

E-ISSN : 2807-5579

P-ISSN : 2807-5889

BOUWPLANK

Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Lingkungan

VOLUME 04 NOMOR 01, APRIL 2024

Published by:

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering,

University of Widyagama Malang, Indonesia

BOUWPLANK

Jl. Borobudur No. 35 Malang 65128

Telp. 0341-492282, 411291 Faks. 0341-496919

Email: sipil@widyagama.ac.id

BOUWPLANK

Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Lingkungan

VOLUME 04, NOMOR 01, APRIL 2024

DEWAN REDAKSI

Penanggung Jawab : Dekan Fakultas Teknik
Ketua Jurusan Teknik Sipil

Tim Editor :

Editor in Chief

Ir. Abdul Halim, M.T., (SINTA ID: 6660008, Scopus ID: 57225097679), Indonesia
Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Widyagama Malang,
Indonesia

Managing Editor

Candra Aditya, S.T., M.T., (SINTA ID: 5977179, Scopus ID: 57223180604), Indonesia
Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Widyagama Malang,
Indonesia

Dr. Rosyid Kholilur Rohman, S.T., M.T., (SINTA ID: 5974833, Scopus ID: 55560780400),
Indonesia

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Merdeka Madiun,
Indonesia

Ir. Riman, M.T., (SINTA ID: 5998828), Indonesia

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Widyagama Malang,
Indonesia

Ir. Mohammad Cakrawala, M.T., (SINTA ID: 6666868), Indonesia

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Widyagama Malang,
Indonesia

Anis Purwaningsih, S.T., MT., Indonesia

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Widyagama Malang,
Indonesia

Tim Reviewer :

Dr. Ir. B. Sri Umniati, M.T., (SINTA ID: 5977842, Scopus ID: 57196039961), Indonesia

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, State University of Malang, Indonesia

Assoc. Prof. Dr. Ir. Bambang Sabariman, S.T., M.T. (SINTA ID: 5992523, Scopus ID:
57194648984), Indonesia

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Negeri Surabaya,
Surabaya, Indonesia

Assoc. Prof. Dr. Nawir Rasidi, S.T., M.T., (SINTA ID: 6013639, Scopus ID: 57215038530),
Indonesia

Department of Construction Engineering Management D-4, Politeknik Negeri Malang,
Indonesia

Assoc. Prof. Dr. Machsus, S.T., M.T. (SINTA ID: 6066387, Scopus ID: 57170645100),
Indonesia

Department of Civil Infrastructure Engineering, Faculty of Vocations, Institut Teknologi
Sepuluh Nopember, Indonesia

Dr. Rosyid Kholilur Rohman, S.T., M.T., (SINTA ID: 5974833, Scopus ID: 55560780400),
Indonesia

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Merdeka Madiun,
Indonesia

Dr. Eng. Ir. Ming Narto Wijaya, S.T., M.T., M.Sc., (SINTA ID: 5992772, Scopus ID:
56465853100), Indonesia

Department of Civil Engineering Undergraduate, Faculty of Engineering, Universitas
Brawijaya, Indonesia

Assoc. Prof. Dr. Ir. Aji Suraji, M.Sc., (SINTA ID: 5986966, Scopus ID: 57225085090), Indonesia
Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Widyagama Malang,
Indonesia

Prof. Dr. Agus Tugas Sudjianto, S.T., M.T., (SINTA ID: 5986025, Scopus ID: 57225188093),
Indonesia

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Widyagama Malang,
Indonesia

Dr. Dafid Irawan, S.T., M.T., (SINTA ID: 6684776, Scopus ID: 57212384743), Indonesia
Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Widyagama Malang,
Indonesia

Candra Aditya, S.T., M.T., (SINTA ID: 5977179, Scopus ID: 57223180604), Indonesia
Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Widyagama Malang,
Indonesia

BOUWPLANK

Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Lingkungan

VOLUME 04, NOMOR 01, APRIL 2024

PENGANTAR REDAKSI

BOUWPLANK Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Lingkungan Volume 04 Nomor 01, April 2024 ini terdiri atas 5 makalah ilmiah yang semuanya telah ditelaah oleh penelaah ahli. Redaktur mengucapkan terima kasih kepada para penulis dan semoga kerja kerasnya akan bermanfaat bagi ilmu pengetahuan dan kehidupan manusia. Partisipasi para ilmuwan khususnya dalam bidang teknik sipil dan lingkungan sangat diharapkan untuk memperkaya khasanah Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Lingkungan, BOUWPLANK.

