungan dari berbagai data di atas, nilai 1 digunakan sebagai acuan karena jika hasil perbandingan mendapatkan nilai 1 maka bilangan tersebut dapat dinyatakan sebanding, oleh karena itu semakin memiliki rasio yang mendekati nilai 1 maka dapat 37 dinyatakan hasilnya hampir sebanding dan memiliki hasil perhitungan yang lebih akurat sesuai dengan tes PDA di lapangan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Spesifikasi Tiang Pancang

Pekerjaan pemancangan pada pembangunan Gedung Kuliah Terpadu Politeknik Negeri Banyuwangi menggunakan tiang pancang beton pracetak persegi dengan kriteria sebagai berikut.

- Tipe : Precast concrete K-600
- Dimensi tiang pancang = 40 x 40 cm
- Luas penampang tiang (A_p) = 1600 cm² = 0,16 m²
- Luas selimut (A_s) = 67200 cm² = 6,72 m²
- Keliling tiang (P) = 160 cm = 1,6 m
- Modulus Elastisitas tiang (E_p) = 32.866,41143 MPa = 3.456.040.023,99 kg/m²
- Berat tiang pancang = 384 kg/m
- Berat volume beton (γ_b) = 25 kN/m³ = 2,55 t/m³

3.2. Spesifikasi Alat Pancang

Pekerjaan pemancangan yang dilakukan pada pembangunan Gedung Kuliah Terpadu Politeknik Negeri Banyuwangi menggunakan kriteria alat pancang sebagai berikut.

- Tipe tes = Restrike
- Tipe pemukul = Drop Hammer 2,5 ton
- Tinggi jatuh = 1,2 m

3.3. Daya Dukung dari Data Sondir

a. Data Sondir

Pengambilan data sondir dilakukan pada saat penyelidikan tanah mencapai tanah keras. Data sondir yang didapatkan yang telah dilakukan ada 2 titik yaitu data sondir (S1) dan data sondir (S2). Data sondir (S1) memiliki kedalaman 4,2 m. Untuk data sondir (S2) memiliki kedalaman 3,2 m. Pada penelitian yang digunakan dalam perhitungan berikut ialah data dari sondir (S1). Hasil sondir dapat dilihat pada **Tabel 1** berikut.

Tabel 1. Data Pengujian Sondir [9].

Kedalaman (meter)	qc (kg/cm ²)	fs (LF) (kg/cm ²)	TFD (kg/cm ²)
0,00	0	0,000	0,00
0,20	8	0,134	2,67
0,40	10	0,401	10,70
0,60	11	0,267	16,04
0,80	10	0,267	21,39
1,00	12	0,201	25,40
1,20	10	0,267	30,75
1,40	8	0,267	36,10
1,60	10	0,267	41,45
1,80	12	0,267	46,80
2,00	12	0,267	52,15
2,20	14	0,267	57,49
2,40	20	0,669	70,87
2,60	25	0,669	84,24
2,80	40	0,669	97,61
3,00	80	0,669	110,98
3,20	90	0,669	124,35
3,40	70	0,669	137,72
3,60	60	0,669	151,09
3,80	100	0,669	164,46
4,00	150	0,669	177,83
4,20	250	0,000	177,83

b. Daya Dukung dari Data Sondir

Data Daya Dukung pondasi pada Pembangunan Gedung Kuliah Terpadu Politeknik Negeri Banyuwangi berdasarkan data sondir data dilihat pada **Tabel 2** berikut.

Tabel 2. Daya Dukung Pondasi Berdasarkan Data Sondir

No	Metode	Q_u (ton)	Q_a (ton)	SF
1	Aoki De Calencar	259,509	103,804	2,5
2	Meyerhoff	516,106	206,442	2,5
3	Schmertman Nottingham	1053,329	421,331	2,5
4	Van Der Ween	98,677	39,471	2,5
5	Philipponant	167,605	67,042	2,5

3.4 Daya Dukung dari Data Uji Laboratorium

b. Data Uji Laboratorium

Pada Proyek Pembangunan Gedung Kuliah Terpadu Politeknik Negeri Banyuwangi dilakukan suatu penyelidikan tanah di laboratorium. Data yang dipakai ialah data pengujian *Dry density* dan *Direct shear*. Hasil pengujian dapat dilihat pada **Tabel 3** berikut.

Tabel 3. Data Pengujian *Dry Density* dan *Direct Shear* [9].

No	Kedalaman (m)	<i>Dry Density</i> γ_d (g/cm ³)	<i>Direct Shear</i>	
			c (kg/cm ²)	ϕ (°)
1	1,5 – 2	1,057	0,32	14
2	3,5 – 4	1,831	0,26	19
3	5,5 – 6	2,060	0,22	21
4	7,5 – 8	1,721	0,27	16
5	9,5 – 10	1,385	0,18	26
6	11,5 – 12	1,185	0,20	24
7	13,5 – 14	1,218	0,24	22
8	15,5 – 16	1,794	0,28	18
9	17,5 – 18	1,536	0,30	15
10	19,5 – 20	1,361	0,22	23

c. Daya Dukung dari Data Uji Laboratorium

Data Daya Dukung pondasi pada Pembangunan Gedung Kuliah Terpadu Politeknik Negeri Banyuwangi berdasarkan data sondir data dilihat pada **Tabel 4** berikut.

Tabel 4. Daya Dukung Pondasi Berdasarkan Data Uji Laboratorium

No	Metode	Q_u (ton)	Q_a (ton)	SF
1	Terzaghi	791,848	316,739	2,5
2	Alpha	216,192	86,477	2,5
3	Beta	0,186	0,074	2,5

3.5 Data PDA

Pada Proyek Pembangunan Gedung Kuliah Terpadu Politeknik Negeri Banyuwangi diperoleh data pengujian dinamis terhadap 3 (tiga) buah tiang pancang beton segi empat dengan ukuran 40x40 cm². Tiang pancang yang dilakukan pengujian ialah tiang dengan nomor A.13.3,

DOI : <https://doi.org/10.52158/jaceit.v6i1.902>

A.14.2, dan B.15.4. Pengujian dilakukan pada tanggal 29 Maret 2023 berdasarkan ASTM D4945. Analisa dinamis terhadap rekaman data lapangan juga dilakukan dengan program CAPWAP (*Case Pile Wave Analysis Program*) untuk mendapatkan informasi mengenai distribusi perlawanan tanah sepanjang tiang pondasi dan kurva simulasi pembebanan. Pada penelitian ini yang digunakan sebagai acuan ialah pengujian pada nomor tiang A.13.3 dengan hasil yang dapat dilihat pada **Tabel 5** berikut.

Tabel 5. Hasil PDA dan CAPWAP [10]

No. Tiang	PDA	Daya Dukung Teraktifkan Tiang (Ton)		
		Total	CAPWAP	
			Tahanan Kulit	Tahanan Ujung
A.13.3	RA2 = 176	173,31	48,47	124,84
A.14.2	RMX = 185	172,83	45,57	127,26
A.15.4	RA2 = 197	195,34	46,52	148,82

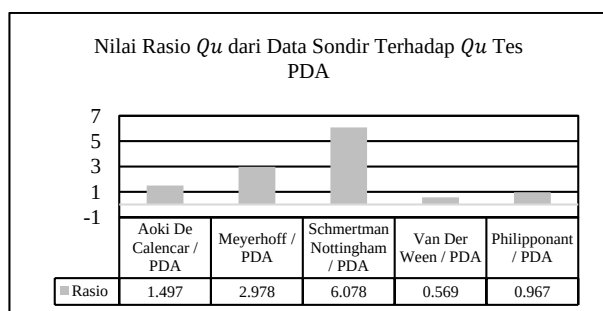
3.6 Rasio Daya Dukung

a. Rasio Daya Dukung dari Data Sondir Terhadap PDA
Rasio didapatkan dari perbandingan anatara nilai Q_u yang diperoleh dari perhitungan menggunakan data sondir dengan Q_u yang diperoleh dari data PDA. Data rasio nilai daya dukung ultimate (Q_u) sondir terhadap (Q_u) PDA bisa dilihat pada **Tabel 6**. Berikut

Tabel 6. Rasio (Q_u) Data Sondir Terhadap (Q_u) PDA

No	Metode	Q_u (A) (ton)	Q_u PDA (B) (ton)	Rasio (A/B)
1	Aoki De Calencar	259,509	173,310	1,497
2	Meyerhoff	516,106	173,310	2,978
3	Schmertman Nottingham	1053,329	173,310	6,078
4	Van Der Ween	98,677	173,310	0,569
5	Philipponant	167,605	173,310	0,967

Data rasio nilai daya dukung ultimate (Q_u) sondir terhadap (Q_u) PDA bisa dilihat pada **Gambar 2**. Berikut.



Gambar 2. Rasio (Q_u) Data Sondir Terhadap (Q_u) PDA

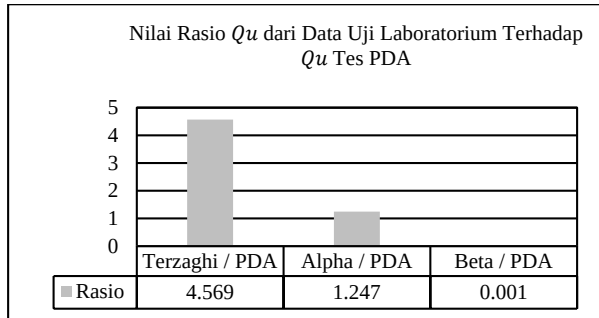
b. Rasio Daya Dukung dari Data Uji Laboratorium Terhadap PDA

Data rasio nilai daya dukung ultimate (Q_u) Uji Laboratorium terhadap (Q_u) PDA bisa dilihat pada **Tabel 7** berikut.

Tabel 7. Rasio (Q_u) Data Uji Laboratorium Terhadap (Q_u) PDA

No	Metode	Q_u (A) (ton)	Q_u PDA (B) (ton)	Rasio (A/B)
1	Terzaghi	791,848	173,310	4,569
2	Alpha	216,192	173,310	1,247
3	Beta	0,186	173,310	0,001

Data rasio nilai daya dukung ultimate (Q_u) Uji Laboratorium terhadap (Q_u) PDA bisa dilihat pada **Gambar 3.** berikut.

Gambar 3. Rasio (Q_u) Data Uji Laboratorium Terhadap (Q_u) PDA

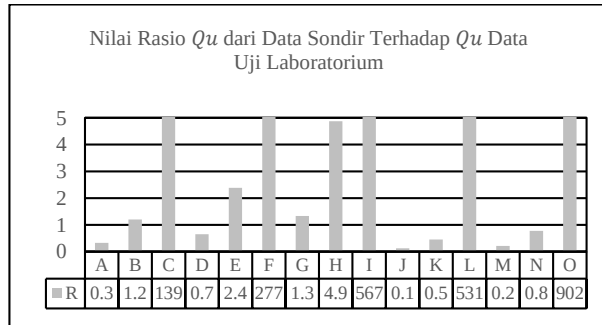
c. Rasio Daya Dukung dari Data Sondir Terhadap Data Uji Laboratorium

Data rasio nilai daya dukung ultimate (Q_u) Uji Laboratorium terhadap (Q_u) PDA bisa dilihat pada **Tabel 8.** berikut.

Tabel 8 Rasio (Q_u) Data Sondir Terhadap (Q_u) Data Uji Laboratorium

No	Data Sondir (A)		Data Uji Laboratorium (B)		Rasio (A/B)
	Metode	Q_u (ton)	Metode	Q_u (ton)	
1.	Aoki De Calencar	259,509	Terzaghi	791,848	0,328
			Alpha	216,192	1,200
			Beta	0,186	1396,992
2	Meyerhoff	516,106	Terzaghi	791,848	0,652
			Alpha	216,192	2,387
			Beta	0,186	2778,306
3	Schmertman Nottingham	1053,329	Terzaghi	791,848	1,330
			Alpha	216,192	4,872
			Beta	0,186	5670,290
4	Van Der Ween	98,677	Terzaghi	791,848	0,125
			Alpha	216,192	0,456
			Beta	0,186	531,201
5	Philipponant	167,605	Terzaghi	791,848	0,212
			Alpha	216,192	0,775
			Beta	0,186	902,253

Data rasio nilai daya dukung ultimate (Q_u) Uji Laboratorium terhadap (Q_u) PDA bisa dilihat pada **Gambar 4** berikut.

Gambar 4. Rasio (Q_u) Data Sondir Terhadap (Q_u) Data Uji Laboratorium

Dengan :

- A = Rasio Aoki/Terzaghi
- B = Rasio Aoki/Alpha
- C = Rasio Aoki/Beta
- D = Rasio Meyerhoff/Terzaghi
- E = Rasio Meyerhoff/Alpha
- F = Rasio Meyerhoff/Beta
- G = Rasio Schmertman/Terzaghi
- H = Rasio Schmertman/Alpha
- I = Rasio Schmertman/Beta
- J = Rasio Van.D.W/Terzaghi
- K = Rasio Van.D.W/Alpha
- L = Rasio Van D.W/Beta
- M = Rasio Philipponant/Terzaghi
- N = Rasio Philipponant/Alpha
- O = Rasio Philiponant/Beta

4. Kesimpulan

Nilai daya dukung tiang pancang tunggal menggunakan pendekatan empiris dari data sondir memiliki nilai yang berbeda-beda. Nilai daya dukung ultimate (Q_u) metode Aoki De Calencar ialah 259,509 ton, metode Meyerhoff 516,106 ton, metode Schmertman Nottingham 1053,329 ton, metode Van Der Ween 98,677 ton, dan metode Philipponant 167,605 ton. Nilai daya dukung izinnya (Q_a) diperoleh nilai 103,804 ton untuk metode Aoki De Calencar, 206,442 ton metode Meyerhoff, 421,331 ton metode Schmertman Nottingham, 39,471 ton metode Van Der Ween, dan 67,042 ton untuk metode Philipponant. Nilai daya dukung tiang pancang tunggal juga dihitung menggunakan pendekatan statis dari data uji laboratorium. Nilai daya dukung ultimate (Q_u) untuk metode Terzaghi sebesar 1043,722 ton, metode Alpha 248,621 ton, dan metode Beta 0,224 ton. Nilai daya dukung izinnya (Q_a) diperoleh 316,739 ton untuk metode Terzaghi, 86,477 ton metode Alpha, dan 0,074 ton metode Beta.

Rasio daya dukung tiang pancang tunggal menggunakan pendekatan empiris dari data sondir dibandingkan dengan pendekatan dinamis dari pengujian langsung PDA menghasilkan nilai rasio yang berbeda-beda. Nilai

rasio Q_u yang paling mendekati angka 1 diperoleh metode Philipponant sebesar 0,967. Rasio pendekatan statis dari data uji laboratorium dibandingkan dengan pendekatan dinamis dari pengujian langsung PDA menghasilkan nilai rasio yang berbeda-beda. Nilai rasio Q_u yang paling mendekati angka 1 diperoleh metode Alpha sebesar 1,247. Rasio pendekatan empiris dari data sondir dibandingkan dengan pendekatan statis yaitu dari data uji laboratorium menghasilkan nilai rasio yang berbeda-beda. Nilai rasio Q_u yang paling mendekati angka 1 diperoleh dari perhitungan metode Aoki De Calencar dari data sondir dibandingkan dengan metode Alpha dari data uji laboratorium sebesar 1,2. Penelitian ini dapat digunakan sebagai data dalam pertimbangan untuk melakukan perencanaan pondasi.

5. Daftar Rujukan

- [1] A. Faruha and M. Ridwan, "Analisa Perhitungan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Dibandingkan Dengan Daya Dukung Hydraulic Jacking System Dan Pile Driving Analyzer (PDA) Pada Proyek Pembangunan Gedung Perpustakaan Sekolah Tinggi Agama Islam Negeri Kediri," *Jurnal Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya*, 2018.
- [2] K. Prayogo and H. Saptowati, "Penyelidikan Struktur dan Karakteristik Tanah Untuk Desain Pondasi Iradiator Gamma Kapasitas 2MCi," *Jurnal Perangkat Nuklir*, p. 31, 2016.
- [3] Supriyanto, "Analisa Daya Dukung Tanah Berdasarkan Data Sondir, Nspt dan Laboratorium (Studi Kasus di BTN Hamzy Makassar)," *Jurnal Teknik Sipil*, 2022.
- [4] 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.
- [5] A. Azzahra, "Perbandingan Metode Meyerhoff dan Metode Aoki De Calencar Pada Analisis Daya Dukung Tanah Proyek Pembangunan Bendung D.I Serbang," *Jurnal Teknik Sipil*, 2022.
- [6] H. C. Hardiyatmo, *Analisis dan Perancangan Fondasi II*, Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2015.
- [7] I. Y. Mardianti, M. Nukrilullah and D. O. Dwina, "Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Berdasarkan Data Sondir (Studi Kasus : Pembangunan Gedung Rumah Sakit Pendidikan Universitas Jambi)," *Jurnal Teknik Sipil*, 2022.
- [8] J. E. Bowless, *Analisa dan Desain Pondasi*, Jakarta: Erlangga, 1999.
- [9] K. J. Karya, KSO, "Laporan Penyelidikan Tanah," CV Karya Nyata, Jember, 2022.
- [10] F. Bunowo, "Laporan Pengujian Dinamis Tiang Pondasi Menggunakan Pile Driving Analyzer," PT Pengujian Dinamis Argeosakti, Jakarta, 2023.



Analisis Pengendalian Mutu Beton Ready Mix Pada Pekerjaan Pile Cap Menggunakan *Statistical Quality Methods Control*

Eky Yudha Setiawan¹, Mahdika Putra Nanda², Hamdani Abdulgani³

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

¹ekyydhasetiawan2@gmail.com, ²dikananda.ft@unwir.ac.id*, ³dani.gani@unwir.ac.id

Abstract

This research analyzes the application of Statistical Quality Methods Control (SQMC) to control the quality of ready-mix concrete in pile cap works. This research aims to analyze the suitability of the concrete quality of the structural components used with the plan and the factors that may cause the concrete quality to match or not. The research method is a quantitative approach with an experimental design. This study will be conducted on the Tower 3 Building Construction project of Indramayu Hajj Dormitory, which uses ready-mix concrete for pile cap work. The results show that the average concrete slump value is 11.10 cm, which is still within the specification limit of 7.5-15 cm for plate, column, and beam work. The concrete batching plant, or a concrete mixing plant, is a device that homogeneously combines various ingredients to form concrete. The X and R control maps for the 14-day compressive strength test results showed that all data were within the control limits, indicating a well-controlled casting process. The selection of tests at 14 days gives a more accurate picture of the final strength of the concrete, allowing for better decision-making. The choice of testing at 14 days gives a more accurate picture of the final strength of the concrete, allowing for better decision-making. The standard deviation value of the flexural strength results converted to compressive strength was 0.906, indicating excellent execution quality for work volumes >3000 m³. The coefficient of variation of 2.56% indicates the Best execution category. The SQMC method was effectively utilized for quality control in ready-mixed concrete used in pile cap works, demonstrated by the consistent test results falling within control limits.

Keywords: *Quality Control, Ready-mixed Concrete, Statistical Quality Methods Control (SQMC), Concrete Quality*

Abstrak

Penelitian ini menganalisis penerapan *Statistical Quality Methods Control* (SQMC) dalam pengendalian mutu beton ready mix pada pekerjaan pile cap. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis kesesuaian mutu beton dari komponen struktur yang digunakan dengan yang direncanakan serta menganalisis faktor-faktor yang mungkin menyebabkan mutu beton sesuai atau tidak dengan rencana. Metode penelitian yaitu dengan pendekatan kuantitatif dengan desain eksperimental. Studi ini akan dilakukan pada proyek Pembangunan Gedung Tower 3 Asrama Haji Indramayu yang menggunakan beton ready mix untuk pekerjaan pile cap. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai rata-rata slump beton adalah 11,10 cm, yang masih dalam batas spesifikasi 7,5-15 cm untuk pekerjaan plat, kolom, dan balok. Analisis kuat tekan beton pada umur 14 hari menunjukkan semua sampel memenuhi kriteria Oke dengan persentase kekuatan berkisar antara 91,894% hingga 98,276% dari kuat tekan rencana. Peta kendali X dan R untuk hasil uji kuat tekan 14 hari menunjukkan bahwa semua data berada dalam batas kendali, mengindikasikan proses pengecoran yang terkendali dengan baik. Pemilihan pengujian pada umur 14 hari memberikan gambaran yang lebih akurat tentang kekuatan akhir beton, memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih baik. Nilai standar deviasi dari hasil kuat lentur yang dikonversi menjadi kuat tekan adalah 0,906, mengindikasikan mutu pelaksanaan yang sangat baik untuk volume pekerjaan >3000 m³. Koefisien variasi sebesar 2,56% menunjukkan kategori pelaksanaan Terbaik. Metode SQMC efektif digunakan untuk pengendalian mutu beton siap pakai yang digunakan pada pekerjaan pile cap, dibuktikan dengan hasil pengujian yang konsisten berada dalam batas kendali.

Kata kunci: Pengendalian mutu, Beton Ready Mix, Pile Cap, *Statistical Quality Methods Control* (SQMC), Kualitas Beton

Diterima Redaksi : 2024-08-02 | Selesai Revisi : 2024-09-11 | Diterbitkan Online : 2025-03-03

1. Pendahuluan

Beton ready mix telah menjadi komponen kunci dalam industri konstruksi modern, terutama dalam pekerjaan

struktur bangunan seperti pile cap. Pile cap merupakan elemen struktural penting yang berfungsi sebagai penghubung antara tiang pancang (*pile*) dan struktur atas



Lisensi
Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional

bangunan, sehingga kualitas beton yang digunakan sangat krusial untuk menjamin kekuatan dan durabilitas struktur secara keseluruhan [1], dalam ini pengendalian mutu beton ready mix menjadi aspek vital yang perlu diperhatikan untuk memastikan bahwa beton yang dihasilkan memenuhi standar kualitas yang ditetapkan. Perkembangan teknologi beton ready mix telah membawa banyak keuntungan dalam industri konstruksi, seperti efisiensi waktu, konsistensi kualitas, dan pengurangan limbah di lokasi proyek [2]. Pengendalian mutu beton ready mix di Indonesia menjadi semakin penting mengingat pesatnya pertumbuhan sektor konstruksi dan infrastruktur. Menurut data Badan Pusat Statistik pada tahun 2023, sektor konstruksi memberikan kontribusi signifikan terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) nasional, dengan pertumbuhan rata-rata 6,5% per tahun dalam lima tahun terakhir. Pertumbuhan ini diikuti dengan peningkatan permintaan terhadap beton berkualitas tinggi, terutama untuk proyek-proyek infrastruktur berskala besar seperti gedung bertingkat, jembatan, bendungan, dan bangunan sipil lainnya. Standar Nasional Indonesia (SNI) telah menetapkan berbagai persyaratan terkait mutu beton, termasuk SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. Namun, implementasi standar ini di lapangan seringkali menghadapi tantangan, terutama dalam hal konsistensi kualitas dan variabilitas produk [3]. Variasi dalam kualitas bahan baku, proses pencampuran, dan kondisi lingkungan dapat mempengaruhi karakteristik akhir beton, yang pada gilirannya dapat berdampak pada kinerja struktural [4]. Salah satu pendekatan yang efektif dalam mengatasi tantangan pengendalian mutu adalah penggunaan *Statistical Quality Methods Control* (SQMC). Metode ini memungkinkan analisis sistematis terhadap variasi proses produksi dan memberikan alat untuk mengidentifikasi serta mengendalikan faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas beton [5]. Penerapan SQMC pada beton ready mix untuk pekerjaan pile cap dapat membantu meningkatkan konsistensi kualitas, mengurangi variabilitas, dan memastikan kepatuhan terhadap spesifikasi yang ditetapkan. Penelitian sebelumnya telah menunjukkan efektivitas SQMC dalam berbagai aplikasi industri, termasuk manufaktur dan konstruksi. Studi terkait [6], [7] penerapan metode kontrol statistik dapat meningkatkan kualitas produk beton pracetak secara signifikan. Sementara itu, teknik SQMC untuk menganalisis dan meningkatkan kualitas beton ready mix dalam proyek konstruksi skala besar [8]. Oleh karena itu, penerapan metode pengendalian mutu yang lebih canggih seperti SQMC menjadi semakin relevan. Penggunaan SQMC dalam pengendalian mutu beton ready mix untuk pekerjaan pile cap memiliki potensi untuk memberikan berbagai manfaat. Selain meningkatkan kualitas dan konsistensi produk, metode ini juga dapat membantu mengoptimalkan penggunaan sumber daya, mengurangi biaya akibat kegagalan produk, dan meningkatkan kepuasan pelanggan [9]. Lebih lanjut, implementasi

SQMC dapat mendukung upaya industri konstruksi dalam mencapai pembangunan berkelanjutan dengan mengurangi pemborosan material dan meningkatkan efisiensi proses produksi. Meskipun demikian, penerapan SQMC dalam pekerjaan beton ready mix untuk pile cap juga menghadapi beberapa tantangan. Kompleksitas proses produksi beton, variabilitas bahan baku, dan pengaruh faktor lingkungan memerlukan pendekatan yang cermat dalam desain dan implementasi sistem pengendalian mutu [10]. Selain itu, diperlukan pemahaman mengenai karakteristik pile cap sebagai elemen struktural untuk mengoptimalkan penggunaan SQMC. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penerapan SQMC dalam pengendalian mutu beton ready mix pada pekerjaan pile cap. Studi ini akan menganalisis kesesuaian mutu beton dari komponen struktural yang digunakan dengan yang direncanakan serta menganalisis faktor-faktor yang mungkin menyebabkan mutu beton sesuai atau tidak dengan rencana. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih mendalam tentang potensi dan tantangan penerapan SQMC pada beton ready mix untuk pekerjaan pile cap, serta memberikan kontribusi terhadap pengembangan praktik terbaik dalam pengendalian mutu di industri konstruksi Indonesia.

2. Metode Penelitian

2.1 Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain eksperimental. Studi ini akan dilakukan pada proyek Pembangunan Gedung Tower 3 Asrama Haji Indramayu yang menggunakan beton ready mix untuk pekerjaan pile cap.

2.2 Variabel Penelitian

Variabel independen: Komposisi campuran beton, suhu lingkungan, waktu pengiriman

Variabel dependen: Kuat tekan beton, workability (slump), durabilitas

2.3 Metode Pengumpulan Data

- Observasi langsung proses produksi dan pengecoran beton ready mix dengan mutu beton K-300
- Pengujian sampel beton di laboratorium
- Pencatatan data produksi dan quality control

2.4 Statistical Quality Control (SQC)

Rumus yang digunakan untuk Statistical Quality Control (SQC) [11] adalah:

- Perhitungan Menghitung X rata-rata

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} \quad (1)$$

keterangan:

n = jumlah data

X = jumlah persediaan

- Menghitung Standar Deviasi

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

keterangan:

σ = Standar deviasi proses

c) Control Limits untuk x-Bar Charts

Menggunakan Sample Range sebagai faktor perubahan perhitungan

$$\text{Upper control limits (UCL)} = \bar{\bar{x}} + Z\sigma_x \quad (3)$$

$$\text{Lower control limits (UCL)} = \bar{\bar{x}} - Z\sigma_x \quad (4)$$

keterangan:

$\bar{\bar{x}}$ = Rata-rata (garis tengah)

A2 = Koefisien untuk batas kontrol rata-rata

$\bar{R}$ = Rata-rata (Range)

d) Pengambilan sampel dan perhitungan R – Chart

$$\bar{R} = \frac{\sum R}{n} \quad (5)$$

keterangan:

$\bar{R}$ = Rata-rata (Garis tengah)

$\Sigma \bar{R}$ = Jumlah rata-rata dari R

n = Banyak sampel

e) Hitung batas pengendali (control limits) untuk R-Charts

Upper Control Limit (UCL)

$$UCL = D4 \cdot \bar{R}$$

Lower Control Limit (LCL)

$$LCL = D3 \cdot \bar{R} \quad (7)$$

keterangan:

(2) D3, D4 = Koefisien untuk batas kontrol Range

$\bar{R}$ = Rata-rata (Range)

3. Hasil dan Pembahasan

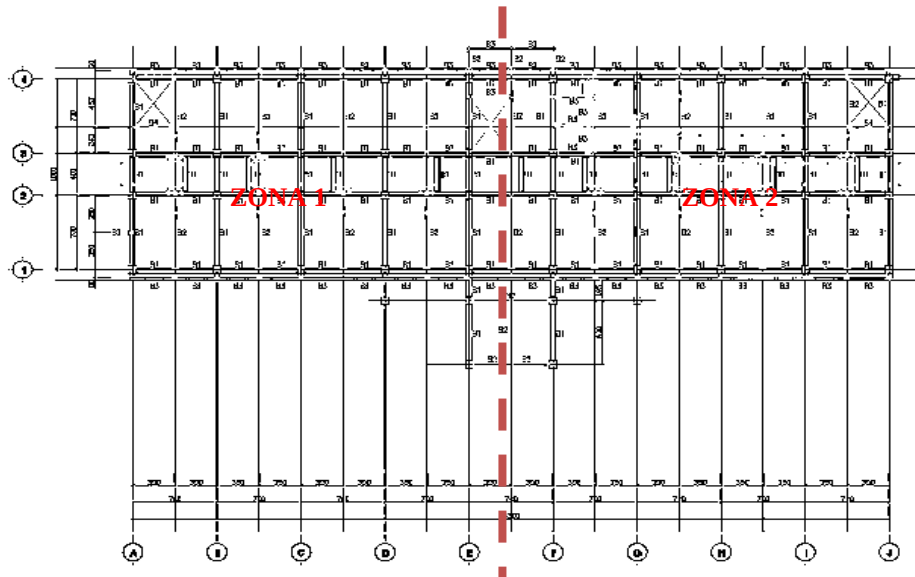
3.1 Data Teknis

Data teknis terkait pembangunan Tower 3 Asrama Haji Indramayu adalah sebagai berikut :

- | | |
|------------------------------|-----------------|
| a. Jumlah Lantai bangunan | : 4 lantai |
| b. Mutu besi Beton Ulir | : BJTS 420 B |
| c. Dimensi Pile cap | |
| P1 | : 2,30 x 2,30 m |
| P2 | : 2,30 x 2,30 m |
| P3 | : 2,30 x 1,55 m |
| P4 | : 1,55 x 1,55 m |
| P5 | : 1,55 x 0,8 m |
| d. Mutu beton Pilecap | : K-300 |
| e. Dimensi Sloof | : 0,3 x 0,6 m |
| f. Mutu beton sloof | : K-300 |
| g. Dimensi kolom pedestal | : 0,6 x 0,7 m |
| h. Mutu beton kolom pedestal | : K-300 |
| i. Dimensi tower crane | : 5 x 5 m |
| j. Mutu beton tower crane | : K-300 |

3.2 Pembagian Zona Pengecoran

Zonasi area pengecoran atau pembagian area pengecoran di bagi menjadi 2 zona yaitu seperti gambar di bawah ini.



Gambar 1. Denah Zonasi Pekerjaan (Dokumen *Method* Pekerjaan Proyek)

Pembagian zona seperti di **Gambar 1** adalah pembagian setiap lantai bangunan. Pada setiap zona dilakukan 1 batch pengecoran, yang di maksud 1 batch adalah 1 kali pengecoran yang dilakukan dengan faktor – faktor pengaruh kuat tekan yang sama. Misalnya cuaca sama, produsen beton yang sama, waktu tempuh yang sama, kelompok pekerja yang sama dan peralatan yang sama.

DOI : <https://doi.org/10.52158/jaceit.v6i1.942>

Setiap batch (pengecoran ke-n) bisa jadi memiliki total volume pengecoran yang berbeda.

3.3 Pengendalian Mutu Beton Ready Mix dengan SQMC

- a) Analisis Pengendalian Proses Statistik Untuk Hasil Uji Slump

Pengujian mutu beton perlu dilakukan untuk mengetahui mutu beton dalam keadaan segar maupun keras sebagai kebutuhan analisa terhadap pengendalian mutu maupun penerimaan pekerjaan beton. Pada tahap ini pengujian mutu beton dilakukan dengan metode uji *slump* untuk beton segar di lapangan dan pengujian laboratorium dengan metode kuat lentur. Pengujian *slump* dilakukan pada saat selesai membuat campuran. dengan kata lain uji *slump* beton ini untuk mengontrol mutu beton segar dengan cara mengetahui seberapa baik campuran adukan beton tersebut diproduksi di unit. Untuk data *slump* juga dilakukan proses pengendalian statistik dengan menggunakan peta kendali. pengukuran *slump* dilakukan setiap pengecoran dengan jumlah sampel yang tidak sama pada setiap batch pengecoran. Maka dalam pengendalian kualitas statistik ini digunakan peta kendali *Individual and Moving Range* (I-dan MR). Berikut adalah tabel dari hasil uji *slump* beton.

Tabel 1. Hasil Uji Slump

Test Periode	Sample		Rata - rata nilai slump	Ket
	I	II		
1	12,00	11,00	11,50	Oke
2	12,00	10,00	11,00	Oke
3	11,00	10,00	10,50	Oke
4	12,00	10,00	11,00	Oke
5	10,00	11,00	10,50	Oke
6	12,00	11,00	11,50	Oke
7	12,00	11,00	11,50	Oke
8	11,00	10,00	10,50	Oke
9	12,00	11,00	11,50	Oke
10	11,00	10,00	10,50	Oke
11	12,00	11,00	11,50	Oke
12	12,00	11,00	11,50	Oke

Test Periode	Sample		Rata - rata nilai slump	Ket
	I	II		
13	12,00	10,00	11,00	Oke
14	10,00	11,00	10,50	Oke
15	12,00	11,00	11,50	Oke
16	12,00	11,00	11,50	Oke
17	11,00	11,00	11,00	Oke
18	10,00	11,00	10,50	Oke
19	11,00	12,00	11,50	Oke
20	11,00	12,00	11,50	Oke
21	12,00	10,00	11,00	Oke

Pemeriksaan nilai *slump* beton pada **Tabel 1**, dimaksudkan untuk mengetahui konsistensi dan sifat *workability* sesuai dengan syarat yang telah ditetapkan. Nilai *slump* yang rendah menunjukkan beton tersebut kental sedangkan nilai *slump* yang tinggi menunjukkan bahwa beton tersebut cukup bagus. Berdasarkan tabel di atas nilai *slump* pada pengamatan *slump* test lapangan, diperoleh hasil nilai *slump* 10 ± 2 cm dengan rata rata nilai *slump* yaitu 11,10 dengan Faktor Air Semen (FAS) 0,673, hal ini masih dalam batas spesifikasi di mana untuk pekerjaan Plat, kolom, balok nilai *slump* standarnya 7,5 cm sampai 15 cm, sedangkan untuk pondasi nilai *slump* standarnya 5 cm sampai 12,5 cm dengan nilai *slump* tersebut maka dapat disimpulkan nilai *slump* memenuhi dalam spesifikasi.

- 1) Standar deviasi dan Koefisien Dari Hasil Kuat Tekan Beton
Berikut merupakan Tabel 2 Rata-rata uji tekan beton:

Tabel 2. Rata-rata Uji Tekan

Test Periode	Hasil Uji Tekan 28 Hari				(Fc' - Fc'r)	(Fc' - Fc'r) ²
	Kg/cm ²	MPa	Kg/cm ²	MPa		
1	351,93	35,193	350,82	35,082	0,111	0,0123
2	357,92	35,792	354,71	35,471	0,321	0,103
3	352,22	35,222	350,05	35,005	0,217	0,0471
4	358,05	35,805	359,60	35,96	-0,155	0,024
5	351,93	35,193	350,82	35,082	0,111	0,0123
6	354,57	35,457	358,89	35,889	-0,432	0,1866
7	351,38	35,138	358,11	35,811	-0,673	0,4529
8	355,27	35,527	349,77	34,977	0,55	0,3025
9	350,68	35,068	352,82	35,282	-0,214	0,0458
10	355,27	35,527	351,93	35,193	0,334	0,1116
11	355,27	35,527	349,01	34,901	0,626	0,3919
12	350,82	35,082	353,46	35,346	-0,264	0,0697
13	355,27	35,527	352,14	35,214	0,313	0,098
14	354,23	35,423	355,27	35,527	-0,104	0,0108
15	357,36	35,736	356,10	35,61	0,126	0,0159
16	357,36	35,736	356,10	35,61	0,126	0,0159
17	357,84	35,784	354,30	35,43	0,354	0,1253
18	350,08	35,008	347,39	34,739	0,269	0,0724
19	348,68	34,868	352,64	35,264	-0,396	0,1568
20	347,69	34,769	358,91	35,891	-1,122	1,2589
21	352,21	35,221	356,39	35,639	-0,418	0,1747
rata - rata		35,362		35,3729		3,6884

Perhitungan nilai standar deviasi dan koefisien variasi sebagai klasifikasi mutu dalam pelaksanaan pekerjaan beton sebagai berikut

$$\begin{aligned} \text{Rata - Rata} &= \frac{\sum Xi}{n} \\ &= \frac{35,362 + 35,377}{2} \end{aligned}$$

$$= 35,369$$

$$\text{Standar Deviasi (s)} = \frac{\sqrt{\sum (xi - \bar{x})^2}}{n-1} = \frac{\sqrt{3,688}}{21-1} = 0,906$$

$$\text{Koefisien Variasi (v)} = \frac{s}{\bar{x}} \times 100 = \frac{0,906}{35,369} \times 100 = 2,56 \%$$

Berdasarkan **Tabel 2** dan perhitungan, nilai standar deviasi dari hasil kuat lentur yang telah dikonversikan menjadi kuat tekan didapat 0,906 dengan volume pekerjaan >3000 m³ maka mutu pelaksanaan dikategorikan Sangat baik. Nilai koefisien variasi berdasarkan perhitungan didapatkan nilai sebesar 2,56, maka termasuk dalam kategori Terbaik.

2) Batas Kendali Individu (I-Control Chart)

Tabel 3. Hasil I-Control Chart Slump Test

Test Periode	Number Of Defect		Mean (x)	Range (R)	MR	Mri	$\bar{x}$ (CL)	Batas Kendali $\bar{x}$		MR (CL)	Batas Kendali R	
	I	II						Lower Control Limit	Upper Control Limit		Lower Control Limit	Upper Control Limit
1	12,00	11,00	11,50	1,00	1,14	1,05	11,15	8,36	13,94	1,10	0,00	3,60
2	12,00	10,00	11,00	2,00	1,10	1,05	11,15	8,36	13,94	1,10	0,00	3,60
3	11,00	10,00	10,50	1,00	1,00	1,05	11,15	8,36	13,94	1,10	0,00	3,60
4	12,00	10,00	11,00	2,00	0,95	1,05	11,15	8,36	13,94	1,10	0,00	3,60
5	10,00	11,00	10,50	1,00	0,86	1,05	11,15	8,36	13,94	1,10	0,00	3,60
6	12,00	11,00	11,50	1,00	0,81	1,05	11,15	8,36	13,94	1,10	0,00	3,60
7	12,00	11,00	11,50	1,00	0,76	1,05	11,15	8,36	13,94	1,10	0,00	3,60
8	11,00	10,00	10,50	1,00	0,71	1,05	11,15	8,36	13,94	1,10	0,00	3,60
9	12,00	11,00	11,50	1,00	0,67	1,05	11,15	8,36	13,94	1,10	0,00	3,60
10	11,00	10,00	10,50	1,00	0,62	1,05	11,15	8,36	13,94	1,10	0,00	3,60
11	12,00	11,00	11,50	1,00	0,57	1,05	11,15	8,36	13,94	1,10	0,00	3,60
12	12,00	11,00	11,50	1,00	0,52	1,05	11,15	8,36	13,94	1,10	0,00	3,60
13	12,00	10,00	11,00	2,00	0,48	1,05	11,15	8,36	13,94	1,10	0,00	3,60
14	10,00	11,00	10,50	1,00	0,38	1,05	11,15	8,36	13,94	1,10	0,00	3,60
15	12,00	11,00	11,50	1,00	0,33	1,05	11,15	8,36	13,94	1,10	0,00	3,60
16	12,00	11,00	11,50	1,00	0,29	1,05	11,15	8,36	13,94	1,10	0,00	3,60
17	11,00	11,00	11,00	0,00	0,24	1,05	11,15	8,36	13,94	1,10	0,00	3,60
18	10,00	11,00	10,50	1,00	0,24	1,05	11,15	8,36	13,94	1,10	0,00	3,60
19	11,00	12,00	11,50	1,00	0,19	1,05	11,15	8,36	13,94	1,10	0,00	3,60
20	11,00	12,00	11,50	1,00	0,14	1,05	11,15	8,36	13,94	1,10	0,00	3,60
21	12,00	10,00	11,00	2,00	0,10	1,05	11,15	8,36	13,94	1,10	0,00	3,60

Batas kendali atas (UCL) = 1,14

$$UCL = \bar{X} + 3 \frac{MR}{d2}$$

Garis tengah:

$$(CL) CL = \bar{X}$$

Batas Kendali bawah :

$$(LCL) LCL = \bar{X} - 3 \frac{MR}{d2}$$

Langkah ke 1:

Menghitung rata-rata nilai x. Berdasarkan perhitungan terhadap hasil observasi maka diketahui jumlah nilai slump ($\sum xi$) = 24 dan jumlah observasi

(n) = 21, maka:

$$\text{Rata-rata } (\bar{R}) = \frac{\sum Xi}{n} = 233,00/21 = 11,10$$

Langkah 2:

menghitung rata-rata nilai MR. Nilai MR (*moving range*) adalah selisih perbedaan antara kedua data yang berdekatan. Misalnya data pertama dan data kedua, data kedua dan data ketiga, data ketiga dan data ke empat, dst. Setelah semua selisih dari data di jumlahkan hasil penjumlahannya di bagi dengan jumlah data-1.

$$\text{Rata-rata } (\bar{MR}) = \frac{\sum MRi}{n-1} = \frac{24}{21-1}$$

Langkah ke 3:

Menghitung batas – batas kendali UCL, CL dan LCL

Garis tengah (CL)

$$CL = \bar{X} = 1,14$$

Batas kendali atas (UCL)

$$UCL = \bar{X} + 3 \frac{MR}{d2}$$

$$UCL = 11,10 + 3 \frac{1,14}{1,128}$$

$$UCL = 12,61$$

Batas Kendali bawah (LCL)

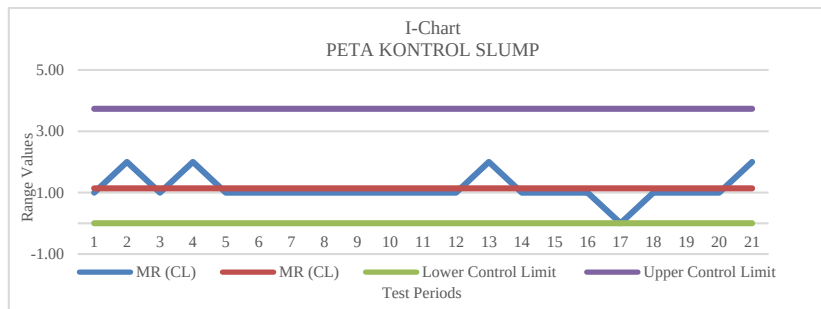
$$LCL = \bar{X} - 3 \frac{MR}{d2}$$

$$LCL = 11,10 - 3 \frac{0,57}{1,128}$$

$$LCL = 9,58$$

Langkah ke 4:

Menggambar peta kendali dengan cara memplot nilai x (data *slump*) pada masing masing titik sesuai dengan urutan pengambilan sampelnya. Dan memasukan batas-batas kendali yang sebelumnya sudah dihitung.