REDAKSI

BOUWPLANK

Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Lingkungan

VOLUME 04, NOMOR 01, APRIL 2024

DAFTAR ISI

Dewan Redaksi	i
Pengantar dari Redaksi	iii
Daftar Isi	iv
ANALISIS PERBANDINGAN PENGGUNAAN BEKISTING KONVENSIONAL DAN SEMI KONVENSIONAL DARI ASPEK MUTU, WAKTU DAN BIAYA	
<i>Hanif Rahman Maulana, Dafid Irawan, Muhammad Cakrawala</i>	1-6
ANALISIS GRANULOMETRI PENAMBAHAN TANAH LEMPUNG EKSPANSIF AMPELGADING TERHADAP POTENSI LIKUEFAKSI TANAH PASIR DELTA BRANTAS	
<i>Yulius I. W. Gasa, Agus Tugas Sudjiyanto, Aji Suraji</i>	7-15
STUDI ANALISIS PENGARUH SEDIMENTASI TERHADAP KAPASITAS TAMPUNGAN EFEKTIF WADUK JAMBU	
<i>M. Dani Pradana Putra, Riman, Abdul Halim</i>	16-23
PENGARUH PENAMBAHAN SERAT FABRIKASI (MICRO FIBERS) TERHADAP KUAT TEKAN DAN TARIK BELAH BETON	
<i>Arif Darmawan, Abdul Halim, Dafid Irawan</i>	24-32
KAJIAN PELAT BETON BERTULANG YANG TAHAN TERHADAP AMMONIUM NITRATE	
<i>Aditya Bimantara, Candra Aditya, Abdul halim</i>	33-38

ANALISIS PERBANDINGAN PENGGUNAAN BEKISTING KONVENSIONAL DAN SEMI KONVENSIONAL DARI ASPEK MUTU, WAKTU DAN BIAYA

Hanif Rahman Maulana^{1*}, Dafid Irawan², Muhammad Cakrawala³

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

*Email korespondensi: hanifmaulana97@gmail.com

ABSTRAK

Perkembangan teknologi konstruksi di Indonesia saat ini semakin besar dan jauh lebih modern untuk menjaga hasil dan mutu pekerjaan dalam hal desain struktur bangunan atau manajemen konstruksi. Yaitu dari segi kualitas yang baik, waktu yang efisien dan biaya yang sangat ekonomis. Penelitian ini membandingkan dua metode pekerjaan yaitu metode konvensional dan semi konvensional dilihat dari aspek mutu, waktu dan biaya. Pada proyek pembangunan Gedung "Asrama Putra" MTsN 1 Gondanglegi Malang setelah dilakukan analisa perbandingan, ditemukan bahwa dari segi mutu bekisting semi konvensional lebih unggul karena tidak mudah retak atau pecah dibandingkan bekisting konvensional. Jika melihat dari segi waktu, bekisting semi konvensional jauh lebih efisien dengan selisih 5 hari daripada pekerjaan bekisting konvensional. Kemudian dari segi biaya, bekisting konvensional lebih terjangkau dengan harga Rp. 491.129.364,00- daripada bekisting semi konvensional yang mencapai harga Rp. 533.061.064,00-. Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa penggunaan bekisting konvensional unggul hanya dari segi biaya, sedangkan dari segi mutu dan waktu, bekisting semi konvensional lebih unggul.

Kata kunci : Bekisting, Metode Konvensional, Metode Semi Konvensional, Mutu, Waktu dan Biaya.

ABSTRACT

The development of construction technology in Indonesia today is getting bigger and much more modern to maintain the results and quality of work in terms of building structure design or construction management. That is in terms of good quality, efficient time and very economical costs. This study compares two methods of work, namely conventional and semi-conventional methods seen from the aspects of quality, time and cost. In the construction project of the "Boys Dormitory" Building MTsN 1 Gondanglegi Malang after comparative analysis, it was found that in terms of quality, semi-conventional formwork is superior because it is not easily cracked or broken compared to conventional formwork. In terms of time, semi-conventional formwork is much more efficient with a difference of 5 days than conventional formwork work. Then in terms of cost, conventional formwork is more affordable at Rp. 491,129,364,00- than semi-conventional formwork which reaches a price of Rp. 533,061,064,00-. From this research, it can be concluded that the use of conventional formwork is superior only in terms of cost, while in terms of quality and time, semi-conventional formwork is superior.

Keywords : Formwork, Conventional Method, Semi-conventional Method, Quality, Time and Cost.