Gambar 2. Peta Kendali *I* Untuk Hasil Uji Slump

Batas Kendali Moving Range (*MR-control chart*)

Batas- batas kendali yang digunakan adalah sebagai berikut :

Batas kendali atas (UCL)

$$UCL = D4 \times MR^-$$

Garis tengah (CL)

$$CL = MR^-$$

Batas Kendali bawah (LCL)

$$LCL = D3 \times MR^-$$

Langkah ke 1:

Menghitung rata-rata nilai $\bar{x}$. Berdasarkan perhitungan terhadap hasil observasi maka diketahui jumlah nilai slump ($\sum x_i$)

$$= 34,95$$

$$\text{jumlah observasi (n)} = 21,$$

$$\text{Rata-rata } (\bar{X}) = \frac{\sum X_i}{n} = 34,95 / 21$$

$$= 1,66$$

Langkah 2:

menghitung rata- rata nilai MR. Nilai MR (*moving range*) adalah selisih perbedaan antara kedua data yang berdekatan. Misalnya data pertama dan data kedua, data

kedua dan data ketiga, data ketiga dan data ke empat, dst. Setelah semua selisih dari data dijumlahkan hasil penjumlahannya di bagi dengan jumlah data-1.

$$\text{Rata-rata } (\bar{R}) = \frac{\sum MR_i}{n-1} = \frac{1,66}{21-1} = 1,22$$

Langkah ke 3:

Menghitung batas – batas kendali (UCL, CL dan LCL):

Batas kendali atas (UCL)

$$UCL = D4 \times MR^- = 3.267 \times (1,14) = 3,74$$

Garis tengah (CL)

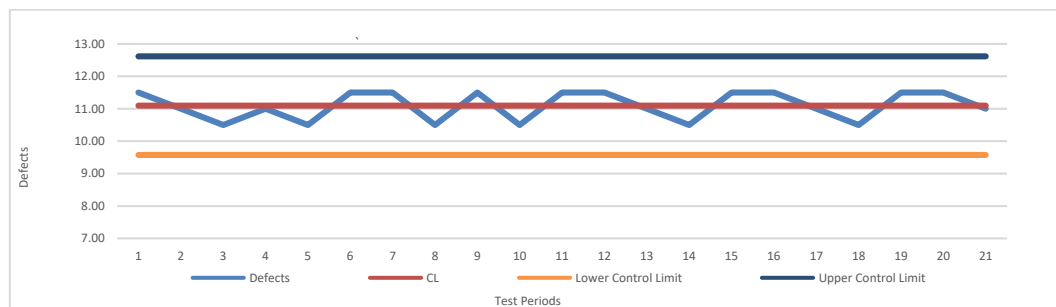
$$CL = MR^- = 1,14$$

Batas kendali bawah (LCL)

$$LCL = D4 \times MR^- = 0 \times (1,14) = 0,00$$

Langkah ke 4:

Menggambar peta kendali dengan cara memplot nilai $\bar{x}$ (data slump) pada masing masing titik sesuai dengan urutan pengambilan sampelnya. Dan memasukkan batas- batas kendali yang sebelumnya sudah dihitung



Gambar 3. Peta Kendali *MR* Untuk Hasil Uji Slump

Pada peta kendali *I* dan *MR* yang dihasilkan dari analisa kontrol proses menggunakan peta kendali, didapatkan hasil bahwa untuk peta kendali *I* terdapat data slump yang berhimpit dengan batas kendali bawah. Hal ini dikarenakan data slump yang sama pada pengendalian proses. Untuk itu diharapkan agar perbaikan proses pengumpulan data dan pengisian pada berita acara pengetesan slump. Penulis menyarankan agar pengumpulan data di lapangan menggunakan dimensi yang lebih spesifik dari cm misalnya menggunakan satuan mm. Dari hasil analisa terhadap trend yang ada pada peta kendali *I* dan *MR* dapat diketahui bahwa proses pengecoran pada proyek ini untuk analisa data slump yang ada banyak yang melewati batas peta

kendali. Untuk diagram individual dijelaskan bahwa slump memasuki proses tidak terkendali karena ada beberapa data yang keluar dari control chart. Begitu juga pada peta kendali *MR* terdapat beberapa titik yang keluar dari batas kendali. Tetapi untuk hasil uji kuat tekan masih dalam proses terkendali. Untuk itu penulis memberikan saran agar proses pengetesan slump di lapangan dilakukan dengan pengukuran dimensi yang lebih spesifik (satuan mm). Berdasarkan dengan **Tabel 3**, **Gambar 2**, dan **Gambar 3** didapatkan bahwa mutu beton dengan mutu rencana dengan percepatan gravitasi 9,81 m/s² yaitu $f_c' = 249,00 \text{ kg/cm}^2$ (24,9 MPa). Hasil dari sampel slump saat pelaksanaan pada masing-masing uji didapatkan nilai rata rata 11,10,

DOI : <https://doi.org/10.52158/jaceit.v6i1.942>

dengan evaluasi pada nilai hasil uji dalam penjabaran grafik diatas semua sample tidak ada yang melebihi batas atas dan batas bawah. Dimana pengujian tersebut masih dalam batas kontrol yang baik.

b) Analisis Variabilitas Kuat Tekan Beton

Hasil dari kegiatan produksi beton *ready mix* biasanya mempunyai variasi dalam hal kekuatan tekan, kadar air, slump beton atau nilai mutu lainnya. Hal ini terjadi karena banyak hal dan kondisi yang tidak dapat dikendalikan, yang mempunyai perilaku dan kinerja produksi beton *ready mix* yang sedang ditinjau. Jadi dalam memberikan penilaian terhadap sesuatu, kita harus menyadari adanya penyimpangan. Dalam hal

meihat data, kita berharap akan menjumpai adanya suatu penyimpangan atau dispersi, dan penilaian terhadap kualitas kuat tekan beton digunakan nilai-nilai rata-rata (*average*) dan penyimpangannya. Konsepsi yang umum yang digunakan dalam menilai mutu beton *ready mix* adalah, secara rata-rata nilai kuat tekan beton tersebut memiliki persyaratan dan simpangan yang dimilikinya juga kecil. Pada suatu produksi beton dengan mutu tertentu, terhadap data terdapat dua hal penting yaitu, kinerja keseluruhan dari produksi dan perubahan yang terjadi selama pengukuran. Selanjutnya dengan membuat suatu histogram, dengan mudah dapat dilihat bentuk distribusi data, nilai tengah, dan perilaku penyimpangan dari berbagai ukuran kuat tekan.

Tabel 4. Data Kuat Tekan Beton

No	Sampel	Umur Beton					
		7		14		28	
		kg/cm ²	Mpa	kg/cm ²	Mpa	kg/cm ²	Mpa
1	Pc	227,00	228,57	292,77	291,07	351,93	350,82
2	Pc	219,64	223,23	292,21	290,01	357,92	354,71
3	Pond.TC	224,42	226,64	282,90	289,90	352,22	350,05
4	Lantai 1	223,05	227,30	290,12	288,28	358,05	359,60
5	Lantai 1	225,58	228,52	292,07	281,03	351,93	350,82
6	Pc & Sl1	225,75	229,22	284,60	292,45	354,57	358,89
7	Pc & Sl2	221,14	224,90	288,32	293,71	351,38	358,11
8	Lantai 1	224,87	227,33	289,03	282,44	355,27	349,77
9	Lantai 1	225,33	227,79	290,56	294,02	350,68	352,82
10	Kolom	226,86	227,89	291,78	293,89	355,27	351,93
11	Kolom	223,24	224,84	287,13	290,84	355,27	349,01
12	Kolom	220,43	222,98	284,82	288,11	350,82	353,46
13	Kolom & Lantai 2	219,63	221,67	287,92	290,43	355,27	352,14
14	Kolom & Lantai 2	225,12	223,00	294,85	291,38	354,23	355,27
15	Lantai 2	227,28	223,92	290,90	294,23	357,36	356,10
16	Lantai 2	224,83	220,46	287,88	292,34	357,36	356,10
17	Kolom Lantai	218,90	221,56	286,67	289,84	357,84	354,30
18	Lantai 2	223,87	227,33	284,27	287,34	350,08	347,39
19	Lantai 2	219,84	222,55	282,99	290,38	348,68	352,64
20	Lantai 2	219,84	222,55	285,44	287,61	347,69	358,91
21	Lantai 3	227,79	224,23	288,82	291,18	352,21	356,39

Menetapkan Nilai Terendah dan Tertinggi Keseluruhan (Nilai Batas Absolut)
 Nilai terendah (Xa) dan tertinggi (Xb) dari semua data umur 7, 14, dan 28 hari.

Umur 7 hari

Nilai terendah = 218,90 kg/cm² (Kolom Lantai)

Nilai tertinggi = 227,79 kg/cm² (Lantai 3)

Umur 14 hari

Nilai terendah = 282,90 kg/cm² (Pond.TC) Nilai

tertinggi = 294,85 kg/cm² (Kolom & Lantai 2

Umur 28 hari

Nilai terendah = 347,39 kg/cm² (Lantai 2)

Nilai tertinggi = 358,91 kg/cm² (Lantai 2)

Nilai Terendah (Xa) = 218,90 kg/cm² (umur 7 hari)

Nilai Tertinggi (Xb) = 358,91 kg/cm² (umur 28 hari)

Hitung jangkauan (range)

DOI : <https://doi.org/10.52158/jaceit.v6i1.942>

$$R = Xb - Xa$$

$$= 358,91 - 218,90$$

$$= 140,01$$

Menentukan jumlah kelas data dengan n=21

$$K = 1 + 3,3 \log(n)$$

$$= 1 + 3,3 \log(21)$$

$$K = 1 + 3,3 \times 1,322$$

$$= 1 + 4,3626$$

$$= 5,3626 \approx 5,36, \text{ Namun, jumlah kelas harus}$$

berupa bilangan bulat, sehingga dibulatkan ke 6.

Menentukan Interval Kelas

$$h = \frac{R}{K}$$

$$= \frac{140,01}{6} = 23,335$$

c) Analisis Pengendalian Kuat Tekan Beton Umur 14 Hari

Memilih data kuat tekan beton pada umur 14 hari daripada pada umur 7 hari memiliki beberapa alasan teknis dan praktis yang kuat. Pada umur 14 hari, beton biasanya sudah mencapai sekitar 80-90% dari kekuatan akhirnya, memberikan gambaran yang lebih akurat tentang kekuatan akhir dibandingkan dengan data pada umur 7 hari yang baru mencapai sekitar 60-70%. Kekuatan beton pada umur 14 hari lebih mendekati kekuatan yang diharapkan pada umur 28 hari, sehingga memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih baik terkait dengan kualitas dan keberlanjutan pekerjaan konstruksi. Selain itu, pada umur 7 hari, variabilitas dalam perkembangan kekuatan beton lebih besar karena proses hidrasi semen masih berlangsung signifikan. Memilih data pada umur 14 hari mengurangi risiko kesalahan yang bisa terjadi akibat perbedaan kecil dalam proses hidrasi dan curing. Jika data kuat tekan pada umur 14 hari menunjukkan hasil yang kurang memuaskan,

masih ada waktu untuk melakukan penyesuaian atau tindakan korektif sebelum beton mencapai umur 28 hari, yang tidak bisa dilakukan jika data hanya diambil pada umur 7 hari. Banyak standar dan pedoman industri yang lebih umum menggunakan data pada umur 14 hari sebagai titik evaluasi antara umur 7 hari dan 28 hari, memastikan bahwa data yang digunakan sesuai dengan praktik terbaik dalam industri konstruksi. Pada umur 14 hari, proses curing beton juga sudah lebih stabil dibandingkan pada umur 7 hari, mengurangi variabilitas yang disebabkan oleh faktor-faktor eksternal seperti suhu dan kelembaban, sehingga hasil pengujian lebih dapat diandalkan. Dengan alasan-alasan ini, memilih data kuat tekan beton pada umur 14 hari memberikan keseimbangan yang baik antara memperoleh informasi awal tentang kekuatan beton dan memastikan akurasi dan keandalan data untuk pengambilan keputusan dalam proyek konstruksi.

Tabel 5. Data Kuat Tekan Untuk Peta Kendali $\bar{x}$ Dan $\bar{R}$ (14 Hari)

Test Periode	Number Of Defect		Mean (x)	Range (R)	Batas Kendali $\bar{x}$			Batas Kendali $\bar{R}$		
	I	II			$\bar{x}$	Lower	Upper	$\bar{R}$	Lower	Upper
						Control Limit	Control Limit		Control Limit	Control Limit
1	292,77	291,07	291,92	1,70	289,20	281,32	297,09	4,20	0,00	13,72
2	292,21	290,01	291,11	2,20	289,20	281,32	297,09	4,20	0,00	13,72
3	282,90	289,90	286,40	7,00	289,20	281,32	297,09	4,20	0,00	13,72
4	290,12	288,28	289,20	1,84	289,20	281,32	297,09	4,20	0,00	13,72
5	292,07	281,03	286,55	11,04	289,20	281,32	297,09	4,20	0,00	13,72
6	284,60	292,45	288,53	7,85	289,20	281,32	297,09	4,20	0,00	13,72
7	288,32	293,71	291,02	5,39	289,20	281,32	297,09	4,20	0,00	13,72
8	289,03	282,44	285,74	6,59	289,20	281,32	297,09	4,20	0,00	13,72
9	290,56	294,02	292,29	3,46	289,20	281,32	297,09	4,20	0,00	13,72
10	291,78	293,89	292,84	2,11	289,20	281,32	297,09	4,20	0,00	13,72
11	287,13	290,84	288,99	3,71	289,20	281,32	297,09	4,20	0,00	13,72
12	284,82	288,11	286,47	3,29	289,20	281,32	297,09	4,20	0,00	13,72
13	287,92	290,43	289,18	2,51	289,20	281,32	297,09	4,20	0,00	13,72
14	294,85	291,38	293,12	3,47	289,20	281,32	297,09	4,20	0,00	13,72
15	290,90	294,23	292,57	3,33	289,20	281,32	297,09	4,20	0,00	13,72
16	287,88	292,34	290,11	4,46	289,20	281,32	297,09	4,20	0,00	13,72
17	286,67	289,84	288,26	3,17	289,20	281,32	297,09	4,20	0,00	13,72
18	284,27	287,34	285,81	3,07	289,20	281,32	297,09	4,20	0,00	13,72
19	282,99	290,38	286,69	7,39	289,20	281,32	297,09	4,20	0,00	13,72
20	285,44	287,61	286,53	2,17	289,20	281,32	297,09	4,20	0,00	13,72
21	288,82	291,18	290,00	2,36	289,20	281,32	297,09	4,20	0,00	13,72

Data dikelompokkan berdasarkan batch (pelaksanaan pengecoran). Pada setiap batch diambil dua sample benda uji yang telah di uji laboratorium hasil kuat tekannya, selanjutnya mencari nilai $\bar{x}$ dari hasil uji Nilai $\bar{x}$ dari hasil uji di dapatkan dari rata-rata kuat tekan silinder I dan silinder II pada satu batch yang sama.

Contohnya: Untuk batch I di dapatkan hasil kuat tekan laboratorium umur 14 hari terhadap silinder I adalah sebesar 292,77 kg/cm² dan hasil kuat tekan laboratorium terhadap silinder II adalah sebesar 290,01 kg/cm². Maka menghitung rata- ratanya ($\bar{x}$) adalah : $= (292,77+290,01) / 2 = 291,39$ kg/cm².

Nilai R didapat dari selisih antara dua benda uji tersebut. Contohnya : Untuk batch I di dapatkan hasil kuat tekan

laboratorium umur 14 hari terhadap silinder I adalah sebesar 292,77 kg/cm² dan hasil kuat tekan laboratorium terhadap silinder II adalah sebesar 290,01 kg/cm². Maka selisih antara 292,77 dan 290,01 adalah 2,76 kg/cm².

Nilai $\bar{x}$ di dapat dari nilai rata- rata seluruh jumlah $\bar{x}$ yang ada.

Maka nilai $\bar{x} = 289,20$ kg/cm²

Nilai $\bar{R}$ di dapat dari nilai rata- rata seluruh jumlah $\bar{R}$ yang ada, Maka nilai $\bar{R} = 1,70$ kg/cm²

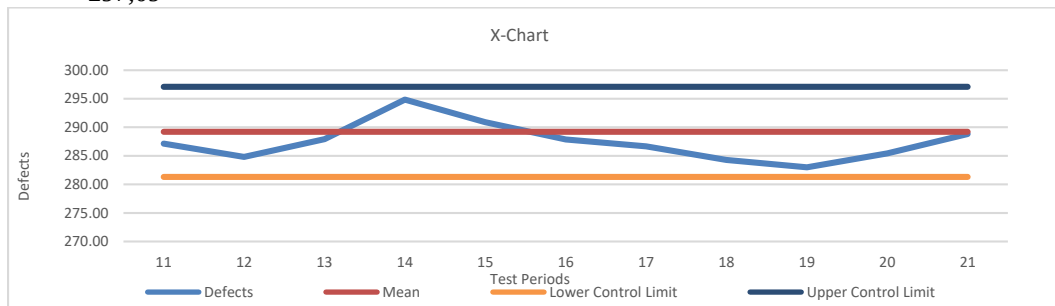
Batas Kendali $\bar{x}$

Dari Tabel di atas diketahui bahwa nilai $\bar{x} = 291,22$ dan $\bar{R} = 1,70$ sehingga batas-batas pengendaliannya adalah sebagai berikut:

Batas Kendali $\bar{x}$ Garis pusat CL (*control Limit*)

$\bar{x} = 289,20$
 Batas kendali atas UCL (*Upper Control Limit*)
 $= \bar{x} + A2 \bar{R}$
 $= 289,20 + (1,88 \times 1,70)$
 $= 297,09$

Batas kendali atas LCL (*Lower Control Limit*)
 $= \bar{x} - A2 \bar{R}$
 $= 289,20 - (1,88 \times 1,70)$
 $= 281,32$

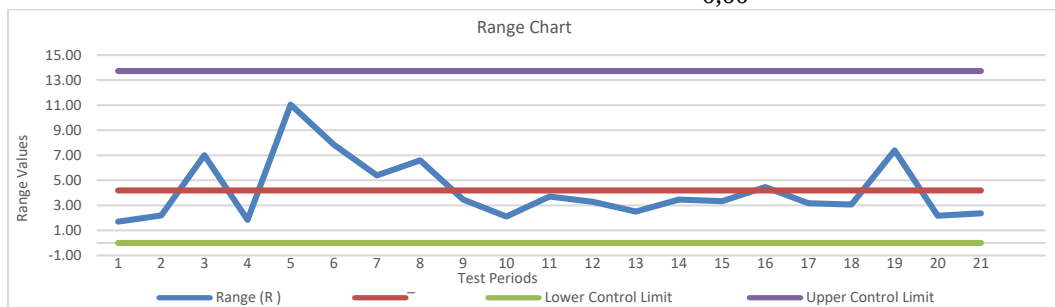


Gambar 4. Peta Kendali X Untuk Hasil Uji Kuat Tekan (14 Hari)

Batas Kendali $\bar{R}$
 Dari Tabel 4.14 diketahui bahwa nilai $\bar{x} = 289,20$ dan $\bar{R} = 4,20$, sehingga batas-batas pengendaliannya adalah sebagai berikut:
 Batas Kendali $\bar{x}$
 Garis pusat CL (*control Limit*)
 $\bar{R} = 4,20$

Batas kendali atas UCL (*Upper Control Limit*)
 $= D4 \times \bar{R}$
 $= 3,269 \times 4,20$
 $= 13,72$

Batas kendali atas LCL (*Lower Control Limit*)
 $= D3 \times \bar{R}$
 $= 0 \times 4,20$
 $= 0,00$



Gambar 5. Peta Kendali R Untuk Hasil Uji Kuat Tekan (14 Hari)

Berdasarkan dengan **Tabel 5**, **Gambar 4**, dan **Gambar 5** didapatkan bahwa mutu beton dengan mutu rencana dengan percepatan gravitasi 9,81 m/s² dengan hasil kuat tekan (f_c') beton yang telah di uji didapatkan nilai terbesar yakni 293,12 kg/cm² dan nilai hasil uji tekan terendah sebesar 285,74 kg/cm² pada umur beton 14 hari. Dari hasil analisa terhadap trend yang ada pada peta kendali X dan R dapat diketahui bahwa proses pengecoran pada proyek ini untuk analisa data uji tekan yang tidak ada yang melewati batas peta kendali atas atau pun batas bawah, dimana nilai hasil uji tekan / Defect masih dalam rentang nilai rata – rata (*Control Limit*). Untuk diagram individual dijelaskan bahwa hasil uji tekan memasuki proses yang cukup terkendali karena tidak ada data yang keluar dari control chart. Begitu juga pada peta kendali MR terdapat tidak keluar dari batas kendali.

Tabel 6. Persentase hasil kuat Tekan Beton Umur 14 hari

Test Periode	Fc'(t) (Mpa)	kuat tekan rencana (Fc') (Mpa)	persentase	Keterangan
1	23,89988	24,418707	97,875%	Oke
2	23,83357	24,418707	97,604%	Oke
3	23,44795	24,418707	96,025%	Oke
4	23,67719	24,418707	96,963%	Oke
5	23,46023	24,418707	96,075%	Oke
6	23,62193	24,418707	96,737%	Oke
7	23,82579	24,418707	97,572%	Oke
8	23,39351	24,418707	95,802%	Oke
9	23,93018	24,418707	97,999%	Oke

Test Periode	Fc'(t) (Mpa)	kuat tekan rencana (Fc') (Mpa)	persentase	Keterangan
10	23,9748	24,418707	98,182%	Oke
11	23,65959	24,418707	96,891%	Oke
12	23,45327	24,418707	96,046%	Oke
13	23,67515	24,418707	96,955%	Oke
14	23,99772	24,418707	98,276%	Oke
15	23,95269	24,418707	98,092%	Oke
16	22,43945	24,418707	91,894%	Oke
17	23,59982	24,418707	96,646%	Oke
18	23,39924	24,418707	95,825%	Oke
19	23,47129	24,418707	96,120%	Oke
20	23,45819	24,418707	96,066%	Oke
21	23,74269	24,418707	97,232%	Oke

Analisis pengendalian kuat tekan beton umur 14 hari menunjukkan hasil yang positif dan konsisten. Pemilihan data pada umur 14 hari memberikan gambaran yang lebih akurat tentang kekuatan akhir beton, memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih baik terkait kualitas dan keberlanjutan pekerjaan konstruksi. Peta kendali X dan R yang dihasilkan menunjukkan bahwa proses pengecoran beton terkendali dengan baik, dengan semua data berada dalam batas kendali yang ditentukan. Kuat tekan beton tertinggi mencapai 293,12 kg/cm², sementara yang terendah adalah 285,74 kg/cm². Analisis persentase kuat tekan beton terhadap kuat tekan rencana juga menunjukkan hasil yang memuaskan, dengan semua sampel memenuhi kriteria "Oke" dan persentase berkisar antara 91,894% hingga 98,276%. Hasil ini mengindikasikan bahwa kualitas beton yang dihasilkan konsisten dan memenuhi standar yang ditetapkan. Penggunaan peta kendali dan analisis statistik dalam pengendalian kualitas beton memungkinkan identifikasi dini terhadap potensi masalah dan memastikan bahwa produk akhir memenuhi spesifikasi yang diinginkan. Keberhasilan dalam pengendalian kualitas ini mencerminkan efektivitas proses produksi dan pengawasan yang diterapkan dalam proyek konstruksi tersebut. Kekuatan beton pada umur tertentu terkait dengan kekuatannya pada umur sebelumnya [12], Hubungan ini terlihat dalam analisis ini, di mana kekuatan beton pada umur 14 hari digunakan untuk memprediksi kekuatan akhirnya. Keberhasilan ini mencerminkan efektivitas proses produksi dan pengawasan yang diterapkan dalam proyek konstruksi tersebut

4. Kesimpulan

Kesesuaian mutu beton dengan rencana, hasil uji slump menunjukkan nilai rata-rata 11,10 cm, yang masih dalam batas spesifikasi 7,5-15 cm untuk pekerjaan plat, kolom, dan balok. Analisis kuat tekan beton pada umur 14 hari menunjukkan semua sampel memenuhi kriteria "Oke" dengan persentase kekuatan berkisar antara 91,894% hingga 98,276% dari kuat tekan rencana. Peta kendali X dan R untuk hasil uji kuat tekan 14 hari menunjukkan bahwa semua data berada dalam batas kendali,

DOI : <https://doi.org/10.52158/jaceit.v6i1.942>

mengindikasikan proses pengecoran yang terkendali dengan baik. Faktor-faktor yang mempengaruhi mutu beton diantaranya pengendalian statistik yang ketat melalui penggunaan peta kendali I-MR untuk uji slump dan peta kendali X-R untuk uji kuat tekan membantu memastikan konsistensi mutu beton. Pemilihan pengujian pada umur 14 hari memberikan gambaran yang lebih akurat tentang kekuatan akhir beton, memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih baik. Nilai standar deviasi dari hasil kuat lentur yang dikonversi menjadi kuat tekan adalah 0,906, mengindikasikan mutu pelaksanaan yang sangat baik untuk volume pekerjaan >3000 m³. Koefisien variasi sebesar 2,56% menunjukkan kategori pelaksanaan "Terbaik". Efektivitas penerapan SQMC, Penggunaan peta kendali dan analisis statistik memungkinkan identifikasi dini terhadap potensi masalah dan memastikan produk akhir memenuhi spesifikasi. Metode SQMC berhasil diterapkan dalam pengendalian mutu beton ready mix untuk pekerjaan pile cap, terbukti dari konsistensi hasil uji yang berada dalam batas kendali.

Daftar Rujukan

- [1] Suhariyanto and S. A., "Evaluasi Mutu Beton Pada Struktur Silo Cement Grinding Plant Cigading," *Prokons: Jurnal Teknik Sipil*, Vol. 11, No. 1, Pp. 17–20, 2017.
- [2] A. I. Yunus Et Al., *Dasar-Dasar Teknologi Beton*, 1st Ed. Padang: Cv. Gita Lentera, 2024.
- [3] A. Hairuddin, "Analisa Sistem Manajemen Mutu Iso 9001:2015 Pada Proyek Pembangunan Gedung Pusat Pelayanan Haji Dan Umrah Terpadu (Plhut) Kabupaten Jeneponto," *Jurnal Konstruksi: Teknik, Infrastruktur Dan Sains*, Vol. 1, No. 10, Pp. 1–11, 2022.
- [4] P. K. Mehta and P. J. Monteiro, *Concrete: Microstructure, Properties, And Materials*. Mcgraw-Hill Education, 2014.
- [5] D. C. Montgomery, *Introduction to Statistical Quality Control*. John Wiley & Sons, 2019.
- [6] T. Haddad, "Quality Assessment of Concrete Production Using Statistical Process Control (SpC) Techniques," *Proceedings On Engineering Sciences*, Vol. 3, No. 2, Pp. 233–240, 2021.
- [7] M. F. Tchidi, Z. He, And Y. B. Li, "Process and Quality Improvement Using Six Sigma In Construction Industry / Proceso Tobulinimas Ir Kokybės Gerinimas Statybos Sektoriuje Taikant „Šešių Sigma“ Metodą" *Journal Of Civil*

- Engineering And Management*, Vol. 18, No. 2, Pp. 158–172, Apr. 2012, Doi: 10.3846/13923730.2012.657411.
- [8] I. Skrzypczak, W. Kokoszka, J. Zięba, A. Leśniak, D. Bajno, and L. Bednarz, “A Proposal of A Method For Ready-Mixed Concrete Quality Assessment Based On Statistical-Fuzzy Approach,” *Materials*, Vol. 13, No. 24, P. 5674, Dec. 2020, Doi: 10.3390/Ma13245674. [11]
- [9] J. S. Oakland, *Statistical Process Control*. Routledge, 2007. Doi: 10.4324/9780080551739. [12]
- [10] D. Sarkar and B. Bhattacharjee, “Design And Application ff Multivariate Cusum for Quality Monitoring of Ready Mixed Concrete,” *International Journal of Quality Engineering And Technology*, Vol. 4, No. 2, P. 161, 2014, Doi: 10.1504/Ijqtet.2014.060428.
- R. L. Ott and M. Longnecker, *Statistical Methods & Data Analysis*, 7th Ed. Cengage Learning, 2016.
- F. Yusmar, R. Damara, and N. Sandra, “Evaluasi Mutu Material Pekerjaan Struktur Atas Proyek Tower X Berdasarkan SNI 2847 2019 Dan SNI 2052 2017,” *Cived*, Vol. 10, No. 1, Pp. 661–670, 2023.



Pengaruh Proporsi *Silica Fume* Dengan Penambahan Zat *Additive* Terhadap Kuat Tekan Mortar

Ayik Asri Novita¹, Dadang dwi Pranowo², M. Shofi'ul Amin³, Ahmad Utanaka⁴, Catur Bejo Santoso⁵

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

¹asrinovitaayik@gmail.com, ²dadangdp@poliwangi.ac.id, ³shofiul@poliwangi.ac.id,

⁴ahmad.utanaka@poliwangi.ac.id, ⁵catur@poliwangi.ac.id

Abstract

Mortar is commonly used in construction as a strong and durable building mixture that is relatively easy to make. One of the problems that often occurs in Indonesia, especially in buildings located in coastal areas, is the rapid rusting of reinforcement or the degradation of bricks due to not receiving sufficient protection from mortar as the outermost part. Mortar plays a crucial role in construction by acting as an adhesive for bricks, wall plaster, and ceramic tiles, while also providing protection for construction joints. Because of this, the mortar needs to have the maximum strength possible. Adding alternative ingredients, such as silica fume and Superplasticizerconsol SS 74 N, to the mortar is one way to achieve this goal. Different amounts of 0.5% Superplasticizer and 10% and 20% silica fume percentage were added, and compressive strength tests were conducted after 7, 14, and 28 days. The results of the research show that the effect of adding Silica fume and Superplasticizer to mortar has the potential to reduce the compressive strength value, with the maximum compressive strength value for normal mortar aged 28 days being 49.41 Mpa, while for mortar variations of SF 10% and 20% 37.48 Mpa and 30.43 Mpa.

Keywords: Compressive Strength, Mortar, Silica Fume, Superplasticizer

Abstrak

Mortar umumnya digunakan dalam konstruksi sebagai campuran bangunan yang kuat dan tahan lama yang relatif mudah dibuat. Salah satu masalah yang sering terjadi di Indonesia, khususnya pada bangunan yang berada di daerah pantai adalah cepat berkaratnya tulangan atau terdegradasinya bata akibat tidak mendapat perlindungan yang cukup dari mortar sebagai bagian terluar. Mortar memainkan peran penting dalam konstruksi dengan bertindak sebagai perekat untuk batu bata, plester dinding, dan ubin keramik, sekaligus memberikan perlindungan untuk sambungan konstruksi. Oleh karena ini mortar harus memiliki kekuatan yang optimal dan salah satu upaya yang dapat dilakukan dan diharapkan dapat meningkatkan kekuatan dari mortar ialah dengan cara penambahan bahan alternatif berupa Silica fume dan Superplasticizerconsol SS 74 N. Digunakan variasi penambahan 0,5% Superplasticizer dan prosentase Silica fume 10% dan 20% dengan pengujian kuat tekan pada umur 7,14, dan 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaruh penambahan Silica fume dan Superplasticizer terhadap mortar berpotensi menurunkan nilai kuat tekan, dengan nilai kuat tekan maksimum pada mortar normal umur 28 hari 49,41 Mpa, sedangkan pada mortar variasi SF 10% dan 20% 37,48 Mpa dan 30,43 Mpa.

Kata kunci: Kuat Tekan, Mortar, Silica Fume, Superplasticizer

Diterima Redaksi : 2024-08-12 | Selesai Revisi : 2024-10-07 | Diterbitkan Online : 2025-03-03



Lisensi
Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional

1. Pendahuluan

Dalam dunia konstruksi mortar sering digunakan sebagai campuran penyusun suatu pembangunan karena sifatnya yang kuat, tahan lama, dan mudah di buat. Salah satu masalah yang sering terjadi khususnya pada daerah pantai adalah cepat berkaratnya tulangan akibat tidak mendapat perlindungan dengan maksimal dari mortar sebagai bagian terluar suatu bangunan [1].

Permasalahan tersebut tidak terlepas dari kebiasaan masyarakat yang suka meniru begitu saja praktik pembangunan rumah permanen untuk daerah non agresif yang di terapkan pada daerah agresif. Tidak hanya itu fungsi lain dari mortar pada dunia konstruksi juga amat sangat banyak dan bisa di bilang cukup besar diantaranya sebagai perekat antar bata, plester dinding, perekat keramik, dan melindungi sambungan konstruksi [2]. Oleh hal itu jika permasalahan tidak segera dicari jalan keluarnya maka secara perlahan dapat menyebabkan kerusakan yang cukup besar dan merugikan.

Secara garis besar mortar merupakan campuran material yang terdiri dari agregat halus (pasir), air suling, dan bahan perekat (kapur, semen portland, dan tanah kapur) yang di campur sesuai komposisi tertentu dengan atau tanpa bahan tambahan (*admixture*) [3].

Salah satu bahan substitusi yang dapat digunakan ialah *Silica Fume* dimana penggunaan *silica fume* selalu bersamaan dengan *superplasticizer*. *Silica fume* adalah serbuk halus yang terdiri dari *amorphous microsphere* yang dimana komposisi *silica fume* lebih banyak di hasilkan dari tanur tinggi atau besi sisa produksi silikon dan *alloy* besi.

Sedangkan *Superplasticizer* adalah eter polikarbosiilat yang inovatif (PCE) yang cocok untuk beton atau mortar dan merupakan bahan tambah kimia sesuai dengan ASTM C494-92 untuk tipe F campuran [4].

Beberapa penelitian terdahulu dengan menggunakan metode *Analysis of Variance (ANOVA)* untuk mengkaji pengaruh penambahan *silica fume* terhadap sifat fisik dan mekanik mortar, dimana rata-rata kuat tekan mortar normal tanpa campuran *silica fume* adalah 39,9 MPa. Sementara kuat tekan rata-rata mortar dengan campuran *silica fume* secara berturut-turut adalah 40,4 MPa, 42,3 MPa, 43,2 MPa dan 45,1 MPa atau terjadi peningkatan kuat tekan berturut-turut sebesar 1,1%, 5,9%, 8,2%, dan 12,8 % untuk proporsi 3, 5, 7 dan 10% [5]. Dengan pengaruh penambahan *superplasticizer* dan *silica fume* terhadap kuat tekan mortar dengan FAS 0,3 dimana mortar pada umur 7 hari kuat tekannya sebesar 217,393 kg/cm², untuk umur 14 hari kuat tekannya meningkat menjadi 320,208 kg/cm², untuk umur 21 hari kuat tekan meningkat menjadi 332,484 kg/cm² dan untuk umur 28 hari kuat tekannya 370,847 kg/cm² [3]. Seperti halnya, *silica fume* sebagai substitusi semen terhadap nilai resapan dan kuat tekan mortar dimana Kuat tekan maksimum yang didapatkan adalah 312,574 kg/cm²,

pada benda uji 8% kandungan *silica fume* [6]. Sedangkan pengaruh *silica fume* terhadap kuat tekan dan resapan air mortar semen pada penerapan beton pracetak feroemen, didapatkan hasil nilai uji kuat tekan 20,96 Mpa [4], [7], [8]. Untuk analisa kuat tekan mortar geopolimer berbahan *silica fume* dan kapur tohor pada umur 7 uji hari berturut-turut yaitu variasi *silica fume* : kapur tohor 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, dan 50:50 sebesar 0.63 MPa; 0.83 MPa; 2.32 MPa; 1.35 MPa; dan 0.95 MPa. Semakin sedikit *silica fume* dan semakin banyak kapur tohor maka nilai kuat tekan semakin tinggi [9].

Pada penelitian ini proporsi *silica fume* yang digunakan adalah 0%, 10%, dan 20% dengan penambahan *zat additive superplasticizer* sebanyak 0,5%. Dengan umur benda uji 7, 14, dan 28 hari dengan tiap umur terdiri dari 6 benda uji mortar. Oleh karena itu pada penelitian ini diharapkan dengan penggunaan *silica fume* dan penambahan *zat additive superplasticizer* pada campuran suatu mortar agar dapat meningkatkan kekuatan dari mortar tersebut.

2. Metode Penelitian

Adapun dalam penelitian ini dimulai dari identifikasi masalah dilanjutkan dengan studi literatur dimana pada bagian ini dilakukan pengumpulan berbagai materi, jurnal yang nantinya digunakan untuk acuan dalam melakukan penelitian lalu dilanjut dengan pengujian karakteristik material, perencanaan bahan campuran, pembuatan benda uji mortar sebanyak 54 buah, setelah itu dilanjutkan dengan perawatan benda uji yaitu perendaman dan yang terakhir yaitu pengujian kuat tekan.

2.1. Pengujian Karakteristik Material

Pengujian karakteristik material yang dilakukan dalam pengujian ini adalah pengujian agregat halus (pasir), semen, dan juga *silica fume*. Dimana pengujian mencakup pengujian berat jenis, air resapan, Analisa saringan, berat volume, kadar lumpur, waktu ikat semen, konsistensi normal semen.

2.2. Perencanaan Campuran Mortar

Perencanaan campuran mortar (*mix design*) dilakukan sesuai dengan perencanaan campuran mortar. Dalam penelitian ini digunakan 3 variasi campuran yaitu, 0 % (mortar normal), 10% *silica fume* dan 0,5% *superplasticizer*, 20% *silica fume* dan 0,5% *superplasticizer*. Setiap variasi campuran dibuat 6 benda uji dengan 3 umur pengujian yaitu 7,14, dan 28 hari.

Tabel 1 Komposisi Campuran Mortar

Kode	Proporsi
NM	0%
SF 1	10% <i>Silica Fume</i> + 0,5% <i>Superplasticizer</i>
SF 2	20% <i>Silica Fume</i> + 0,5% <i>Superplasticizer</i>

2.3. Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji dilakukan ketika semua tahapan awal telah selesai dilakukan, dimana pada tahap ini dilakukan pencampuran material penyusun mortar tergantung pada proporsi yang sudah direncanakan.

Tabel 2 Jumlah Benda Uji

Kode	Umur	Total
NM	7 hari	6
	14 hari	6
	28 hari	6
SF 1	7 hari	6
	14 hari	6
	28 hari	6
SF 2	7 hari	6
	14 hari	6
	28 hari	6

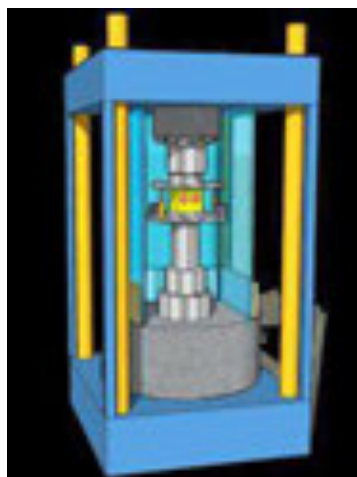
2.4. Pengujian Kuat Tekan

Kekuatan tekan mortar adalah gaya maksimum per satuan luas yang bekerja pada benda uji beton dan mortar. Pengujian kuat tekan mortar dilakukan berdasarkan SNI 03-6825- 2002 [10]. Benda uji diletakan di atas mesin penekan kemudian benda uji ditekan sampai benda uji pecah. Pada saat pecah, dicatat besarnya gaya tekan maksimum yang bekerja dan nilai kuat tekan mortar dapat dihitung menggunakan persamaan 1.

$$\text{Kuat tekan } f'_c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Keterangan :

- f'_c : Kuat tekan mortar (Mpa)
 P : Beban maksimum (N)
 A : Luas penampang benda uji (mm²)



Gambar 1. Mesin Kuat Tekan

2.5. Pengujian Resapan

Pengujian resapan pada mortar dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kemampuan kedap air dengan volume pori-pori pada benda uji. Sebelum di uji benda uji mortar direndam terlebih dahulu di dalam air selama 24 jam

sebelum nantinya di oven. Standar Nasional Indonesia (SNI) yang mengatur resapan air maksimum mortar adalah SNI 03-2914-1992 [11], yaitu sebesar 6,5% dari berat mortar kering. Nilai resapan air mortar dapat dihitung menggunakan persamaan 2.

$$\text{Resapan Air Mortar} = \frac{m_b - m}{m_k} \times 100\% \quad (2)$$

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 mortar agar mortar yang dihasilkan dapat memiliki kekuatan yang diharapkan. Berdasarkan pengujian yang sudah dilakukan di dapat hasil sebagai berikut.

Tabel 3 Rekapitulasi pengujian Pasir

Pengujian	Hasil	
Berat Jenis	2,07	
Kadar Air Resapan	0,15 %	
Berat Volume	Dengan Rojokan 1,52 kg/cm ³	Tanpa Rojokan 1,69 kg/cm ³
Analisa Saringan	239,4 %	
Kadar Lumpur	0,15 %	
Kelembapan	0,07 %	

Berdasarkan Tabel 3 semua hasil pengujian dari pasir sudah sesuai dan memenuhi ketentuan berdasarkan SNI dan ASTM yang berlaku dan dapat digunakan untuk bahan campuran pembuatan mortar.

Tabel 4 Rekapitulasi pengujian Semen

Pengujian	Hasil
Berat Jenis	3,00
Konsistensi Normal	23 %
Waktu Ikat	75 Menit

Berdasarkan Tabel 4 semua hasil pengujian dari semen sudah sesuai dan memenuhi ketentuan berdasarkan SNI dan ASTM yang berlaku dan dapat digunakan untuk bahan campuran pembuatan mortar.

Tabel 5 Rekapitulasi pengujian Semen + Silica Fume

Pengujian	Hasil
Konsistensi	
Semen + Silica Fume 10%	26%
Semen + Silica Fume 20%	27%
Waktu Ikat	
Semen + Silica Fume 10%	60 menit
Semen + Silica Fume 20%	45 menit

Berdasarkan hasil rekapitulasi pada Tabel 5 semua hasil pengujian karakteristik material yang digunakan untuk campuran benda uji mortar telah memenuhi syarat dan ketentuan yang sudah ditetapkan menurut SNI dan ASTM yang ada.

3.2. Hasil *Mix Design*

Berdasarkan kuat tekan yang direncanakan dan perhitungan yang sudah dilakukan didapatkan kebutuhan material yang digunakan untuk pembuatan benda uji mortar yang disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6 Kebutuhan Material

Material	Jumlah
Pasir	12,475 Kg
Semen	4,050 Kg
Silica Fume	0,45 Kg
Air	2,178 Ml
Superplasticizer	15 Ml

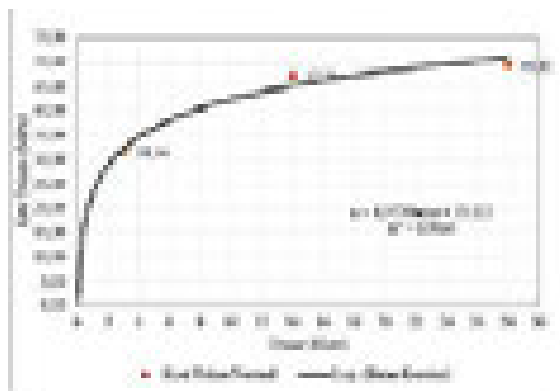
3.3. Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar

Pengujian Kuat tekan mortar dilakukan menggunakan alat *Compression Testing Machine*. Hasil Pengujian kuat tekan mortar disajikan pada Tabel 7.

Hasil pengujian kuat tekan mortar normal di dapat dari benda uji mortar tanpa adanya penambahan apapun pada campuran mortar, pengujian mortar normal pada umur 7, 14, dan 28 hari dapat dilihat pada Tabel.7

Tabel 7. Hasil kuat tekan mortar normal (NM)

Kode	Umur (Hari)	Kuat Tekan (Mpa)	Standar deviasi (%)
	1	2	3
NM	7	31,54	2,13
	14	47,31	2,93
	28	49,41	1,42



Gambar 2. Grafik Kuat Tekan Mortar Normal

Berdasarkan Gambar 2 menunjukkan bahwa hasil kuat tekan mortar normal mengalami peningkatan. Pada umur mortar 28 hari nilai kuat tekan mencapai 49,41 Mpa dengan nilai korelasi 0,9604 menunjukkan bahwa hubungan yang signifikan antara umur dan nilai kuat tekan. Dengan standar deviasi pengujian yaitu 1,42 dan termasuk dalam kategori sangat baik.

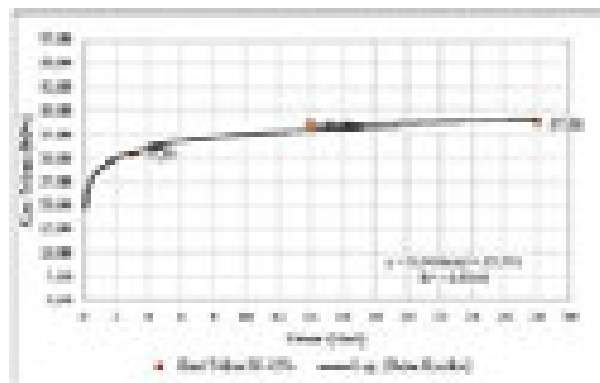
DOI : <https://doi.org/10.52158/jaceit.v6i1.952>

3.5 Hasil Uji Kuat Tekan Mortar SF 1

Mortar SF 1 merupakan mortar dengan penambahan bahan tambah pada campuran yang digunakan untuk membuat benda uji, bahan tambah yang digunakan pada mortar SF 1 adalah *Silica Fume* dengan presentase 10% dari berat semen dan juga *Superplasticizer* dengan presentase 0,5% dari berat semen. Pengujian pada mortar SF 1 dilakukan pada umur 7, 14, dan 28 hari. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil kuat tekan mortar variasi (SF 1)

Kode	Umur (Hari)	Kuat Tekan (Mpa)	Standar deviasi (%)
	1	2	3
SF 1	7	30,87	1,56
	14	37,11	1,76
	28	37,48	1,98



Gambar 3. Grafik Kuat Tekan Mortar Variasi (SF 1)

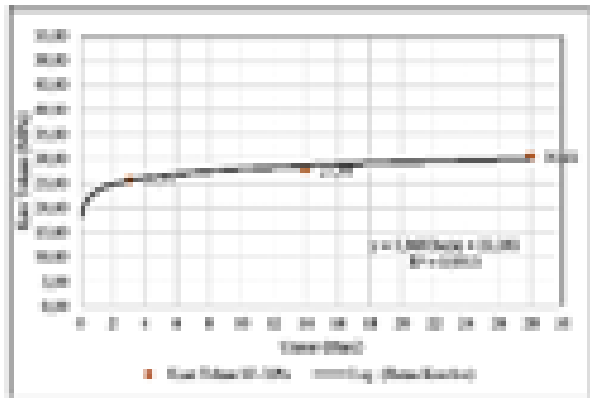
Berdasarkan Gambar 3 menunjukkan bahwa hasil kuat tekan mortar variasi (SF 1) mengalami peningkatan. Pada umur mortar 28 hari nilai kuat tekan mencapai 37,48 Mpa dengan nilai korelasi 0,9348 menunjukkan bahwa hubungan yang signifikan antara umur dan nilai kuat tekan dengan standar deviasi pengujian yaitu 1,98 dan termasuk dalam kategori baik.

3.6 Hasil Uji Kuat Tekan Mortar Variasi (SF 2)

Mortar SF 2 merupakan mortar dengan penambahan bahan tambah pada campuran yang digunakan untuk membuat benda uji, bahan tambah yang digunakan pada mortar SF 1 adalah *Silica Fume* dengan presentase 20% dari berat semen dan juga *Superplasticizer* dengan presentase 0,5% dari berat semen. Pengujian pada mortar SF 1 dilakukan pada umur 7, 14, dan 28 hari. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil kuat tekan mortar normal (NM)

Kode	Umur (Hari)	Kuat Tekan (Mpa)	Standar deviasi (%)
	1	2	3
SF 2	7	25,77	1,38
	14	27,90	1,25
	28	30,43	1,44



Gambar 4. Grafik Kuat Tekan Mortar Variasi (SF 2)

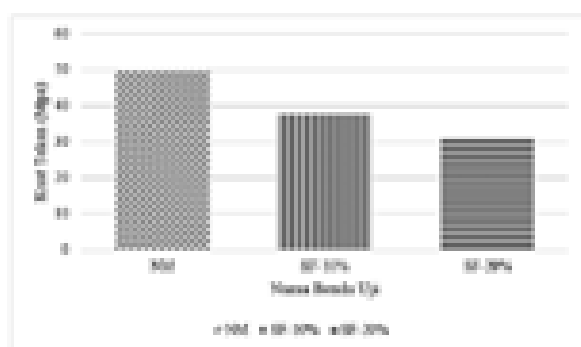
Berdasarkan Gambar 4 menunjukkan bahwa hasil kuat tekan mortar variasi (SF 2) mengalami peningkatan. Pada umur mortar 28 hari nilai kuat tekan mencapai 30,43 Mpa dengan nilai korelasi 0,9313 menunjukkan bahwa hubungan yang signifikan antara umur dan nilai kuat tekan dengan standar deviasi pengujian yaitu 1,44 dan termasuk dalam kategori sangat baik.