1. PENDAHULUAN

Teknologi semakin memainkan peran yang lebih besar, terutama dalam mengurangi kompleksitas prosedur proyek konstruksi. Teknologi cetakan beton atau bekisting adalah salah satu contoh bagaimana teknologi itu digunakan dalam proses konstruksi. Biaya bekisting sekitar 10% dari total biaya konstruksi bangunan, atau 40% sampai 60% dari biaya beton [1]. Saat ini ada tiga jenis bekisting di Indonesia: sistem, semi-sistem, dan bekisting konvensional. Pada proyek gedung bertingkat, jenis bekisting yang dipilih merupakan keputusan penting karena mempengaruhi biaya, waktu kerja, dan kualitas. Dalam kegiatan konstruksi, jenis bekisting yang dipilih dan cara pengolahannya memiliki dampak yang signifikan [2]. Seiring berjalannya waktu, inovasi bekisting terus berkembang baik dalam bentuk maupun metodenya. Bentuk bekisting konvensional dan semi konvensional masih banyak digunakan, khususnya di Indonesia. Jenis

bekisting pertama yang diketahui adalah bekisting konvensional [3]. Kayu lapis, kayu, atau papan adalah satu-satunya komponen bekisting konvensional. Bekisting Semi Konvensional adalah jenis bekisting yang pembuatannya merupakan gabungan antara bekisting konvensional dan sistem (PERI) yang penggunaannya dapat dilakukan berulang-ulang [4]. Dengan material yang digunakan seperti multipleks dan perancah scaffolding sebagai perkuatannya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

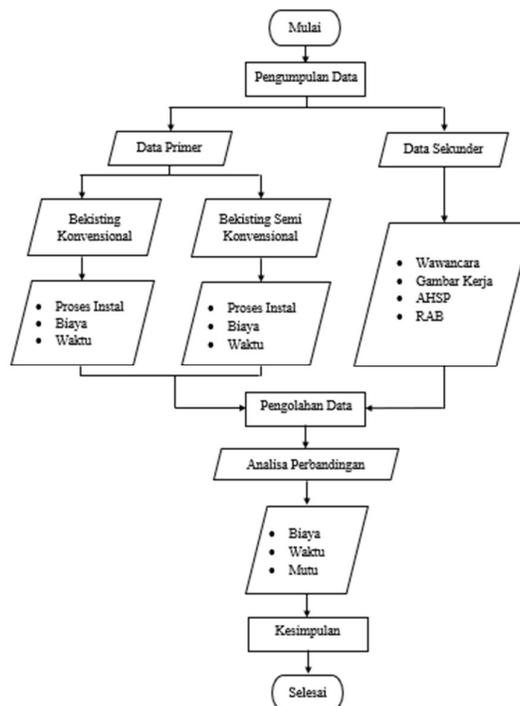
Bekisting adalah cetakan jangka pendek yang dapat menahan beban selama beton dituang dan dibentuk sesuai dengan bentuk yang diinginkan [5]. Bekisting merupakan pekerjaan penting dalam pelaksanaan pekerjaan beton karena menentukan bentuk, posisi, dan ukuran beton serta berfungsi sebagai struktur penopang sementara untuk semua beban pada pekerjaan beton. Untuk bekisting konvensional, papan, multipleks, dan kayu adalah bahan utama. Sistem konvensional ini memiliki keuntungan karena sangat mudah beradaptasi [6]. Sebaliknya, kelemahan bekisting konvensional termasuk kebutuhan untuk membeli kembali bahan bekisting dan proses yang panjang. Kayu lapis dan besi berongga digunakan untuk membuat sistem bekisting semi konvensional sebagai hasil kemajuan teknologi konstruksi dan teknik bekisting konvensional [7]. Elemen bekisting yang diproduksi di pabrik dikenal sebagai sistem PERI, dan sebagian besar komponennya terbuat dari baja [8]. Bekisting sistem dirancang untuk digunakan berulang kali. Selain itu, bekisting sistem dapat disewa dari dealer peralatan bekisting.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis dan Sumber Data

Penelitian dilakukan di lokasi Gedung Asrama Putra MTsN 1 Kab. Malang dan Gedung Renovasi BPJS Ketenagakerjaan Kota Malang, yang mana data primer didapatkan langsung dari pihak kontraktor pelaksana lapangan tersebut, data sekunder didapatkan dari jurnal dan internet dan dokumen perusahaan.

3.2 Prosedur Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Perbandingan Metode Pelaksanaan

Bekisting adalah istilah umum untuk pekerjaan konstruksi. Kayu lapis dan scaffolding akan digunakan untuk membuat bekisting untuk proyek ini. Biasanya, desain dibuat terlebih dahulu oleh pekerja lapangan sebelum diimplementasikan di lapangan, dengan terlebih dahulu mengukur dimensi bekisting sebelum memulai fabrikasi. Perancah kemudian dipasang di bawah cetakan beton. Tinggi perancah diubah untuk memenuhi kebutuhan scaffolding mendukung cetakan beton selama proses pengecoran untuk mencegahnya agar tidak lepas sehingga hasil pencetakan tetap bagus setelah proses selesai [9].