3.7 Rekapitulasi Nilai Kuat Tekan Mortar

Pada hasil pengujian kuat tekan mortar yang sudah dilakukan pada tiap variasi campuran dan umur mortar, di ambil rekapitulasi nilai kuat tekan mortar pada umur pengujian maksimal yaitu umur 28 hari. Rekapitulasi kuat tekan mortar dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil kuat tekan mortar normal (NM)

Kode	Nilai Kuat Tekan
NM	49,41
SF 1	37,48
SF 2	30,34



Gambar 5. Rekapitulasi Kuat Tekan Mortar

Berdasarkan Gambar 5 menunjukkan bahwa nilai kuat tekan mortar semua variasi pada umur 28 hari mengalami penurunan, Dimana nilai kuat tekan maksimum di dapat pada mortar normal dengan nilai 49,41 Mpa dan nilai kuat tekan minimum didapat pada mortar variasi SF 1 dengan nilai 30,43 Mpa.

3.8 Hasil Resapan Air Mortar

Pengujian resapan air mortar dilakukan pada masing – masing variasi campuran mortar dengan penambahan *Silica Fume* sebanyak 10% dan 20% pada campuran yang digunakan dalam pembuatan benda uji mortar. Hasil pengujian resapan air mortar dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10 Hasil Uji Resapan Air Mortar

Variasi Normal				
Percobaan	Satuan	1	2	3
Berat mortar basah	gram	292	288,5	289,5
Berat mortar kering oven	gram	263	259	259
Resapan air mortar	%	11,02	11,38	11,77
Resapan air rata – rata	%		11,40	

Pada pengujian resapan mortar dengan variasi normal didapat nilai resapan rata – rata sebesar 11,40% dari berat mortar kering. Dimana nilai resapan masih cukup tinggi.

Tabel 11. Hasil Uji Resapan Air Mortar

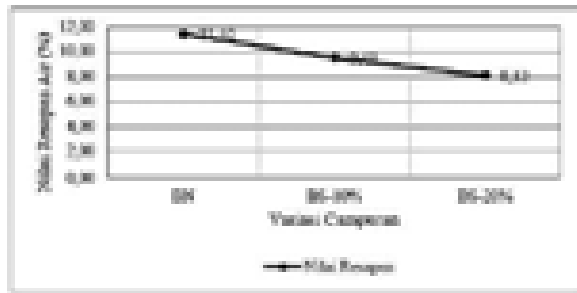
Variasi SF 1				
Percobaan	Satuan	1	2	3
Berat mortar basah	gram	279	287	277
Berat mortar kering oven	gram	254	263	253
Resapan air mortar	%	9,84	9,13	9,49
Resapan air rata – rata	%		9,48	

Pada Tabel 11, pengujian resapan air mortar dengan variasi *silica fume* 10% didapat nilai resapan rata – rata sebesar 9,48 % dari berat mortar kering. Dimana nilai resapan lebih kecil dari variasi mortar normal.

Tabel 12. Hasil Uji Resapan Air Mortar

Variasi SF 2				
Percobaan	Satuan	1	2	3
Berat mortar basah	gram	277	273	276
Berat mortar kering oven	gram	257	252	255
Resapan air mortar	%	7,78	8,33	8,24
Resapan air rata – rata	%		8,12	

Pada Tabel 12, pengujian resapan air mortar dengan variasi *silica fume* 20% didapat nilai resapan rata – rata sebesar 8,12% dari berat mortar kering. Dimana nilai resapan lebih kecil dari variasi mortar campuran 10%.



Gambar 6. Grafik Resapan Air Mortar

Berdasarkan Gambar 6 dapat dilihat bahwa nilai resapan air mortar pada benda uji dengan penambahan *silica fume* 10% dan 20% mengalami penurunan. Dimana nilai resapan air maksimum didapat pada benda uji mortar normal dan nilai resapan air minimum didapat pada benda uji mortar variasi SF 2.

4. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisis data yang telah dilakukan penambahan *Silica Fume* 10% dan 20% serta *Superplasticizer* 0,5% pada campuran mortar yang diharapkan dapat meningkatkan nilai kuat tekan pada benda uji mortar juga berpotensi dapat menurunkan nilai kuat tekan pada mortar tersebut. Hasil pengujian kuat tekan maksimum di dapat pada mortar normal umur 28 hari dengan nilai kuat tekan 49,41 Mpa, Dan pada variasi SF 1 nilai kuat tekan 37,48 Mpa SF 2 30,43 Mpa. Hal tersebut menunjukkan bahwa formulasi optimum yang dapat digunakan adalah mortar dengan substitusi bahan 10% dengan nilai kuat tekan 37,48 Mpa. Penurunan pada nilai kuat tekan terjadi karena terlalu banyaknya penambahan *silica fume* menyebabkan semakin sedikit semen yang bereaksi dengan air membentuk gel CSH yang dimana gel tersebut memiliki peran cukup penting dalam meningkatkan ikatan antar agregat pada campuran mortar.

Sedangkan nilai resapan air mortar mengalami peningkatan bersamaan dengan bertambahnya presentase penambahan *silica fume*. Berdasarkan hasil perhitungan resapan sampel mortar dengan substitusi bahan 20% memiliki nilai resapan paling kecil yaitu 8,12%. Dibandingkan dengan mortar substitusi bahan 10% nilai resapan mengalami perbandingan sebesar 3,82%. Hal ini terjadi karena efek *pozzolan* dan *microfiller* pada *silica fume* menyebabkan semakin berkurangnya volume pori pada benda uji sehingga semakin sedikit pula jumlah air yang dapat terserap oleh benda uji pada saat perendaman.

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] Febrianto, E. "Pengaruh penambahan Silica Fume pada Porous Concrete Block terhadap nilai kuat tekan dan permeabilitas." *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil (Rekats)* 3.3: 1-8. 2016.
- [2] Firyanto, Rizal Pratama. *Pengaruh Kuat Tekan Mortar Campuran Silica Fume Sebagai Substitusi Semen (K-300) Dengan Air Laut Sebagai Rendaman*. Diss. UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945, 2018.
- [3] Fuad, Indra Syahrul. "Pengaruh Penambahan Superplasticizer dan Silica Fume Terhadap Kuat Tekan Mortar Dengan Fas 0, 3." *Jurnal Desiminasi Teknologi* 9.2. 2021.
- [4] Binti Sayono, Yulita Dwi Shinta, et al. "Pengaruh Penggunaan Silica Fume Terhadap Kuat Tekan dan Resapan Air Mortar Pracetak Ferosemen." *Jurnal TESLINK: Teknik Sipil dan Lingkungan* 5.2: 175-185. 2023.
- [5] Fajrin, Jauhar, Pathurahman Pathurahman, and Lalu Gita Pratama. "Aplikasi metode analysis of variance (anova) untuk mengkaji pengaruh penambahan silica fume terhadap sifat fisik dan mekanik mortar." *Jurnal Rekayasa Sipil* 12.1: 11-24. 2016.
- [6] Sutriyono, Bantot, Retno Trimurtiningrum, and Aditya Rizkiardi. "Pengaruh Silica Fume sebagai Substitusi Semen terhadap Nilai Resapan dan Kuat Tekan Mortar." *RekaRacana: Jurnal Teknil Sipil* 4.4: 12. 2018.
- [7] NR, Yra Maya Sopa, Sartika Nisumanti, and Denie Chandra. "Pengaruh Penambahan Silica Fume Terhadap Kuat Tekan Beton Fc'25." *Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (Proteksi)* 5.1: 1-6. 2023.
- [8] Zuraidah, Safrin, and Budi Hastono. "Pengaruh variasi komposisi campuran mortar terhadap kuat tekan." *Ge-STRAM: Jurnal Perencanaan dan Rekayasa Sipil* 1.1: 8-13. 2018.
- [9] Riyanto, Eko, Eksi Widyanto, and Rahul Ray Renaldy. "Analisis Kuat Tekan Mortar Geopolimer Berbahan Silica Fume dan Kapur Tohor." *INERSIA Informasi dan Ekspose Hasil Riset Teknik Sipil dan Arsitektur* 17.1: 19-26. 2021.
- [10] BSN. "SNI 03-6825-2002." *Standar Nasional Indonesia Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Semen Portland Untuk Pekerjaan Sipil*. 2002.
- [11] BSN. "SNI 03-2914-1992." *Spesifikasi Beton Bertulang Kedap Air*. 1992.



Evaluasi *Non-Physical Waste* Pada Proyek Pembangunan Gedung Rumah Sakit X Dengan Penerapan *Lean Construction*

Rasendriya Rizki Danureswara¹, Suripto²

^{1,2}Teknik Sipil, Teknik Konstruksi Gedung, Politeknik Negeri Jakarta

¹rasendriya.rizkidanureswara.ts20@mhsw.pnj.ac.id, ²suripto.1965@sipil.pnj.ac.id

Abstract

In construction projects, waste encompasses not only material waste (physical waste) but also includes non-value-added activities such as rework, waiting time, and delays (non-physical waste). Construction practitioners often focus on physical waste, neglecting the importance of non-physical waste, which is a critical issue that deserves attention and effective solutions. Therefore, efforts are necessary to minimize non-physical waste by implementing lean construction methods. This study aims to identify critical non-physical waste and its causes, providing recommendations for preventing them through lean construction. The research involved observations, questionnaires, and interviews, with data analyzed using the Borda method. The findings revealed that the critical non-physical waste in the RS X project was waiting, with a weight of 0.204, primarily due to slow approvals, followed by defects with a weight of 0.180, caused by inadequate supervision. To address waiting, it is recommended to apply the Lean principles of Specify Value and Value Stream Mapping, along with tools like the Last Planner System and Daily Huddle Meetings. For defects, the Value Stream Mapping and Flow approaches, supported by tools such as Fail-Safe for Quality and First-Run Studies, are suggested. While not yet fully optimized, the use of lean construction tools positively impacts the reduction of non-physical waste, thereby enhancing project efficiency and quality.

Keywords: Borda method, Lean construction, Lean construction tools, Non-physical waste.

Abstrak

Dalam proyek konstruksi, pemborosan tidak hanya mencakup pemborosan material (*physical waste*) tetapi juga mencakup aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah seperti pengerjaan ulang, waktu tunggu, dan penundaan (*non-physical waste*). Praktisi konstruksi sering kali berfokus pada *physical waste*, mengabaikan pentingnya *non-physical waste*, yang merupakan masalah kritis yang perlu mendapat perhatian dan solusi efektif. Hal ini menunjukkan bahwa *non-physical waste* adalah permasalahan serius yang membutuhkan perhatian serta solusi yang tepat. Sehingga, diperlukan sebuah upaya dalam meminimalisir *non-physical waste* yaitu melalui penerapan metode *lean construction*. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi *critical non-physical waste* dan faktor penyebabnya serta memberikan rekomendasi pencegahan menggunakan *lean construction*. Studi dilakukan melalui observasi, kuesioner, dan wawancara, kemudian dianalisis dengan metode Borda. Hasil penelitian menunjukkan *critical non-physical waste* di proyek RS X adalah *waiting* dengan bobot 0,204, disebabkan oleh lambatnya persetujuan serta *defect* dengan bobot 0,180, disebabkan oleh kurangnya pengawasan. Rekomendasi untuk mengatasi *waiting* adalah melalui pendekatan *Lean* yaitu *Specify Value* dan *Value Stream Mapping*, serta menggunakan tools *Last Planner System* dan *Daily Huddle Meetings*. Untuk *defect*, direkomendasikan menggunakan pendekatan *Value Stream Mapping* dan *Flow*, serta menggunakan tools *Fail-Safe for Quality* dan *First-Run Studies*. Meski belum optimal, penerapan tools dalam *lean construction* berdampak positif terhadap frekuensi *non-physical waste* dan meningkatkan efisiensi serta kualitas proyek.

Kata kunci: Lean construction, Lean construction tools, Metode borda, Non-physical waste.

Diterima Redaksi : 2024-08-27 | Selesai Revisi : 2024-09-13 | Diterbitkan Online : 2025-03-03



1. Pendahuluan

Industri konstruksi di dunia saat ini sedang menghadapi banyak tantangan terutama terkait dengan *waste* termasuk di Indonesia. Peningkatan standar hidup, tuntutan kualitas tinggi dari pengguna jasa, dan kompetisi yang semakin ketat menyebabkan jumlah *waste* meningkat signifikan, sekitar 2% hingga 3% setiap tahun [1]. Hal ini berdampak pada penurunan produktivitas dan kinerja proyek konstruksi secara keseluruhan [2].

Dalam sebuah proyek konstruksi, *Waste* tidak hanya terkait dengan pemborosan material (*physical waste*) tetapi juga mencakup aktivitas lain yang tidak memberi nilai tambah seperti perbaikan, waktu tunggu, dan keterlambatan (*non-physical waste*) [3]. Berbeda dengan *physical waste* yang mudah dideteksi dan dikelola, *non-physical waste* sering kali sulit dikenali karena sifatnya yang tidak terlihat, menyebabkan pemborosan waktu dan biaya secara tidak langsung [4] [5].

Pada tahun 1998, Taichi Ohno mengembangkan konsep “*Muda*”, yang merupakan daftar *non-physical waste* yang berasal dari Jepang dan telah berkembang berdasarkan temuan-temuan dari peneliti sebelumnya [6][7]. Variabel *non-physical waste* yang teridentifikasi meliputi *defect*, *waiting*, *overproduction*, *inappropriate processing*, *unnecessary motion*, *transportation*, *unnecessary inventory*, *unused employee creativity*, *work accident* [4],[8],[9],[10],[11], dan [12].

Namun, dalam industri konstruksi, sebagian besar studi dan praktik lebih berfokus pada pengelolaan *physical waste*, sehingga terdapat kekurangan informasi untuk mengidentifikasi dan mengatasi *non-physical waste* pada suatu proyek konstruksi. Selain itu, penelitian yang ada sering kali belum sampai pada tahap memberikan rekomendasi pencegahan untuk menangani variabel *non-physical waste*. Oleh karena itu diperlukan sebuah upaya lebih lanjut dalam mengatasi permasalahan ini, salah satunya adalah melalui penerapan *lean construction* yang merupakan konsep manajemen proyek bertujuan untuk mengurangi *waste* seminimal mungkin dan meningkatkan nilai (*value*) semaksimal mungkin [13]. *Lean construction* juga bertujuan untuk mengatasi tantangan pada industri konstruksi seperti hilangnya produktivitas [14] serta mengoptimalkan pelaksanaan sebuah proyek konstruksi [15].

Berdasarkan permasalahan di atas, perlu dilakukan penelitian yang lebih mendalam mengenai *non-physical waste* untuk mengoptimalkan efisiensi proyek secara keseluruhan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi *non-physical waste* yang terdapat pada proyek gedung Rumah Sakit X, menganalisis variabel paling dominan beserta faktor penyebabnya, serta memberikan rekomendasi pencegahan yang dapat diterapkan. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memperluas pemahaman tentang penerapan *lean construction* dalam mengatasi *non-physical waste* dan

memberikan kontribusi yang berarti dalam meningkatkan efisiensi serta kualitas proyek konstruksi.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode *mixed methods*. *Mixed Methods* merupakan suatu pendekatan yang menggabungkan metode kualitatif dan kuantitatif dalam proses penelitian, termasuk pada tahap pengumpulan data. Sementara itu, kajian model campuran mencampurkan kedua pendekatan tersebut dalam setiap tahap proses penelitian. [16]

2.1. Tahapan Penelitian

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan, yaitu: identifikasi masalah di lapangan dan studi literatur, pengumpulan data di lapangan, analisis data dan pembahasan, serta diakhiri dengan penarikan kesimpulan.

2.2. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada proyek pembangunan gedung rumah sakit X yang berlokasi di Jakarta Timur. Sedangkan untuk waktu penelitian dilakukan saat peneliti melakukan kegiatan magang industri selama 4 bulan dimulai dari Februari 2024 – Juni 2024

2.3. Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan melalui:

1. Observasi Lapangan, dilakukan untuk mengidentifikasi variabel *non-physical waste* yang terjadi selama proyek berlangsung. Data yang diperoleh berupa dokumentasi terkait *non-physical waste*
2. Kuesioner, dilakukan untuk mendapatkan data terkait dengan *critical non-physical waste* yang terjadi beserta faktor penyebabnya menggunakan skala prioritas. Total responden berjumlah 30 orang
3. Wawancara untuk mendapatkan gambaran yang jelas dan mendetail mengenai berbagai aspek dari penerapan *lean construction* dalam proyek X. Narasumber merupakan *QC manager* serta *Site engineer manager*

2.4. Metode Analisis

Analisis data dilakukan menggunakan metode Borda, yang diperkenalkan oleh Jean Charles de Borda pada abad ke-18. Metode ini digunakan untuk menentukan alternatif terbaik dari beberapa opsi dengan cara yang melibatkan pengambilan keputusan melalui kuesioner. Borda menggabungkan berbagai pendapat atau persepsi menjadi satu keputusan kelompok yang disepakati bersama. Setiap pengambil keputusan memberikan peringkat pada setiap alternatif, di mana alternatif dengan peringkat pertama mendapatkan (n-1) poin, peringkat kedua (n-2) poin, dan seterusnya hingga peringkat terakhir mendapatkan 0 poin. Alternatif dengan total poin tertinggi dianggap sebagai pilihan

terbaik poin tertinggi akan dianggap sebagai keputusan terbaik [17].

$$bi = \sum k N - rik$$

keterangan :

Bi = Jumlah poin yang diterima setiap alternatif

N = Jumlah alternatif

rik = peringkat alternatif

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Karakteristik Responden

Penyebaran kuesioner dilakukan untuk mengidentifikasi *critical non-physical waste* yang terjadi pada proyek Pembangunan Gedung RS X, serta faktor penyebabnya. Responden kuesioner mencakup pihak-pihak yang terlibat langsung dalam pelaksanaan di lapangan, seperti *Engineer*, bagian Operasional, QA/QC, dan Konsultan Pengawas, dengan total responden sebanyak 30 orang yang terlibat dalam penelitian ini.

Berikut tabel data karakteristik responden berdasarkan jabatan dan pengalaman bekerja

Tabel 1 Karakteristik Responden Berdasarkan Jabatan Kerja

No	Jabatan	Jumlah
1	Staf <i>Engineer</i>	9
2	Site <i>Engineer Manager</i>	2
3	QA/QC	7
4	Pelaksana	4
5	Site <i>Operational Manager</i>	2
6	Konsultan MK	6
Jumlah		30

Tabel 2 Karakteristik Responden Berdasarkan Pengalaman Kerja

No	Pengalaman	Jumlah
1	0-5 Tahun	12
2	6-10 Tahun	15
3	11-15 Tahun	2
4	>15 Tahun	1
Jumlah		30

Berdasarkan Tabel 1 dan Tabel 2, mayoritas responden dalam penelitian ini adalah staf *engineer* sebanyak 9 orang, sementara sebagian besar responden memiliki pengalaman kerja 6-10 tahun sebanyak 15 orang.. Pemilihan responden ini dilakukan dengan pertimbangan bahwa setiap individu memiliki kapabilitas dalam mengidentifikasi dan mengelola *non-physical waste*. Pekerja lapangan tidak dilibatkan dalam penelitian ini karena fokusnya adalah pada perspektif manajerial, yang dianggap lebih relevan untuk mencapai tujuan penelitian.

3.2. Data dan Hasil Observasi

Berdasarkan hasil observasi selama di lapangan dapat dikatakan bahwa variabel yang paling banyak dijumpai adalah variabel *defect* dan *waiting*.



Gambar 1 Contoh *defect* di lapangan (*Major Honeycomb* pada dinding lantai basement)



Gambar 2 Contoh *defect* di lapangan (Material *spunpile* mengalami retak karena terjatuh dari truk)



Gambar 3 Contoh *waiting* di lapangan (*Concrete Pump* mengalami trouble sehingga pengecoran tertunda)



Gambar 4 Contoh *waiting* di lapangan (Alat *HSPD* kehabisan material *spunpile* sehingga pekerjaan pemancangan tertunda)

Dari gambar 1, dan gambar 2, terlihat bahwa *Defect* yang muncul mencakup kesalahan dalam pekerjaan yang memerlukan perbaikan ulang, kerusakan pada material yang dapat berpotensi menimbulkan *defect*. Sedangkan dari gambar 3, dan gambar 4, menunjukkan bahwa *waiting* melibatkan waktu tunggu yang tidak produktif selama proses konstruksi.

3.3. Hasil Analisis Metode Borda

Data kuesioner yang didapat kemudian akan dianalisis menggunakan metode borda untuk mendapat peringkat dari setiap *non-physical waste* beserta faktor penyebabnya.

Tabel 3 Hasil pemeringkatan *non-physical waste* berdasarkan frekuensinya.

Peringkat	Variabel <i>Non-Physical Waste</i>	Poin
1	<i>Waiting</i> (Menunggu)	0,204
2	<i>Defect</i> (Cacat)	0,180
3	<i>Inappropriate Processing</i> (Proses yang tidak tepat)	0,174
4	<i>Overproduction</i> (Kelebihan Produksi)	0,120
5	<i>Transportation</i> (Transportasi)	0,105
6	<i>Unnecessary Inventory</i> (Persediaan yang tidak perlu)	0,100
7	<i>Unnecessary Motion</i> (Gerakan yang tidak perlu)	0,075
8	<i>Unused Employee Creativity</i> (Ide yang terbuang)	0,034
9	<i>Work Accident</i> (Kecelakaan Kerja)	0,008

Berdasarkan Tabel 3, hasil analisis menggunakan metode borda menunjukkan bahwa *non-physical waste* yang paling dominan adalah *waiting* dengan bobot 0,204 yang kemudian diikuti oleh *defect* pada peringkat kedua dengan bobot 0,180.

Tabel 4 Faktor penyebab variabel *waiting*

Variabel	Faktor	Penilaian				Jumlah	Poin
		1	2	3	4		
<i>Waiting</i>	Terjadi perubahan pada desain awal	12	16	2	0	70	0,389
	Kehabisan material di lokasi	1	2	7	20	14	0,078
	Proses <i>approval</i> yang lambat dari pihak-pihak terkait	17	9	2	2	71	0,394
	Peralatan rusak	0	3	19	8	25	0,139

Tabel 5 Faktor penyebab variabel *defect*

Variabel	Faktor	Penilaian				Jumlah	Poin
		1	2	3	4		
<i>Defect</i>	Material yang tidak sesuai standar mutu	1	4	6	19	17	0,094
	Kurangnya pengawasan	15	9	5	1	68	0,378
	Kecerobohan saat pelaksanaan	3	10	10	7	39	0,217
	Kesalahan dalam metode kerja	11	7	9	3	56	0,311

Dari Tabel 4 dan Tabel 5, didapat hasil analisis borda terkait faktor penyebab *non-physical waste* untuk variabel *waiting* disebabkan oleh proses *approval* yang lambat dari pihak-pihak terkait sedangkan untuk variabel *defect* disebabkan oleh kurangnya pengawasan di lapangan.

3.4. Data dan Hasil Wawancara

Berdasarkan wawancara dengan beberapa narasumber terkait, dapat disimpulkan bahwa proyek RS X sudah menerapkan seluruh *lean tools* walaupun belum semuanya diterapkan secara maksimal. *Lean tools* yang

diterapkan meliputi *last planner system*, *increased visualization*, *first run studies*, *daily huddle meetings*, *5S*, dan *fail-safe for quality*.

Tantangan utama dalam penerapan *lean construction* adalah mengubah mindset dari konsep konstruksi tradisional ke pendekatan *lean*. Selain itu, proyek ini dikelola oleh dua perusahaan, yang menambah kesulitan koordinasi dan kolaborasi dalam operasional. Hal ini membuat adaptasi terhadap perubahan dan komunikasi aktif menjadi sangat penting untuk mengatasi tantangan-tantangan tersebut. Meskipun demikian, penerapan *lean construction* telah memberikan dampak positif bagi proyek, seperti pengurangan keterlambatan, percepatan proses pengadaan dan persetujuan, serta minimisasi *non-physical waste*.

3.5 Rekomendasi Pencegahan *Non-Physical waste*

Berikut adalah rekomendasi pencegahan terkait *non-physical waste* dengan *lean construction* untuk variabel *waiting* dan *defect*

1. *Waiting* (*approval* yang lambat)

Untuk menangani masalah *waiting* yang disebabkan oleh lambatnya *approval* dari pihak terkait adalah dengan menerapkan pendekatan *lean* serta *tools*-nya meliputi:

a. *Specivy value*

Menentukan nilai utama dari proses persetujuan yang cepat dan efisien. Proses persetujuan adalah bagian penting dari aliran kerja yang harus dilakukan seefisien mungkin untuk menghindari penundaan. Dalam *Lean* proses menjadi *concern* utama karena tanpa proses yang cepat, pelaksanaan proyek dapat terhambat

b. *Value stream mapping*

Memetakan seluruh alur persetujuan dari awal hingga akhir untuk mengidentifikasi *bottleneck* (titik kemacetan) dan langkah-langkah yang tidak memberi nilai tambah. Sehingga kita bisa melihat di mana proses terhambat dan menghilangkan atau memperbaiki bagian tersebut untuk mempercepat alur kerja.

Lean tools yang dapat digunakan adalah sebagai berikut:

a. Implementasi *Last planner system*

Last planner system dapat meningkatkan koordinasi dan komunikasi antar tim, sehingga mempercepat proses *approval*. LPS membantu dalam merencanakan dan menjadwalkan pekerjaan dengan lebih efektif, memastikan semua pihak yang terlibat memiliki pemahaman yang sama dan tanggung jawab yang jelas.

b. *Daily huddle meetings*

Mengadakan pertemuan harian singkat untuk membahas status dan kendala yang ada. Dalam pertemuan ini, isu-isu yang memerlukan *approval* dapat segera diidentifikasi dan ditangani secara cepat.

2. *Defect* (kurangnya pengawasan)

Untuk mengatasi masalah defect yang disebabkan oleh kurangnya pengawasan, langkah-langkah yang dapat diambil meliputi:

a. *Value stream mapping*

Value stream mapping membantu menganalisis proses kerja untuk menemukan di mana *defect* terjadi dan bagaimana mengatasinya. Dengan berfokus pada tahap-tahap yang sering menyebabkan kesalahan, pendekatan ini bertujuan untuk mencegah terjadinya *defect*.

b. *Flow*

Pendekatan ini bertujuan memastikan aliran kerja yang lancar tanpa hambatan yang dapat menyebabkan *defect*. Pengawasan yang baik berperan penting dalam menjaga kelancaran aliran kerja dan mengurangi potensi terjadinya kesalahan.

Lean tools yang dapat diterapkan meliputi :

a. *First-run studies*

Melakukan studi dan uji coba pertama pada pekerjaan atau proses baru untuk memastikan kualitas dan mengidentifikasi potensi masalah sebelum pekerjaan dilanjutkan

b. *Fail-safe for quality*

Menerapkan sistem fail-safe untuk kualitas yang memastikan bahwa pekerjaan yang tidak memenuhi standar kualitas tidak dapat dilanjutkan ke tahap berikutnya.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis serta pembahasan yang telah dilakukan pada penelitian ini, maka dapat disimpulkan: Setiap variabel pada dasarnya terjadi dalam pelaksanaan di lapangan namun dibedakan oleh tingkatan besaran frekuensi masing-masing. Hasil observasi menunjukkan bahwa variabel yang paling banyak ditemui di lapangan adalah *defect* dan *waiting*. *Non-physical waste* dengan bobot tertinggi adalah *waiting* dengan bobot 0,204 yang disebabkan oleh proses *approval* yang lambat dari pihak terkait dan *defect* dengan bobot 0,180 disebabkan oleh kurangnya pengawasan di lapangan. Sementara untuk rekomendasi pencegahan yang dapat diterapkan dengan menggunakan pendekatan konsep *lean construction*, untuk variabel *waiting* adalah *specify value* dan *value stream mapping*, *tools* yang dapat direkomendasikan meliputi implementasi *last planner system* yang optimal, serta *Daily huddle meetings*. Untuk variabel *defect* pendekatan *lean* yang dapat digunakan meliputi *value stream* dan *flow*, *tools* yang direkomendasikan adalah *first run studies*, *fail and safe for quality*. Temuan ini memperluas pemahaman tentang penerapan *lean construction* dengan memberikan solusi praktis dan spesifik untuk mengatasi *non-physical waste*, serta menawarkan pendekatan yang lebih terperinci dan aplikatif dalam konteks proyek konstruksi.

Daftar Rujukan

- [1] A. Nursin, Y. Latief, and I. Abidin, "Pertumbuhan Barang Sisa Konstruksi (Construction Waste) Di Indonesia," *Politeknologi*, vol. 13, no. 1, pp. 1–6, 2014.
- [2] M. G. Tamallo and A. Nursin, "Evaluasi Non-Physical Waste Dengan Lean Construction Pada Proyek Gedung Sanggala," *PROKONS Jur. Tek. Sipil*, vol. 14, no. 2, p. 12, 2020, doi: 10.33795/prokons.v14i2.294.
- [3] S. Alwi, K. Hampson, and S. Mohamed, "Waste in the Indonesian Construction Project," *Proc. 1st Int. Conf. CIB W107 – Creat. a Sustain. Constr. Ind. Dev. Ctries.*, no. January 2002, pp. 305–315, 2002.
- [4] S. Nagapan, I. Abdul Rahman, and A. Asmi, "Factors Contributing to Physical and Non-Physical Waste Generation in Construction Industry," *Int. J. Adv. Appl. Sci.*, vol. 1, no. 1, 2012, doi: 10.11591/ijaas.v1i1.476.
- [5] Aleksandrova Hasiyana, "REDUCTION OF NON-PHYSICAL WASTE ON CONSTRUCTION SITES USING RESOURCE MANAGEMENT Master Thesis of Construction Management, 4 th Semester Hasiyana Aleksandrova and Egle Eismontaite," 2020.
- [6] J. Alieva and R. von Haartman, "Digital MudA - The new form of waste by Industry 4.0," *Oper. Supply Chain Manag.*, vol. 13, no. 3, pp. 269–278, 2020, doi: 10.31387/OSCM0420268.
- [7] M. S. Bajjou and A. Chafi, "Identifying and Managing Critical Waste Factors for Lean Construction Projects," *EMJ - Eng. Manag. J.*, vol. 32, no. 1, pp. 2–13, 2020, doi: 10.1080/10429247.2019.1656479.
- [8] L. Koskela, "An exploration towards a production theory and its application to construction," *VIT Publ.*, no. 408, 2000.
- [9] W. S. Ho, S. T. Tan, H. Hashim, J. S. Lim, and C. T. Lee, "Waste Management Pinch Analysis (WAMPA) for Carbon Emission Reduction," *Energy Procedia*, vol. 75, no. December, pp. 2448–2453, 2015, doi: 10.1016/j.egypro.2015.07.213.
- [10] M. S. Bajjou, A. Chafi, and A. En-Nadi, "A comparative study between lean construction and the traditional production system," *Int. J. Eng. Res. Africa*, vol. 29, pp. 118–132, 2017, doi: 10.4028/www.scientific.net/JERA.29.118.
- [11] M. S. Bajjou and A. Chafi, "The potential effectiveness of lean construction principles in reducing construction process waste: An input-output model," *J. Mech. Eng. Sci.*, vol. 12, no. December, pp. 4141–4160, 2018, doi: 10.15282/jmes.12.4.2018.12.0358.
- [12] M. A. M. Fateh and N. A. Sulaiman, "Preliminary study on awareness of the lean concept from the non-physical waste perspective," *Malaysian Constr. Res. J.*, vol. 14, no. 3 Special issue, pp. 12–26, 2021.
- [13] M. J. Maraqa, R. Sacks, and S. Spatari, "Strategies for reducing construction waste using lean principles," *Resour. Conserv. Recycl. Adv.*, vol. 19, no. August, p. 200180, 2023, doi: 10.1016/j.rcradv.2023.200180.
- [14] M. Aslam, Z. Gao, and G. Smith, "Exploring factors for implementing lean construction for rapid initial successes in construction," *J. Clean. Prod.*, vol. 277, p. 123295, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.123295.
- [15] L. Eta, G. Mirayudia, I. Bagus, P. Bintana, and I. G. A. P. Dewi, "ANALISIS METODE LEAN CONSTRUCTION DAN PENJADWALAN CCPM DALAM MEREDUKSI NONPHYSICAL CONSTRUCTION WASTE (Studi Kasus : Proyek Pembuatan Gedung PKP-PK di Bandara I Gusti Ngurah Rai)," 2021.
- [16] R. Justan, Margiono, A. Aziz, and Sumiati, "Metode Penelitian Kombinasi (Mixed Methods)," *Bandung Alf.*, vol. 3, no. 2, pp. 253–263, 2023.
- [17] H. L. Wang, C. W. & Leung, "A secure and fully private borda voting protocol with universal verifiability. s.l., COMPSAC., 2004.



Modifikasi Sudut Masuk Impeller Pompa Sentrifugal Untuk Mengurangi Efek Kavitasi

Nu Rhahida Arini¹, Desy Ramadhani², Lohdy Diana³, Reihan Rizky Reivanda⁴

^{1,2,3,4}Sistem Pembangkit Energi, Mekanika dan Energi, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

¹arini@pens.ac.id, ²ramadhani.desy.dr@gmail.com, ³lohdy@pens.ac.id, ⁴reihanrizky19@gmail.com

Abstract

A centrifugal pump utilizes pressure energy, which is generated by the kinetic energy of involute impeller rotation. A common issue in pump operation is cavitation, a physical phenomenon that occurs when the static pressure of the fluid drops below its saturation pressure, causing the fluid to boil. This phenomenon affects the pump, leading to problems such as shockwaves and erosion, which must be minimized. This research aimed to investigate the influence of pump impeller modifications in reducing the cavitation effect using the computational fluid dynamics (CFD) method. The modifications focused on adjusting the inlet and outlet angles of the pump impeller. A 3D CFD model was developed using OpenFOAM, a CFD software tool, and the cavitation number (Ca) was used as the primary parameter to measure cavitation levels. Additionally, Ca was compared to a reference cavitation number, calculated based on the saturated pressure, while cavitation points at the impeller inlet and outlet were visualized using Paraview software. The results showed that a pump impeller with a blade inlet angle (β_1) of 21,69° resulted in 39.157 cavitation points, whereas modifying β_1 to 38,66° reduced the cavitation points to 32.778, thus decreasing the cavitation points by 6.379. This confirmed that modifying β_1 significantly reduces the cavitation effect.

Keywords: Cavitation number, Impeller, Centrifugal pump, OpenFOAM, CFD

Abstrak

Pompa sentrifugal memanfaatkan energi tekanan yang dihasilkan oleh energi kinetik dari putaran impeller berbentuk involute. Masalah umum dalam operasi pompa adalah kavitasi, yaitu fenomena fisik yang terjadi ketika tekanan statis fluida turun di bawah tekanan saturasinya, sehingga menyebabkan fluida mendidih. Fenomena ini memengaruhi pompa dengan menimbulkan masalah seperti gelombang kejut dan erosi, yang harus diminimalkan. Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki pengaruh modifikasi impeller pompa dalam mengurangi efek kavitasi menggunakan metode dinamika fluida komputasi (CFD). Modifikasi dilakukan dengan menyesuaikan sudut masuk dan keluar pada impeller pompa. Model CFD 3D dikembangkan menggunakan OpenFOAM, sebuah perangkat lunak CFD, dan angka kavitasi (Ca) digunakan sebagai parameter utama untuk mengukur tingkat kavitasi. Selain itu, Ca dibandingkan dengan angka kavitasi referensi yang dihitung berdasarkan tekanan saturasi, sementara titik-titik kavitasi pada bagian masuk dan keluar impeller divisualisasikan menggunakan perangkat lunak Paraview. Hasil penelitian menunjukkan bahwa impeller pompa dengan sudut masuk bilah (β_1) sebesar 21,69° menghasilkan 39.157 titik kavitasi, sedangkan modifikasi β_1 menjadi 38,66° mengurangi titik kavitasi menjadi 32.778, sehingga menurunkan jumlah titik kavitasi sebanyak 6.379. Hal ini mengonfirmasi bahwa modifikasi β_1 secara signifikan dapat mengurangi efek kavitasi.

Kata kunci: Angka kavitasi, Impeller, Pompa sentrifugal, OpenFOAM, CFD

Diterima Redaksi : 2024-09-22 | Selesai Revisi : 2024-12-30 | Diterbitkan Online : 2025-03-03

1. Pendahuluan

Pompa sentrifugal banyak digunakan di industri, terutama dalam proses pengolahan dan distribusi air. Banyak pompa sentrifugal dirancang untuk beroperasi terus menerus dalam jangka waktu yang lama. Beberapa keunggulan pompa sentrifugal adalah harga yang relatif murah, konstruksi pompa sederhana, pemasangan dan perawatan yang mudah, kapasitas tekanan yang tinggi, keandalan dan daya tahan yang tinggi [1]. Namun

demikian dalam pengoperasian pompa sentrifugal banyak dijumpai kendala, diantaranya adalah kavitasi. Kavitasi adalah fenomena yang terjadi ketika fase uap muncul pada aliran fluida yang disebabkan oleh terjadinya penurunan tekanan, hingga lebih rendah daripada tekanan jenuh fluida. Penurunan tekanan ini disebabkan karena impeller berputar dengan kecepatan tinggi sehingga tekanan statis di sekitar impeller menurun dan mengakibatkan pendidihan (*boiling*). Kerugian yang disebabkan oleh kavitasi meliputi:



Lisensi
Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional

getaran, peningkatan tingkat kebisingan, efek lubang pada *impeller* (erosi dan korosi) yang dapat mengakibatkan penurunan kinerja pompa [2], [3]. Pada saat kavitasi, aliran fluida menjadi dua fase yang terdiri dari fase cair dan uap. Transisi fase ini terjadi karena perubahan tekanan hidrodinamik [4], [5], [6] yang ditandai dengan munculnya titik kavitasi. Pada titik kavitasi yang berkembang sepenuhnya, tekanan total pompa turun sehingga terjadi pendidihan dan aliran menjadi sangat bergejolak. Karakteristik fluida di sekitar *impeller* pada saat terjadinya kavitasi merupakan evaluasi yang penting [7], [8]. *Impeller* yang baik dapat ditinjau dari tekanan statis dan kecepatan relatif pada saat beroperasi [9]. Karakteristik kavitasi menggunakan pendekatan perhitungan bilangan thoma dengan nilai kecepatan tertentu. Besarnya bilangan thoma (σ) yang merupakan parameter kavitasi pada pompa, dapat diketahui pada pengujian maupun pemodelan. Parameter yang mempengaruhi laju kavitasi diantaranya adalah kapasitas, rotasi motor, dan tekanan hisap [10], [11]. Pada evaluasi awal, kavitasi dapat dilakukan dengan menentukan seberapa dekat tekanan fluida terhadap tekanan jenuhnya. Kedekatan ini sebagian besar diukur melalui konstanta yang disebut "Bilangan Kavitasi" (*Cavitation Number*). Tujuan penelitian adalah untuk mengurangi efek kavitasi pada pompa dengan memodifikasi sudut masuk (*inlet angle*) *impeller* pompa menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dan menghitung jumlah titik kavitasi. Dimana penelitian bertujuan untuk mengetahui seberapa besar hasil kavitasi yang terjadi pada pompa sentrifugal dengan melakukan beberapa variasi.

2. Metode Penelitian

2.1. Diagram Alir Penelitian

Dalam bab ini membahas diagram alir dan simulasi yang menggunakan *OpenFOAM* metode yang digunakan pada penelitian ini

2.1.1 Data Masukan

Untuk melakukan penelitian ini diperlukan data masukan seperti tipe pompa yang akan digunakan yaitu tipe *closed impeller*, jenis pompa yang digunakan yaitu pompa sentrifugal, tekanan pompa secara umum dihasilkan $\leq$ tekanan saturasi, dan tekanan kavitasi pompa secara general yang diperlukan diperoleh dari jurnal sebesar 1372,9 Pa.

2.1.2. Perumusan Masalah

Perumusan masalah bertujuan untuk menentukan arah penelitian yang akan dilakukan. Rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana pengaruh modifikasi sudut *inlet impeller* terhadap fenomena kavitasi pada pompa sentrifugal.

2.1.3. Studi Literatur

Studi literatur bertujuan untuk memahami pompa sentrifugal, *pressure coefficient*, dan metode simulasi menggunakan *CFD OpenFOAM*. Selain itu, studi literatur tentang penelitian sebelumnya digunakan pada proyek akhir ini sebagai salah satu bentuk referensi yang menunjang penelitian.

2.1.4. Pengambilan Data untuk Simulasi

Pengambilan data dilakukan pada industri. Data yang diambil antara lain geometri dan data kondisi *inlet* dan *outlet* fluida pada pompa sentrifugal. Pengambilan data ini bertujuan untuk menggambarkan geometri maupun keadaan sesuai dengan aslinya pada industri. Dikarenakan memerlukan data geometri dan kondisi operasi, maka tabel pengambilan data ini seperti pada Tabel 1.

2.1.5. Pembuatan Geometri *Impeller* Pompa Sentrifugal

Pembuatan geometri dilakukan dengan menggunakan data yang telah diperoleh pada industri sebagai acuan untuk memodifikasi *impeller* pompa sentrifugal seperti Tabel 1.

2.1.6. Penentuan *Boundary* dan *Initial Condition*

Sebelum dilakukan simulasi, dilakukan penentuan *boundary* dan *initial condition* untuk memasukkan parameter-parameter yang digunakan seperti kecepatan dan tekanan.

2.1.7. Simulasi *CFD OpenFOAM*

Simulasi menggunakan *CFD OpenFOAM* dilakukan dengan 3 tahap, yaitu *preprocessing*, *processing*, dan *postprocessing*. Pada tahapan *preprocessing*, dilakukan meshing dan pemodelan geometri dari *impeller* sesuai dengan keadaan aslinya. Setelah *preprocessing*, pada tahap *processing*, dilakukan simulasi dengan memasukkan data keadaan atau *boundary condition* pompa dan memilih pemodelan yang sesuai. Pada tahap terakhir atau *postprocessing*, dilakukan pengambilan data secara kuantitatif maupun kualitatif (kontur). Khusus untuk data kuantitatif digunakan untuk validasi.

2.1.8 Validasi Hasil Simulasi

Validasi bertujuan untuk menyesuaikan data hasil simulasi (tekanan *output*) dengan data hasil yang didapat pada industri (tekanan *output* pada keadaan sebenarnya).

2.1.9 Pengambilan Data Kontur Tekanan dan Kecepatan

Pengambilan data tersebut bertujuan untuk mengetahui distribusi tekanan dan fenomena kavitasi pada *impeller* pompa sentrifugal.

2.1.10. Perhitungan *Cavitation Number* (Ca)

Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui nilai kavitasi dan seberapa parah kavitasi yang terjadi pada *impeller* pompa sentrifugal.

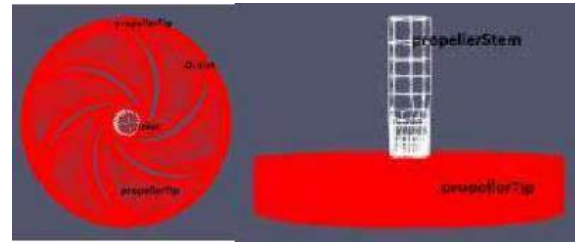
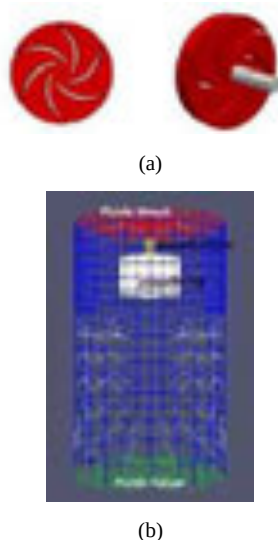
2.1.11. Analisa Hasil

Setelah didapatkan data secara kuantitatif dan kualitatif yang sudah di validasi, dilakukan analisis kavitasi pada *impeller* pompa sentrifugal menggunakan distribusi tekanan yang terjadi pada *impeller* dan perhitungan seberapa banyak bagian yang terjadi kavitasi. Selain itu juga membandingkan kinerja pompa sentrifugal original pada industri dengan modifikasi. Pada analisis data sesuai dengan hasil simulasi yang telah valid.

2.2. Pemodelan Kavitasi di OpenFOAM

CFD sebagai metode numerik telah teruji dapat memprediksi masalah kavitasi. Metode ini juga menawarkan keunggulan diantaranya biaya yang rendah dalam aspek investasi dan operasional dibandingkan dengan metode eksperimental. Pemodelan CFD pada kavitasi telah dilakukan oleh beberapa peneliti dan memberikan hasil yang baik [12], [13]. Pada penelitian ini metode CFD akan dikerjakan dengan menggunakan OpenFOAM, yaitu salah satu software CFD. Solver yang digunakan adalah *Inter Phase Change Foam* pada OpenFOAM untuk mensimulasikan fenomena aliran kavitasi di sekitar pompa *impeller* sentrifugal. Solver tersebut menggunakan Model Persamaan Transportasi (*Transport Equation Model* - TEM) fraksi volume untuk memprediksi distribusi fase. Beberapa model perubahan fase diintegrasikan ke dalam solver untuk memodelkan kavitasi. Prosedur yang digunakan dalam metode CFD ini adalah sebagai berikut :

2.2.1. *Pre – Processing* : Tahap ini digunakan untuk membangun ruang (*domain*) yang akan dipecahkan, sebelum mensimulasikan model, dalam hal ini adalah *impeller*. Domain tersebut didiskritisasi menjadi bagian kecil (*cell*). Desain geometri *impeller* dan topologi domain dan diberikan pada Gambar 1a-c:

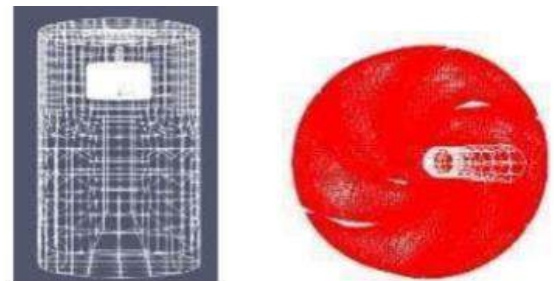


(c)

Gambar 1. (a) Geometri *impeller* pompa sentrifugal, (b) Geometri ruang (*domain*), (c) Diskritisasi *impeller*

Pemilihan Solver, solver yang digunakan adalah *Inter Phase Change Foam* dengan *subsolver propeller* yang cocok untuk memodelkan fluida *incompressible*, *turbulensi*, dan kavitasi.

2.2.2. *Meshing* : Membagi volume atur geometris menjadi elemen yang lebih kecil dan lebih halus untuk mendapatkan hasil yang lebih konvergen pada saat simulasi.



Gambar 2. *Meshing Impeller*

2.2.3. *Processing* : Tahapan pemecahan masalah dengan memasukkan kondisi yang akan diamati atau mensimulasikan geometri. Pengaturan simulasi pada file "*Control Dict*" dengan mengganti nilai *Courant Number* (Co) menjadi 2 dan memodifikasi kondisi batas dan kondisi awal pada "*folder 0*" yang mencakup tekanan dan kecepatan. Dalam TEM fluida *incompressible*, persamaan yang terlibat terdiri dari persamaan kontinuitas, persamaan momentum fluida, dan persamaan TEM fraksi volume. Persamaan kontinuitas dan momentum ditulis dalam Persamaan 1 dan 2.

$$\frac{\partial \rho m}{\partial t} + \frac{\partial (\rho m \bar{u}_1)}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

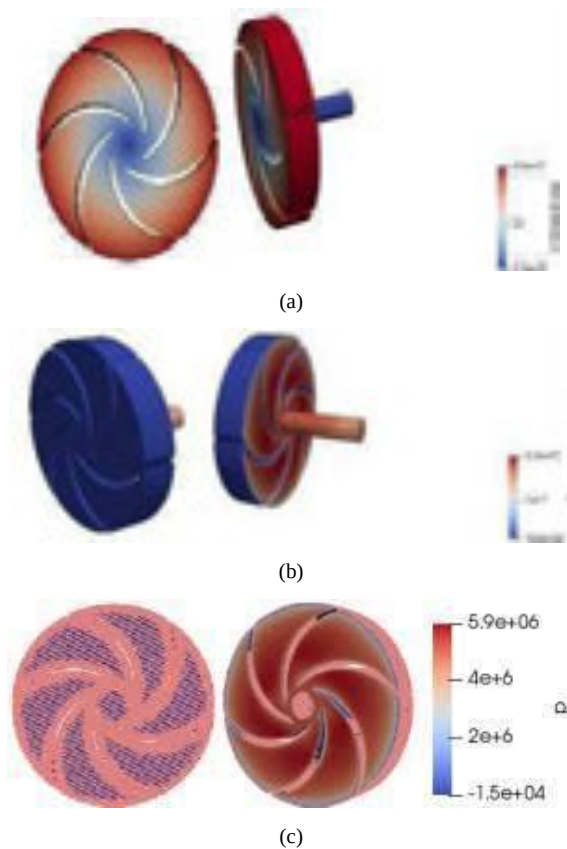
$$\frac{\partial (\rho m \bar{u}_1)}{\partial t} + \frac{\partial (\rho m \bar{u}_{1u_j})}{\partial t} = - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{S}_{1j} - \bar{B}_{1j}) + \rho m g_i \quad (2)$$

Persamaan fraksi volume cairan diberikan pada persamaan 3

$$\frac{\partial a_1}{\partial t} + \frac{\partial (a_1 \bar{u}_1)}{\partial x_i} = \frac{\dot{m}}{\rho_1} \quad (3)$$

a_1 adalah fraksi volume cair, $\dot{m}$ adalah laju perubahan fase antara fase uap dan cair, u adalah kecepatan fluida, p adalah tekanan dan ρ adalah densitas.

2.2.4. *Post Processing* : Fase visualisasi data simulasi. Dalam post processing, visualisasi yang dapat dilihat meliputi kontur kecepatan dan kontur tekanan seperti yang diberikan pada Gambar 3a-c :



Gambar 3. Countur *impeller* : (a) Kontur kecepatan, (b) Kontur tekanan, (c) Visualisasi titik kavitasi *OpenFOAM*

2.3. Detail Model Geometri

Data yang diperlukan untuk desain *impeller* meliputi geometri *inlet* dan *outlet fluida* pada pompa sentrifugal. Modifikasi geometri *impeller* dilakukan untuk mengurangi efek kavitasi. Modifikasi dilakukan pada memvariasikan sudut masuk *impeller (impeller inlet angle)* menjadi 38,66° dari sudut asli 21,69°. Model geometri *impeller* selengkapnya ditunjukkan pada Gambar 4 dan Tabel 1. Selanjutnya penentuan kondisi batas dan kondisi awal dilakukan dengan memasukkan parameter yang ditunjukkan pada Tabel 1. Untuk memvalidasi data keluaran *impeller*, data hasil simulasi dibandingkan dengan data operasional industri seperti yang diberikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Tabel Data Properti *Impeller* Pompa Sentrifugal

Parameter	Data Simulasi	Data Industri	Unit
Jumlah Blade	6	6	-
Inlet Diameter di <i>Impeller</i>	23	-	Milimeter
Outlet Diameter di <i>Impeller</i>	113	-	Milimeter
	21,69	-	Derajat

Parameter	Data Simulasi	Data Industri	Unit
Sudut Inlet Blade	38,66	-	Derajat
Sudut Outlet Blade	30,80	-	Derajat
Kecepatan	65,5	33,94	m/s
Debit	-	60	m ³ /jam
Diameter	-	218	Milimeter



Gambar 4. Geometri *Impeller*

Data simulasi dan industri mempunyai Bilangan Reynolds (*Re*) yang sama atau serupa. Persamaan *Re* diberikan pada Persamaan 4.

$$Re_1 = Re_2 \quad (4)$$

$$\frac{\rho V_1 D_1}{\mu} = \frac{\rho V_2 D_2}{\mu} \quad (5)$$

$$V_1 D_1 = V_2 D_2 \quad (6)$$

Dengan *V* adalah kecepatan dan *D* adalah ukuran objek. Tanda 1 dan 2 menyatakan kasus simulasi dan industri. Perhitungan Persamaan 4 untuk mengetahui besar kecepatan aktual yang harus digunakan pada simulasi, yaitu 65,5 m/s. Sedangkan tekanan yang dipakai adalah sama dengan tekanan di industri. Nilai persentase kesalahan dapat dihitung dengan persamaan :

$$Error(\%) = \left| \left(\frac{(simulation\ valve - actual\ value)}{actual\ valve} \right) \right| \times 100 \% \quad (7)$$

Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa simulasi CFD yang dilakukan adalah pengambilan data kualitatif dan kuantitatif. Data kualitatif berguna untuk mengetahui distribusi tekanan pada *impeller* pompa sentrifugal. Sedangkan data kuantitatif diolah dan dihitung nilai bilangan kavitasi yang bertujuan untuk mengetahui fenomena distribusi kavitasi pada *impeller* pada setiap variasi *impeller inlet angle*.

Cavitation number (*Ca*) atau bilangan kavitasi adalah bilangan nondimensi yang menggambarkan hubungan antara perbedaan tekanan absolut lokal dari tekanan uap dan energi kinetik per volume, dan digunakan untuk mengkarakterisasi potensial aliran untuk kavitasi [14]. *Cavitation number* dapat didefinisikan sebagai Persamaan 8:

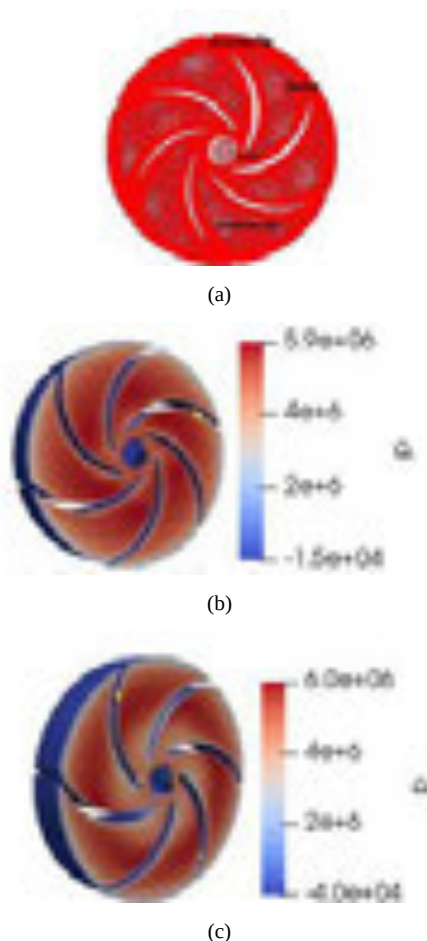
$$Ca = \frac{p - p_v}{\frac{1}{2} \rho V^2} \quad (8)$$

p adalah Tekanan dalam aliran cairan (Mpa), V adalah Kecepatan aliran (m/s), p_v adalah Tekanan dalam uap (Mpa), ρ adalah Kepadatan (kg/m³)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Meshing dan Kondisi Batas

Dalam penelitian ini, prosedur dimulai dengan mengembangkan model numerik dengan menggunakan *unstructured mesh* seperti pada Gambar 5a. Jumlah sel (cell) sebanyak 147.159. Pada simulasi ini *Courant Number* (Co) diatur sebesar 2. Dari hasil simulasi selanjutnya dihitung bilangan kavitasi yang disajikan pada Tabel 4.



Gambar 5. (a) Meshing di OpenFOAM, (b) Visualisasi Titik Kavitas pada Geometri Asli, (c) Visualisasi Titik Kavitas pada Impeller Inlet Variasi

Tabel 2 berisi perhitungan bilangan kavitasi untuk menentukan terjadinya kavitasi pada *impeller*. Visualisasi titik kavitasi dapat dilihat pada Gambar 5b. Dari Gambar 5b menunjukkan distribusi lokasi kavitasi pada *impeller* pompa sentrifugal yang ditandai dengan titik-titik kuning yang tersebar di sekitar *impeller*. Terjadinya kavitasi berawal pada sisi hisap tepi saluran masuk *impeller*. Selanjutnya gelembung kavitasi tumbuh dengan cepat di sepanjang sisi *outlet impeller* [15].

Tabel 2.
Tabel Bilangan Kavitasi yang Dihitung pada Sudut Masuk 21,69°

No	P (Mpa)	Pv (Mpa)	V (Magnitudo)	ρ	Ca	Ca Reff	Kavitasi/ Non Kavitasi
1	5,206	0,049	34,627	0,9957	0,0086	0,01	Kavitasi
2	5,116	0,049	35,143	0,9957	0,0082	0,01	Kavitasi
3	4,414	0,049	35,430	0,9957	0,0070	0,01	Kavitasi
4	2,302	0,049	35,628	0,9957	0,0036	0,01	Kavitasi
5	1,902	0,049	36,091	0,9957	0,0029	0,01	Kavitasi
6	3,757	0,049	36,058	0,9957	0,0057	0,01	Kavitasi
7	5,090	0,049	35,859	0,9957	0,0079	0,01	Kavitasi
8	4,891	0,049	36,264	0,9957	0,0074	0,01	Kavitasi
9	4,812	0,049	38,847	0,9957	0,0070	0,01	Kavitasi
10	5,020	0,049	36,467	0,9957	0,0075	0,01	Kavitasi

Tabel 3 berisi perhitungan angka kavitasi untuk menentukan terjadi titik kavitasi pada *impeller*. Visualisasi titik kavitasi dapat dilihat pada Gambar 5c. yang dinyatakan dengan titik-titik kuning yang tersebar di sekitar *outlet impeller* [16].

Tabel 3.
Tabel Bilangan Kavitasi yang Dihitung pada Sudut Masuk 38,66°

No	P (Mpa)	Pv (Mpa)	V (Magnitudo)	ρ	Ca	Ca Reff	Kavitasi/ Non Kavitasi
1	1,721	0,049	38,117	0,9957	0,0023	0,01	Kavitasi
2	3,736	0,049	37,930	0,9957	0,0051	0,01	Kavitasi
3	3,030	0,049	37,461	0,9957	0,0043	0,01	Kavitasi
4	1,372	0,049	37,803	0,9957	0,0019	0,01	Kavitasi
5	1,729	0,049	38,117	0,9957	0,0023	0,01	Kavitasi
6	3,751	0,049	37,930	0,9957	0,0052	0,01	Kavitasi
7	3,02	0,049	37,461	0,9957	0,0043	0,01	Kavitasi
8	1,380	0,049	37,803	0,9957	0,0019	0,01	Kavitasi
9	3,457	0,049	10,608	0,9957	0,0608	0,01	Kavitasi
10	4,123	0,049	10,813	0,9957	0,0700	0,01	Kavitasi

Hasil perhitungan *cavitation number* dan visualisasi gambar menunjukkan bahwa kavitasi dapat dideteksi di sekitar *outlet impeller*. Jumlah titik kavitasi yang terjadi di sekitar *impeller* dengan sudut masuk asli adalah 32778 poin seperti yang disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Tabel Titik Simulasi

No	Geometri Impeller	Point
1	Asli	39157
2	Sudut Inlet	32778

Dari Tabel 4, intensitas kavitasi dalam pompa bergantung pada sudut saluran masuk *impeller*. Hal ini sangat mempengaruhi distribusi tekanan [17], [18]. Modifikasi sudut masuk dapat mengurangi jumlah titik kavitasi sebesar 6379 titik sehingga dapat disimpulkan kavitasi berkurang.

4. Kesimpulan

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan dapat disimpulkan titik kavitasi di sekitar *impeller* pompa sentrifugal yang sangat mirip dengan geometri *impeller* pompa asli. Untuk menghindari kavitasi dalam pompa,

cadangan tekanan dibandingkan dengan tekanan uap fluida yang diperlukan di zona hisap *impeller*. Hasil simulasi menggunakan *impeller* pompa dengan sudut inlet blade (β_1) = 21,69° dapat mendeteksi titik kavitasi 39157 dan kemudian dimodifikasi dengan (β_1) = 38,66° dan titik kavitasi 32778. *Impeller* dengan memodifikasi sudut masuk dalam penurunan 6379 poin yang menandakan terjadinya pengurangan fenomena kavitasi.

Daftar Rujukan

- [1] 'Energy Statistics Data Browser – Data Tools', IEA. Accessed: Mar. 31, 2024.
- [2] Sun, X., You, W., Xuan, X., Ji, L., Xu, X., Wang, G., ... Chen, S. "Effect of the cavitation generation unit structure on the performance of an advanced hydrodynamic cavitation reactor for process intensifications". *Chemical Engineering Journal*, 412, 128600. 2021.
- [3] Zupanc, M., Pandur, Ž., Perdihi, T. S., Stopar, D., Petkovšek, M., & Dular, M. "Effects of cavitation on different microorganisms: the current understanding of the mechanisms taking place behind the phenomenon. A review and proposals for further research. *Ultrasonics Sonochemistry*". 2019.
- [4] M. D. Arifin, D. Faturachman, F. Octaviani, and K. A. Sulaeman, "Analysis of the Effect of Changes in Pitch Ratio and Number of Blades on Cavitation on CPP," *Int. J. Mar. Eng. Innov. Res.*, vol. 5, no. 4, pp. 255–264, 2020, doi: 10.12962/j25481479.v5i4.8285.
- [5] Mohammad Danil, Arifin and Danny, Faturachman and Fanny, Octaviani and Karina, Adinda. "Analysis of the Effect of Changes in Pitch Ratio and Number of Blades on Cavitation on CPP". *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, 5 (4). pp. 255-264. ISSN 2541-5972. 2020.
- [6] Q Deng, J Pei, W Wang, B Lin, C Zhang, J Zhao. "Energy loss and force variation caused by *impeller* trimming in a double suction centrifugal pump", *Entropy*. 2021. <https://doi.org/10.3390/e23091228>
- [7] Wencai Zhu, Zhirong Li, Ruqi Ding. "Effect of pitch ratio on the cavitation of controllable pitch propeller" *Ocean Engineering*. 2024.
- [8] Q Li, S Li, P Wu, B Huang, D Wu - Chinese Journal of Mechanical ..., "Investigation on reduction of pressure fluctuation for a double suction centrifugal pump". 2021.
- [9] X. Han, Y. Kang, D. Li, and W. Zhao, "Impeller optimized design of the centrifugal pump: A numerical and experimental investigation," *Energies*, vol. 11, no. 6, 2018, doi: 10.3390/en11061444.
- [10] XQ Jia, Y Zhang, H Lv, ZC Zhu - Physics of Fluids, "Study on external performance and internal flow characteristics in a centrifugal pump under different of cavitation". 2023. <https://doi.org/10.1063/5.0133377>.
- [11] X Wang, Y Wang, H Liu, Y Xiao, L Jiang, M Li - International Journal of Heat ..., "A numerical investigation on energy characteristics of centrifugal pump for cavitation flow using entropy production theory". *Elsevier*. 2023. doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2022.123591.
- [12] Z E. B. Maxime Binama, Alex Muhiwa, "Cavitation effects in centrifugal pumps- A review," *Int. J. Eng. Res. Appl.*, vol. 6, no. 5, pp. 52–63, 2016.
- [13] Feng Hong, Hailin Tian, Xi Yuan, Shuchang Lin, Qintian Peng, Yan Shi, Lei Jin, Liqun Ye, Jimping Jia, Diwen Ying, Thomas Stephen Ramsey, Yingping Huang, "CFD-assisted modeling of the hydrodynamic cavitation reactors for wastewater treatment", 2022. doi.org: 10.1016/j.jenvman.2022.115982
- [14] P Lin, D Hu, JM Lu, S Wang - Advances in Mechanical, "CFD numerical simulation of sand-contained cavitation characteristics of axial-flow pump". 2021. doi.org/10.1177/1687814021103278.
- [15] F. and McDonald's, Fluid Mechanics, 8th edition.
- [16] Mali, C. R., Patwardhan, A. W., Pandey, G. K., Banerjee, I., & Vinod, V. "CFD study on the effect of various geometrical parameters of honeycomb type orifices on pressure drop and cavitation characteristics. *Nuclear Engineering and Design*", 370, 110880. 2020. doi:10.1016/j.nucengdes.2020.1108.
- [17] Y Huan, Y Liu, X Li, Z Zhu, J Qu, L Zhe, A Han. "Experimental and numerical investigations of cavitation evolution a high speed centrifugal pump". Volume-33, page 140-149, 2021.
- [18] I Kassanos, I Anagnostopoulos - Cavitation and Bubble Dynamics, "Cavitation in hydraulic turbines". 2021.



Analysis of Factors Influencing Contractor Performance in Supporting Infrastructure Sovereignty in North Sulawesi

Anneke Elisabeth Rattu¹, Gerel Herke Tulungen², Nicolas Willem James Mandagi³, Joni Kutu' Kampilong⁴, Jendry Masinambow⁵

^{1,2,3,4,5} Universitas Kristen Indonesia Tomohon

¹annekearattu@gmail.com*, ²gerelltulungen21@gmail.com, ³mandaginicolas@gmail.com, ⁴jonikutu@ukit.ac.id, ⁵masinambowjendry@gmail.com

Abstract

This research analyzes the factors influencing contractor performance in supporting infrastructure sovereignty in North Sulawesi. The research method uses a quantitative descriptive approach by collecting primary data through questionnaires and structured interviews with contractors involved in infrastructure projects. A cluster sampling technique was used to select samples from various regions in North Sulawesi. Analysis shows that the main factors influencing contractor performance are the availability of capital, competition from similar projects, and the timeliness of client payments. The availability of adequate capital is considered crucial to ensure the smooth implementation of the project. Intense competition compels contractors to lower prices, impacting profit margins and work quality. Timeliness of payments is essential to maintain the contractor's cash flow and financial stability. Other factors, such as changes in government regulations and licensing bureaucracy, also influence performance, but with more variable effects. This research provides recommendations for contractors to strengthen financial management, adapt to competitive pressures, and improve collaboration with stakeholders to ensure the success of infrastructure projects.

Keywords: *Contractor Performance, Infrastructure, Capital Availability, North Sulawesi, Government Regulations*

Abstrak

Penelitian ini menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi kinerja kontraktor dalam mendukung kedaulatan infrastruktur di Sulawesi Utara. Metode penelitian menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan pengumpulan data primer melalui kuesioner dan wawancara terstruktur kepada kontraktor yang terlibat dalam proyek infrastruktur. Teknik cluster sampling digunakan untuk memilih sampel dari berbagai wilayah di Sulawesi Utara. Berdasarkan hasil analisis, faktor yang paling dominan memengaruhi kinerja kontraktor adalah ketersediaan modal, kompetisi dengan proyek serupa, dan ketepatan waktu pembayaran dari klien. Ketersediaan modal yang memadai dianggap krusial untuk memastikan kelancaran pelaksanaan proyek. Sementara itu, kompetisi yang ketat memaksa kontraktor menawarkan harga kompetitif, yang dapat berdampak pada margin keuntungan dan kualitas pekerjaan. Ketepatan waktu pembayaran penting untuk menjaga arus kas dan stabilitas finansial kontraktor. Faktor lain, seperti perubahan regulasi pemerintah dan birokrasi perizinan, juga memengaruhi kinerja, namun dengan pengaruh yang lebih variabel. Penelitian ini memberikan rekomendasi kepada kontraktor untuk memperkuat manajemen keuangan, beradaptasi dengan tekanan kompetitif, dan meningkatkan kerja sama dengan pemangku kepentingan untuk memastikan kesuksesan proyek infrastruktur.

Kata kunci: *Kinerja Kontraktor, Infrastruktur, Ketersediaan Modal, Sulawesi Utara, Regulasi Pemerintah.*

Diterima Redaksi : 2024-09-30 | Selesai Revisi : 2024-10-09 | Diterbitkan Online : 2025-03-03



1. Introduction

Infrastructure development is a key element in economic growth and improving the social welfare of a region. Strong and well-functioning infrastructure not only accelerates the movement of goods and services, but also creates better access to education, health, and other public services [1]. In the context of Indonesia, especially North Sulawesi, infrastructure development has a strategic role considering the geostrategic position of this region. North Sulawesi is located on an international trade route connecting Southeast Asia with countries in the Pacific, and directly borders the Philippines. This geographical advantage makes North Sulawesi an important gateway for regional trade and economic interaction [2].

Infrastructure development in North Sulawesi has experienced rapid development in recent years. This is in line with the government's program to strengthen the eastern part of Indonesia as a new growth center [3]. One of the strategic projects is the Bitung Special Economic Zone, which is designed to be an industrial and logistics center with direct access to international trade routes. However, many infrastructure projects in this region face various challenges, ranging from limited materials, geographical constraints, to complex regulations [4]. Contractor performance is one of the most crucial aspects in ensuring that projects can be completed on time with the expected quality.



Figure 1. Number of Construction Companies/Businesses by Business Entity Form in North Sulawesi Province, 2023 [5]

North Sulawesi, as a strategic region, requires strong and quality infrastructure. If the performance of contractors handling these projects is not optimal, the impact will spread to the economic, trade, and even international relations sectors. Infrastructure that is slow to build or does not meet standards can reduce the region's competitiveness in attracting investment and developing trade potential [5]. Therefore, it is important to examine and understand in depth what factors influence contractor performance, as well as what solutions can be taken to overcome existing obstacles.

Table 1. Construction Companies of North Sulawesi Province, 2023

Regency/City	PT/PT Persero	CV	Total
Bolaang	3	49	52
Mongondow	31	188	219
Minahasa	24	128	152
Sangihe Islands	7	72	79
Talaud Islands	4	108	112
South Minahasa	22	64	86
North Minahasa	1	52	53
North Bolaang	0	19	19
Mongondow	3	44	47
Siau Tagulandang Biaro	3	23	26
Southeast Minahasa	0	21	21
South Bolaang	175	327	502
Mongondow	46	150	196
East Bolaang	19	84	103
Mongondow	4	132	136
Manado	343	1460	1803
Bitung			
Tomohon			
Kotamobagu			
Total			

In Table 1 know that the infrastructure development process, contractors play an important role as the main implementers in the field. Contractor performance determines the extent of quality, time, and cost.

Construction can be maintained according to plan. However, contractor performance is often influenced by various factors both internal and external. These factors include internal management, resource availability, government regulatory involvement, and unexpected environmental conditions [6]. In North Sulawesi, infrastructure development faces its own challenges, such as difficult to access geographical conditions and dependence on raw materials and technology from outside the region. The urgency of this research lies in the need to understand the factors that influence contractor performance in supporting infrastructure sovereignty in North Sulawesi. Currently, large projects such as the development of the Bitung Special Economic Zone and various other infrastructure initiatives require contractors who are able to work effectively and independently. By identifying the factors that influence their performance, this research is expected to provide recommendations for improving the efficiency and quality of infrastructure projects in the region.

This study aims to identify and analyze factors that influence contractor performance in supporting infrastructure sovereignty in North Sulawesi. By understanding these factors, this study is expected to provide strategic recommendations that can help contractors, the government, and other stakeholders to improve effectiveness and efficiency in infrastructure development.



Figure 2. Construction Business by Regency/City in North Sulawesi Province, 2023 [5]

tend to face problems with late payments to workers and suppliers, which can ultimately delay project completion and reduce the quality of the final result. Therefore, good financial management is an important determinant in the smooth implementation of infrastructure projects.

Another factor that determines contractor performance is human resource management. Contractors who have a team with good technical competence are better able to face challenges that arise during the construction process [13]. Effective workforce management is not only related to the availability of workers, but also to the skills, discipline, and coordination between team members. Skilled and trained workers can increase project productivity and minimize the risk of errors or work accidents [14].

1.1 Contractor Performance

Contractor performance is one of the key factors that determines the success of an infrastructure project [7]. The contractor's ability to carry out its duties is greatly influenced by various important elements, such as managerial ability, efficient use of resources, and the ability to overcome obstacles and risks that may arise during the construction process [8]. According to Purwanto (2018), these aspects are closely related to each other in forming optimal contractor per If project management is ineffective or if resources are not managed properly, contractor performance can decline, which in turn negatively impacts the quality and time of the project.

One of the important factors that affects contractor performance is project management. Contractors must be able to manage every stage of the project, starting from formance [9]. If management project is not effective or if resources are not managed properly, contractor performance can decline, which in turn has a negative impact on the quality and completion time of the project.

One of the important factors that affects contractor performance is project management. Contractors must be able to manage every stage of the project, from planning, budgeting, to implementation [10]. Good project management performance is characterized by the use of technology, close monitoring of project developments, and quick response to changes or problems that arise in the field. In this context, time and resource management becomes crucial so that the project can be completed according to the schedule and quality standards that have been set [11].

In addition, proper financial management is also a critical aspect that affects contractor performance. Efficient and controlled use of funds ensures that the project can run without financial obstacles [12]. Contractors who are unable to manage cash flow well

No less important is the contractor's ability to manage risk. In every infrastructure project, there are always risks that must be faced, both those related to natural conditions, such as extreme weather and natural disasters, as well as technical and operational risks, such as delays in material delivery or technical problems in the field [15]. A good contractor should be able to identify these risks early on and have an effective mitigation strategy in place. Without proper risk management, a project can experience serious setbacks that result in increased costs and time to completion [16].

Contractor performance is greatly influenced by how they manage various managerial and operational aspects during the project like Table 2. Good project management, proper financial management, skilled human resources, and effective risk management are the keys to achieving successful, timely, and budgeted project outcomes [17]. In a region like North Sulawesi, where geographical and environmental challenges are significant, the contractor's ability to handle these factors becomes increasingly important to ensure the smooth and sustainable development of quality infrastructure [18].

Table 2. Contractor Performance

Performance Indicator	Description
Time Performance	Ability to complete the project according to the specified schedule.
Quality of Work	Conformity of the work results with the agreed quality standards.
Cost Performance	Ability to manage the project budget without significant cost overruns.
Safety Performance	Ability to maintain a safe working environment and minimize accidents.
Productivity	Effectiveness in using resources to complete the work.
Client Satisfaction	Client satisfaction with the results that meet expectations.
Risk Management	Ability to identify, analyze, and manage project risks.
Compliance with Regulations	Compliance with applicable rules and standards.
Resource Management	Effectiveness in using materials, labor, and equipment in the project.

1.2 Infrastructure Sovereignty

Infrastructure sovereignty is a very important concept for a country's independence in managing its strategic assets. These assets include key infrastructure such as highways, ports, airports, and energy networks, which serve as the backbone of the national economy and defense [19]. This sovereignty ensures that the state has full control over these assets, so that it is not dependent on outside parties for maintenance, management, or development. Thus, infrastructure sovereignty not only supports economic growth, but also strengthens the security and stability of the state [20].

In North Sulawesi, infrastructure sovereignty is becoming increasingly important considering the strategic position of this province as a gateway for international trade, especially with countries in the Asia Pacific region [21]. One real example of the application of this concept is the development of the Bitung Special Economic Zone (KEK), which is designed to be an industrial and logistics center in Eastern Indonesia. This project is one of the main indicators that North Sulawesi is heading towards infrastructure independence, where vital assets are managed effectively to drive regional economic growth [22]. Bitung Special Economic Zone is expected to reduce East Indonesia's dependence on other regions in terms of trade and industry, as well as strengthen North Sulawesi's position as a distribution center for goods to the Asia Pacific region.

The development of sovereign infrastructure in North Sulawesi also has a direct impact on increasing regional competitiveness. With adequate infrastructure, this province can attract more investment, both from within the country and abroad [23]. Improved accessibility through modern road, port and airport networks facilitates the flow of goods and services, which ultimately drives industrial growth and creates jobs. In addition, independent energy infrastructure such as power plants and strong distribution networks ensure stable energy availability to support industrial activities. However, the importance of infrastructure sovereignty is not only limited to the economic aspect. Full control over strategic assets also provides assurance that the infrastructure can be used for national interests in emergency or conflict situations. In the context of national security, ports, roads and energy networks that are independently managed by the state ensure that access to vital assets will not be disrupted by foreign influences, either political or economic. Thus, the development of sovereign infrastructure in North Sulawesi not only plays a role in strengthening the regional economy, but also provides strategic protection for national interests in border areas [24].

Infrastructure sovereignty in North Sulawesi is an important pillar for the long-term growth and stability of the region. Projects such as the Bitung Special Economic

Zone reflect a commitment to ensuring that the infrastructure built not only meets current economic needs, but is also ready to face future challenges in the context of globalization and evolving geopolitical dynamics.

1.3 Factors Affecting Contractor Performance

Contractor performance in infrastructure projects is influenced by a number of factors that can be categorized into several important aspects. One of the main categories is financial and economic factors, which include the availability of capital, competition with similar projects, and timely payments from clients [25]. The availability of adequate capital is the main foundation for the smooth implementation of the project, because without sufficient funds, the contractor cannot obtain materials, pay labor, or continue the work smoothly. In addition, the tight competition between similar projects often forces contractors to bid low prices, which can be risky for profit margins and quality of work. On the other hand, late payments from clients can hamper the contractor's cash flow and affect the continuity of the project [26].

The next factor that greatly affects contractor performance is politics and regulations. Sudden changes in government regulations or regulatory policies can create uncertainty for contractors. For example, unexpected changes in licensing requirements or fiscal policies can cause delays or increase project costs [27]. In addition, bureaucracy in the complicated licensing process often adds to the administrative workload of contractors, thus slowing down the pace of the project. Corrupt practices that occur during the tender process or in project implementation can also damage a healthy competitive climate, affecting the quality and transparency of infrastructure development [28].

On the other hand, technical and construction factors also play an important role in determining contractor performance. The availability of materials on time and according to specifications is very important to maintain the smooth implementation of the project. Without a stable supply of materials, the project can experience significant delays. In addition, the presence of skilled and experienced workers is a major determinant in ensuring that construction work can be completed according to expected standards. Physical conditions of the field, including accessibility and technical difficulties at the project site, are also factors that can affect the productivity and operational efficiency of the contractor. Environmental factors also cannot be ignored, especially in infrastructure projects located in areas with a high risk of natural disasters. Extreme weather conditions such as heavy rain, floods, or earthquakes can temporarily stop construction work, thus affecting project timeline [29]. Even if a natural

disaster does not occur directly, the threat of these environmental risks requires contractors to plan and allocate additional resources for risk mitigation, which in turn can increase costs and extend the duration of the project. Therefore, careful planning related to environmental factors is crucial for contractors involved in infrastructure projects in disaster-prone areas [30].

Table 3. Contractor Performance Factors

Category	Factors Affecting Contractor Performance
Financial and Economic Politics and Regulation	Availability of capital
	Competition with similar projects
	Timeliness of payment from clients
	Changes in government regulations
Technical and Construction	Bureaucracy in licensing
	Corrupt practices
	Availability of materials
Environment Category Financial and Economic	Availability of skilled labor
	Physical conditions of the field
	Other technical constraints
	Natural disasters
Politics and Regulation	Extreme weather conditions

Overall like in Table 3, contractor performance is heavily influenced by a combination of interrelated factors. Understanding and managing each category of these factors well is key to successfully completing infrastructure projects on time, on budget, and with high quality.

2. Research Methods

Research Approach This research uses a quantitative descriptive approach, which aims to identify and analyze factors that influence contractor performance in supporting infrastructure sovereignty in North Sulawesi [5]. The data collected came from respondents involved in infrastructure projects, especially registered and active contractor companies in the area.

Type of Research This research combines literature studies and field data. Literature studies were conducted to obtain a theoretical overview of the factors that influence contractor performance, while field data were collected through questionnaires and live interview with contractor involved in infrastructure projects in North Sulawesi.

2.1 Data Primer

This data was obtained directly from respondents through questionnaires and structured interviews. Respondents were contractors who participated in infrastructure projects in the North Sulawesi region. The questionnaire was designed to evaluate various factors,

such as financial, technical, regulatory, and environmental factors that affect their performance [31].

2.2 Secondary Data

Secondary data were collected from various literature sources, including books, journal articles, and official reports that are relevant to this study. These data sources help to understand more deeply the theories related to contractor and infrastructure performance.

Sample and Sampling Technique This study uses the Cluster Sampling technique, where population elements are divided into subgroups or clusters based on geographical location and the type of project being implemented [32]. Samples were taken from contractors who are active in various regions in North Sulawesi, especially in areas undergoing infrastructure development. Samples were taken randomly from contractors who are classified as small, medium, and large companies.

Research Instruments The instruments used for data collection were closed questionnaires and semi-structured interviews. This questionnaire contains a series of questions that measure variables such as managerial ability, financial management, technical, and regulatory constraints. Interviews were used to dig deeper into information that may not be covered in the questionnaire.

2.3 Research Sample

This research uses Cluster Sampling techniques to select research participants. This technique was chosen because it allows for dividing the population into different subgroups based on geographic location or the type of project managed. It is beneficial in regional studies such as infrastructure development. In this case, contractors involved in infrastructure projects in various regions of North Sulawesi are grouped based on their geographical location and the type of project they manage.

From a total population of 1,803 contractors registered in the region, clusters were formed based on administrative divisions, such as districts and cities. Each cluster represents contractors in certain areas, such as Manado, Bitung, and South Minahasa. Once clusters were formed, random samples were taken from each cluster, ensuring representation from various regions and project scales, including small, medium, and large construction companies.

Considering that the population in this study was 343 contractors, the reason for selecting 343 contractors was that the researchers thought that only 343 contractors with PT legal entities were deemed technically capable

of having a significant impact on infrastructure sovereignty in North Sulawesi. is considered valid if the correlation coefficient is significant and positive.

To calculate the number of samples using the Cluster Sampling technique [33], use the Slovin formula with a margin of error of 5%:

$$n = \frac{N}{1+N(e)^2} \quad (1)$$

Information:

n = number of samples

N = total population (343)

e = margin of error (usually 0.05 or 5%)

If the margin of error is 5%, the calculated sample size will be around 185 contractors.

3. Result and Suggestions

3.2 Descriptive Analysis

The data obtained from the questionnaire and interviews were analyzed descriptively to describe the dominant factors that affect contractor performance. The research instrument was tested using validity and reliability tests to ensure that the data produced was reliable and actually measured the factors studied [34].

Ranking Analysis: This technique is used to identify the factors that most influence contractor performance based on the ranking of each factor given by respondents.

3.3 Validity of Research Instruments

The validity of a research instrument refers to the extent to which the measurement tool or questionnaire used in research can measure what it wants to measure. A valid instrument will ensure that the data reflects the tested reality or concept.

There are several types of validity, but the most commonly used in quantitative research are content validity, construct validity, and criterion validity. In this research, construct validity is tested, which focuses on the instrument's ability to measure the underlying concept or construct.

Data Collection Data is collected from respondents through prepared instruments (questionnaires). Each item in the questionnaire is designed to measure a specific aspect of the research construct.

Calculating Validity with Pearson Product Moment Correlation to determine the validity of the items in the questionnaire, the correlation coefficient between each item's score and the total score was calculated. The item

$$r_{xy} = \frac{N\sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[N\sum X^2 - (\sum X)^2][N\sum Y^2 - (\sum Y)^2]}} \quad (2)$$

r_{xy} = Correlation coefficient between item scores and total scores

N = Number of respondents

X = Score for each item

Y = Total Score of all items

$\sum XY$ = The Number of times the item score is multiplied by the total Score

$\sum X$ = Total item scores

$\sum Y$ = Total Score

$\sum X^2$ = Sum of squares of item scores

$\sum Y^2$ = Sum of squares of total scores

All the factors tested were proven valid based on the results of the research instrument validity test presented in Table 4. The validity test was carried out by comparing the count value of each factor with a stable value of 1.8596 at a significance level of 0.05. A factor is declared valid if the count value is more significant than stable.

Table 4. Instrument Validity Test

Factor	t_{count}	t_{table}	Validity
Availability of capital	2.5989	1.8596	Valid
Competition with similar projects	2.6989	1.8596	Valid
Timeliness of payment from clients	2.9878	1.8596	Valid
Changes in government regulations	2.3498	1.8596	Valid
Bureaucracy in licensing	2.8287	1.8596	Valid
Corrupt practices	2.5109	1.8596	Valid
Natural disasters	2.9824	1.8596	Valid
Extreme weather conditions	2.9091	1.8596	Valid

The Availability of capital factor shows a count value of 2.5989, which is higher than the table value, so it is declared valid. The Competition with similar projects factor is also declared valid with an account value of 2.6989, which exceeds the table. Furthermore, the Timeliness of payment from clients factor has an account value of 2.9878, the highest value among other factors, indicating that this factor is very valid.

The Changes in government regulations factor also show validity, with an account value of 2.3498, higher than the table value. The same applies to the Bureaucracy in the licensing factor, which has an account value of 2.8287, and the Corrupt practices factor, which has an account value of 2.5109.

Other factors, such as natural disasters and extreme weather conditions, have also been valid, with count

values of 2.9824 and 2.9091, respectively, more significant than the stable.

3.4 Instrument Reliability

The reliability of a research instrument refers to the extent to which a measuring instrument can produce consistent results each time it is used. Reliability tests are carried out to ensure that the instruments used have internal consistency so that the data obtained can be relied on. One method that is often used in reliability testing is Cronbach's Alpha.

In this study, reliability was tested using the Cronbach's Alpha method. The Cronbach's Alpha value shows how much the items in an instrument are related or consistent. The instrument is declared reliable if the Cronbach's Alpha value exceeds 0.70. The higher the Cronbach's Alpha value, the better the instrument's internal consistency.

The formula for calculating the Cronbach's Alpha value is as follows [35]:

$$\alpha = \frac{N}{N-1} \left(1 - \frac{\sum \sigma_i^2}{\sigma^2_{total}} \right) \quad (3)$$

α = Cronbach's Alpha
 N = Number of items (questions) in Instrument
 σ_i^2 = Variance of each item
 σ_{total}^2 = Total variance of overall item scores

Table 5. Instrument Reliability

Factor	Cronbach's Alpha	r_{count}	t_{table}	Reliability
Availability of capital	0.82	25,989	18,596	Reliable
Competition with similar projects	0.85	26,989	18,596	Reliable
Timeliness of payment from clients	0.88	29,878	18,596	Reliable
Changes in government regulations	0.8	23,498	18,596	Reliable
Bureaucracy in licensing	0.83	28,287	18,596	Reliable
Corrupt practices	0.81	25,109	18,596	Reliable
Natural disasters	0.86	29,824	18,596	Reliable
Extreme weather conditions	0.84	29,091	18,596	Reliable

Based on the results of the instrument reliability test shown in Table 5, it can be concluded that all the factors tested are highly reliable. Reliability is measured using the Cronbach's Alpha method, where the instrument is considered trustworthy if the Cronbach's Alpha value is more significant than 0.70. The count value is compared

DOI : <https://doi.org/10.52158/jaceit.v6i1.991>

with the table value of 18,596 at a significance level 0.05.

The Availability of capital factor has a Cronbach's Alpha value of 0.82 and an account of 25.989, which is greater than the stable, so this factor is declared reliable. The competition with similar project factors also shows reliable results, with Cronbach's Alpha value of 0.85 and an account of 26.989.

The factor with the highest Cronbach's Alpha value is the Timeliness of client payment, which has a value of 0.88 and an account of 29.878. This indicates that the factor has excellent internal consistency and is reliable in measurement. Other factors, such as Changes in government regulations, have a Cronbach's Alpha value of 0.80 and count of 23,498, and the Bureaucracy in licensing factor has a Cronbach's Alpha value of 0.83 and count of 28,287, both of which are also declared reliable.

The Corrupt practices, Natural disasters, and Extreme weather conditions factors have Cronbach's Alpha values of 0.81, 0.86, and 0.84 with an account more significant than the table, so they are declared reliable.

3.5 Variance Index Test

The Variance Index Determination Test is used to determine the most influential factors in a study. The variance index describes the distribution of values for each item based on its influence on the measured construct. The lower the variance value, the more stable and dominant the item's explanation of the research variables.

The index value is calculated using a formula based on the weight the respondent gives to each item in the questionnaire [36]:

$$x = \frac{\sum f_i \times p_i}{n} \quad (4)$$

x = Index value
 f_i = Frequency on scale i
 p_i = Weight on scale i
 n = Number of respondents

Table 6. Variance Index Test

Factor	Mean	Varian	Ranking
Availability of capital	4.10	0.15	1
Competition with similar projects	4.00	0.25	2
Timeliness of payment	3.90	0.30	3
Changes in government regulations	3.80	0.40	4
Bureaucracy in licensing	3.70	0.35	5

The results of the Variance Index test shown in Table 6 suggest that the factors that influence contractor performance in infrastructure projects are ranked based on their influence and stability.

The most influential factor is the availability of capital, with the highest Mean value of 4.10 and the lowest Variance of 0.15. This shows that the availability of capital is a very dominant factor in determining the success of contractor performance. With adequate capital, contractors can run projects smoothly without experiencing significant financial constraints.

Competition with similar projects is ranked second, with a Mean value of 4.00 and a Variance of 0.25. Competition with similar projects often affects a contractor's project success, especially in terms of price bids and quality of work. Although essential, this factor's influence is slightly lower than that of capital availability.

Timeliness of payment from clients also has a significant influence, with a Mean value of 3.90 and a Variance of 0.30, which places it in third place. Timely payment is substantial in maintaining contractor cash flow. Late payments can cause project delays and other financial problems, affecting overall performance.

Changes in government regulations are ranked fourth, with a Mean value of 3.80 and a Variance of 0.40. While these factors are important, changes in government regulations tend to create more significant uncertainty, requiring contractors to be more flexible in adapting work processes to new policies.

Bureaucracy in licensing occupies the last position with a Mean value of 3.70 and a Variance of 0.35. Although licensing bureaucracy can slow project implementation, its impact is lower than other factors. However, the relatively high Variance indicates that the effects may vary depending on the specific project situation.

3.6 Dominant Factor Ranking

Based on the Variance Index test results, the most dominant factor influencing contractor performance on infrastructure projects is the Availability of capital. With a Mean value of 4.10 and the lowest Variance of 0.15, this factor shows that capital availability is an essential and stable aspect in determining project success. Sufficient capital allows contractors to carry out projects without significant financial obstacles, ensuring smooth implementation.

In second place is Competition with similar projects, with a Mean of 4.00 and a Variance of 0.25. Tight Competition with similar projects affects contractors' ability to win tenders and maintain profit margins. This

factor is quite influential because it involves cost efficiency and the quality of work results.

Furthermore, the timeliness of the payment factor is third, with a mean of 3.90 and a variance of 0.30. The Timeliness of client payments greatly influences the contractor's cash flow, which is an essential key to maintaining financial stability during the project. Late payments can result in project delays, so this factor is necessary to pay attention to.

Changes in government regulations are ranked fourth, with a Mean of 3.80 and a Variance of 0.40. Although their influence is quite large, this factor is more unstable than the previous factors. Changes in government policy can significantly impact project schedules and costs, causing contractors to adapt their operations to applicable regulations.

Finally, Bureaucracy in licensing is ranked fifth, with a Mean of 3.70 and a Variance of 0.35. Although Bureaucracy in the licensing process can cause delays in project implementation, its influence is relatively smaller than that of other factors. However, this factor is still important to pay attention to, especially in the context of regulations that can slow down the project process.

Overall, Availability of capital, Competition with similar projects, and timely payment are the dominant factors that have the most significant and stable influence on contractor performance. Meanwhile, factors such as changes in government regulations and Bureaucracy in licensing are also important, but their impact on projects is more variable. Therefore, more attention needs to be paid to these dominant factors to ensure the success and efficiency of infrastructure projects.

4. Conclusion

Based on the research results, the most dominant factor influencing contractor performance in infrastructure projects is the availability of capital. Adequate capital is an important aspect that ensures smooth project implementation without significant financial obstacles. Competition with similar projects is the second most influential factor, especially in cost efficiency and work quality. The third factor that is very influential is the timeliness of client payments, which plays a significant role in maintaining the contractor's cash flow stability during project implementation.

Changes in government regulations are also quite influential but more unstable than the previous factors. Government policy changes can cause project operation adjustments that affect schedules and costs. Meanwhile, bureaucracy in the licensing process has a minor influence over other factors. However, paying attention

to administrative obstacles that can slow project implementation is still essential.

Overall, availability of capital, competition with similar projects, and timeliness of payment are the dominant factors influencing contractor performance. Other factors, such as changes in government regulations and licensing bureaucracy, are also important, but their impact is more varied. Therefore, more attention should be paid to these dominant factors to ensure the success and efficiency of infrastructure projects.

Daftar Rujukan

- [1] J. Xu, "Implementing safety leading indicators in construction: Toward a proactive approach to safety management," *Saf. Sci.*, vol. 157, 2023, doi: 10.1016/j.ssci.2022.105929.
- [2] A. H. Afolayan, "Performance analysis of fuzzy analytic hierarchy process multi-criteria decision support models for contractor selection," *Sci. African*, vol. 9, 2020, doi: 10.1016/j.sciaf.2020.e00471.
- [3] R. J. Tumiwa, V. A. Rimate, and D. C. Rotinsulu, "Analisis Efektivitas Kredit Konstruksi (Kmk-Kontraktor) Pt. Bank Sulutgo Terhadap Pembangunan Infrastruktur Provinsi Sulawesi Utara," *J. Pembang. Ekon. DAN Keuang. Drh.*, vol. 20, no. 1, pp. 89–102, 2021.
- [4] A. W. Mandey, D. C. Rotinsulu, and E. N. Walewangko, "Analisis Pengaruh Pengeluaran Pemerintah Daerah atas Infrastruktur, Pendidikan, dan Kesehatan Terhadap Pertumbuhan Ekonomi pada Kabupaten/Kota di Provinsi Sulawesi Utara," *J. Berk. Ilm. Efisiensi*, vol. 22, no. 2, 2022.
- [5] P. Konstruksi and P. S. Utara, "Perusahaan konstruksi provinsi sulawesi utara 2023," 2023.
- [6] Q. Chen, "Using look-ahead plans to improve material flow processes on construction projects when using BIM and RFID technologies," *Constr. Innov.*, vol. 20, no. 3, pp. 471–508, 2020, doi: 10.1108/CI-11-2019-0133.
- [7] P. X. W. Zou, "Closing the building energy performance gap through component level analysis and stakeholder collaborations," *Energy Build.*, vol. 224, 2020, doi: 10.1016/j.enbuild.2020.110276.
- [8] T. R. S. Marcelline, "Impact of Green Construction Procurement on Achieving Sustainable Economic Growth Influencing Green Logistic Services Management and Innovation Practices," *Front. Environ. Sci.*, vol. 9, 2022, doi: 10.3389/fenvs.2021.815928.
- [9] A. Purwantoro, S. Aditama, and N. Andini, "Analisis Faktor-Faktor Risiko Pada Kontraktor Di Kota Palangka Raya Yang Menangani Proyek Pemerintah," *J. Tek. J. Teor. dan Terap. Bid. Keteknikan*, vol. 1, no. 2, pp. 114–128, 2018.
- [10] O. P. M. Vitali, "Construction strategies for a NATM tunnel in São Paulo, Brazil, in residual soil," *Undergr. Sp.*, vol. 7, no. 1, pp. 1–18, 2022, doi: 10.1016/j.undsp.2021.04.002.
- [11] A. Fraccica, "Permeation grouting of silt-sand mixtures," *Transp. Geotech.*, vol. 35, 2022, doi: 10.1016/j.trgeo.2022.100800.
- [12] Y. Tan, "A study of sustainable practices in the sustainability leadership of international contractors," *Sustain. Dev.*, vol. 28, no. 4, pp. 697–710, 2020, doi: 10.1002/sd.2020.
- [13] J. W. Zhu, "Decision simulation of construction project delivery system under the sustainable construction project management," *Sustain.*, vol. 12, no. 6, 2020, doi: 10.3390/su12062202.
- [14] L. Liao, "Investigating critical non-value adding activities and their resulting wastes in BIM-based project delivery," *Sustain.*, vol. 12, no. 1, 2020, doi: 10.3390/SU12010355.
- [15] W. Stefanoni, "Assessing the camelina (*Camelina sativa* (L.) crantz) seed harvesting using a combine harvester: A case-study on the assessment of work performance and seed loss," *Sustain.*, vol. 13, no. 1, pp. 1–11, 2021, doi: 10.3390/su13010195.
- [16] L. Wentzel, "The Relationship between the Integration of CSR and Sustainable Business Performance: Perceptions of SMEs in the South African Construction Industry," *Sustain.*, vol. 14, no. 3, 2022, doi: 10.3390/su14031049.
- [17] I. A. Rahman, "Structural Relationship of Causes and Effects of Construction Changes: Case of UAE Construction," *Sustain.*, vol. 14, no. 2, 2022, doi: 10.3390/su14020596.
- [18] A. Purwantoro, S. Aditama, and N. Andini, "Analisis Faktor-Faktor Risiko Pada Kontraktor Di Kota Palangka Raya Yang Menangani Proyek Pemerintah," *J. Tek. J. ...*, vol. 1, no. April, pp. 114–128, 2018, [Online]. Available: <https://e-journal.upr.ac.id/index.php/JT/article/view/1253>
- [19] M. T. Andika and A. N. Aisyah, "Analisis Politik Luar Negeri Indonesia-China di Era Presiden Joko Widodo: Benturan Kepentingan Ekonomi dan Kedaulatan?," *Indones. Perspect.*, vol. 2, no. 2, pp. 161–179, 2017.
- [20] S. Yuniarti and E. Herawati, "Analisis Hukum Kedaulatan Digital Indonesia," *Pandecta Res. Law J.*, vol. 15, no. 2, pp. 154–166, 2020.
- [21] S. Dadang, "Mempercepat Pembangunan Infrastruktur untuk Meletakkan Fondasi Pembangunan yang Berkualitas," 2015.
- [22] R. Pramoda and T. Apriliani, "Kebijakan Penetapan Bitung Sebagai Kawasan Ekonomi Khusus (KEK)," *J. Borneo Adm.*, vol. 12, no. 2, pp. 149–169, 2016.
- [23] E. A. Lihang, "Analisis Prospek Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) Bitung," *J. Ris. Bisnis Dan Manaj.*, vol. 4, no. 1, 2016.
- [24] G. E. Kandiyo, "Faktor-Faktor Penentu Keberhasilan Kerjasama Pemerintah Dan Badan Usaha Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Manado Bitung," 2020, *Politeknik Negeri Manado*.
- [25] A. Keegan, "Dynamism and realignment in the HR architecture: Online labor platform ecosystems and the key role of contractors," *Hum. Resour. Manage.*, vol. 62, no. 1, pp. 15–29, 2023, doi: 10.1002/hrm.22120.
- [26] H. Aladağ, "The Effect of Stakeholder-Associated Risks in Mega-Engineering Projects: A Case Study of a PPP Airport Project," *IEEE Trans. Eng. Manag.*, vol. 67, no. 1, pp. 174–186, 2020, doi: 10.1109/TEM.2018.2866269.
- [27] D. Ivina, "Lean construction principles and railway maintenance planning," 2020, doi: 10.24928/2020/0025.
- [28] W. Zhang, "A cost evaluation model for IoT-enabled prefabricated construction supply chain management," *Ind. Manag. Data Syst.*, vol. 121, no. 12, pp. 2738–2759, 2021, doi: 10.1108/IMDS-12-2020-0735.
- [29] K. Manoharan, "Assessment of critical factors influencing the performance of labour in Sri Lankan construction industry," *Int. J. Constr. Manag.*, vol. 23, no. 1, pp. 144–155, 2023, doi: 10.1080/15623599.2020.1854042.
- [30] A. Kamal, "Risk factors influencing the building projects in Pakistan: from perspective of contractors, clients and consultants," *Int. J. Constr. Manag.*, vol. 22, no. 6, pp. 1141–1157, 2022, doi: 10.1080/15623599.2019.1683693.
- [31] S. P. Pranata, "Examining the Profits and Losses of Medan City Roadside Ditch Scraping by the Medan City Government on MSMEs," *J. Bus. Manag. Econ. Dev.*, vol. 2, no. 02, pp. 919–927, 2024, doi: 10.59653/jbmed.v2i02.814.
- [32] B. Zhong, "A blockchain-based framework for on-site construction environmental monitoring: Proof of concept," *Build. Environ.*, vol. 217, 2022, doi: 10.1016/j.buildenv.2022.109064.
- [33] R. H. Henderson and T. Sundaresan, "Cluster sampling to assess immunization coverage: a review of experience with a simplified sampling method," *Bull. World Health Organ.*, vol. 60, no. 2, p. 253, 1982.
- [34] N. Khadim, "Whole building circularity indicator: A circular economy assessment framework for promoting circularity and sustainability in buildings and construction," *Build. Environ.*, vol. 241, 2023, doi:

- 10.1016/j.buildenv.2023.110498.
- [35] B. Raza, A. Sohail, and S. A. Sair, “Examining The Contributions of Brand Image And Perceived Quality to Customer Loyalty Through Satisfaction And Trust,” 2024, *Gomal University*. doi: 10.51380/gujr-40-02-02.
- [36] H. K. Mendrofa and L. Sagala, “Pengaruh Pelatihan dan Penerapan Model Metode Asuhan Keperawatan Profesional (MAKP) Primary Nursing Terhadap Kualitas Asuhan Keperawatan Di Rumah Sakit Kota Medan,” 2019, *Indonesian Trust Health Journal, STIKes Murni Teguh*. doi: 10.37104/ithj.v2i2.40.



Pengaruh Kombinasi Dua Aditif Terhadap Penundaan Waktu Pematatan Pada Beton

Indriyani Puluhulawa¹, Muhammad Idham²

^{1,2} Program Studi D3 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Bengkalis

¹indriyani_p@polbeng.ac.id*

Abstract

The decrease in a slump due to the long distance between the batching plant and the casting site is a common issue. This also increases the likelihood of reducing concrete quality due to delays in compaction. To reduce the risks of slump loss and decrease concrete compressive strength, a combination of two admixtures was employed: Sika Plastocrete RT6 Plus, acting as a retarder, and Grolen Hp19R, serving as a superplasticizer. The dosages applied were 0.3% for Sika Plastocrete RT6 Plus and 0.4% for Grolen Hp19R. Compaction delays were tested at 0, 60, 90, and 120-minute intervals. The results demonstrated that combining these two admixtures could enhance the concrete's setting time, slump, and compressive strength compared to normal concrete. However, with the increasing delay in compaction time, there was a noted decrease in the concrete's slump and compressive strength.

Keywords: Retarder, Grolen Hp19R, Delay in Compaction Time, Setting Time, Concrete

Abstrak

Penurunan *slump* akibat jarak yang jauh antara batching plant dan lokasi pengecoran merupakan permasalahan yang umum terjadi. Hal ini juga meningkatkan kemungkinan penurunan kualitas beton akibat keterlambatan pematatan. Untuk mengurangi risiko hilangnya *slump* dan penurunan kuat tekan beton, digunakan kombinasi dua bahan tambahan: Sika Plastocrete RT6 Plus, yang berfungsi sebagai *retarder*, dan Grolen Hp19R, yang berfungsi sebagai *superplasticizer*. Dosis yang diberikan adalah 0,3% untuk Sika Plastocrete RT6 Plus dan 0,4% untuk Grolen Hp19R. Keterlambatan pematatan diuji pada interval 0, 60, 90, dan 120 menit. Hasilnya menunjukkan bahwa menggabungkan kedua bahan tambahan ini dapat meningkatkan waktu pengikatan, *slump*, dan kuat tekan beton dibandingkan dengan beton normal. Namun, dengan meningkatnya keterlambatan waktu pematatan, terjadi penurunan *slump* dan kuat tekan beton.

Kata kunci: Retarder, Grolen Hp19R, Penundaan Waktu Pematatan, Waktu Ikat, Beton.

Diterima Redaksi : 2024-10-18 | Selesai Revisi : 2024-10-29 | Diterbitkan Online : 2025-03-03

1. Pendahuluan

Pada pekerjaan dengan pengecoran yang menggunakan readymix salah satu kualiti kontrol saat penerimaan campuran beton adalah nilai *slump* yang memenuhi syarat atau standar yang ditetapkan. Masalah yang sering muncul adalah terjadinya penurunan nilai *slump* akibat jauhnya jarak tempuh *Batching plan* dengan lokasi pengecoran. Hal ini juga memperbesar peluang terjadinya penurunan mutu beton akibat penundaan waktu pematatan. Untuk mengurangi resiko penurunan kuat tekan beton ini digunakan material tambahan seperti *Silica Fume* (SF), *Fly Ash* (FA), atau bahan tambahan lainnya yang dapat berfungsi untuk memperlambat waktu ikat (*setting time*) beton. Salah satu bahan tambah yang digunakan untuk menunda *setting time* adalah Sika Plastocrete RT6 Plus.

Penggunaan Sika Plastocrete RT6 Plus dengan campuran Soda/ larutan berkarbonasi dapat meningkatkan *setting time* beton sebesar 54,6% lebih lama dari beton normal dengan penggunaan semen yang lebih sedikit dan meningkatkan kuat tekan beton sebesar 1,6% [1]. Pencampuran Soda/ larutan berkarbonasi dengan Plastocrete® RT6 plus tidak hanya memberikan efek penundaan yang optimal pada waktu pengikatan tetapi juga secara signifikan meningkatkan kekuatan tekan yang diinginkan selama pengecoran pada cuaca tropis yang hangat [2]. Namun menurut [3], penambahan Plastocrete RT6 Plus dengan mempertahankan nilai *slump* 7±2 cm belum cukup untuk mempertahankan kuat tekan beton yang mengalami penundaan waktu. artinya *setting time* beton dapat bertambah tetapi nilai *slump* dan kuat tekan beton mengalami penurunan.



Untuk meningkatkan nilai *slump* penggunaan aditif jenis *high range water reducing admixture* juga banyak dilakukan [4] dan [5]. Menurut Dewi et al., (2022), Penambahan kadar *superplasticizer* (SP) juga berpengaruh terhadap nilai *flow* mortar yaitu semakin tinggi penambahan SP semakin tinggi nilai *flow*. Grolen Hp19R menurut ASTM C-494-92 termasuk dalam aditif tipe F (*Water Reducing* dan *High Range Admixture*) yang digunakan untuk meningkatkan kelecakan (*workability*) beton dan mengurai jumlah pemakaian air. Penambahan Grolen Hp19R ini diharapkan dapat mengatasi masalah *workability* pada beton yang mengalami penundaan waktu pemadatan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh kombinasi dua zat aditif terhadap variasi waktu penundaan pemadatan beton akibat penggunaan *retarder* (Sika Plastocrete RT-6 Plus) dan *high range water reducing admixture* (Grolen HP 19 R) pada beton dengan mutu $F'c$ 40 MPa.

Grolen Hp19R adalah zat aditif yang termasuk kedalam Tipe F (*Water Reducing* dan *High Range Admixture*) berfungsi untuk mengurangi jumlah air dan juga menambah kekuatan beton. Grolen Hp19R juga bisa membuat adukan beton memadat dengan sendirinya karena sifat *high range* yang dimiliki menjadikan adukan beton encer namun tidak merusak struktur material, dan memperoleh kemudahan pekerjaan (*workability*) beton yang tinggi.

2. Metode Penelitian

Tahapan penelitian dibagi menjadi beberapa langkah diantaranya tahap persiapan, tahap pembuatan sampel pengujian dan yang terakhir adalah tahap pengujian sampel.

2.1. Tahap persiapan

Pada tahap ini dilakukan persiapan material yang akan dipakai untuk membuat campuran beton meliputi, agregat kasar dan agregat halus berasal dari daerah Tanjung Balai Karimun, Semen yang digunakan adalah semen tipe PCC. Bahan tambah atau aditif yang digunakan adalah Sika Plastocrete RT-6 Plus yang berfungsi sebagai *retarder* dan Grolen Hp19R sebagai *Water Reducing* dan *High Range Admixture*. Sika Plastocrete RT-6 Plus diperoleh dari PT.Dumai Jaya Beton dan Grolen Hp19R diperoleh dari PT. Grolen New Building Material Indonesia, selanjutnya dilakukan pengujian properties untuk agregat dan semen. Gambar 1. Memperlihatnya material yang digunakan.

2.2. Tahap pengujian properties material

Pada tahap ini dilaksanakan pengujian properties material meliputi pengujian Analisa Saringan Agregat mengacu pada [7] SNI 03-1968-1990, Pengujian Kadar Air Agregat mengacu pada [8] (SNI 03-1971-1990), Pengujian Berat Jenis Agregat mengacu pada [9] (SNI 03-1970-1990), Pengujian Berat Volume Agregat

mengacu pada [10] SNI 03-4804-1998, Pengujian Berat Jenis Semen mengacu pada [11] SNI 03-2531-1991, dan yang terakhir adalah Pengujian Kandungan Organik Agregat Halus mengacu pada [12] SNI 03-2816-1992.



Gambar 1. Material Yang Digunakan

2.3. Tahap pembuatan sampel pengujian

Pada tahapan ini dibagi menjadi beberapa bagian pelaksanaan penelitian diantaranya:

1. Tahap perencanaan campuran beton (*Job Mix*) Setelah melaksanakan pengujian properties material, langkah selanjutnya adalah penentuan komposisi campuran untuk beton $f'c$ 40 mpa berdasarkan [13] SNI 03-2834-2000. Untuk jumlah bahan tambah yang digunakan, terlebih dahulu dilakukan pengujian waktu ikat awal semen dengan dosis yang disarankan untuk penggunaan bahan tambah yaitu 0,2% – 0,6% dari berat semen. Hasil dari pengujian waktu ikat semen dan bahan tambah ini yang akan dipakai untuk menentukan jumlah bahan tambah yang digunakan. Untuk Grolen Hp19R dosis penggunaan adalah 0,4%. Tabel 1 menjelaskan komposisi campuran beton yang digunakan untuk mutu $f'c$ 40 Mpa. Tabel 2 menjelaskan jumlah sampel pengujian waktu ikat semen dan bahan tambah.
2. Pembuatan sampel pengujian. Pada tahap ini dibuat beberapa variasi campuran untuk mengetahui pengaruh penggunaan dua zat aditif terhadap campuran beton. Untuk mengetahui pengaruh penundaan waktu pemadatan terhadap campuran beton tersebut, campuran beton dalam molen dibiarkan berputar (mengaduk) selama waktu penundaan yang ditentukan. Variasi waktu penundaan dipilih menggunakan [14] SNI 03-2495-1991 yaitu 60, 90 dan 120 menit. Sampel yang dibuat adalah silinder dengan ukuran diameter 10 cm dan tinggi 20 cm. Detail jumlah sampel dapat dilihat pada Tabel 3 berikut ini.

Tabel 1 Komposisi Campuran Beton

Uraian	Semen (KG)	Air (KG)	Agregat Kasar (KG)	Agregat Halus (KG)	Sika Plastocrete RT-6 Plus (ml)	Grolen Hp19R (ml)
Beton f'c 40 Mpa	554,05	220	969,8	592,415	1662,1	2216,2

Tabel 2 Jumlah Sampel Pengujian Waktu Ikut Semen Dan Bahan Tambah

Nama Sampel	Jumlah sample
Semen (S)	1
Semen + Sika Plastocrete 0,2% (S+SP 0,2)	1
Semen + Sika Plastocrete 0,3% (S+SP 0,3)	1
Semen + Sika Plastocrete 0,4% (S+SP 0,4)	1
Semen + Sika Plastocrete 0,5% (S+SP 0,5)	1
Semen + Sika Plastocrete 0,6% (S+SP 0,6)	1
Semen + Sika Plastocrete 0,3% + Grolen 0,4% (S+SP 0,3+ GR 0,4)	1

Tabel 3 Detail Jumlah Sampel Pengujian Kuat Tekan Beton

Nama sampel	Variasi penundaan waktu (menit)				Total
	0'	60'	90'	120'	
Beton Normal (BN)	5	5			10
Beton Normal + Sika Plastocrete (BN+ SP)	5	5	5	5	25
Beton Normal + Sika Plastocrete + Grolen Hp19R (BN+SP+GR)	5	5	5	5	25
Beton Normal + Grolen Hp19R (BN+GR)	5	5	5	5	25
Jumlah Total Sampel					85

2.3. Tahap pengujian sampel

Pengujian yang dilakukan terdiri dari beberapa pengujian diantaranya, pengujian *slump*, pengujian kuat tekan beton. Pengujian *slump* dilakukan berdasarkan SNI 1972:2008 untuk *slump* pada beton normal dan *slump flow* untuk beton yang ditambahkan zat aditif Sika Plastocrete RT-6 Plus maupun Grolen Hp19R. Pengujian yang terakhir adalah pengujian kuat tekan beton, yang dilakukan sesuai dengan SNI 03-1974-2011. Gambar 2 menampilkan dokumentasi saat pengujian berlangsung.



Gambar 2 Pengujian Yang Dilakukan

3. Hasil dan Pembahasan

Pada bagian ini akan diuraikan hasil penelitian meliputi pengujian waktu ikat semen, pengujian *slump*, pengujian berat isi dan pengujian kuat tekan beton.

3.1. Waktu ikat (*Setting time*)

Untuk menentukan dosis penggunaan *retarder* yang tepat maka dilakukan pengujian waktu ikat semen dengan variasi tambahan Sika Plastocrete RT-6 Plus. Pada Gambar 4 menampilkan hasil pengujian waktu ikat awal dan waktu ikat akhir semen dan semen dengan variasi zat aditif.

Dari Gambar 4 diketahui bahwa variasi semen dan Sika Plastocrete RT-6 Plus 0,3% (S+SP 0,3) memiliki nilai waktu ikat awal dan waktu ikat akhir yang lebih besar dibandingkan dengan variasi Plastocrete RT-6 Plus yang lain. Sehingga dipilih pemakaian Plastocrete RT-6 Plus dosis 0,3% untuk kemudian digabungkan dengan Grolen Hp19R. untuk variasi S+GR 0,4 waktu ikat yang diperoleh lebih kecil dibandingkan dengan variasi S+SP 0,3. Tetapi pada variasi kombinasi Plastocrete RT-6 Plus dan Grolen Hp19R (S+SP 0,3+ GR 0,4) waktu ikat awal dan waktu ikat akhir lebih besar jika dibandingkan dengan semua variasi. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi dua aditif tersebut dapat meningkatkan waktu ikat (*setting time*).

3.2. Pengujian Slump

Nilai *slump* diperlukan untuk mengetahui tingkat keenceran dalam pengadukan beton. Semakin rendah nilai *slump*, maka menunjukkan bahwa adukan tersebut semakin kental dan sebaliknya, semakin tinggi nilai *slump*, maka menunjukkan semakin encer adukan yang terjadi atau dalam arti kata akan semakin mudah untuk mengerjakan. Pengujian *slump* untuk pencampuran beton normal memiliki nilai yang ditetapkan (60-180) mm. Untuk *Slump Flow* pada pencampuran beton variasi memiliki nilai yang ditetapkan (500-700) mm.

Dari Tabel 3 diketahui bahwa nilai *slump* beton sangat bervariasi, berkisar antara 12 mm sampai dengan 570 mm. Untuk beton normal terjadi penurunan nilai *slump* yang signifikan yaitu 78,18% ketika mengalami penundaan waktu selama 60 menit. Pada variasi beton yang lain juga mengalami penurunan nilai *slump* seiring dengan pertambahan penundaan waktu pemadatan. Hal ini mengindikasikan bahwa penundaan waktu pemadatan dapat menurunkan nilai *slump*.

Untuk beton yang hanya menggunakan Sika Plastocrete RT-6 Plus (BN+SP) nilai *slump* yang diperoleh lebih kecil jika dibandingkan dengan *slump* beton normal (BN). Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh [1], Dimana seiring dengan pertambahan jumlah Sika Plastocrete RT-6 Plus terjadi penurunan nilai *slump*. Penurunan nilai *slump* pada BN+SP ketika mengalami waktu penundaan tidak signifikan jika dibandingkan penurunan nilai *slump* pada sampel BN. Hal ini menunjukkan bahwa Sika Plastocrete RT-6 Plus dapat berfungsi sebagai *retarder* untuk campuran beton.

Pada beton yang ditambahkan dengan Grolen Hp19R nilai *slump flow* yang diperoleh cukup besar yaitu 545 mm. Hal ini menunjukkan bahwa Grolen Hp19R dapat berfungsi sebagai superplastisizer yang memberikan kemudahan dalam pelaksanaan pekerjaan. Seiring dengan pertambahan waktu penundaan pemadatan beton nilai *slump* pun terus menurun.

Untuk beton dengan kombinasi dua aditif, memiliki nilai *slump flow* terbesar pada menit ke 0, bahkan lebih besar jika dibandingkan dengan BN+GR. hal ini menunjukkan bahwa kombinasi dua zat aditif ini dapat meningkatkan nilai *slump*. Seiring dengan pertambahan penundaan waktu nilai *slump* terus menurun, tetapi penurunan nilai *slump* pada variasi ini lebih kecil jika dibandingkan dengan BN+GR atau BN+SP.

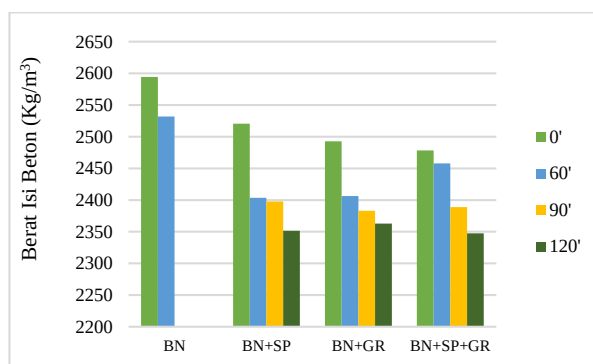
3.3. Berat Isi Beton

Berat per volume (berat isi) beton adalah perbandingan antara berat beton dengan volume beton itu sendiri. Berat per volume (berat isi) beton berpengaruh pada kepadatan beton. Semakin besar nilai berat isi beton maka semakin padat beton tersebut sehingga porositas beton akan berkurang [15]. Berikut data hasil rata-rata berat per volume (berat isi) beton pada umur 28 hari dapat dilihat pada Gambar 2 sebagai berikut.

Dari Gambar 3 diketahui bahwa rata-rata berat isi beton yang di uji berkisar antara 2300– 2550 kg/m³ untuk beton f'c 40 mpa umur 28 hari. Jika dibandingkan dengan rata-rata berat isi beton normal, rata-rata berat isi beton yang ditambahkan Sika Plastocrete RT-6 Plus dan Grolen Hp19R memiliki berat isi yang lebih kecil dari beton normal. Seiring dengan bertambahnya waktu penundaan pemadatan, nilai berat isi mengalami penurunan. Hal ini menunjukkan bahwa penundaan waktu pemadatan dapat menurunkan nilai berat isi beton. Penurunan nilai ini bisa disebabkan karena terjadi proses penguapan air, seperti panas berlebih, sehingga beton mengalami kehilangan kelembapan.

3.4. Kuat Tekan Beton

Detail hasil pengujian kuat tekan beton untuk umur 28 hari pada semua variasi beton dapat dilihat pada Tabel 4.

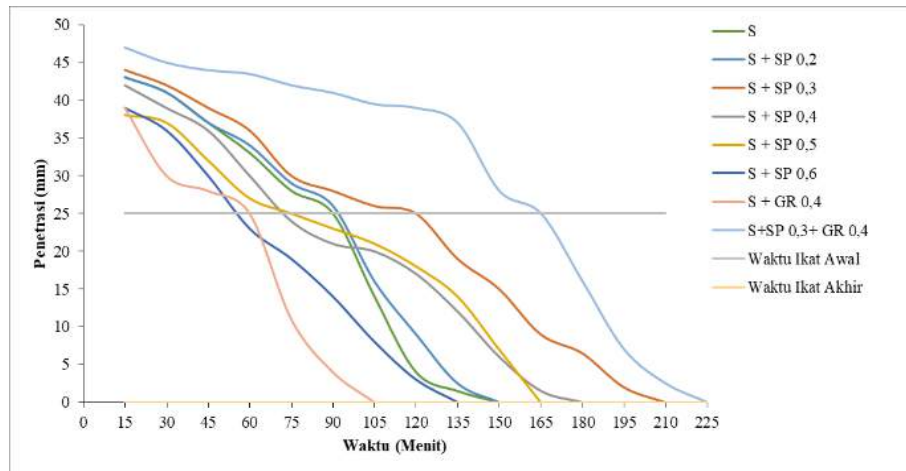


Gambar 3. Hasil Pengujian Berat Isi Beton

Dari Tabel 4 diketahui bahwa nilai kuat tekan beton yang ditambahkan zat aditif mempunyai nilai yang sangat beragam. Pada dosis zat aditif tertentu nilai kuat tekan beton akan lebih besar dari beton normal atau lebih kecil dari beton normal. Penambahan Sika Plastocrete RT-6 Plus dapat meningkatkan nilai kuat tekan beton pada waktu penundaan 0 menit dan waktu penundaan 60 menit, hal ini sejalan dengan hasil penelitian [3]. Pada variasi beton dengan penambahan Grolen Hp19R (sample BN+GR) nilai kuat tekan beton lebih kecil jika dibandingkan dengan kuat tekan beton normal (sampel BN). Hal ini mungkin disebabkan karena campuran beton BN+GR ini mengalami bleeding atau terpisahnya air semen dengan agregat seperti yang terlihat pada Gambar 2. Selain itu penggunaan Grolen Hp19R harusnya dibarengi dengan pengurangan jumlah air karena Grolen HP19R bersifat *Water Reducing*.

Pada sampel BN+SP+GR, variasi penundaan waktu pemadatan 60 menit memiliki kuat tekan yang lebih besar dari sampel BN dan sampel BN+SP. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi dua aditif tersebut dapat meningkatkan nilai kuat tekan beton pada variasi penundaan waktu pemadatan 60 dan 90 menit. Artinya kombinasi dua aditif tersebut dapat meningkatkan penundaan waktu pemadatan (waktu ikat awal) beton tanpa mengurangi kuat tekan beton.

Dari Gambar 5 diketahui bahwa pada variasi penundaan meningkatnya penundaan waktu pemadatan dapat 90 dan 120 menit, mengalami penurunan kuat tekan menurunkan nilai kuat tekan beton, hal ini serupa dengan beton jika dibandingkan dengan beton tanpa waktu hasil penelitian [1]. penundaan (0 menit). Artinya, seiring dengan



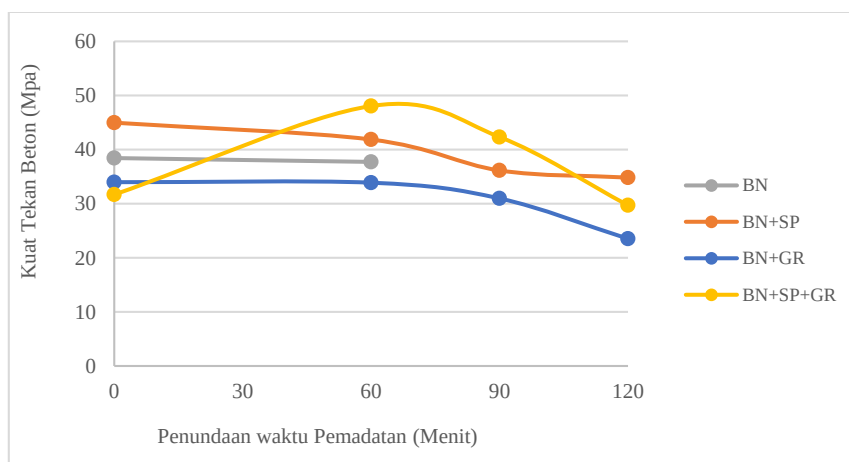
Gambar 4. Hasil Pengujian Waktu Ikat Semen

Tabel 3 Hasil Pengujian Slump

Nama sampel	Nilai Slump (mm)				Perbandingan terhadap menit 0 (%)		
	0'	60'	90'	120'	60'	90'	120'
BN	55	12	-	-	78,18		
BN+ SP	50	30	25	15	40	50	70
BN+GR	545	365	290	170	33,03	46,79	68.81
BN+SP+GR	570	495	415	340	13,16	27.19	40.35

Tabel 4 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Nama sampel	Kuat tekan (Mpa)			
	0'	60'	90'	120'
BN	38.43	37.71	-	-
BN+SP	44.96	41.85	36.15	34.83
BN+SP+GR	31.68	48.04	42.31	29.70
BN+GR	33.97	33.88	30.97	23.52



Gambar 5 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh bahwa kombinasi penggunaan *retarder* seperti Sika Plastocrete RT-6 Plus dengan high range water reducing admixture seperti Grolen HP19R dapat membantu mengatasi masalah penurunan nilai slump akibat penundaan waktu pemadatan pada pekerjaan pengecoran beton mutu $F'c$ 40 MPa. Penambahan aditif ini tidak hanya meningkatkan *workability*, tetapi juga memperpanjang *setting time* serta memperbaiki kuat tekan beton, khususnya pada variasi penundaan waktu pemadatan 60 dan 90 menit.

Ucapan Terima kasih

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Politeknik Negeri Bengkalis melalui hibah PNPB internal tahun anggaran 2024, yang telah mendukung penelitian ini secara finansial. Selain itu juga ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada PT.Dumai Jaya Beton yang telah mensponsori material Sika Plastocrete RT-6 Plus.

Daftar Rujukan

- [1] T. Anon, M. Jammal, J. Nurdiana, and A. M. Ghulam, "the Effect of the Combination Additive Admixtures To Increase Setting Time and Compressive Strength At the Concrete Casting in Warm Tropical Temperature," *Int. J. Civ. Eng. Technol.*, vol. 11, no. 4, pp. 61–72, 2020, doi: 10.34218/ijci.11.4.2020.006.
- [2] M. Djamal, J. Nurdiana, and A. Mirza Ghulam, "The Effect of Plastocrete® RT6 Plus and Coca-Cola Admixtures on The Concrete Setting Time and Strength," no. January, pp. 1–11, 2020, doi: 10.20944/preprints202001.0094.v1.
- [3] B. P. Mulawarman, T. Rahman, and F. N. Abdi, "Studi Efek Penambahan Plastocrete RT6 Plus Terhadap Mutu Beton pada Pengecoran yang Mengalami Penundaan dengan Mempertahankan Nilai Slump," *Pros. Semin. Nas.* V, pp. 9–17, 2019.
- [4] S. Alsadey and S. Mohamed, "Evaluation of the superplasticizer effect on the workability and strength of concrete," *Int. J. Eng. Technol.*, vol. 9, no. 1, p. 198, 2020, doi: 10.14419/ijet.v9i1.29909.
- [5] P. G. Tabaiyan MFY, "Pengaruh Penambahan Zat Aditif grolen HP10+ dan Additon HE Water Reducing Retarding Admixture Superplasticizer Terhadap Kuat Tekan Beton," *Pros. Semin. Nas. Tek. Sipil* 2023, 2023.
- [6] F. M. Dewi *et al.*, "J-RITEKS Jurnal Riset Teknik Sipil dan Sains <https://jurnal.poliwangi.ac.id/index.php/Jriteks> *J-RITEKS Jurnal Riset Teknik Sipil dan Sains*," vol. 1, no. 1, pp. 20–27, 2022, [Online]. Available: <https://jurnal.poliwangi.ac.id/index.php/Jriteks>
- [7] SNI-03-1968-1990, "Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar," *Badan Stand. Nas.*, pp. 1–5, 1990.
- [8] SNI 03-1971-1990, "Metode Pengujian Kadar Air Agregat," *Badan Standarisasi Nas.*, vol. 27, no. 5, p. 6889, 1990.
- [9] SNI-03-1970-1990, "Metode Pengujian Berat Jenis dan penyerapan air agregat halus," *Badan Stand. Nas.*, pp. 1–17, 1990.
- [10] SNI 03-4804-1998, "Metode Pengujian Bobot Isi Dan Rongga Udara Dalam Agregat," *Pustran Balitbang PU*, pp. 1–6, 1998.
- [11] SNI 15-2531-1991, "Metode Pengujian Berat Jenis Semen Portland," *Badan Standar Nas. Indones.*, pp. 1–2, 1991.
- [12] SNI 03-2816-1992, "Metode Pengujian Kadar Zat Organik Agregat Halus," *Badan Stand. Nas.*, vol. 4, pp. 2–3, 1992.
- [13] SNI 2834-2000, "Tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal," *Badan Standar Nas. Indones.*, vol. 3, p. 2834, 2000.
- [14] SNI 03-2495, "Spesifikasi Bahan Tambahan Untuk Beton," *Badan Standar Nas. Indones.*, pp. 1–11, 1991.
- [15] M. Dzikri and M. Firmansyah, "Pengaruh Penambahan Superplasticizer Pada Beton Dengan Limbah Tembaga (Copper Slag) Terhadap Kuat Tekan Beton Sesuai Umumnya," *J. Rekayasa Tek. Sipil*, pp. 1–9, 2018.



Penilaian Efisiensi Aplikasi MPDM Calculator Dalam Pengukuran Produktivitas *Method Productivity Delay Model*

Redityo Januardi^{1*}, Julian Pramudhita Dewangga², Muhammad Syaiful Aliim³

^{1,2}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Soedirman

³Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Soedirman

¹redityo.januardi@unsoed.ac.id*, ²julian.dewangga@mhs.unsoed.ac.id, ³muhammad.syaiful.aliim@unsoed.ac.id

Abstract

Technology can assist human needs in various sectors, including the construction sector. Its application has the opportunity to increase technical practicality, time, and cost efficiency, help speed up decision-making, and reduce the risk of errors. One challenge in construction implementation is the inadequate measurement of labor productivity and the lack of well-documented root causes, which can lead to delayed performance improvement decisions and incorrect conclusions. One effective method for productivity analysis is the MPDM (Method Productivity Delay Model), which can measure, predict, and improve productivity by identifying factors that cause delays. Currently, efforts have been made to digitalize part of the productivity measurement process of the MPDM method under the name MPDM Calculator Version 1.0. This application can be used for the data collection and processing stages of the MPDM method productivity calculation and is considered effective based on the same results as conventional methods. This study aims to determine and assess the efficiency of using the application in the process of calculating the productivity of the MPDM method. The results show that this application shortens the productivity measurement process significantly, where the test results for 2 case studies, obtained efficiency values of 153.2% and 156.1%. This application has the potential to be developed again in the process of analyzing productivity and recommending performance improvements to increase productivity. It is hoped that this application can answer the problem of using the MPDM method as one of the construction project control instruments.

Keywords: Construction Productivity Measurement, MPDM, Android Application, Efficiency, Project Control.

Abstrak

Teknologi dapat membantu kebutuhan manusia dalam berbagai sektor, termasuk sektor konstruksi. Penerapannya berpeluang meningkatkan kepraktisan teknis, efisiensi waktu dan biaya, serta membantu mempercepat pengambilan keputusan dan mengurangi risiko kesalahan. Salah satu tantangan pelaksanaan konstruksi adalah rendahnya pengukuran produktivitas tenaga kerja beserta akar masalahnya yang tidak terdokumentasikan dengan baik, di mana bisa berakibat pada terlambatnya membuat keputusan perbaikan kinerja beserta tidak akuratnya keputusan yang diambil. Salah satu metode yang efektif untuk analisa produktivitas adalah MPDM (*Method Productivity Delay Model*), yang dapat mengukur, memprediksi, dan meningkatkan produktivitas dengan mengidentifikasi faktor-faktor penyebab keterlambatan. Saat ini telah dilakukan upaya digitalisasi untuk sebagian proses pengukuran produktivitas dari metode MPDM dengan nama MPDM Calculator Versi 1.0. Aplikasi ini dapat digunakan untuk tahap pengambilan dan pengolahan data perhitungan produktivitas metode MPDM, serta dinilai efektif dari hasil yang sama saat dibandingkan dengan metode konvensional. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan menilai efisiensi dari penggunaan aplikasi tersebut dalam proses perhitungan produktivitas metode MPDM. Hasil menunjukkan aplikasi ini mempersingkat proses pengukuran produktivitas secara signifikan, di mana hasil pengujian untuk 2 studi kasus, didapat nilai efisiensi pada sebesar 153,2% dan 156,1%. Aplikasi ini berpotensi untuk dikembangkan kembali pada proses analisis produktivitas dan rekomendasi perbaikan kinerja untuk peningkatan produktivitasnya. Diharapkan aplikasi ini dapat menjawab permasalahan penggunaan metode MPDM sebagai salah satu instrumen pengendalian proyek konstruksi.

Kata kunci: Pengukuran Produktivitas Konstruksi, MPDM, Aplikasi Android, Efisiensi, Pengendalian Proyek.

Diterima Redaksi : 2024-11-25 | Selesai Revisi : 2024-12-02 | Diterbitkan Online : 2025-03-03



1. Pendahuluan

Digitalisasi pada tahap pelaksanaan konstruksi cukup berkembang walaupun tidak sepesat pada tahap perencanaan dan perancangan [1]. Beberapa alat bantu pada tahap pelaksanaan konstruksi tersebut seperti *Building Information Modelling* [2], *3D Mechine Control* [3], sistem informasi sumber daya proyek [4], *vision based* untuk monitoring kinerja pekerja konstruksi [5], dan lain-lain. Tentunya upaya digitalisasi maupun otomasi merupakan cara menjawab permasalahan teknis di lapangan terutama efisiensi, baik itu aspek durasi, waktu, mutu, maupun keselamatan dan lingkungan kerja.

Peningkatan produktivitas di sektor konstruksi masih dinilai stagnan dan pengukurannya masih perlu ditingkatkan [6]. Produktivitas didefinisikan sebagai ukuran yang mencerminkan perbandingan antara volume hasil produksi dan input sumber daya yang digunakan dalam suatu pekerjaan atau proses [7]. Salah satu permasalahan dalam mengukur produktivitas pekerja di lapangan dan menganalisis penyebabnya adalah durasi pengukuran yang dibutuhkan relatif lama [8]. Padahal pengukuran produktivitas itu penting dengan tujuan membandingkan hasil pertambahan produksi, pendapatan, dan kesempatan kerja dari waktu ke waktu [9].

Untuk menghitung dan meningkatkan produktivitas terdapat beberapa metode yang dapat digunakan, yaitu *field rating*, *work sampling*, *five-minutes rating*, *foreman delay survey*, *craftsman questionnaires*, *method delay productivity delay model* (MPDM), dan *crew balance charts*. Salah satu metode pengukuran produktivitas yang dapat menganalisis dan membantu menentukan rekomendasi perbaikan produktivitas sebuah operasi konstruksi adalah MPDM [10]. MPDM mengidentifikasi 5 tipe penundaan dan 3 langkah untuk melakukan perhitungan. Tipe penundaan yang dimaksud yaitu lingkungan, peralatan, tenaga kerja, material, dan manajemen. Tahapan pengukuran produktivitas metode MPDM adalah pengumpulan data, pengolahan data, dan analisis data [11].

Saat ini telah dilakukan upaya digitalisasi untuk sebagian proses pengukuran produktivitas dari metode MPDM dengan nama MPDM Calculator versi 1.0 [12]. Aplikasi MPDM Calculator v1.0 dapat digunakan untuk tahap pengambilan dan pengolahan data perhitungan produktivitas metode MPDM, serta dinilai efektif dari hasil yang sama saat dibandingkan dengan metode konvensional [12]. Aplikasi ini dibangun menggunakan MIT App Inventor, sebuah aplikasi *builder* dengan prinsip *drag and drop* yang disediakan oleh Google Labs dan mengharuskan pengguna memiliki akses internet dan *browser* [13]. Beberapa penelitian lain yang mengembangkan aplikasi di bidang konstruksi menggunakan MIT App Inventor adalah aplikasi Rodit [14] untuk menganalisis daya dukung pondasi tiang

pancang metode *Brom's*, CBC Calculator [15] untuk membantu mengukur produktivitas operasi konstruksi metode *Crew Balance Chart*.

Sebagai upaya memberikan gambaran dan rekomendasi untuk pengguna serta pengembangan MPDM Calculator v1.0 ke depan, maka penelitian ini bertujuan untuk menilai efisiensi dari penggunaan aplikasi berbasis android, yaitu MPDM Calculator v1.0, terhadap proses perhitungan produktivitas metode MPDM secara manual. Penilaian berdasarkan aspek waktu dengan melakukan beberapa percobaan dan memberikan beberapa *treatment* di setiap percobaan yang dilakukan sebagai upaya *avoiding error & learning process* sampai mendapatkan durasi pengukuran paling efisien.

2. Metode Penelitian

2.1. Uraian Umum

Untuk mendapatkan nilai efisiensi durasi pengukuran produktivitas metode MPDM menggunakan alat bantu aplikasi android MPDM Calculator v1.0, maka dibandingkan durasi yang dibutuhkan antara pengukuran secara konvensional dengan tambahan alat bantu aplikasi. Selain itu, untuk menghasilkan nilai efisiensi yang akurat, maka dilakukan 4 kali percobaan dan 2 studi kasus pengamatan ditambah *treatment* perbaikan proses pengukuran yang bisa dilakukan baik berupa menghilangkan kesalahan teknis selama pengukuran maupun upaya yang berpotensi meningkatkan efisiensi. Operasi konstruksi yang diamati untuk dinilai produktivitasnya adalah pekerjaan distribusi material menggunakan *tower crane* dengan durasi sekitar 1 sampai 2 jam setiap studi kasus. Proses pengukuran produktivitas metode MPDM meliputi [10], [16]:

1. Pengambilan data

Untuk mempermudah proses identifikasi tundaan, waktu kejadian dan siklus, serta durasinya, maka pengambilan data dilakukan dengan merekam aktivitas operasi konstruksi menggunakan kamera.

2. Pengolahan data

- Lembar pengolahan data PCDS (*Production Cycle Delay Sampling*), berisi data waktu siklus, durasi dan jenis tundaan, waktu siklus tanpa tundaan, dan keterangan tundaan.
- Lembar Kerja Proses MPDM (*MPDM Processing*), berisi perhitungan rerata waktu siklus produksi tanpa tundaan dan rerata waktu siklus produksi keseluruhan.
- Informasi penundaan (*Delay Information*), berisi jumlah siklus yang mengalami penundaan (*occurences*), total waktu dari setiap penundaan yang terjadi pada semua siklus, kemungkinan kejadian (*probability of occurences*), tingkat kerumitan (*relative severity*), dan perkiraan % waktu penundaan per siklus produksi.

3. Perhitungan produktivitas

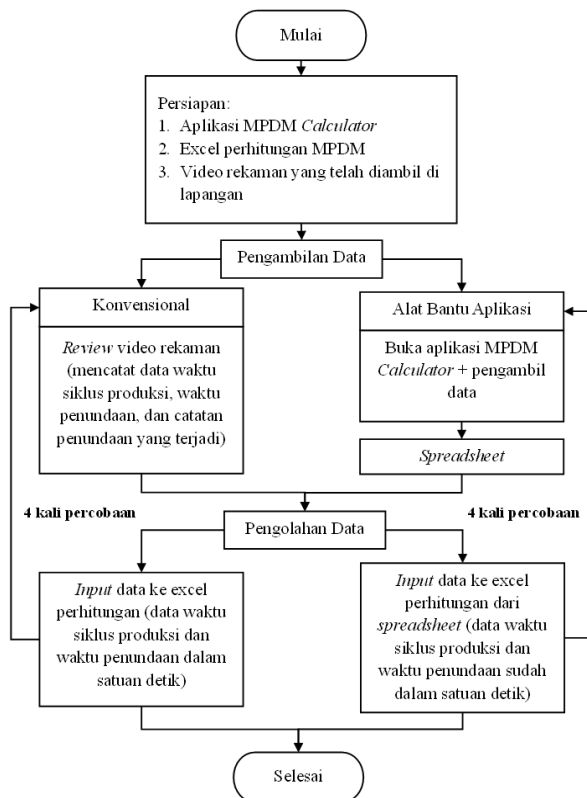
Proses menghitung produktivitas keseluruhan dan produktivitas ideal

4. Analisis perbaikan produktivitas

Proses menganalisis jenis tundaan yang dapat diturunkan secara berurutan berdasarkan tingkat kemudahan dan biaya paling rendah. Durasi dari jenis tundaan dapat dikurangi atau dihilangkan seluruhnya dengan memberikan catatan bentuk rekomendasi perbaikannya. Hasil akhirnya adalah perhitungan produktivitas yang direkomendasikan.

2.2. Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan mengikuti tahapan penelitian sebagaimana yang dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini. Secara garis besar, penelitian ini dibagi menjadi 3 tahapan utama, yaitu persiapan, pengukuran durasi pada saat pengambilan data dan analisis data, serta penilaian efisiensi penggunaan aplikasi.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Persiapan

Hal yang perlu disiapkan sebelum memulai perhitungan yaitu aplikasi MPDM Calculator v1.0, excel perhitungan MPDM, video visual rekaman yang didapat di lapangan, stopwatch dan laptop. Objek penelitian ini yaitu aktivitas alat berat tower crane dalam proses pemindahan material.

Metode Konvensional

Perhitungan metode konvensional dilakukan dengan mencatat waktu terjadinya penundaan dan waktu dari setiap siklus produksi kemudian di-input ke dalam excel perhitungan yang telah dibuat pada tahap persiapan. Proses pencatatan dihitung menggunakan stopwatch dengan tujuan untuk mengetahui durasi pengerjaan perhitungan MPDM metode konvensional.

Metode Alat Bantu Aplikasi

Perhitungan ini dilakukan menggunakan excel yang telah dibuat, tetapi untuk pengambilan data waktu siklus produksi dan waktu terjadinya penundaan menggunakan aplikasi. Tampilan muka aplikasi MPDM Calculator v1.0 dapat dilihat pada Gambar 2 dan deskripsi fungsi tombolnya pada Tabel 1.

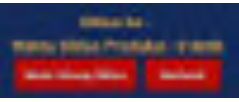
Sebagaimana fungsi MPDM adalah mengidentifikasi durasi delay yang terjadi saat pengamatan dan menganalisisnya. Sehingga tampilan layar aplikasi pada pengambilan data merujuk pada jenis tundaan yaitu faktor lingkungan, peralatan, tenaga kerja, material dan manajemen. Data-data yang telah diambil menggunakan aplikasi akan secara langsung ter-input ke dalam spreadsheet database.



Gambar 2. Tampilan layar aplikasi MPDM Calculator v1.0 [12]

Tabel 1. Fungsi Tombol Aplikasi MPDM Calculator v1.0 [12]

Tombol	Fungsi
	Berpindah ke halaman berikutnya untuk memulai proses pengambilan data waktu
	Mengakses spreadsheet database waktu

Tombol	Fungsi
	Menambahkan nama pekerjaan yang akan dihitung
	Mulai Hitung Siklus : Mulai menghitung waktu siklus produksi yang sedang terjadi Berhenti : Menghentikan waktu siklus produksi
	Menghitung waktu penundaan yang terjadi akibat lingkungan (<i>Environment</i>)
	Menghitung waktu penundaan yang terjadi akibat peralatan (<i>Equipment</i>)
	Menghitung waktu penundaan yang terjadi akibat tenaga kerja (<i>Labor</i>)
	Menghitung waktu penundaan yang terjadi akibat material
	Menghitung waktu penundaan yang terjadi akibat manajemen (<i>Management</i>)
	Menambahkan catatan keterlambatan dengan cara menekan ikon <i>microphone</i> lalu berbicara

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengambilan Data

Penggunaan alat bantu aplikasi MPDM Calculator v1.0 akan mempersingkat proses pengambilan dan pengolahan data dengan mengamati langsung pekerjaan di lapangan [12]. Namun untuk mempermudah pengulangan percobaan dari pengukuran produktivitas, maka pengambilan data pada penelitian ini dilakukan dengan merekam video aktivitas pekerjaan di lapangan. Aktivitas pekerjaan yang diukur adalah operasi pemindahan material oleh *tower crane* di proyek pembangunan rumah sakit di Banyumas. Perekaman dilakukan 2 kali dengan durasi video masing-masing 5.240 detik atau setara dengan 1 jam 20 menit 20 detik dan 7.569 detik atau setara dengan 2 jam 6 menit 9 detik. Video dengan durasi tersebut akan digunakan dalam pengukuran produktivitas secara konvensional metode

MPDM maupun dengan ditambahkan alat bantu MPDM Calculator.

3.2. Pengolahan Data

Persiapan Excel Perhitungan

Persiapan excel perhitungan memiliki luaran yaitu durasi pengerjaan *excel* perhitungan mulai dari *blank excel* sampai siap digunakan termasuk dengan formula yang disesuaikan dengan perhitungan MPDM. Kegiatan ini meliputi penyusunan lembar PCDS, *MPDM Processing*, *delay information*, dan produktivitas riil. Dengan menginputkan data pada lembar PCDS, maka produktivitas riil pekerjaan tersebut akan langsung didapatkan. Durasi pengerjaan *excel* berlaku sama untuk metode konvensional maupun dengan alat bantu.

Pengamatan dan Pencatatan

Tahap pengolahan data dilakukan dengan mengamati aktivitas *tower crane* dan semua tenaga kerja yang terlibat. Kemudian mencatat beberapa data, yaitu durasi setiap siklusnya, jenis tundaan dan durasi tundaannya, serta informasi yang perlu dimasukkan ke dalam keterangan. Data tersebut dimasukkan ke dalam lembar pengolahan data PCDS untuk metode konvensional. Adapun dengan alat bantu cukup menekan tombol mulai dan selesai dari durasi untuk setiap perubahan kondisinya.

Proses pengamatan tersebut diukur waktunya menggunakan *stopwatch* dan dilakukan sebanyak empat kali percobaan setiap video dengan menerapkan *treatment* tertentu. *Treatment* yang bisa dilakukan adalah meningkatkan *playback speed* dari video dari kondisi normal yaitu (1x), 1,5x; 2,0x dan 2,0x sehingga durasi pengamatan bisa dipersingkat. *Playback speed* video 2,5x ke atas tidak efektif untuk mengamati aktivitas mengidentifikasi data yang dibutuhkan.

Perbedaan antara metode konvensional dan dengan alat bantu adalah pada media inputannya. Pencatatan data pengamatan metode konvensional diinputkan pada lembar *excel* yang telah disusun. Adapun metode dengan bantuan MPDM Calculator v1.0, diinputkan langsung di aplikasi tanpa harus menghitung waktu dan data durasi, cukup dengan menekan tombol pada kondisi terjadi tundaan, tidak terjadi tundaan, masuk ke siklus selanjutnya, dan jika diperlukan, menambahkan catatan tundaan melalui *voice note*.

3.3. Analisis Data

Analisis Produktivitas Metode Konvensional

Analisis produktivitas metode konvensional pada penelitian ini dibatasi sampai pengukuran produktivitas riil (dengan tundaan) dan ideal (tanpa tundaan). Adapun analisis produktivitas yang direkomendasikan tidak dilakukan karena durasi pelaksanaannya akan tergantung personil yang menganalisis perbaikan

produktivitas atas tundaan yang terjadi. Sebagaimana yang telah dijelaskan sebelumnya, produktivitas riil dan ideal dapat langsung didapatkan setelah menginputkan data pengamatan di lembar PDCS. Sehingga durasinya sama dengan nol.

Analisis Produktivitas dengan Alat Bantu

Penginputan data di lembar PCDS tidak dilakukan pada penggunaan alat bantu MPDM Calculator v1.0. Namun data dari MPDM Calculator v1.0 akan masuk ke *google spreadsheet* yang harus diunduh kemudian baru diinputkan ke lembar *excel*. Sehingga durasinya adalah proses unduh *spreadsheet* hasil pengolahan data menggunakan MPDM Calculator v1.0 dan menginputkannya di lembar PCDS *excel* yang hanya tinggal di-copy-paste. Setelahnya, informasi produktivitas riil dan ideal operasi tersebut bisa langsung didapatkan.

3.4. Perbandingan Nilai Efisiensi

Durasi Total Pengukuran Produktivitas MPDM

Setelah mencatat durasi yang dibutuhkan dari masing-masing tahapan, maka tahap terakhir adalah menghitung nilai efisiensi dari penggunaan aplikasi MPDM Calculator v1.0 pada pengukuran produktivitas operasi konstruksi metode MPDM. Penilaian didapat dari perbandingan durasi pengukuran antara metode konvensional dengan metode alat bantu aplikasi. Data durasi metode konvensional dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3. Adapun metode dengan alat bantu pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Kegiatan	Durasi Pengerjaan (detik)			
	1	2	3	4
Take video 1	5.240	5.240	5.240	5.240
Menyusun <i>excel</i>	1.242	970	930	897
Pengamatan + hitung	6.299	4.301	3.372	3.317
Total	12.781	10.511	9.542	9.454

Kegiatan	Durasi Pengerjaan (detik)			
	1	2	3	4
Take video 1	7.569	7.569	7.569	7.569
Menyusun <i>excel</i>	1.242	970	930	897
Pengamatan+hitung	8.655	6.342	4.743	4.677
Total	17.466	14.881	13.242	13.143

Kegiatan	Durasi Pengerjaan (detik)			
	1	2	3	4
Pengamatan+catat	5.240	5.240	5.240	5.240
Menyusun <i>excel</i>	1.242	970	930	897
Unduh+input di <i>excel</i>	89	71	53	34
Total	6.571	6.281	6.223	6.171

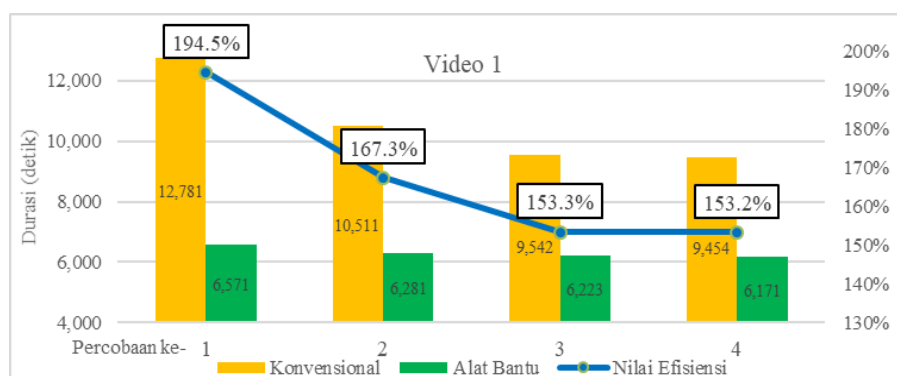
Kegiatan	Durasi Pengerjaan (detik)			
	1	2	3	4
Pengamatan+catat	7.569	7.569	7.569	7.569
Menyusun <i>excel</i>	1.242	970	930	897
Unduh+input di <i>excel</i>	89	71	53	34
Total	8.900	8.610	8.552	8.500

Perbandingan Nilai Efisiensi

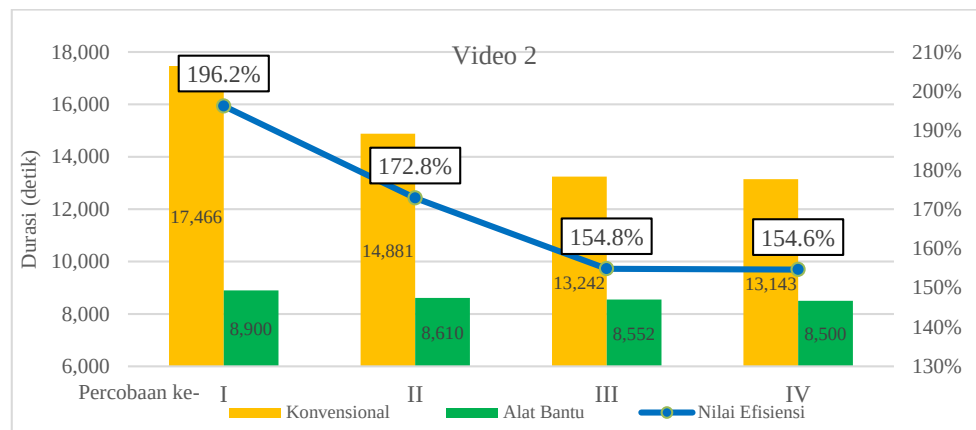
Tahap terakhir menilai efisiensi yang didapat dari perbandingan durasi pengerjaan antara metode konvensional dengan metode alat bantu aplikasi sebagaimana Tabel 6 dan Tabel 7.

Metode	Durasi Pengerjaan (detik)			
	1	2	3	4
Konvensional	12.781	10.511	9.542	9.454
Alat Bantu	6.571	6.281	6.223	6.171
Selisih	6.210	4.230	3.319	3.283
Nilai Efisiensi	194,5%	167,3%	153,3%	153,2%

Metode	Durasi Pengerjaan (detik)			
	1	2	3	4
Konvensional	17.466	14.881	13.242	13.143
Alat Bantu	8.900	8.610	8.552	8.500
Selisih	8.566	6.271	4.690	4.643
Nilai Efisiensi	196,2%	172,8%	154,8%	154,6%



Gambar 3. Diagram Perbandingan Durasi & Efisiensi pada Pengukuran Produktivitas Operasi Konstruksi MPDM antara Cara Konvensional dan dengan Menggunakan Alat Bantu Aplikasi (Pengamatan Video 1)



Gambar 4. Diagram Perbandingan Durasi & Efisiensi pada Pengukuran Produktivitas Operasi Konstruksi MPDM antara Cara Konvensional dan Menggunakan Alat Bantu Aplikasi (Pengamatan Video 2)

Sebagaimana Gambar 3 dan Gambar 4, percobaan pertama dari kedua studi kasus video, durasi yang dibutuhkan dalam pengukuran produktivitas konstruksi metode MPDM dengan bantuan aplikasi MPDM Calculator v1.0 berhasil ditekan hampir setengahnya dari durasi pengukuran secara konvensional. Hal ini selaras dengan fungsi dari penerapan teknologi, yaitu memberikan nilai baik efektivitas, produktivitas, efisiensi, dan juga kualitas terhadap proses maupun luaran [17].

Namun tentu hal ini belum dikatakan normal dan masih ada upaya untuk mempersingkat waktu. Untuk itu, hasil percobaan ke-4 dapat menjadi rujukan, di mana metode konvensional ditekan durasinya semula 12.781 detik menjadi 9.451 detik dengan *treatment* mempercepat waktu putar *video playback* sampai dengan 2 kali lipatnnya dan juga menghilangkan kesalahan seperti proses perhitungan, proses pengamatan, dan pencatatan data durasi. Upaya mempersingkat waktu sebesar 55,5 menit ini, selaras dengan konsep *learning curve* yang akan menghasilkan proses dan luaran menjadi lebih efektif dan efisien [18].

Adapun metode dengan bantuan aplikasi MPDM Calculator v1.0 tetap berkurang namun tidak signifikan metode konvensional, di mana hanya berkurang 400 detik atau setara 6,7 menit saja. Hal ini disebabkan pada saat pengamatan riil di lapangan nantinya, durasi pengamatan akan sama dengan durasi *video recorder* dengan kecepatan *video playback* sebesar 1,0 kalinya. Berdasarkan hal tersebut, MPDM Calculator v1.0 dapat memberikan efisiensi durasi pengukuran sebesar 153,2% pada video ke-1 dan 154,6% pada video ke-2.

Diharapkan MPDM Calculator v1.0 dapat terus dikembangkan dan menjadi alat bantu kontraktor pelaksana maupun konsultan pengawas dalam menilai kinerja di level operasi konstruksi. Sehingga aplikasi ini dapat menjawab permasalahan penggunaan metode

MPDM sebagai salah satu instrumen pengendalian proyek konstruksi.

4. Kesimpulan

Penggunaan aplikasi MPDM Calculator v1.0 dalam pengukuran produktivitas MPDM dinilai lebih efisien dari segi waktu dan dapat membantu mengurangi durasi pengukuran. Durasi pengukuran produktivitas secara konvensional metode MPDM pada percobaan ke-4 di video 1 adalah 9.454 detik. Adapun durasi pengukuran produktivitas dengan bantuan aplikasi MPDM Calculator v1.0 adalah 6.171 detik. Durasi pengukuran dapat ditekan sebesar 3.283 atau setara 0,91 jam. Berdasarkan hal tersebut, maka nilai efisiensi dari percobaan ke-4 di video 1 adalah 153,2%. Adapun video ke-2 dengan cara yang sama adalah 154,6%. Nilai efisiensi ini menjadi gambaran penggunaan MPDM dapat diterapkan oleh kontraktor dengan alat bantu aplikasi, khususnya MPDM Calculator v1.0. Selain itu, aplikasi ini bisa dikembangkan kembali sampai proses perhitungan produktivitas yang direkomendasikan.

Ucapan Terimakasih

Tim peneliti mengucapkan terima kasih kepada LPPM Universitas Jenderal Soedirman atas dukungan dan bantuan pendanaan penelitian dengan nomor kontrak 26.685/UN23.35.5/PT.01/II/2024 tanggal 4 Maret 2024.

Daftar Rujukan

- [1] H. Begić, M. Galić, and Z. Dolaček-Alduk, "Digitalization and automation in construction project's life-cycle: a review.," *Journal of information technology in construction*, vol. 27, 2022.
- [2] A. Jenson, "Digitalization in the construction industry," 2017.
- [3] I. Hermawan and S. Sudirman, "Digitalization of The Construction Industry with BIM and 3D Machine Control Integration for Construction Performance Improvement.," *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 19, no. 2, pp. 185–203, 2023.
- [4] Y. Arianto, S. Darsono, and B. Zaman, "Pengelolaan Digitalisasi Konstruksi Sumber Daya Manusia Di PT. Adhi Karya (Persero) Tbk Departemen Gedung," *Jurnal Profesi Insinyur Indonesia*, vol. 1, no. 4, pp. 119–124, 2023.

- [5] X. Ren, Z. Zhu, C. Germain, R. Belair, and Z. Chen, "Automated monitoring of the utilization rate of onsite construction equipment," in *Computing in Civil Engineering 2017*, 2017, pp. 74–81.
- [6] A. Rathnayake and C. Middleton, "Systematic review of the literature on construction productivity," *J Constr Eng Manag*, vol. 149, no. 6, p. 03123005, 2023.
- [7] R. V. Martono, *Analisis Produktivitas dan efisiensi*. Gramedia Pustaka Utama, 2019.
- [8] R. Januardi, P. S. Nugroho, B. Mulyono, and M. Viqolbi, "The effectiveness of construction operation performance measurement techniques and the challenges of application in preventing delays in construction projects," in *MATEC Web of Conferences*, EDP Sciences, 2024, p. 04002.
- [9] R. Syarif, "Manajemen Produktivitas," 1991, *Gramedia Pustaka Utama*. Jakarta.
- [10] S. P. Dozzi and S. M. AbouRizk, *Productivity in construction*. Institute for Research in Construction, National Research Council Ottawa, 1993.
- [11] C.-K. Chang and W. S. Yoo, "A Case study on productivity analysis and methods improvement for masonry work," *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, vol. 13, no. 4, pp. 372–381, 2013.
- [12] J. P. Dewangga, "Studi Inisiasi Penggunaan Metode Pengukuran Produktivitas Method Productivity Delay Model Berbasis Mobile Application," Universitas Jenderal Soedirman, Purwolerto, 2023.
- [13] MIT, "MIT App Inventor," 2024. Accessed: Jul. 22, 2024. [Online]. Available: <https://appinventor.mit.edu/about-us>
- [14] L. L. Lionggono, A. Saharuddin, D. H. D. Hartanto, and H. Leong, "Pemodelan Rodit Untuk Menghitung Gaya Lateral Pada Pondasi Tiang Pancang Ujung Bebas Pada Tanah Kohesif Menggunakan Metode Brom's Berbasis Mit App Inventor," *G-SMART*, vol. 7, no. 1, pp. 66–80, 2023, doi: 10.24167/gsmart.v7i1.10252.
- [15] M. A. Aziz, R. Januardi, and M. S. Aliim, "Efisiensi Penggunaan CBC Calculator sebagai Alat Bantu Pengukuran Produktivitas Metode Crew Balance Chart," *Journal of Infrastructure Policy and Management (JIPM)*, vol. 7, no. 2, pp. 125–138, 2024.
- [16] D. W. Halpin and L. S. Riggs, *Planning and Analysis of Construction Operations*. New York: John Wiley & Sons, 1992.
- [17] C. G. Putri and S. Santoso, "Analisis Transformasi Digitalisasi Melalui Aplikasi Sistem Integrasi Konstruksi Terhadap Produktivitas Kerja Quantity Surveyor Proyek Konstruksi Bangunan Gedung," *Jurnal Ilmiah Manajemen dan Bisnis*, vol. 6, no. 3, p. 459559, 2020.
- [18] H. A. Abdelkhalek, H. S. Refaie, and R. F. Aziz, "Optimization of time and cost through learning curve analysis," *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 11, no. 4, pp. 1069–1082, 2020, doi: 10.1016/j.asej.2019.12.007.



Implementasi BIM pada Struktur Gedung Laboratorium Terpadu Universitas Samudra Menggunakan Software Revit

Ahmad Anwar^{1*}, Wan Alamsyah², Meilandy Purwandito³

^{1,2,3} Prodi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Samudra

¹ahdanwar1@gmail.com*, ²wanalamsyah@unsam.ac.id, ³meilandy@unsam.ac.id

Abstract

This research applied three working methods, namely 3D modeling, quantity take-off (QTO), and bar bending schedule (BBS). The main objective of this research was to compare the calculation results of the conventional method with the Building Information Modeling (BIM) method in the construction of the Samudra University Integrated Laboratory Building. The implementation of BIM showed significant differences compared to the conventional approach, especially in 3D visual output and cost estimation (5D). The application of BIM facilitated more accurate 3D modeling and faster and more efficient cost estimation. In addition, BIM also improved the construction inspection process as it allowed the checking of work items without the need for manual inspection one by one. The QTO results using BIM (Revit Student Version) show a difference in calculation volume compared to the conventional method. In the concrete work, there had been a difference of 23.27 m³ or 2.08%, while in the screw reinforcement work, there had been a difference of 9,597.69 kg or 10.33%. For plain reinforcement, there had been a difference of 3,497.28 kg or 3.86%, and the total weight of reinforcement had been 13,094.96 kg or 7.14%.

Keywords: BIM, Revit Software, Structural Modeling, Quantity Take Off

Abstrak

Penelitian ini mengaplikasikan tiga metode pengerjaan, yaitu pemodelan 3D, *Quantity Take Off* (QTO), dan *Bar Bending Schedule* (BBS). Tujuan utama penelitian ini adalah membandingkan hasil perhitungan metode konvensional dengan metode *Building Information Modeling* (BIM) dalam pembangunan Gedung Laboratorium Terpadu Universitas Samudra. Implementasi BIM menunjukkan perbedaan signifikan dibandingkan dengan pendekatan konvensional, terutama dalam *output* visual 3D dan estimasi biaya (5D). Penerapan BIM mempermudah pemodelan 3D yang lebih akurat serta estimasi biaya yang lebih cepat dan efisien. Selain itu, BIM juga meningkatkan proses inspeksi konstruksi karena memungkinkan pengecekan item pekerjaan tanpa perlu pemeriksaan manual satu per satu. Hasil QTO menggunakan BIM (*Revit Student Version*) menunjukkan perbedaan volume perhitungan dibandingkan dengan metode konvensional. Pada pekerjaan beton, terdapat selisih 23,27 m³ atau 2,08%, sedangkan pada pekerjaan tulangan ulir terdapat selisih 9.597,69 kg atau 10,33%, tulangan polos 3.497,28 kg atau 3,86%, dan total berat tulangan sebesar 13.094,96 kg atau 7,14%. Penerapan BIM memberikan keunggulan dalam akurasi, efisiensi waktu, dan kemudahan dalam pengawasan proyek konstruksi.

Kata kunci: BIM, *Software Revit*, Pemodelan Struktur, *Quantity Take Off*

Diterima Redaksi : 2025-01-09 | Selesai Revisi : 2025-02-05 | Diterbitkan Online : 2025-03-03

1. Pendahuluan

Universitas Samudra adalah salah satu institusi pendidikan tinggi yang terletak di Kota Langsa. Perguruan tinggi ini memiliki peran strategis dalam meningkatkan kualitas sumber daya manusia. Di era kemajuan teknologi dan ilmu pengetahuan yang semakin cepat, Universitas Samudra terus berupaya menyesuaikan diri dengan perubahan tersebut. Sebagai langkah antisipasi, Universitas Samudra berkomitmen untuk memperkuat infrastrukturnya demi mendukung perkembangan di bidang sains dan teknologi [1].

Berdasarkan PERMEN PUPR Nomor 22/PRT/M/2018 tentang pembangunan Gedung Negara dengan ketentuan: penggunaan *Building Information Modeling* (BIM) wajib diterapkan pada Bangunan Gedung Negara tidak sederhana dengan kriteria luas lebih dari 2000 m² dan lebih dari 2 lantai. Maka seharusnya perencanaan pembangunan Laboratorium Terpadu ini haruslah menggunakan BIM [2].

Industri Arsitektur, Rekayasa, dan Konstruksi telah lama mencari metode untuk menekan biaya proyek, meningkatkan produktivitas dan kualitas, serta



mempercepat waktu penyelesaian [3]. Teknologi BIM memungkinkan visualisasi model bangunan secara akurat dalam bentuk 3D. Sebelum BIM hadir, *software* seperti AutoCAD, SAP, dan Ms. Project telah digunakan dalam proses perencanaan proyek. Namun, penggunaan *software-software* tersebut memakan waktu lebih lama karena kurangnya integrasi antar perangkat lunak [4].

Salah satu *software* pendukung BIM adalah Revit, yang dikembangkan oleh Autodesk. Revit dirancang untuk mendukung berbagai kebutuhan desain, mulai dari arsitektur, struktur, hingga Mekanikal, Elektrikal, dan Plumbing (MEP). Dengan *software* ini, pengguna dapat membuat pemodelan komponen bangunan dalam bentuk 3D, menghasilkan gambar kerja dalam format 2D, serta melakukan analisis *quantity take-off* material (5D) untuk setiap pekerjaan. Konsep BIM memungkinkan simulasi konstruksi secara virtual sebelum pelaksanaan fisik, yang berguna untuk meminimalkan ketidakpastian. Salah satu keunggulan BIM adalah kemampuannya untuk mendorong pertukaran model 3D antar disiplin ilmu yang berbeda, sehingga proses pertukaran informasi menjadi lebih cepat melalui *software* open BIM, khususnya terkait material. Hal ini berpengaruh signifikan terhadap efisiensi proses konstruksi. Selain itu, estimasi *quantity take-off* merupakan elemen krusial yang harus diperhatikan dalam penyelenggaraan proyek konstruksi.

Perencanaan *quantity take-off* material konstruksi secara detail memerlukan tingkat akurasi yang tinggi dalam perhitungan volume pekerjaan. Oleh karena itu, penggunaan *software* komputer menjadi alternatif yang efektif untuk meningkatkan akurasi dalam estimasi *quantity take-off* material, sehingga prosesnya menjadi lebih efisien. *Building Information Modeling* (BIM), yang juga dikenal sebagai *Integrated Project Delivery* (IPD), merupakan sebuah metode pemodelan yang digunakan untuk desain, pelaksanaan, dan penyampaian desain bangunan. BIM melibatkan kolaborasi, integrasi, dan pengorganisasian tim secara produktif dalam pengendalian proyek [2]. BIM menyediakan tampilan yang terkoordinasi dan konsisten, serta representasi model digital yang mencakup data akurat untuk setiap aspek tampilan. Fitur ini membantu menghemat waktu perencanaan karena setiap tampilan terkoordinasi dalam satu sistem [3]. Dalam perancangan bangunan infrastruktur di Indonesia, prosesnya dapat menggunakan berbagai metode, seperti metode berbasis konvensional maupun metode berbasis *Building Information Modeling* (BIM) [5].

Perhitungan volume pekerjaan beton dilakukan menggunakan perangkat lunak Revit dari Autodesk untuk menghasilkan model 3D. Analisis dilakukan pada elemen pembetonan dari proyek studi kasus dengan memanfaatkan *as-built drawing* sebagai acuan pemodelan dalam Revit. Selanjutnya, evaluasi dilakukan dengan membandingkan volume yang diperoleh dari

Revit dengan data volume yang tercantum dalam dokumen kontrak, serta hasil perhitungan manual menggunakan Microsoft Excel [3].

Penelitian ini berfokus pada penerapan konsep *Building Information Modeling* (BIM) dengan memanfaatkan pemodelan 3D pada pekerjaan struktural menggunakan Revit *Student Version*. Tujuannya adalah untuk memperoleh hasil *quantity take-off* yang dapat mengurangi pemborosan (*waste*) dan meningkatkan nilai (*value*) proyek. *Software* Revit juga digunakan bersama *software* pendukung, seperti Microsoft Excel, untuk membandingkan hasil *quantity take-off*. Analisis ini diharapkan memberikan bukti bahwa penggunaan *software* Revit lebih efektif dan efisien dibandingkan metode konvensional, serta mampu meminimalkan pemborosan dan meningkatkan nilai proyek konstruksi. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengimplementasikan konsep BIM dalam menganalisis perbedaan hasil *quantity take-off* antara *software* dengan data proyek aktual. Hal ini bertujuan untuk mendukung pengurangan pemborosan material, meningkatkan efisiensi proyek, dan mempromosikan pembelajaran yang berkelanjutan di bidang konstruksi.

Building Information Modeling (BIM), sebagaimana didefinisikan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat bersama PP *Construction & Investment* dalam peta jalan konstruksi digital Indonesia, merupakan proses yang menghasilkan dan mengelola data bangunan sepanjang siklus hidupnya. BIM memanfaatkan perangkat lunak berbasis 3D, pemodelan bangunan dinamis, dan teknologi *real-time* untuk meningkatkan produktivitas dalam desain serta konstruksi bangunan. Prosesnya mencakup geometri bangunan, hubungan antar-ruang, data geografis, serta kuantitas dan kualitas komponen bangunan [6].

Penelitian tentang "Mengeksplorasi Penerapan *Building Information Modeling* (BIM) pada konstruksi Indonesia dari Perspektif Pengguna" meneliti adopsi BIM di Indonesia melalui pendekatan kualitatif, dengan wawancara semi-terstruktur kepada para praktisi yang berpengalaman. Berdasarkan hasil wawancara, BIM menawarkan manfaat signifikan, seperti pengendalian proyek yang lebih baik, deteksi dini konflik pada tahap desain, dan peluang promosi untuk memperoleh proyek baru. Namun, hambatan utamanya adalah tingginya biaya awal investasi serta pergeseran budaya kerja. Temuan ini menunjukkan potensi besar BIM di masa depan seiring dengan meningkatnya kesadaran industri [7].

Penelitian tentang "Analisa *Quantity Take-Off* Dengan Menggunakan Autodesk Revit" mengulas perhitungan volume pekerjaan sebagai dasar penyusunan BOQ untuk tender proyek. Autodesk Revit, sebuah perangkat lunak BIM, terbukti mampu menghasilkan *quantity take-off* dengan lebih efisien dibandingkan metode konvensional

yang menggunakan AutoCAD dan Excel. Meski demikian, pemodelan dalam Revit membutuhkan ketelitian dan waktu yang cukup lama untuk memastikan akurasi [8].

Penelitian tentang "5D *Building Information Modeling – A Practicability Review*," diterapkan konsep BIM 5D untuk estimasi biaya konstruksi. BIM 5D, yang mencakup dimensi waktu (4D) dan biaya (5D), mengintegrasikan seluruh data penting dari tahap desain hingga konstruksi akhir. Integrasi informasi ini meningkatkan efisiensi dan akurasi di semua fase, sekaligus memberikan alat bantu pengambilan keputusan yang lebih canggih dibandingkan alur kerja CAD 2D. Namun, penggunaan informasi berlebihan dalam BIM dapat meningkatkan kompleksitas implementasi [9].

Penelitian tentang "Implementasi BIM Dalam Estimasi QTO, RAB, Dan Analisis Struktur Menggunakan Revit Dan Robot Struktural Analysis (Gedung Asrama MAN 1 Langsa)" mengungkapkan adanya perbedaan hasil perhitungan. Volume beton dan RAB berdasarkan metode *Quantity Take Off* (QTO) ternyata 4% lebih besar (9,7 m³) dibandingkan hasil perhitungan dengan BIM. Sebaliknya, estimasi pembesian menggunakan Revit menunjukkan hasil 2% lebih tinggi (531,84 kg) dibandingkan metode konvensional [10].

Penelitian tentang "Evaluasi Perancangan Anggaran Biaya Dan Waktu Menggunakan Metode BIM" dengan hasil. Perbandingan biaya antara pemodelan Autodesk Revit dan metode konvensional proyek memiliki selisih Rp. 242.638.340,10 yaitu 4,71% lebih besar pada metode BIM [11].

Penelitian tentang "Penerapan 3D BIM Untuk Menunjang Estimasi Rencana Anggaran Biaya Pekerjaan Elektrikal". Hasil dari penelitian ini mengatakan bahwa estimasi *bill of quantity* yang dihasilkan dengan menggunakan BIM Revit 2019 17,79% lebih kecil dibandingkan dengan nilai pada *bill of quantity* pada dokumen proyek *software* Vissim [12].

Penelitian tentang "Penerapan *Building Information Modeling* (BIM) Pada Bangunan Gedung Bertingkat Menggunakan Tekla Structures". Hasil penelitian perbandingan pekerjaan *Bill of Quantity* (BOQ) menggunakan metode pendekatan BIM pada komponen struktur (beton, dan pembesian) pada Gedung Ruang Kuliah Bersama Fakultas Ekonomi Universitas Samudra menghasilkan volume beton 432,20 m³ (97,26%) dari hitungan perencana, berat pembesian ulir 44.138,38 kg (90,49%) dari hitungan perencana, dan berat pembesian polos 37.023,87 kg (97,09%) dari hitungan perencana. Perbedaan hasil yang didapat terjadi disebabkan perbedaan metode perhitungan pada BIM dengan menghitung volume dari awal hingga akhir muka struktur, kesalahan perhitungan secara manual (*human*

error) serta perhitungan pendetailan tulangan yang menggunakan persamaan umum. Perolehan volume BOQ yang didapatkan dapat dipertanggungjawabkan melalui objek 3D yang dimodelkan dalam *software* Tekla Structures [13].

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan penelitian ini yaitu pemodelan ulang gedung Laboratorium Terpadu Universitas Samudra menggunakan metode BIM dengan *software* Revit *student version* dan untuk menganalisis perbedaan hasil perhitungan *Quantity Take Off* antara metode konvensional dan pendekatan *Building Information Modeling* (BIM) menggunakan Revit pada pekerjaan struktural.

2. Metode Penelitian

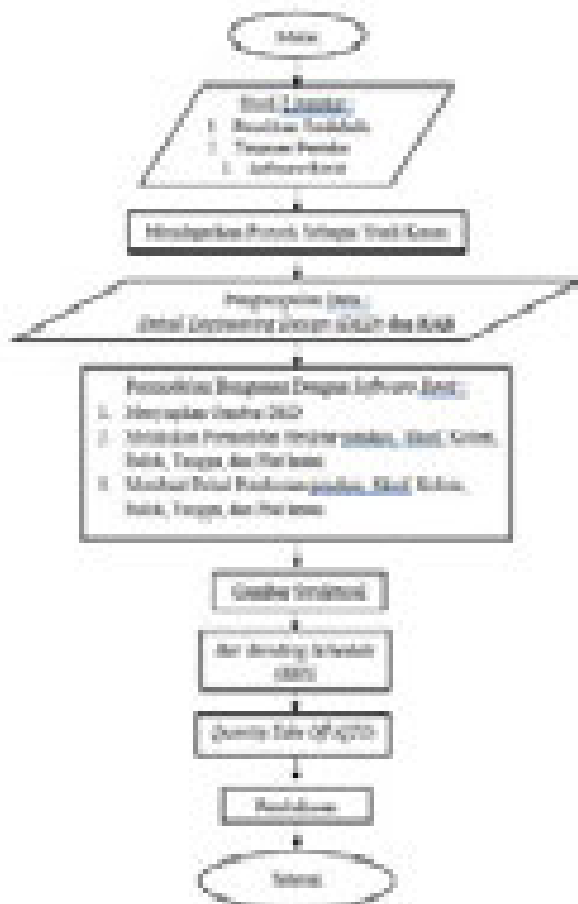
Penelitian ini berlokasi di Universitas Samudra yang berada di Kota Langsa, Provinsi Aceh, Indonesia. Objek dari penelitian ini adalah proyek pembangunan Laboratorium Terpadu Universitas Samudra khususnya pada gambar struktural. Data-data yang tersedia untuk menunjang objek adalah gambar rencana struktural dan data *quantity take off*.

Batasan dalam melakukan penelitian agar dapat memiliki bahasan yang fokus, dan tepat waktu. Pembahasan dalam penelitian ini dibatasi oleh perhitungan *quantity take off* dilakukan menggunakan konsep *Building Information Modeling* hanya pada pekerjaan struktural, penelitian hanya menerapkan konsep BIM 3D (visual) dan 5D *Quantity Take Off* saja, Perhitungan volume struktural menggunakan *software* Revit *Student Version*.

Secara keseluruhan, penelitian ini dilakukan dengan mengacu pada tiga metode pekerjaan, yaitu:

1. Melakukan pengumpulan data sekunder berupa *Detail Engineering Design* (DED) dan Data *Quantity Take Off* (QTO) pekerjaan struktural dengan menggunakan metode konvensional (2D) pada gedung Laboratorium Terpadu Universitas Samudra.
2. Pembuatan pemodelan 3D elemen struktur sloof, pondasi tapak, kolom, balok, plat lantai, pembesian, dll. Pemodelan ini mengacu dari pada informasi yang ada pada gambar DED dan data *Quantity Take Off*. Output dari pemodelan ini adalah mendapatkan gambar pemodelan 3D yang akurat dan detail.
3. Melakukan perbandingan perhitungan *Quantity Take Off* metode konvensional dan QTO metode BIM. Tahap ini dilakukan setelah selesai melakukan pemodelan 3D elemen struktur yaitu beton dan besi. Volume dapat dikeluarkan melalui *menubar Quantity/Schedule* pada *software* Revit. Volume dapat dikeluarkan secara otomatis oleh *software* Revit setelah mengatur beberapa pengaturan pada *menubar Quantity/Schedule*, setelah mendapatkan volume elemen struktur beton dan besi secara

keseluruhan selanjutnya melakukan perbandingan volume hasil metode konvensional dan volume BIM guna mengetahui potensi selisih menggunakan pendekatan BIM.



Gambar 1. Bagan alur penelitian

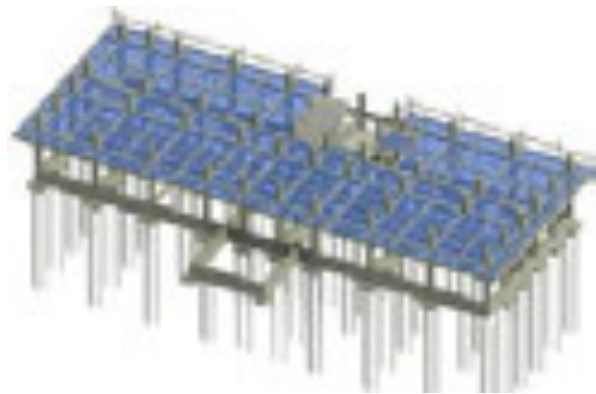
3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini dilakukan untuk memperoleh hasil dari implementasi konsep BIM dalam mendukung pekerjaan pemodelan dan *Quantity Take off* yang lebih efisien, serta mendapatkan perbandingan antara metode BIM dengan metode konvensional yang biasanya digunakan. Pemodelan 3D elemen struktur bangunan dilakukan mulai dari pondasi tapak, sloof, kolom, balok, tangga, plat lantai dan plat dak. Hasil pemodelan struktur secara utuh dengan menggunakan *software* Revit dapat dilihat pada Gambar 2, 3, 4 dan 5.



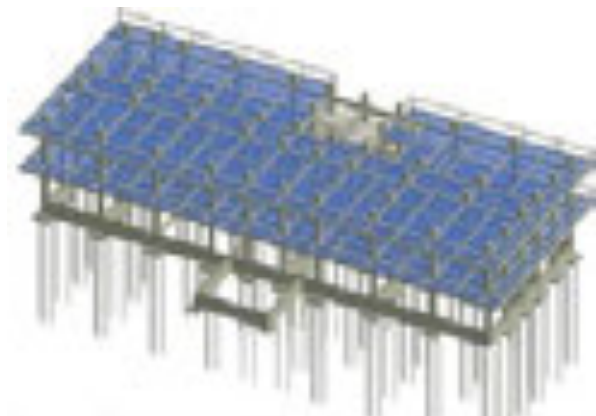
Gambar 2. Pemodelan 3D struktur bawah

Gambar 2. Menampilkan pemodelan 3D pada struktur bawah yang didalam nya terdapat beberapa elemen struktur seperti *Pile Cap*, *Bore Pile*, Sloof, Kolom Praktis dan Kolom Utama.



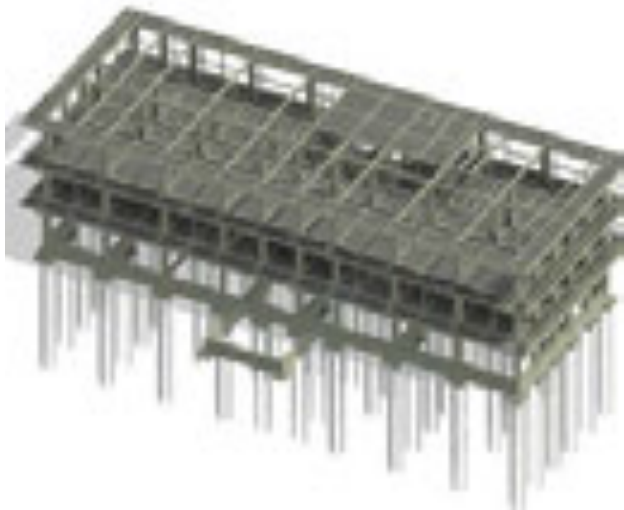
Gambar 3. Pemodelan 3D struktur lantai 1

Gambar 3. Menampilkan pemodelan 3D pada struktur lantai 1 dan struktur bawah yang didalam nya terdapat beberapa elemen struktur *Pile Cap*, *Bore Pile*, Sloof, Plat Lantai, Balok, Balok latei, Kolom Praktis, Tangga dan Kolom Utama.



Gambar 4. Pemodelan 3D struktur lantai 2

Gambar 4. Menampilkan pemodelan 3D pada struktur lantai 2, Lantai 1 dan struktur bawah yang didalamnya terdapat beberapa elemen struktur *Pile Cap*, *Bore Pile*, Sloof, Plat Lantai, Balok latei, Kolom Praktis, Tangga dan Kolom Utama.



Gambar 5. Pemodelan 3D struktur utuh gedung dengan *software* Revit

Gambar 5. Menampilkan pemodelan 3D struktur secara keseluruhan mulai struktur pondasi sampai dengan struktur atap.

Hasil Perhitungan *Quantity Take Off*

Setelah gedung dimodelkan, dilakukan perhitungan *Quantity Take Off* (QTO) menggunakan *menubar Quantity/Schedule* yang ada di *software* Revit. Spesifikasi yang digunakan pada *software* Revit mengacu pada data DED dan QTO yang diperoleh dari instansi Universitas Samudra. Perhitungan volume yang diperoleh dari *software* Revit *student version* mencakup elemen struktur di antaranya : pondasi tapak, sloof, kolom, balok, tangga, pelat lantai, pembesian, dll. Hasil Perhitungan volume beton dapat di lihat pada Tabel 1.

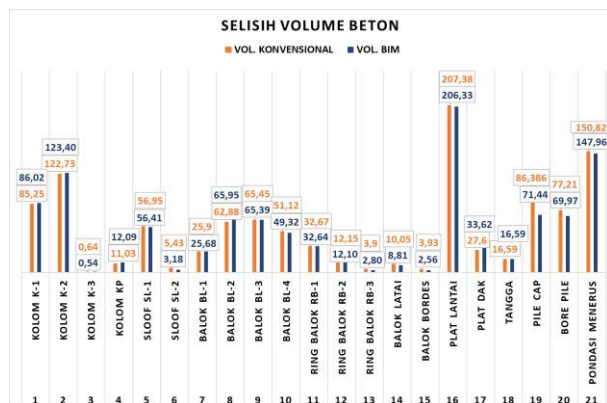
Tabel. 1 Hasil perbandingan volume beton

Uraian Pekerjaan (1)	Vol. Konv. (m ³) (2)	Vol. BIM (m ³) (3)	Selisih (m ³) (4)	Persentase (%) (5)
Kolom K-1	85,25	86,02	-0,77	-0,90%
Kolom K-2	122,73	123,40	-0,67	-0,55%
Kolom K-3	0,64	0,54	0,10	15,63%
Kolom Kp	11,03	12,09	-1,06	-9,61%
Sloof SI-1	56,95	56,41	0,54	0,95%
Sloof SI-2	5,43	3,18	2,25	41,44%
Balok BI-1	25,9	25,68	0,22	0,85%
Balok BI-2	62,88	65,95	-3,07	-4,88%
Balok BI-3	65,45	65,39	0,06	0,09%
Balok BI-4	51,12	49,32	1,80	3,52%
Ring Balok Rb-1	32,67	32,64	0,03	0,09%
Ring Balok Rb-2	12,15	12,10	0,05	0,41%
Ring Balok Rb-3	3,9	2,80	1,10	28,21%

Uraian Pekerjaan (1)	Vol. Konv. (m ³) (2)	Vol. BIM (m ³) (3)	Selisih (m ³) (4)	Persentase (%) (5)
Balok Lantai	10,05	8,81	1,24	12,34%
Balok Bordes	3,93	2,56	1,37	34,86%
Plat Lantai	207,38	206,33	1,05	0,51%
Plat Dak	27,6	33,62	-6,02	-21,81%
Tangga	16,59	16,59	0,00	0,00%
Pile Cap	86,386	71,44	14,95	17,30%
Bore Pile	77,21	69,97	7,24	9,38%
Pondasi Menerus	150,82	147,96	2,86	1,90%
Total Volume	1116,07	1092,80	23,27	2,08%

Tabel 1. Menunjukkan perhitungan pada penelitian sebelumnya atau yang telah dihitung oleh pihak perencana Universitas Samudra menghasilkan volume lebih besar jika dibandingkan dengan hasil dari metode BIM yang menggunakan *software* Revit *Student Version*, selisih beton 2,08% didapati dikarenakan adanya item yang mengalami *double counting* atau pengulangan perhitungan, Hal ini sering terjadi karena *human Error*, umumnya faktor kelelahan ataupun durasi waktu dari pengerjaan perhitungan singkat dan mendesak.

Hasil perbandingan menunjukkan bahwa penerapan metode *Building Information Modeling* (BIM) dapat meningkatkan tingkat akurasi dalam perhitungan volume untuk setiap item pekerjaan elemen struktur. Hal ini terlihat dari hasil perhitungan volume beton pada masing-masing elemen struktur dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik perbandingan volume beton metode BIM dan metode konvensional

Dari grafik yang diperoleh menunjukkan bahwa metode BIM lebih hemat hal ini dapat dilihat melalui hasil total volume beton pada Tabel 2.

Tabel. 2 Total selisih volume beton

Uraian Pekerjaan (1)	Vol. Konv. (m ³) (2)	Vol. BIM (m ³) (3)	Selisih (m ³) (4)	Persentase (%) (5)
Total Volume Beton	1116,07	1092,80	23,27	2,08%

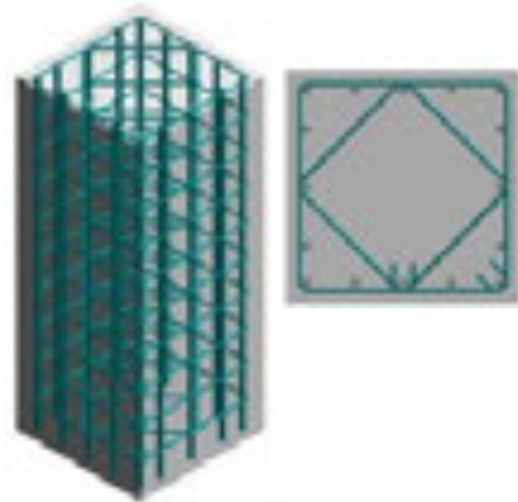
Tabel 2. Menampilkan perhitungan sebelumnya yang memperoleh selisih Volume Beton BIM 23,27 m³ dengan persentase pengurangannya atau penghematan sebesar 2,08%. Diketahui perhitungan pada penelitian sebelumnya atau yang telah dihitung dengan metode konvensional menghasilkan volume 1116,07 m³, jika dibandingkan dengan hasil dari metode BIM yang menggunakan *software* Revit Student Version mendapat volume 1092,80 m³.

Oleh sebab itu maka pentingnya penerapan BIM pada perhitungan Volume pada Pekerjaan Konstruksi sangatlah efisien ditinjau dari waktu pengerjaan dan pengecekan kesalahan dalam menghitung *Quantity Take Off* dari sebuah objek. Dalam *software* Revit, setiap volume pekerjaan telah dimodelkan secara detail, memungkinkan kebutuhan material untuk dihitung dengan akurasi tinggi sesuai dengan model tiga dimensinya. Hal ini memberikan dampak yang signifikan, karena jika pemodelan 3D dimaksimalkan, penerapan konsep *Building Information Modeling* (BIM) dapat dipastikan akan memberikan banyak keuntungan. Keunggulan tersebut tentunya sangat menguntungkan bagi pemilik proyek (owner), seperti efisiensi biaya, waktu, dan peningkatan kualitas dalam pelaksanaan proyek pembangunan.

Hasil Pemodelan Pemesian

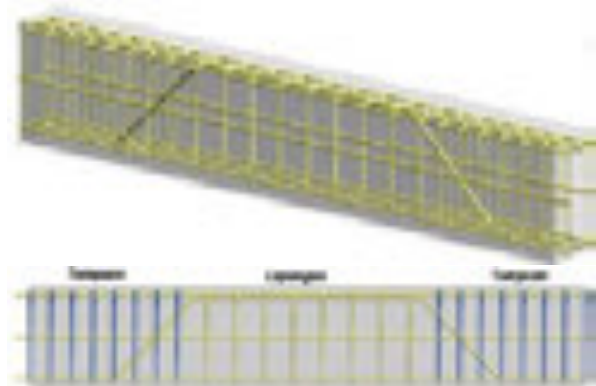
Pemodelan 3D pemesian dibuat berdasarkan spesifikasi dan gambar *Detail Engineering Design* (DED) yang ada. Pemodelan pemesian dibuat menggunakan *software* Revit. Dengan menggunakan informasi gambar kerja yang di atur pada saat akan memulai pemodelan besi. Pemodelan pemesian struktur bangunan dilakukan terhadap semua elemen struktur yang memerlukan tulangan dari struktur bawah, struktur tengah dan struktur atas.

Pembuatan pemodelan struktur kolom harus mengacu kepada informasi DED yang telah dimiliki agar hasil pemodelan dan *schedule* mendapat hasil yang akurat. Pemodelan dapat dibuat dengan dengan beberapa tahap, yaitu membuat grid dan level sebagai acuan penempatan serta tinggi kolom yang dibutuhkan lalu membuat tipe elemen kolom sesuai informasi data DED, hasil pemodelan struktur kolom dapat dilihat pada Gambar 7.



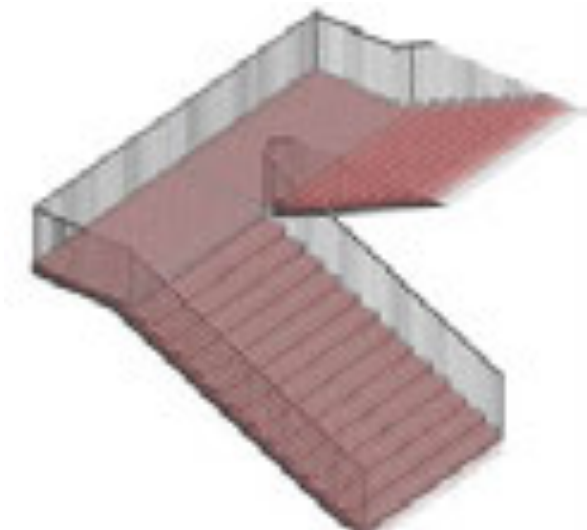
Gambar 7. Pemodelan pemesian kolom

Pembuatan pemodelan struktur sloof harus mengacu kepada informasi DED yang telah dimiliki agar hasil pemodelan dan *schedule* mendapat hasil yang akurat. Pemodelan dapat dibuat dengan dengan beberapa tahap yaitu membuat grid sebagai acuan penempatan yang dibutuhkan lalu membuat tipe elemen sloof sesuai informasi data DED, hasil Pemodelan Struktur Sloof dapat dilihat pada Gambar 8.



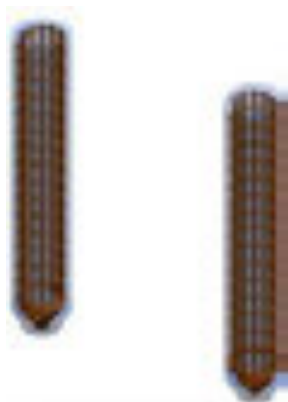
Gambar 8. Pemodelan Pemesian Sloof

Dalam pemodelan tangga langkah awal yang dilakukan adalah pembuatan jenis tangga itu sendiri. Langkah-langkahnya memilih *taksbar Architecture* pada *menubar*, kemudian memilih *toolbar stair*. Tabel properties akan muncul di sisi kiri layar *menubar* yang berfungsi untuk mengatur tangga sesuai keinginan. Dilanjutkan dengan memilih *edit type* di tangga *properties*, lalu masuk ke tabel *type properties* dan memulai penempatan tangga, hasil pemodelan tangga dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Pemodelan pembesian Tangga

Pembuatan pemodelan struktur *bore pile* (a) dan *pile cap* (b) harus mengacu kepada informasi DED yang telah dimiliki agar hasil pemodelan dan *schedule* mendapat hasil yang akurat. Pemodelan dapat dibuat dengan dengan beberapa tahap yaitu membuat grid dan level sebagai acuan penempatan serta tinggi yang dibutuhkan lalu membuat tipe elemen struktur sesuai informasi data DED, berikut hasil pemodelan *Bore Pile* dan *Pile Cap* dapat dilihat pada Gambar 10.



(a)



(b)

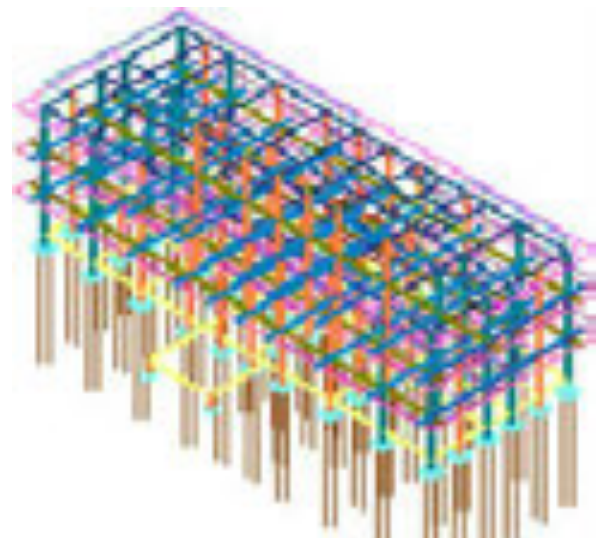
Gambar 10. Pemodelan pembesian *Bore Pile* dan *Pile Cap*

Pembuatan pemodelan struktur pada plat lantai harus mengacu kepada informasi DED yang telah dimiliki agar hasil pemodelan dan *schedule* mendapat hasil yang akurat. Pemodelan dapat dibuat dengan dengan beberapa tahap yaitu membuat grid dan level sebagai acuan penempatan serta tinggi kolom yang dibutuhkan lalu membuat tipe elemen kolom sesuai informasi data DED, hasil pemodelan pembesian Plat Lantai dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Pemodelan pembesian Plat Lantai

Hasil pemodelan pembesian 3D secara keseluruhan didapat setelah semua elemen struktur sudah di modelkan, pemodelan pembesian utuh dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Pemodelan 3D pembesian utuh dengan *software* Revit

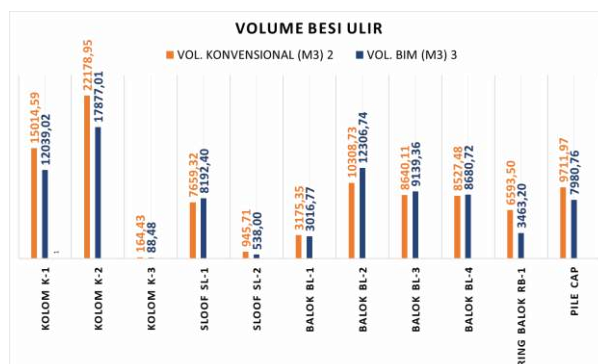
Hasil Perhitungan *Bar Bending Schedule* (BBS)

Setelah pemodelan pembesian selesai dibuat, dilakukan perhitungan pada pembesian menggunakan *software* Revit dengan memanfaatkan *menubar Quantity/Schedule*, hasil output QTO yang dikeluarkan oleh *software* Revit dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel. 3 Perbandingan selisih berat besi ulir

Uraian Pekerjaan	Vol. Konv. (kg)	Vol. BIM (kg)	Selisih (Kg)	Persentase (%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Kolom K-1	15.014,59	12.039,02	2975,57	24,72%
Kolom K-2	22.178,95	17.877,01	4301,94	24,06%
Kolom K-3	164,434	88,48	75,95	85,84%
Sloof SI-1	7.659,32	8.192,40	-533,08	-6,51%
Sloof SI-2	945,71	538	407,71	75,78%
Balok BL-1	3.175,35	3.016,77	158,58	5,26%
Balok BL-2	10.308,73	12.306,74	-1998,01	-16,24%
Balok BL-3	8.640,11	9.139,36	-499,25	-5,46%
Balok BL-4	8.527,48	8.680,72	-153,24	-1,77%
Ring Balok Rb-1	6.593,50	3.463,20	3130,30	90,39%
Pile Cap	9.711,97	7.980,76	1731,21	21,69%
Total Berat Besi	92920,15	83322,46	9597,69	10,33%

Diketahui perhitungan besi ulir pada penelitian sebelumnya atau yang telah dihitung dengan metode konvensional menghasilkan volume lebih besar jika dibandingkan dengan hasil dari metode BIM yang menggunakan *software Revit student version*, selisih besi 10,33%.



Gambar 13. Grafik perbandingan berat besi metode BIM dan metode Konvensional

Gambar 13. menunjukkan perhitungan sebelumnya memperoleh selisih berat besi BIM 9597.69 kg dengan persentase pengurangannya atau penghematan sebesar 10,33%. Diketahui perhitungan pada penelitian sebelumnya atau yang telah dihitung dengan metode konvensional menghasilkan berat besi lebih besar jika dibandingkan dengan hasil dari metode BIM yang menggunakan *software Revit student version*, selisih besi ulir 10,33%.

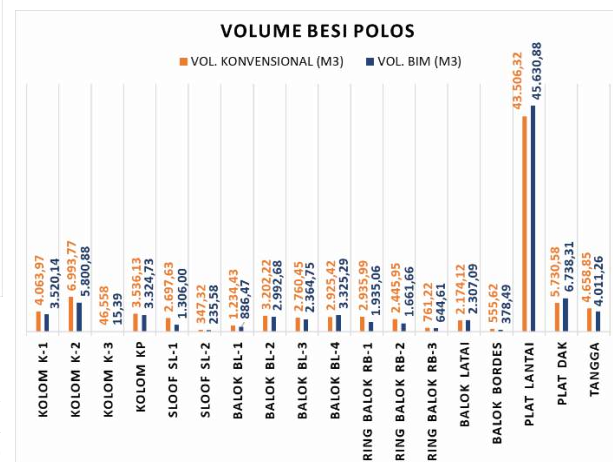
Tabel. 4 Perbandingan selisih berat besi polos

Uraian Pekerjaan	Vol. Konv (Kg)	Vol. BIM (Kg)	Selisih (Kg)	Persentase (%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Kolom K-1	4.063,97	3.520,14	543,83	13,38%
Kolom K-2	6.993,77	5.800,88	1192,89	17,06%
Kolom K-3	46,558	15,39	31,17	66,94%

DOI : <https://doi.org/10.52158/jaceit.v6i1.1096>

Uraian Pekerjaan	Vol. Konv (Kg)	Vol. BIM (Kg)	Selisih (Kg)	Persentase (%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Kolom Kp	3.536,13	3.324,73	211,40	5,98%
Sloof SI-1	2.697,63	1.306,00	1391,63	51,59%
Sloof SI-2	347,32	235,58	111,74	32,17%
Balok BL-1	1.234,43	886,47	347,96	28,19%
Balok BL-2	3.202,22	2.992,68	209,54	6,54%
Balok BL-3	2.760,45	2.364,75	395,70	14,33%
Balok BL-4	2.925,42	3.325,29	-399,87	-13,67%
Ring Balok Rb-1	2.935,99	1.935,06	1000,93	34,09%
Ring Balok Rb-2	2.445,95	1.661,66	784,29	32,06%
Ring Balok Rb-3	761,22	644,61	116,61	15,32%
Balok Lantai	2.174,12	2.307,09	-132,97	-6,12%
Balok Bordes	555,62	378,49	177,13	31,88%
Plat Lantai	43.506,32	45.630,88	-2124,56	-4,88%
Plat Dak	5.730,58	6.738,31	-1007,73	-17,59%
Tangga	4.658,85	4.011,26	647,59	13,90%
Total Berat Besi	90576,548	87079,27	3497,28	3,86%

Tabel 4. menunjukkan perhitungan besi ulir pada penelitian sebelumnya atau yang telah dihitung dengan metode konvensional menghasilkan volume lebih besar jika dibandingkan dengan hasil dari metode BIM yang menggunakan *software Revit student version*, selisih besi 3,86%.



Gambar 14. Grafik perbandingan berat besi metode BIM dan metode Konvensional

Gambar 14. menunjukkan perhitungan sebelumnya diperoleh selisih berat besi perhitungan BIM 3.497,28 kg dengan persentase pengurangannya atau penghematan sebesar 10,33%. Diketahui perhitungan pada metode konvensional sebelumnya atau yang telah dihitung dengan metode konvensional menghasilkan berat besi lebih besar jika dibandingkan dengan hasil dari metode BIM yang menggunakan *software Revit student version*, selisih besi ulir 10,33%.

Tabel. 5 Perbandingan total selisih berat pembesian

Uraian Pekerjaan	Vol. Konv (kg)	Vol. BIM (kg)	Selisih (kg)	Persentase (%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Total Berat Besi	183496,69	170401,73	13094,96	7,14%

Tabel 5. menunjukkan perhitungan sebelumnya memperoleh selisih berat besi perhitungan BIM 13094,96 kg dengan persentase pengurangannya atau penghematan sebesar 7,14%. Diketahui perhitungan pada metode konvensional sebelumnya atau yang telah dihitung dengan metode konvensional menghasilkan berat besi lebih besar jika dibandingkan dengan hasil dari metode BIM yang menggunakan *software* Revit *student version*, selisih total pembesian adalah 7,14%.

Tabel. 6 Total kebutuhan Bar Bending Schedule yang dikeluarkan didapat dari *software* Revit

Uraian Pekerjaan	Panjang (m)	Jumlah Batang	Berat (Kg)
(1)	(2)	(3)	(4)
Besi Ø8	4.721,00	393,42	1125,62
Besi Ø10	22.431,00	1869,25	23192,19
Besi Ø12	69.279,00	5773,25	61546,50
Besi Ø13	1.206,00	100,50	1214,96
Besi D13	12.178,00	1014,83	3551,68
Besi D16	10.914,00	909,50	17199,48
Besi D19	22.187,20	1848,93	50532,28
Besi D22	4.040,00	336,67	12039,02
Total Berat Besi	146956,20	12246,35	170401,73

Dari Tabel 6. didapatkan daftar kebutuhan Bar Bending Schedule (BBS) dalam penggunaan tulangan polos Ø8 mm dengan berat 1.125,62 kg, panjang 4.721 m atau 393,42 batang; Ø10 mm dengan berat 23.192,19 kg, panjang 22.431 m atau 1.869,25 batang; Ø12 mm dengan berat 61.546,5 kg, panjang 69.279 m atau 5.773,25 batang; Ø13 mm dengan berat 1.214,96 kg, panjang 1.206 m atau 100,5 batang. Serta penggunaan tulangan ulir D13 mm dengan berat 3.551,68 kg, panjang 12.178 m atau 1.014,83 batang; D16 mm dengan berat 17.199,48 kg, panjang 10.914 m atau 909,50 batang; D19 mm dengan berat 50.532,28 kg, panjang 22.187,2 m atau 1.848,93 batang; dan D22 mm dengan berat 12.039,02 kg, panjang 4.040 m atau 336,67 batang.

Dari perhitungan sebelumnya diperoleh selisih berat besi BIM 13.094,96 Kg dengan persentase pengurangannya atau penghematan sebesar 7,14%. Diketahui perhitungan pada penelitian sebelumnya atau yang telah dihitung oleh pihak perencana Universitas Samudra menghasilkan volume lebih besar jika dibandingkan dengan hasil dari metode BIM yang menggunakan *software* Revit *student version*, Selisih Besi 7,14%

DOI : <https://doi.org/10.52158/jaceit.v6i1.1096>

didapati dikarenakan adanya item yang mengalami *double counting* atau kesalahan pengulangan perhitungan pekerjaan struktur dan pembesian. Hal ini sering kali terjadi karena adanya *human error* yang disebabkan banyak hal salah satunya ialah durasi waktu dari pengerjaan perhitungan yang sangat singkat. Oleh sebab itu, maka pentingnya penerapan *Building Information Modeling* (BIM) pada perhitungan volume pada pekerjaan konstruksi sangat efisien ditinjau dari waktu pengerjaan dan pengecekan kesalahan dalam menghitung *Quantity Take Off* dari sebuah objek. Pada *software* Revit, semua volume pekerjaan dimodelkan secara detail, sehingga kebutuhan material dapat dihitung dengan akurat sesuai dengan model tiga dimensi yang telah dibuat. Hal ini memberikan dampak signifikan, karena jika pemodelan 3D dimaksimalkan, penerapan konsep *Building Information Modeling* (BIM) dapat dipastikan akan memberikan berbagai keuntungan. Keunggulan tersebut sangat menguntungkan bagi perencana konstruksi, seperti peningkatan akurasi, efisiensi waktu, serta pengurangan risiko kesalahan dalam perhitungan dan pengadaan material.

4. Kesimpulan

Output implementasi konsep *Building Information Modeling* (BIM) efektif dalam pemodelan 3D (visual) dan konsep 5D (estimasi) dalam pembuatan *Quantity Take Off* untuk menunjang pekerjaan menjadi lebih akurat, cepat, dan efisien waktu dibandingkan dengan metode yang telah dilakukan sebelumnya.

Dari hasil *Quantity Take Off* yang dilakukan dengan pemodelan *Building Information Modeling* pada *software* Revit *Student Version* didapati selisih volume metode *Building Information Modeling* dan perhitungan sebelumnya. Pada pekerjaan beton didapati selisih 23,27 m³ atau 2,08%; pada pekerjaan pembesian ulir didapati selisih 9.597,69 kg atau 10,33%; pembesian polos 3.497,28 kg atau 3,86%; dan selisih berat pembesian total adalah 13.094,96 kg atau 7,14%.

Ucapan Terima Kasih

Sebagai penulis jurnal ini, saya ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Universitas Samudra atas dukungan dan bantuannya. Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam menyediakan data dan informasi yang sangat membantu proses penulisan ini.

Daftar Rujukan

- [1] M. P. Maysarah, Yulina Ismida, "Analisis Perhitungan Struktur Laboratorium Teknik Sipil Type II Fakultas Teknik Universitas Samudra," vol. 18, no. 1, pp. 20–25, 2013.
- [2] Permen PU No. 22/PRT/M/2018, *Pembangunan Bangunan Gedung Negara Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia*. 2018.
- [3] R. Apriansyah, "Implementasi Konsep Building Information

- Modelling (BIM) Dalam Estimasi Quantity Take Off Material Pekerjaan Struktural,” *Univ. Islam Indones.*, p. 126, 2021.
- [4] S. Azhar, A. Nadeem, J. Y. N. Mok, and B. H. Y. Leung, “Building Information Modeling (BIM): A New Paradigm for Visual Interactive Modeling and Simulation for Construction Projects,” *First Int. Conf. Constr. Dev. Ctries.*, vol. 1, pp. 435–446, 2008.
- [5] S. Arrafi, W. Alamsyah, and M. Purwandito, “Penerapan Building Information Modeling (BIM) Pada Gedung Kuliah Pascasarjana IAIN Langsa Menggunakan Software Tekla Structures,” *PRINCE J. Plan. Res. Civ. Eng.*, vol. 2, no. 1, pp. 146–159, 2023, [Online]. Available: <https://ejournal.unida-aceh.ac.id/index.php/prince/article/view/449>
- [6] PUPR, “Prinsip Dasar Sistem Teknologi BIM dan Implementasinya di Indonesia,” *BMC Microbiol.*, vol. 17, no. 1, pp. 1–14, 2018, [Online]. Available: https://simantu.pu.go.id/epel/edok/29a17_MODUL_3-PRINSIP_DASAR_SISTEM_TEKNOLOGI_BIM.pdf
- [7] C. F. Mieslenna, “Exploring The Implementation Of Building Information Modeling (Bim) In The Indonesian Construction Industry From Users ’ Perspective,” *J. Sos. Ekon. Pekerj. Umum*, vol. 11, no. 1, pp. 44–58, 2019.
- [8] J. B. Laorent, Danny, Paulus Nugraha, “Analisa quantity take-off dengan menggunakan autodesk revit,” pp. 1–8, 2019, [Online]. Available: <https://www.duts.petra.ac.id/index.php/duts/article/view/135>
- [9] X. S. Lee, C. W. Tsong, and M. F. Khamidi, “5D Building Information Modelling-A Practicability Review,” *MATEC Web Conf.*, vol. 66, pp. 1–7, 2016, doi: 10.1051/mateconf/20166600026.
- [10] T. A. Siboro, H. Fajri, and Firdasari, “Implementasi BIM Dalam Estimasi QTO, RAB, dan Analisis Struktur Menggunakan Revit dan Robot Struktural Analysis (Gedung Asrama MAN 1 Langsa),” *J. Plan. Res. Civ. Eng.*, vol. 2, no. 3, pp. 274–288, 2023.
- [11] H. Zahro, P. K., Ratnaningsih, A., “Evaluasi Perancangan Anggaran Biaya dan Waktu Menggunakan Metode BIM.”, [Online]. Available: <https://repository.unej.ac.id/xmlui/handle/123456789/106258>
- [12] Z. D. Pradana, “Penerapan 3D Bim Untuk Menunjang Estimasi Rencana Anggaran Biaya Pekerjaan Elektrikal (3D Bim Application To Support Cost Estimation of Electrical Installation),” 2021.
- [13] W. Aditya, M. Purwandito, and A. Fauzia, “Penerapan Building Information Modeling (BIM) Pada Bangunan Gedung Bertingkat Menggunakan Tekla Structures,” *J. Appl. Civ. Eng. Infrastruct. Technol.*, vol. 5, no. 2, pp. 86–94, 2024, doi: 10.52158/jaceit.v5i2.853.



Analisis Laju Sedimen Berdasarkan Data *Unsteady Flow Real Time* Dengan HEC-RAS di DAS Bomo Banyuwangi

Habib Marjun Syafa'at¹, YP. Widi Prasetyo², Heri Sujatmiko³, Dimas Aji Purnomo⁴, Zulis Erwanto^{5,6}

^{1, 2, 3, 4} Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Banyuwangi

⁵ Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Banyuwangi,

⁶ Departemen Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya,

¹habibmarjunsyafaat@gmail.com*, ²widiprasetyo@untag-banyuwangi.ac.id, ³heri.untag@yahoo.com,

⁴dimas.untag@gmail.com, ^{5,6}zulis.erwanto@poliwangi.ac.id

Abstract

The 2018 flash flood in Banyuwangi Regency highlighted the role of sedimentation in increasing disaster risks. This study aims to analyze sedimentation rates based on real-time unsteady flow data during the rainy and dry seasons, understand the relationship between unsteady flow and sedimentation, and evaluate the role of HEC-RAS in mitigating sedimentation-related risks. Hydrometric measurements were conducted in real-time over seven days in both seasons. Data were analyzed using HEC-RAS and validated using the Mean Absolute Error (MAE) method of bathymetric measurements. The results show that sedimentation rates were higher during the rainy season (2.77 m³/day) compared to the dry season (1.33 m³/day) due to increased discharge and flow velocity. Flow velocity correlates more strongly with sedimentation than discharge, with regression values of 0.8257 in the dry season and 0.4072 in the rainy season. Flood modeling with HEC-RAS indicates that sedimentation increases flood risks, particularly in downstream areas. Therefore, mitigation measures such as river normalization, embankment construction, drainage optimization, and upstream soil conservation are necessary. These findings also support early warning systems to enhance community preparedness for sedimentation-induced floods.

Keywords: Sedimentation, Unsteady Flow, HEC-RAS, Bomo Watershed, Flood Mitigation

Abstrak

Banjir bandang di Kabupaten Banyuwangi tahun 2018 menunjukkan sedimentasi berperan dalam meningkatkan risiko bencana. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis laju sedimentasi berdasarkan data *unsteady flow real-time* pada musim hujan dan kemarau, memahami hubungan antara *unsteady flow* dan sedimentasi, serta mengevaluasi peran HEC-RAS dalam mitigasi risiko akibat sedimentasi. Pengukuran hidrometri dilakukan secara *real-time* selama 7 hari di dua musim. Data dianalisis dengan HEC-RAS dan divalidasi menggunakan metode *Mean Absolute Error* (MAE) dari pengukuran batimetri. Hasil menunjukkan laju sedimentasi lebih tinggi pada musim hujan (2.77 m³/hari) dibandingkan musim kemarau (1.33 m³/hari) akibat debit dan kecepatan aliran yang lebih besar. Kecepatan aliran memiliki korelasi lebih tinggi terhadap sedimentasi dibanding debit, dengan regresi 0.8257 di musim kemarau dan 0.4072 di musim hujan. Pemodelan banjir dengan HEC-RAS menunjukkan bahwa sedimentasi memperbesar risiko luapan, terutama di hilir. Oleh karena itu, mitigasi diperlukan melalui normalisasi sungai, pembangunan tanggul, optimalisasi drainase, serta konservasi tanah di hulu. Hasil ini juga mendukung sistem peringatan dini untuk meningkatkan kesiapsiagaan masyarakat terhadap banjir akibat sedimentasi.

Kata kunci : Sedimentasi, *Unsteady Flow*, HEC-RAS, DAS Bomo, Mitigasi Banjir

Diterima Redaksi : 2025-01-09 | Selesai Revisi : 2025-03-02 | Diterbitkan Online : 2025-03-03

1. Pendahuluan

Banjir bandang di kabupaten Banyuwangi pada tahun 2018 yang melanda kecamatan Sragi, Songgon, Singojuruh, Licin, Glagah, dan Rogojampi melalui DAS Bomo dan DAS Glondong membawa longsoran dari bendungan alami di hulu yang terbentuk akibat erosi yang tersedimentasi. Pada saat intensitas hujan tinggi, bendung alami tersebut tidak dapat menahan aliran air sehingga pecah menyebabkan banjir bandang [1]. Sedimentasi juga berdampak pada penurunan pasokan

Kawasan yang berpotensi longsor dapat terdeteksi dari tebalnya sedimentasi hasil erosi pada suatu kawasan [2]–[5].

Selain sebagai pendeteksi kawasan rawan longsor, sedimentasi membawa dampak pada pendangkalan sungai yang menyebabkan meluapnya air sungai. Sedimentasi dapat berpengaruh terhadap penurunan kapasitas sungai karena penumpukan sedimen.



Lisensi
Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional

air, produksi pangan, biaya pemeliharaan bangunan penahan sedimen, serta penurunan kualitas air dan keanekaragaman hayati [6].

Sungai tanpa adanya talud atau perkerasan lantai dibawahnya merupakan jenis sungai dengan aliran tak tunak (*unsteady flow*) berpotensi terjadi pengikisan dan sedimentasi yang menyebabkan perubahan kedalaman aliran dalam waktu tertentu. Sungai dengan bentuk *unsteady flow* memiliki pengaruh yang besar terhadap pergerakan sedimen karena permukaan dasar sungai yang tidak stabil sehingga mempengaruhi transportasi sedimen [7].

Sedimentasi di DAS dipengaruhi oleh bentuknya, yang diklasifikasikan menjadi tipe bulu burung, paralel, radial, dan kompleks [8]. Sungai besar di Banyuwangi, seperti sungai Baru, Setail, Bomo, dan Tambong, memiliki tipe bulu burung, dengan aliran berasal dari Gunung Raung dan Gunung Ijen. Bentuk ini ditandai oleh debit kecil di hulu yang bergabung ke sungai utama yang besar [9]. Percabangan dan belokan di hulu memicu erosi, menyebabkan sedimen terbawa arus dan menumpuk di hilir [10].

Pemodelan sedimentasi dan luapan sungai dapat dilakukan dengan HEC-RAS, software hidrolis terintegrasi dengan antarmuka grafis, analisis hidrolis, manajemen data, serta fitur laporan dan visualisasi [11]–[15]. HEC-RAS memiliki akurasi tinggi, menampilkan distribusi data *cross section* secara langsung, dan memungkinkan simulasi alternatif lebih cepat dibanding perhitungan analitis [16]. Laju sedimentasi dihitung berdasarkan penampang dan geometri sungai, sampel sedimen dasar, data debit, dan suhu. Data *unsteady flow* berupa data debit yang diambil langsung di lapangan diukur secara *real-time* selama 7 hari di dua musim menggunakan alat sensor hidrometri [17], [18].

Parameter input awal mencakup data geometri, koefisien Manning, koefisien ekspansi dan koefisien kontraksi, kemiringan dasar sungai, serta debit aliran. Hasil simulasi disesuaikan dengan data lapangan, dan jika tidak sesuai, parameter hidrolis akan disesuaikan. Setelah validasi, input data untuk simulasi *sediment transport* mencakup diameter butiran sedimen, kecepatan aliran, dan kedalaman sungai [11], [19]–[22]. Hasil pemodelan HEC-RAS divalidasi dengan kondisi batimetri sungai menggunakan metode *Mean Absolute Error* (MAE).

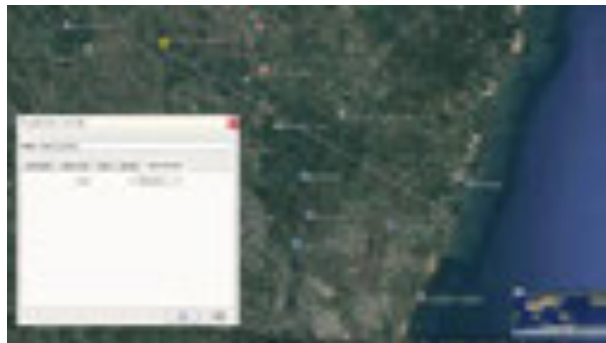
Penelitian ini penting karena laju sedimentasi yang tinggi mempercepat pendangkalan sungai, mengurangi daya tampung, dan berpotensi menyebabkan luapan. Dengan parameter dan rumus dalam HEC-RAS, data yang diolah diharapkan mendekati kondisi lapangan. Hasil penelitian ini bermanfaat untuk perencanaan kantong lumpur, bendung, normalisasi sungai, dan konservasi tanah [23]–[28]. Selain itu, penelitian ini berkontribusi pada mitigasi banjir akibat sedimentasi

serta konservasi lahan di sungai-sungai Banyuwangi yang bertipe bulu burung [29].

2. Metode Penelitian

2.1. Lokasi Penelitian

DAS Bomo terletak di Kecamatan Srono, dengan aliran melewati Kecamatan Sempu dan Glagah sepanjang 37,70 km dan luas 101,4 km² [30]. Pengukuran *unsteady flow real-time* dan batimetri dilakukan di hilir Sungai Bomo, tepatnya di Dusun Bongkoran, Desa Parijatah Wetan, Kecamatan Srono, Banyuwangi, pada koordinat 8°21'19.43"S, 114°15'17.53"E. Titik ini tidak dipengaruhi pasang surut karena berjarak kurang lebih 11 s.d 13 Km dari muara Pantai Bomo [10], seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Jarak Titik Pengukuran ke Muara Sungai
(Sumber : Google Earth)

Kondisi lapangan di lokasi studi ditampilkan pada Gambar 2. Pada DAS Bomo, tiga penampang sungai dipilih untuk pengukuran batimetri dan pengambilan sedimen. Waterpass ditempatkan di hilir, di tepi sungai, untuk menjangkau ketiga penampang secara langsung. Sementara itu, *water level* dipasang di area yang lebih tinggi guna menghindari risiko kerusakan akibat luapan sungai.

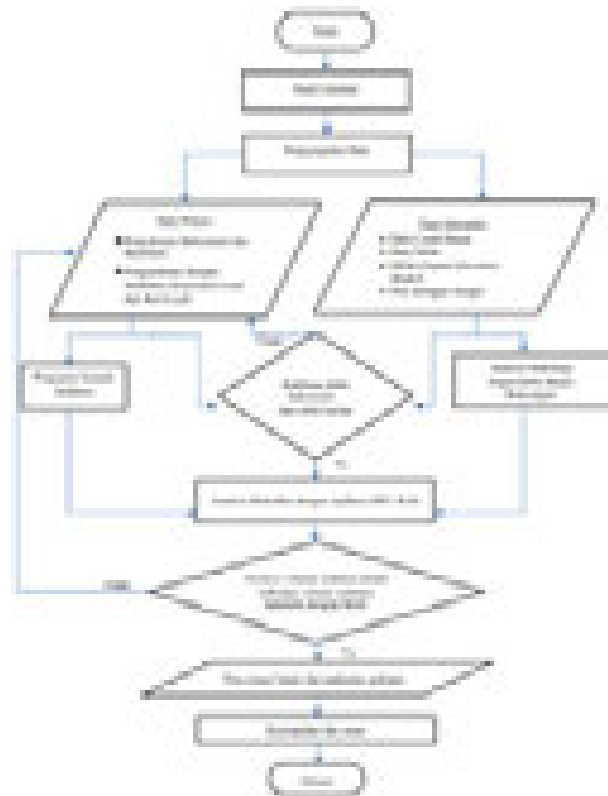


Gambar 2. Kondisi Lapangan, Letak Alat Uji Hidrometri, dan Letak Alat Ukur Waterpass

2.2. Waktu Penelitian

Pengumpulan data hidrometri jam-jaman sebagai data *unsteady flow real-time*, data batimetri, dan sedimen. Pengukuran ini dilakukan dalam dua periode berbeda, yaitu saat musim kemarau selama 7 hari pada bulan Agustus 2022 dan saat musim penghujan selama 7 hari pada bulan Januari 2023. Pengambilan data pada dua musim bertujuan untuk membandingkan variasi debit, kedalaman, serta perubahan karakteristik sedimentasi yang terjadi akibat perbedaan intensitas curah hujan.

2.3. Langkah Penelitian



Gambar 3. Bagan Alir (Flow Chart) Pelaksanaan Penelitian

Langkah-langkah penelitian berdasarkan bagan alir Gambar 3 sebagai berikut:

1.) Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mencari *state of the art* dan *novelty* penelitian.

2.) Pengumpulan Data Primer

Data primer yang dikumpulkan antara lain:

a. Survey Hidrometri dan Survey Batimetri Sungai

Survei hidrometri dilakukan untuk memperoleh data *unsteady flow* menggunakan alat ukur berbasis sensor [17]. Data dikumpulkan setiap jam dan dipantau melalui ponsel Android dengan koneksi *WiFi*. Dengan dua metode aplikasi berbeda: *water level* dipasang di lokasi untuk memantau perubahan ketinggian air secara langsung, sementara *water flow* dipegang agar tidak terbawa arus sungai seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Proses Pengambilan Data *Water Level* dan *Water Flow* dengan Suhu dengan Alat Hidrometri Berbasis Sensor [17]

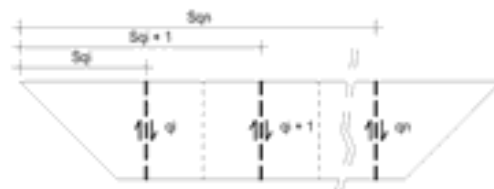
Survei batimetri sungai dilakukan dalam dua tahap pada dua musim. Tahap pertama bertujuan menentukan data awal sungai sebagai input *cross section* untuk pemodelan HEC-RAS sebelum sedimentasi terjadi. Tahap kedua digunakan untuk validasi hasil pemodelan dengan kondisi lapangan setelah sedimentasi. Pengukuran dilakukan secara manual menggunakan *waterpass* dan bak ukur, seperti ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Proses Pengukuran Batimetri Sungai Secara Manual

Survei batimetri tahap pertama dilakukan pada Juli dan Desember 2022 untuk memperoleh data *cross section* sebagai input pemodelan. Tahap kedua dilakukan pada Agustus 2022 dan Januari 2023 untuk validasi hasil pemodelan dengan kondisi lapangan setelah sedimentasi.

Pengambilan sampel sedimen dasar dan melayang dilakukan berdasarkan pembagian penampang sungai pada Gambar 2. Setiap penampang melintang sungai diambil tiga sampel sedimen, dengan titik pengambilan yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Sketsa Pengambilan Sample Sedimen tiap Penampang Sungai (S_{qi} Jarak Antara Titik Pengambilan Terhadap Titik Awal) [31]

Pengambilan sampel sedimen dilakukan pada dua musim, yaitu Agustus 2022 (musim kemarau) dan Januari 2023 (musim penghujan). Proses pengambilan serta hasil sedimen yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Proses Pengambilan Sampel Sedimen dan Hasil Sampel Sedimen

- 3.) Pengumpulan Data Sekunder
 Pengumpulan data sekunder dilakukan sebagai data pendukung analisa hidrologi dan geometri DAS.
 Data sekunder yang dikumpulkan antara lain:
 - a. Data Curah Hujan Harian
 - b. Data Debit Harian
 - c. DEM (*Digital Elevation Model*)
 - d. Peta Jaringan Sungai
- 4.) Pengujian Sampel Sedimen
 Pengujian sampel sedimen di laboratorium antara lain:
 - a. Analisa Saringan [32]
 - b. Hidrometer [33]
 - c. Berat Jenis [34]
 - d. Berat Volume [35]
 - e. Konsentrasi Sedimen [36]
- 5.) Kalibrasi Debit Hidrometri Terhadap Data Debit Harian AWLR
 Kalibrasi dilakukan dengan membandingkan data debit hidrometri dari lapangan dengan data debit harian dari AWLR. Proses ini menggunakan persamaan regresi linier untuk memastikan akurasi dan konsistensi data.
- 6.) Analisis Hidrologi
 Analisis hidrologi dilakukan untuk menentukan debit banjir rancangan dengan kala ulang 1 tahun sebagai pendekatan musim kering (Agustus) dan kala ulang 5 tahun untuk musim basah (Januari). Perhitungan menggunakan metode Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu, yang kemudian digunakan sebagai input dalam analisis hidraulika di HEC-RAS.
- 7.) Analisis Hidrolika
 Analisis hidrolika menggunakan aplikasi HEC-RAS dengan tahapan sebagai berikut
 - a. *Open RAS Mapper*
 - b. *Input & Create Geometrik Data*
 - c. *Input Cross Section*
 - d. *Input Unsteady Flow*
 - e. *Input Sediment Data*
 - f. *Running Model*
 - g. *View Output Model*

- 8.) Validasi Volume Sedimen Terhadap Pengukuran Batimetri
 Validasi volume sedimen hasil analisis HEC-RAS dilakukan dengan membandingkan data model terhadap pengukuran batimetri sungai di lapangan menggunakan *Mean Absolute Error* (MAE). Pengukuran batimetri dilakukan pada Agustus 2022 dan Januari 2023.
 Variabel dalam validasi model simulasi sedimen berdasarkan rumus 1 meliputi nilai aktual dan nilai prediksi.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (1)$$
 Dimana n merupakan jumlah data. y_i adalah nilai aktual hasil observasi pengukuran batimetri ke-i. $\hat{y}_i$ adalah nilai prediksi hasil dari pemodelan pada aplikasi HEC-RAS. $|y_i - \hat{y}_i|$ merupakan selisih absolut antara nilai aktual dan prediksi ke-i.
- 9.) *Layouting* peta zonasi genangan banjir dan angkutan sedimen menggunakan aplikasi QGIS sebagai *output* model *RAS Mapper*.
- 10.) Rekomendasi upaya mitigasi bencana berdasarkan *output* peta zonasi banjir dan nilai angkutan sedimen sebagai kesimpulan dari hasil analisa karakteristik sedimen, dan besar sedimen yang dimodelkan pada aplikasi HEC-RAS.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi dilakukan untuk memahami karakteristik aliran sungai di DAS Bomo, terutama kaitannya dengan curah hujan, debit sungai, pola aliran yang mempengaruhi proses sedimen. Analisis hidrologi diperoleh dari data curah hujan dari instansi terkait.

Curah hujan harian maksimal dari beberapa stasiun di rata-rata menggunakan metode aritmatik dengan hasil pada Tabel 1. Kemudian analisis curah hujan rancangan diperoleh dengan menggunakan metode distribusi statistik *log person type III*, didapatkan curah hujan rancangan kala ulang untuk di-*input* kedalam rumus perhitungan distribusi frekuensi hujan netto jam-jaman.

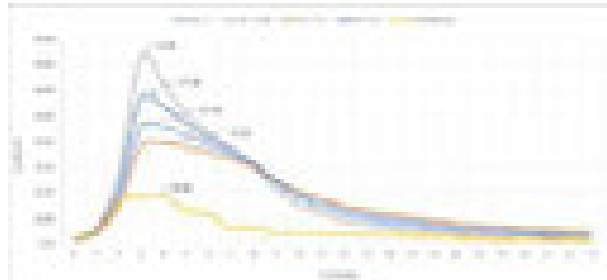
Tabel 1. Curah Hujan Harian Maksimal

Tahun	Stasiun Hujan (mm)					CH (mm)
	Alas Malang	Gambor	Turus Kumbo	Temu guruh	Songgon	
2004	14	132	12	39	43	48
2005	39	44	0	143	80	61
2006	199	65	89	106	31	98
2007	56	131	44	33	12	55
2008	199	65	89	0	31	77
2009	146	0	57	13	54	54
2010	21	22	42	49	164	60
2011	10	83	0	0	182	55
2012	148	75	52	30	16	64
2013	193	140	148	120	117	144
2014	34	31	138	13	67	57
2015	0	0	128	0	41	34
2016	142	92	180	120	35	114
2017	127	66	183	0	29	81
2018	120	60	176	174	316	169
2019	10	0	23	8	204	49
2020	37	57	128	0	199	84

Tahun	Stasiun Hujan (mm)					CH (mm)
	Alas Malang	Gambor	Turus Kumbo	Temu guruh	Songgon	
2021	62	50	84	68	292	111
2022	72	76	130	0	117	79
2023	27	46	50	34	224	76
Rata-Rata	83	62	88	48	113	78

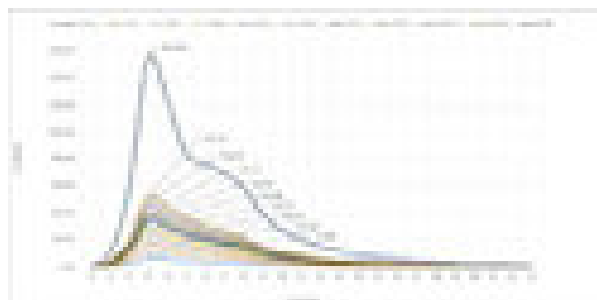
Data geometri diperoleh dari instansi terkait. Data *Digital Elevation Model* (DEM) yang sudah dijadikan peta kemiringan lereng dapat dilihat pada Gambar 10 dan untuk peta jaringan DAS Bomo pada Gambar 11.

Langkah berikutnya melakukan analisis hidrograf satuan menggunakan metode Nakayasu dengan nilai α 1.08 hasil dari *trial error* seperti pada Gambar 8 hasil perbandingan nilai α .



Gambar 8. Grafik Hidrograf Banjir Rancangan Metode Nakayasu dengan berbagai Tingkat α

Kemudian debit banjir rancangan kala ulang dihitung menggunakan metode Nakayasu diperoleh grafik pada Gambar 9.



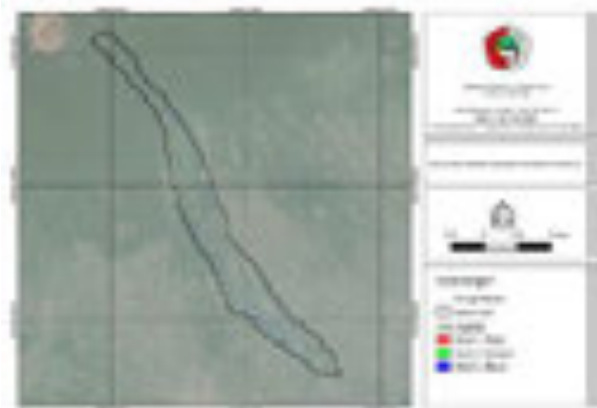
Gambar 9. Grafik Hidrograf Banjir Rancangan Metode Nakayasu Berbagai Kala Ulang

3.2. Hasil Analisis Hidrolika

3.2.1. Data Geometri dan Batimetri

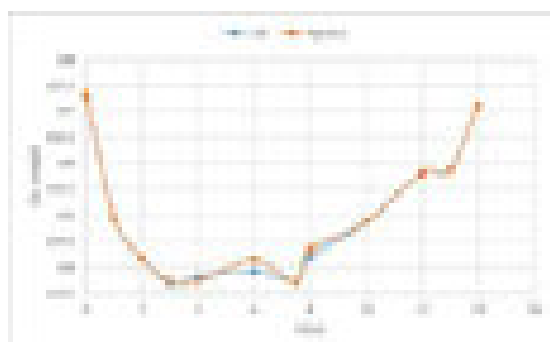


Gambar 10. DEM Kemiringan Lereng DAS Bomo

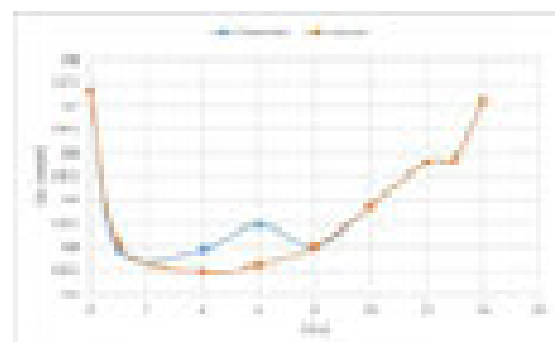


Gambar 11. Jaringan Sungai DAS Bomo

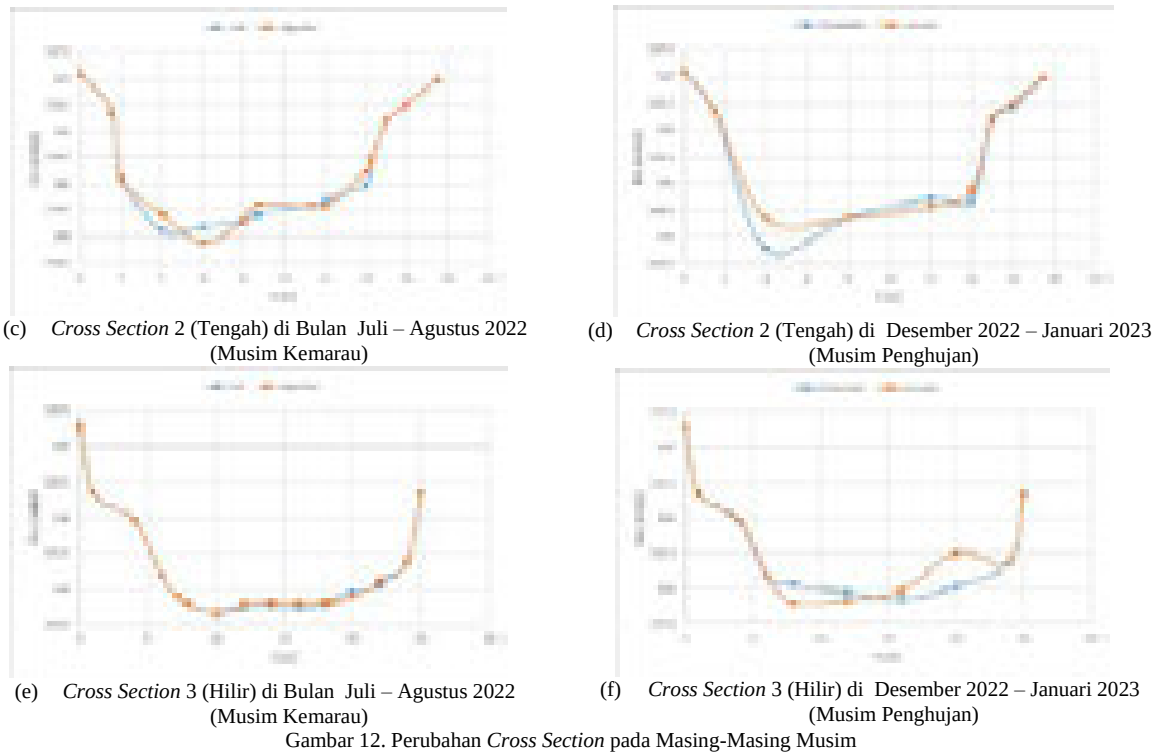
Data batimetri diperoleh sebagai *input cross section* dan cek validasi sedimen yang diambil pada bulan Juli dan Agustus 2022 sebagai perwakilan musim kemarau, serta bulan Desember 2022 dan Januari 2023 sebagai perwakilan musim penghujan. Grafik hasil pengukuran batimetri pada Gambar 12.



(a) Cross Section 1 (Hulu) di Bulan Juli – Agustus 2022 (Musim Kemarau)



(b) Cross Section 1 (Hulu) di Desember 2022 – Januari 2023 (Musim Penghujan)



3.2.2. Data Sedimen

Data sedimen yang diperoleh dari analisa saringan dapat dilihat pada Tabel 2 untuk musim kemarau dan Tabel 4 untuk musim hujan. Untuk mengetahui karakteristik

sedimen di DAS Bomo data pengujian dapat dilihat pada Tabel 3 untuk musim kemarau dan Tabel 5 untuk musim

Tabel 2. Diameter Butiran Sungai Bomo Musim Kemarau

Tanggal	Data	Diameter Butiran Sungai Bomo						
		Finner #200 (%)	Gravel (%)	Sand (%)	Silt/Clay (%)	D ₃₅ mm	D ₅₀ mm	D ₆₅ mm
4/8/2022	1	0.15	54.90	44.95	0.15	3.83	5.05	6.26
5/8/2022	2	0.05	56.25	43.70	0.05	4.03	5.33	6.37
6/8/2022	3	0.05	76.50	23.45	0.05	5.47	6.24	7.12
7/8/2022	4	0.10	42.40	57.50	0.10	3.05	4.10	5.36
8/8/2022	5	0.10	41.10	58.80	0.10	3.00	4.10	5.26
9/8/2022	6	0.10	37.90	62.00	0.10	2.66	3.70	5.01
10/8/2022	7	0.10	53.50	46.40	0.10	3.68	4.97	6.24
Rata-Rata		0.09	51.79	48.11	0.09	3.68	4.79	5.95

Tabel 3. Rekap Hasil Pengujian Sedimen Musim Kemarau

Tanggal	Data	Berat Jenis Rata-Rata	Berat Isi rata -rata (gr/cm ³)	C rata -rata (mg/L atau ppm)	Suhu (oC)	TDS (ppm)
4/8/2022	1	2.50	1.57	485	28.09	415
5/8/2022	2	2.49	1.59	385	27.11	373
6/8/2022	3	2.49	1.57	447	27.39	386
7/8/2022	4	2.56	1.55	327	27.05	381
8/8/2022	5	2.55	1.58	320	27.83	315
9/8/2022	6	2.58	1.59	320	29.26	406
10/8/2022	7	2.68	1.56	440	28.33	442
Rata-Rata		2.55	1.57	389	27.87	388

Tabel 4. Diameter Butiran Sungai Bomo Musim Hujan

Tanggal	Data	Diameter Butiran Sungai Bomo						
		Finner #200 (%)	Gravel (%)	Sand (%)	Silt/Clay (%)	D ₃₅ mm	D ₅₀ mm	D ₆₅ mm
23/1/2023	1	0.25	16.50	83.25	0.25	0.32	0.43	0.91
24/1/2023	2	0.20	22.30	77.50	0.20	0.35	0.52	1.66
25/1/2023	3	0.25	27.65	72.10	0.25	0.37	0.63	3.01
26/1/2023	4	0.25	19.25	80.50	0.25	0.42	0.64	1.58
27/1/2023	5	0.40	16.80	82.80	0.40	0.32	0.44	0.91
28/1/2023	6	0.25	15.50	84.25	0.25	0.34	0.49	0.82
29/1/2023	7	0.45	29.40	70.15	0.45	0.35	0.73	3.45
Rata-Rata		0.29	21.06	78.65	0.29	0.35	0.55	1.76

Tabel 5. Rekap Hasil Pengujian Sedimen Musim Hujan

Tanggal	Data	Berat Jenis Rata-Rata	Berat Isi rata -rata (gr/cm ³)	C rata -rata (mg/L atau ppm)	Suhu (oC)	TDS (ppm)
23/1/2023	1	2.40	1.47	300	29.38	262
24/1/2023	2	2.61	1.48	210	29.77	242
25/1/2023	3	2.51	1.48	287	28.56	230
26/1/2023	4	2.52	1.49	200	28.06	254
27/1/2023	5	2.50	1.49	220	27.94	229
28/1/2023	6	2.50	1.52	420	27.43	410
29/1/2023	7	2.43	1.51	360	27.55	368
Rata-Rata		2.50	1.49	285	28.38	285

3.2.3. Kalibrasi Debit Hidrometri

Kalibrasi debit adalah proses penyesuaian parameter model hidrologi atau hidraulik agar hasil simulasi lebih sesuai dengan data pengukuran lapangan. Kalibrasi ini bertujuan untuk meningkatkan akurasi dalam melakukan pemodelan. Kalibrasi debit hidrometri dilakukan pada

data pengukuran dari alat sensor hidrometri dengan kalibrasi pada data debit dari instansi dengan metode bangkitan persamaan regresi berganda. Diperoleh data debit setelah kalibrasi dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Debit AWLR dengan Debit Ukur Kalibrasi

No.	Tgl/Bln/Thn	Debit AWLR Qo (m ³ /s)	Debit Ukur Sebelum Kalibrasi Qu (m ³ /s)	Debit Ukur Setelah Kalibrasi Qu (m ³ /s)
1	4/8/2022	1.57	2.76	2.60
2	5/8/2022	1.90	1.62	1.92
3	6/8/2022	2.07	1.84	2.06
4	7/8/2022	2.07	3.77	3.10
5	8/8/2022	1.57	2.96	2.70
6	9/8/2022	1.57	3.33	2.89
7	10/8/2022	1.57	5.35	3.79
8	11/8/2022	2.64	4.06	3.24
11	23/1/2023	2.25	1.73	1.99
12	24/1/2023	1.57	1.54	1.87
13	25/1/2023	1.73	2.09	2.22
14	26/1/2023	2.25	2.01	2.17
15	27/1/2023	2.64	2.81	2.63
16	28/1/2023	3.51	4.68	3.51
17	29/1/2023	3.98	6.66	4.29
18	30/1/2023	3.98	2.69	2.56
Rata-Rata		2.22	3.22	2.78

3.3. Hasil Pemodelan

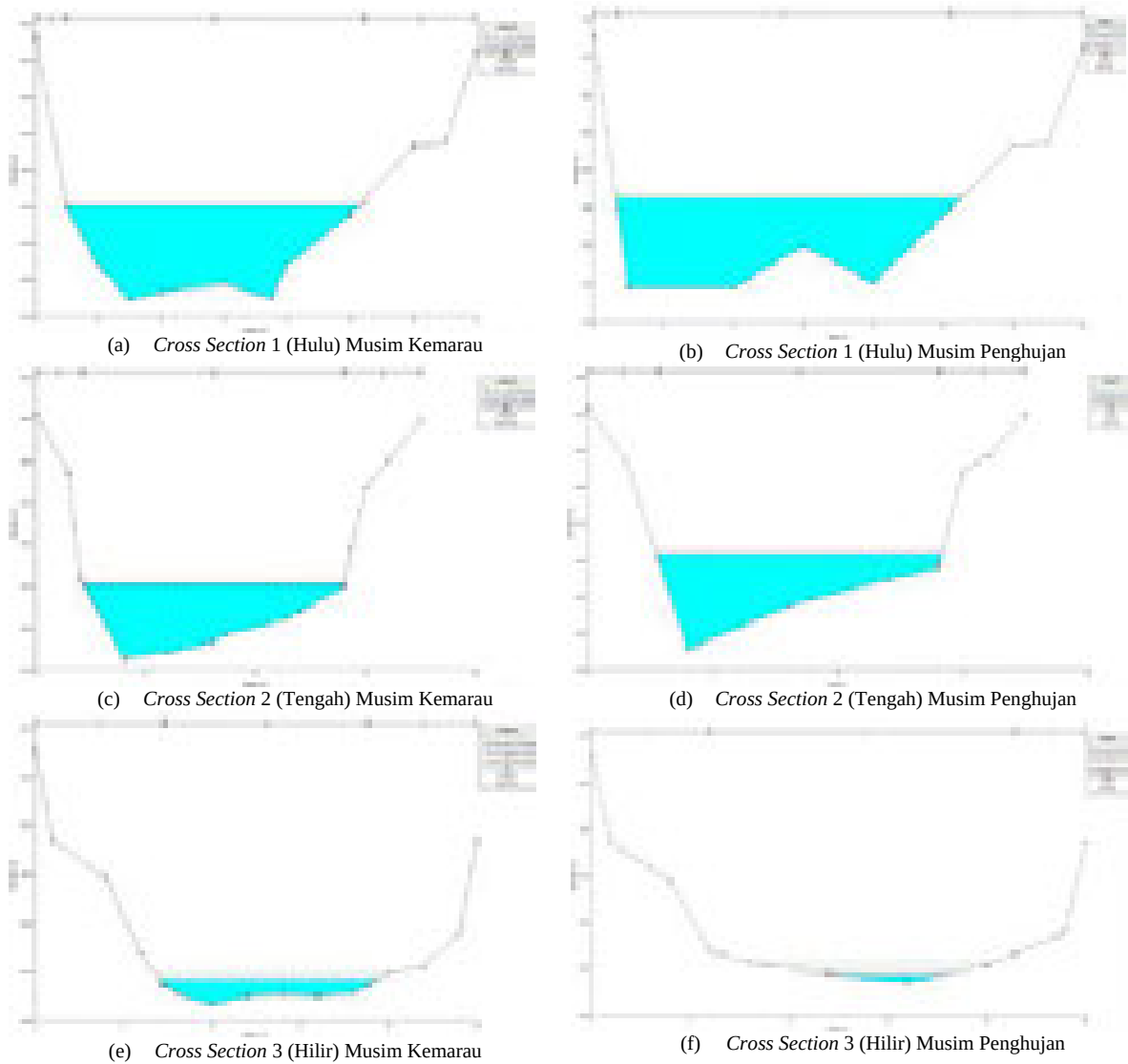
3.3.1. Pemodelan Geometri



Gambar 13. Pemodelan Geometri DAS Bomo

Pemodelan geometri DAS Bomo pada HEC-RAS berdasarkan data DEM dan peta jaringan DAS Bomo diperoleh hasil seperti Gambar 13. Dengan aliran sungai utama pada DAS Bomo dan garis batas pada hulu dan hilir serta batas DAS

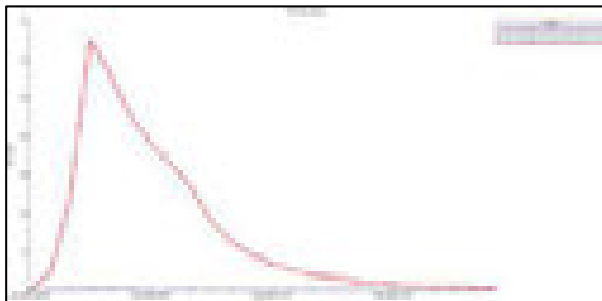
Pemodelan geometri berdasarkan data batimetri diperoleh gambar *cross section* seperti pada Gambar 14



Gambar 14. Pemodelan Cross Section

3.3.2. Pemodelan *Unsteady Flow*

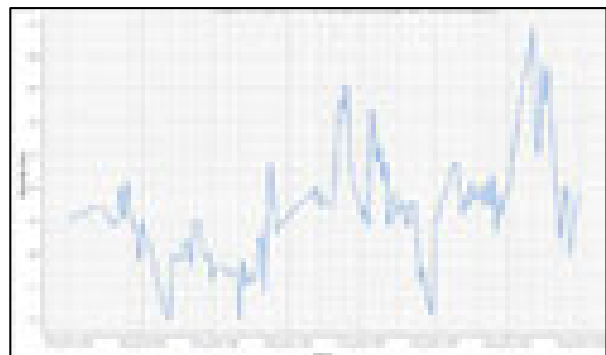
Pemodelan *unsteady flow* berdasarkan data analisis hidrologi debit banjir rancangan diperoleh hasil pemodelan grafik seperti pada Gambar 15. berikut



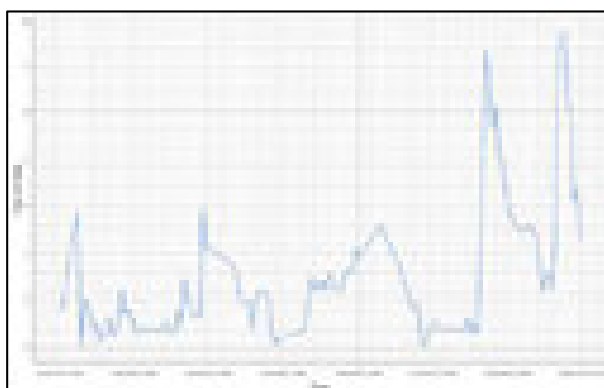
Gambar 15. Unsteady Flow Hulu dan Hilir DAS Bomo

Pemodelan *Unsteady Flow* berdasarkan data pengukuran *real time* jam-jaman diperoleh pemodelan

seperti pada Gambar 16 untuk periode kemarau dan Gambar 17 untuk periode penghujan



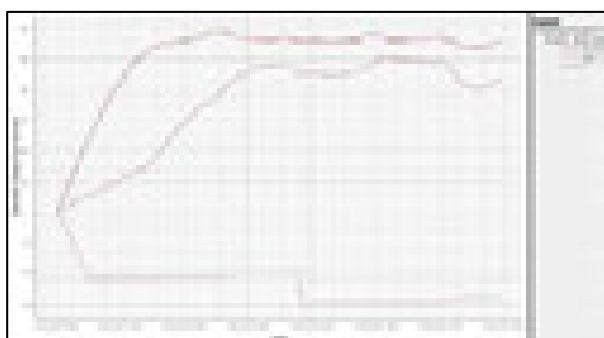
Gambar 16. Grafik Pemodelan *Unsteady Flow Real Time* Periode Kemarau



Gambar 17. Grafik Pemodelan *Unsteady Flow Real Time* Periode Penghujan

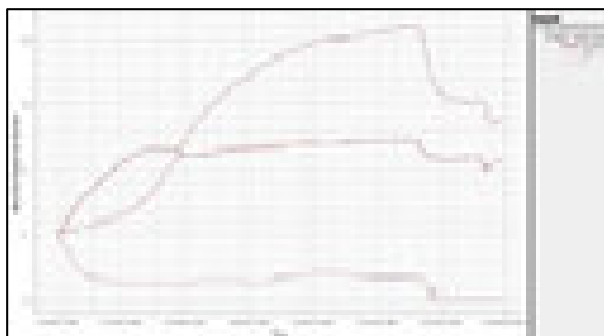
3.3.3. Pemodelan *Sediment Transport*

Pemodelan *sediment transport* diperoleh dengan *running plan* setelah data geometri *cross section* dan data *unsteady flow real time* telah terinput. Hasil Pemodelan *sediment transport* seperti pada Gambar 18 dan Gambar 19.



Gambar 18. Grafik Hasil *Sediment Transport* Periode Kemarau

Gambar 18 merupakan grafik perubahan dasar sungai pada musim kemarau yang menunjukkan dinamika transportasi sedimen bervariasi dari hulu ke hilir. Di bagian hulu, terjadi akumulasi sedimen yang menyebabkan kenaikan elevasi dasar sungai, sedangkan di bagian hilir justru mengalami penurunan akibat proses erosi. Pola ini mencerminkan bagaimana distribusi sedimen dipengaruhi oleh faktor-faktor hidrodinamika, termasuk variasi aliran dan karakteristik morfologi sungai.



Gambar 19. Grafik Hasil *Sediment Transport* Periode Penghujan

Pada Gambar 19 yaitu *sediment transport* saat musim hujan sedikit berbeda dengan musim kemarau, dimana bagian hulu lebih kecil dibandingkan bagian tengah. Hal ini diakibatkan oleh morfologi sungai, dimana pada bagian hulu merupakan bagian kelokan sungai sehingga ketika terjadi peningkatan kecepatan aliran sedimen lebih mudah terangkut dan mengendap di bagian tengah dan terus tererosi di hilir.

Tabel 7. Laju Sedimentasi Musim Kemarau

Tanggal	Mass Bed/day (tonnes)	Mass Bed /day (m ³)
8/4/2022	4.12	0.26
8/5/2022	16.22	1.03
8/6/2022	24.97	1.59
8/7/2022	27.21	1.73
8/8/2022	24.34	1.55
8/9/2022	25.72	1.63
8/10/2022	23.48	1.49
Rata-Rata	20.86	1.33

Tabel 8. Laju Sedimentasi Musim Penghujan

Tanggal	Mass Bed/day (tonnes)	Mass Bed /day (m ³)
1/23/2023	4.13	0.28
1/24/2023	21.41	1.44
1/25/2023	43.64	2.93
1/26/2023	57.46	3.86
1/27/2023	64.29	4.32
1/28/2023	61.35	4.12
1/29/2023	36.28	2.43
Rata-Rata	41.22	2.77

Pada Tabel 7 dapat diketahui nilai laju sedimentasi rata-rata pada musim kemarau mencapai 1.33 m³/hari dan pada Tabel 8 nilai laju sedimentasi rata-rata pada musim hujan mencapai 2.77 m³/hari. Nilai laju sedimentasi pada musim hujan lebih besar daripada nilai laju sedimentasi pada musim kemarau.

3.4. Hubungan *Unsteady Flow* dengan *Sediment Transport*

Transportasi sedimen dipengaruhi oleh dinamika *unsteady flow*, di mana debit dan kecepatan aliran berubah terhadap waktu. Variasi ini mempengaruhi jumlah sedimen yang terbawa serta pola pengendapannya. Analisis menggunakan HEC-RAS dilakukan untuk memahami hubungan antara perubahan debit, kecepatan, dan laju sedimentasi dalam kondisi aliran tidak stabil.



Gambar 20. Grafik Korelasi Debit dengan Laju Sedimen Musim Kemarau



Gambar 21. Grafik Korelasi Debit dengan Laju Sedimen Musim Hujan

Pada Gambar 20 menunjukkan korelasi debit dengan laju sedimen pada musim kemarau memiliki nilai regresi yang kecil yaitu 0.0357 dan Gambar 21 korelasi debit dengan laju sedimen pada musim hujan memiliki nilai regresi 0.0169. Nilai regresi yang kecil menunjukkan bahwa debit bukan satu-satunya faktor utama yang menentukan laju sedimentasi. Pada Gambar 22 dan Gambar 23 merupakan grafik korelasi kecepatan aliran dengan laju sedimen pada musim kemarau dan musim hujan.



Gambar 22. Grafik Korelasi Kecepatan Aliran dengan Laju Sedimen Musim Kemarau



Gambar 23. Grafik Korelasi Kecepatan Aliran dengan Laju Sedimen Musim Hujan

Nilai korelasi kecepatan aliran pada musim kemarau mencapai 0.8257 dan musim hujan sebesar 0.4072. Hal ini menunjukkan hubungan bahwa kecepatan aliran merupakan faktor utama dalam menentukan laju sedimen dibandingkan debit khususnya pada DAS bertipe bulu burung. Semakin tinggi kecepatan aliran, semakin besar energi yang tersedia untuk mengangkat dan mengangkut sedimen baik dalam bentuk *suspended load* ataupun *bed load*, yang diakibatkan tegangan geser kritis lebih besar daripada tegangan geser dasar pada dasar sungai tersebut.

Kecepatan aliran lebih representatif dibandingkan debit, hal ini dapat terjadi karena debit merupakan hasil dari kecepatan dikalikan dengan luas penampang, sehingga nilai debit bisa tinggi karena luas sungai besar tetapi belum tentu memiliki kecepatan aliran yang cukup untuk mengangkut sedimen.

Pada grafik kecepatan aliran memiliki pola non-linier, hal ini dapat menunjukkan mekanisme pengangkutan sedimen. Pada kecepatan rendah, hanya sedimen halus yang bisa terangkut dalam suspensi. Setelah mencapai kecepatan kritis, lebih banyak sedimen terangkut sehingga laju sedimentasi meningkat drastis. Saat kecepatan aliran meningkat terlalu tinggi, laju sedimentasi menurun akibat turbulensi yang meningkat sehingga sedimen yang sebelumnya mengendap di dasar akan terus tersuspensi dalam aliran akibatnya laju sedimentasi menurun dan tidak sempat untuk mengendap di dasar sungai.

3.5. Validasi Model

Validasi hasil laju sedimentasi dari pemodelan *sediment transport* terhadap data batimetri lapangan ditunjukkan dalam Tabel 9. Nilai laju sedimen yang digunakan dalam perhitungan MAE disesuaikan dengan total sedimen hasil pengukuran batimetri, karena laju sedimentasi dipengaruhi oleh variasi debit aliran.

Tabel 9. Perhitungan Validasi Model Menggunakan MAE

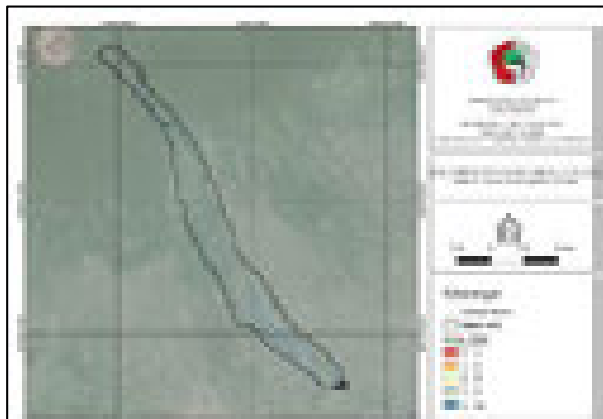
Tanggal	Laju Sedimen (m³/hari)	Total Sedimen (1 Bulan) HEC-RAS (m³)	Total Sedimen (1 Bulan) Batimetri (m³)	MAE
a	b	c=bx30	d	$e = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d - c $
8/5/2022	1.03	30.92	23.86	0.30
1/24/2023	1.44	43.12	39.30	0.10

Pada Tabel dapat diketahui nilai MAE pada musim kemarau 0.30 dan nilai MAE pada musim hujan 0.10. Menunjukkan bahwa hasil pemodelan pada musim kemarau memiliki tingkat *error* lebih tinggi, hal ini disebabkan oleh rendahnya debit aliran di musim kemarau yang membuat kurangnya tingkat keakuratan alat penangkap kecepatan arus. Tapi dari dua perwakilan musim penghujan dan kemarau tersebut, maka model simulasi laju sedimentasi dapat dinyatakan *reliabel* sesuai kondisi di lapangan karena memiliki keakurasian sangat baik (< 1%).

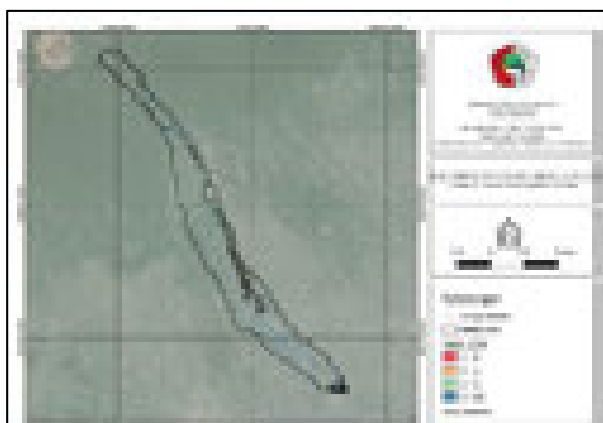
3.6. Peran HEC-RAS dalam Mitigasi Risiko Banjir

HEC-RAS membantu memetakan dan menganalisis potensi banjir melalui pemodelan hidrodinamika, yang menghitung ketinggian muka air. Hasilnya berupa peta genangan yang menunjukkan wilayah rawan banjir. Gambar 24 menunjukkan peta potensi banjir dengan kala ulang 1 tahun di DAS Bomo, Banyuwangi. Dari peta ini, terlihat bahwa genangan banjir umumnya masih berada

di dalam kawasan sungai, akibat peningkatan ketinggian air. Namun, di bagian hilir, terutama di sekitar Bendung Gembleng, terdapat potensi genangan yang lebih luas. Hal ini disebabkan oleh fungsi bendung yang menampung air untuk mengalir sawah, sehingga area sekitarnya lebih rentan terhadap luapan air.



Gambar 24. Peta Potensi Genangan Banjir Kala Ulang 1 Tahun di DAS Bomo Banyuwangi



Gambar 25. Peta Potensi Genangan Banjir Kala Ulang 5 Tahun di DAS Bomo Banyuwangi

Gambar 25 menunjukkan peta potensi genangan banjir kala ulang 5 tahun di DAS Bomo, yang mencakup wilayah hulu, tengah, dan hilir. Di hulu, genangan terjadi di Kecamatan Songgon, Desa Sumberarum dan Sragi, terutama di sekitar aliran sungai akibat luapan air. Di wilayah tengah, Kecamatan Sempu, khususnya Desa Gendoh, dan Kecamatan Singonjuruh terdampak genangan karena aliran dari hulu yang membawa material sedimen. Sementara itu, di hilir, genangan terjadi di sekitar Bendung Gembleng, yang berfungsi mengalir sawah, namun saat debit meningkat, terjadi limpasan air.

Pemodelan banjir menggunakan HEC-RAS tidak hanya memetakan daerah genangan, tetapi juga mengidentifikasi peran sedimentasi dalam meningkatkan risiko banjir. Pendangkalan akibat sedimentasi mengurangi kapasitas sungai, memperbesar kemungkinan luapan air, terutama di daerah hilir. Oleh karena itu, mitigasi seperti normalisasi sungai,

pembangunan tanggul, dan optimalisasi drainase diperlukan untuk mengurangi dampak banjir dan sedimentasi.

Selain itu, pengelolaan sedimentasi dapat dilakukan melalui konservasi tanah dan air di hulu guna mengurangi erosi. Penetapan zona hijau dan daerah resapan air juga membantu menekan limpasan dan sedimentasi berlebih. Hasil pemodelan ini mendukung pengembangan sistem peringatan dini banjir, sehingga masyarakat lebih siap menghadapi risiko banjir. Dengan pendekatan yang terintegrasi, mitigasi banjir dan sedimentasi dapat dilakukan lebih efektif dan berkelanjutan.

4. Kesimpulan

Analisis laju sedimentasi berdasarkan data *unsteady flow real-time* dengan HEC-RAS menunjukkan bahwa distribusi sedimen di DAS Bomo dipengaruhi oleh morfologi sungai dan variasi aliran. Di hulu terjadi akumulasi sedimen, sementara di hilir terjadi erosi. Pada musim hujan, laju sedimentasi lebih tinggi ($2.77 \text{ m}^3/\text{hari}$) dibanding musim kemarau ($1.33 \text{ m}^3/\text{hari}$) akibat debit dan kecepatan aliran yang lebih besar.

Pada DAS Bomo bertipe bulu burung sangat dipengaruhi oleh faktor kecepatan aliran terhadap laju sedimentasi dibanding debit, dengan hubungan non-linier model regresi berganda. Pada kecepatan rendah, hanya sedimen halus yang terbawa, sedangkan pada kecepatan tinggi, turbulensi menghambat pengendapan sedimen.

HEC-RAS memetakan potensi banjir dan dampak sedimentasi, menunjukkan risiko genangan tertinggi di hilir, terutama di Bendung Gembleng. Pendangkalan akibat sedimentasi meningkatkan risiko luapan, sehingga mitigasi banjir seperti normalisasi sungai, pembangunan tanggul, drainase, dan konservasi tanah diperlukan untuk mengurangi dampak banjir dan mendukung sistem peringatan dini banjir.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada kepada Bapak YP. Widi Prasetyo, Bapak Heri Sujatmiko, dan Bapak Dimas Aji Purnomo atas bimbingan dan arahannya selama penelitian berlangsung. Terimakasih kepada Bapak Zulis Erwanto sebagai mentor dalam menyelesaikan penelitian ini.

Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Universitas 17 Agustus 1945 Banyuwangi dan Laboratorium Teknik Sipil Politeknik Negeri Banyuwangi atas fasilitas yang diberikan dalam mendukung analisis penelitian ini. Selain itu, apresiasi diberikan kepada keluarga dan rekan-rekan yang telah memberikan semangat serta bantuan dalam menyelesaikan jurnal ini.

Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi Dinas terkait dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan aplikasi di bidang hidrologi, rekayasa sungai, serta mitigasi bencana banjir dan sedimentasi.

Daftar Rujukan

- [1] Sugiharto, "Banjir Bandang di Banyuwangi, Ternyata Ini Penyebabnya," *AGROINDONESIA*, 2018.
- [2] R. Mulyasari *et al.*, "Aplikasi Metode Geolistrik Resistivitas Untuk Analisis Bidang Gelincir Dan Studi Karakteristik Longsoran Di Jalan Raya Suban Bandar Lampung," *JGE (Jurnal Geofis. Eksplorasi)*, vol. 6, no. 1, pp. 66–76, 2020.
- [3] Z. Erwanto and N. Lestari, "Study of Rainfall Erosivity and Erosion Rate with MUSLE Method Using Geographic Information System In Badeng Watershed," in *International Conference on Innovation in Science and Technology (ICIST 2020)*, 2021, pp. 346–353.
- [4] Z. Erwanto, A. Holik, D. D. Pranowo, and S. N. Afifa, "Identification of Land Criticism for Land Conservation Actions in the Badeng Watershed with Regulation of Watershed and Protection Forest Management," in *Proceedings of the 4th International Conference on Applied Science and Technology on Engineering Science (iCAST-ES 2021)*, 2023, pp. 484–491.
- [5] Z. Erwanto, A. Holik, D. D. Pranowo, S. D. B. Prastyo, and A. Husna, "Hydrological Modeling Using SWAT Due to Landslides In The Badeng Watershed," in *International Conference on Innovation in Science and Technology (ICIST 2020)*, 2021, pp. 402–410.
- [6] L. Gonzalez Rodriguez, A. McCallum, D. Kent, C. Rathnayaka, and H. Fairweather, "A review of sedimentation rates in freshwater reservoirs: recent changes and causative factors," *Aquat. Sci.*, vol. 85, no. 2, pp. 1–19, 2023.
- [7] Z. Duan, J. Chen, C. Jiang, X. Liu, and B. Zhao, "Experimental study on uniform and mixed bed-load sediment transport under unsteady flow," *Appl. Sci.*, vol. 10, no. 6, 2020.
- [8] N. Triany, S. D. Nuryana, R. Adhitama, A. Guntoro, M. H. Yudisatrio, and R. H. Daned, "Karakteristik Das Cisadane Berdasarkan Parameter Morfometri Di Daerah Rumpin – Ciseeng, Kabupaten Bogor Barat," *PETROJurnal Ilm. Tek. Perminyakan*, vol. 10, no. 3, pp. 110–116, 2021.
- [9] Z. Erwanto and N. Anwar, "Modelling the Sediment Load in the Bird Feather-Type Watersheds along the Main Rivers of Banyuwangi Regency," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 1097, no. 1, p. 012050, 2022.
- [10] Z. Erwanto, D. Iranata, and M. A. Maulana, "Identification of Hydrological Characteristics and Sediment Rates of Bird Feather-Type Watersheds with SWAT Model: Case Study of Bomo River of Banyuwangi," in *International Conference on Architecture and Civil Engineering Conference*, 2024, pp. 741–762.
- [11] H. C. Cahyani, E. Hidayah, R. U. A. Wiyono, G. Halik, and W. Y. Widiarti, "Prediksi Laju Sedimentasi Pada Sungai Jatiroto," *J. Rekayasa Sipil*, vol. 17, no. 1, 2021.
- [12] E. Wijayanti and R. M. S. Prastica, "Pemodelan numerik 1-D untuk analisis banjir Sungai Tungkal pada DAS Tungkal," *J. Proy. Tek. Sipil*, vol. 4, no. 1, pp. 7–17, 2021.
- [13] F. B. Viriasisa and Z. Erwanto, "Kajian Potensi Peluapan Aliran Pada Sungai Badeng Tengah Di Daerah Wisata Pinus Songgon Banyuwangi," in *Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV) Ke-6*, 2020, vol. 6, no. 1, pp. 665–672.
- [14] R. D. Noviadani, Z. Erwanto, and Q. Shofiyah, "Evaluasi Kapasitas Pada Sungai Tambong Tengah Terhadap Potensi Luapan Aliran," in *Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV) Ke-6*, 2020, vol. 6, no. 1, pp. 626–633.
- [15] F. Padli D. and N. N. Asad, "Penerapan Software HEC-RAS Untuk Menghitung Angkutan Sedimen Pada Muara Sungai," Universitas Muhammadiyah Makassar, 2022.
- [16] S. M. Ismawati and U. Lasminto, "Pemodelan Aliran 1D pada Bendungan Tugu Menggunakan Software HEC-RAS," *J. Hidroteknik*, vol. 2, no. 2, p. 19, 2017.
- [17] Z. Erwanto *et al.*, "Pengembangan Alat Ukur Hidrometri Berbasis 5 Jenis Sensor Untuk Deteksi Konsentrasi Sedimen Dalam Upaya Mitigasi Bencana Banjir Sungai Bomo Abstrak penggenangan yang datang dari sungai atau mengancam kerusakan . Banjir ditunjukkan tanggul sungai , sehingga," *J. Teknol. Terpadu*, vol. 12, no. 1, 2024.
- [18] Soewarno, *Hidrologi Pengukuran dan Pengolahan (Hidrometri)*. Bandung: Nova, 1991.
- [19] C. T. Yang, *Sediment Transport Theory and Practice*. Malabar, FL: Krieger Publishing Company, 2003.
- [20] C. Ikhsan, "Pengaruh Variasi Debit Air Terhadap Laju Bed Load Pada Saluran Terbuka Dengan Pola Aliran Steady Flow," *Media Tek. Sipil*, pp. 63–68, 2007.
- [21] H. N. C. Breusers, *Lecture Notes on Sediment Transport 1*. The Netherlands: Delft Hydraulics, 1988.
- [22] B. Kumar, A. Jha, V. Deshpande, and G. Sreenivasulu, "Regression model for sediment transport problems using multi-gene symbolic genetic programming," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 103, pp. 82–90, 2014.
- [23] E. Yulianti, "Pengembangan Konservasi Lahan Terhadap Erosi Parit/Jurang (Gully Erosion) Pada Sub Das Genteng Di Kabupaten Malang," *J. Spectra*, vol. 6, no. 12, pp. 28–35, 2017.
- [24] F. Irsyad and E. G. Ekaputra, "Analisis Wilayah Konservasi Daerah Aliran Sungai (DAS) Kuranji Dengan Aplikasi SWAT," *J. Teknol. Pertan. Andalas*, vol. 19, no. 1, pp. 39–45, 2013.
- [25] Z. Erwanto, D. D. Pranowo, Y. P. Gumelar, I. Wahyudin, and M. R. Husamadi, "Konservasi Lahan Gully Plugs Untuk Pengendali Erosi Di DAS Badeng Desa Sumberbulu, Songgon, Banyuwangi," *Panrita Abdi J. Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. 5, no. 4, pp. 475–487, 2021.
- [26] E. W. Setyaningrum, Z. Erwanto, S. H. Yuniari, K. P. Prapti, and A. T. K. Dewi, *Manajemen Konservasi Lahan dan Sumberdaya Pesisir*. Purbalingga: Eureka Media Aksara, 2022.
- [27] Z. Erwanto, "Pengaruh Tindakan Konservasi Tata Guna Lahan Terhadap Laju Erosi Di DAS Sampean Baru Bondowoso Menggunakan Sistem Informasi Geografis." Jember: Universitas Jember, 2007.
- [28] R. M. S. Prastica and Z. Erwanto, *Pilar Manajemen Sumber Daya Air*. Purbalingga: Eureka Media Aksara, 2022.
- [29] Z. Erwanto, A. Holik, D. D. Pranowo, and S. N. Afifa, "Identification of Land Criticism for Land Conservation Actions in The Badeng Watershed with Regulation of Watershed and Protection Forest Management," in *International Conference on Applied Science and Technology (iCAST) 2021*, 2021.
- [30] Z. Erwanto, D. D. Pranowo, S. D. B. Prastyo, A. Holik, and A. Husna, "Hydrological Modeling Using SWAT Due to Landslides in the Badeng Watershed," in *International Conference on Innovation in Science and Technology (ICIST 2020)*, 2021, vol. 208, no. Icist 2020, pp. 402–410.
- [31] SNI 3414, "Tata cara pengambilan contoh muatan sedimen melayang di sungai dengan cara integrasi kedalaman berdasarkan pembagian debit." Badan Standardisasi Nasional, Bandung, 2008.
- [32] SNI 03-1968-1990, "Metode pengujian analisis saringan Agregat halus dan kasar." Badan Standardisasi Nasional, Bandung, 1990.
- [33] SNI 03-3423-1994, "Metode pengujian analisis ukuran butir tanah dengan alat hidrometer." Pusjatan - Balitbang PU, Jakarta, pp. 1–9, 1994.
- [34] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 1964:2008 Cara Uji Berat Jenis Tanah." 2008.
- [35] SNI 03-3637-1994, "Metode Pengujian Berat Isi Tanah Berbutir Halus Dengan Cetakan Benda Uji." Pusjatan - Balitbang PU, Jakarta, pp. 2–5, 1994.
- [36] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 6989.3:2019 Air dan Air Limbah-Bagian 3: Cara Uji Padatan Tersuspensi Total Secara Gravimetri," 2019.

JACEIT



9 772723 537002