Tabel 1. Karakteristik Bekisting

Karakteristik	Jenis Bekisting	
	konvensional	Semi Konvensional
Siklus pengecoran	Plat dan balok harus menunggu pekerjaan kolom selesai dilaksanakan	Pekerjaan pengecoran kolom, balok dan plat bisa dilaksanakan bersamaan
Penggunaan material	2 kali pemakaian	5 kali pemakaian
Design	Fleksibel	Fleksibel
Pekerjaan yang tertinggal	Tangga	Tangga
Kebersihan	masih menyisakan limbah kayu	masih menimbulkan limbah kayu
Kualitas	kurang rapi	kurang rapi
Struktur	Tidak kesatuan	Tidak kesatuan
Akses	Memerlukan tangga darurat	Menggunakan tangga scaffolding

4.2 Analisa Perbandingan Biaya

Analisis adalah suatu cara untuk menghitung biaya satuan dan upah setiap pekerjaan. Jumlah setiap bagian pekerjaan yang disebutkan dalam bestek diatur dalam daftar anggaran, beserta penjelasan untuk setiap bagian [10]. Harga satuan setiap jenis pekerjaan dikalikan dengan jumlah unit yang telah diperoleh, seperti isi atau volume dinyatakan dalam m³ dan luas yang dinyatakan dalam m². Anggaran biaya bangunan kemudian dijumlahkan dengan semua komponen [11].

4.3 Perhitungan Luasan Pekerjaan

Luas total suatu proyek konstruksi yang diukur dalam m² disebut sebagai volume pekerjaan [12]. Dalam artikel ini, luas permukaan total bekisting balok, pelat lantai, dan pelat kolom digunakan untuk menghitung volume pekerjaan.

Tabel 2. Perhitungan Luasan Bekisting

No	Jenis pekerjaan	Satuan	Volume
1	Pek. Bekisting Balok	m ²	585,72
2	Pek. Bekisting Plat	m ²	547,37
3	Pek. Bekisting Kolom	m ²	441,46

4.4 Analisa Harga Satuan Pekerjaan

Salah satu metode untuk menentukan nilai suatu proyek konstruksi adalah analisis harga satuan barang pekerjaan, yang dibahas bersama dengan biaya bahan dan barang pekerjaan konstruksi dalam persyaratan bangunan, upah kerja, dan alat. Harga penawaran digunakan untuk menghitung harga satuan pekerjaan dalam penelitian ini [13].

Tabel 3. Analisa Harga Satuan Pekerjaan

Harga Satuan Material dan Upah (m ²)	Jenis Bekisting	
	Konvensional (Rp.)	Semi Konvensional (Rp.)
Kolom	287.208	314.708
Balok	297.561	325.061
Plat	347.208	372.208

4.5 Rencana Anggaran Biaya

Perhitungan perkiraan biaya yang diperlukan untuk setiap proyek atau pekerjaan konstruksi adalah Rencana Anggaran Biaya (RAB). Yang dimaksud dengan “rencana anggaran” adalah perkiraan biaya yang terkait dengan suatu pekerjaan atau proyek konstruksi, seperti upah, perlengkapan, peralatan, dan lain-lain [14].

Tabel 4. Rencana Anggaran Biaya Bekisting Konvensional

Jenis pekerjaan	Volume (m ²)	Harga satuan (Rp)	Jumlah harga (Rp)
Bekisting			
Pekerjaan kolom lantai 1-lantai 3	441,46	Rp287.208	Rp126.790.678
Bekisting horizontal			
Pekerjan plat lantai 1- lantai 3	547,37	Rp347.208	Rp190.051.038
Pekerjan balok lantai 1- lantai 3	585,72	Rp297.561	Rp174.287.649
Total			Rp491.129.364

Tabel 5. Rencana Anggaran Biaya Bekisting Semi Konvensional

Jenis pekerjaan	Volume (m ²)	Harga satuan (Rp)	Jumlah harga (Rp)
Bekisting			
Pekerjaan kolom lantai 1-lantai 3	441,46	Rp314.708	Rp138.930.828
Bekisting horizontal			
Pekerjan plat lantai 1- lantai 3	547,37	Rp325.061	Rp177.928.845
Pekerjan balok lantai 2 – lantai 3	585,72	Rp372.208	Rp218.009.450
Total			Rp534.869.123

Tabel 6. Perbandingan Biaya Bekisting Konvensional dan Semi Konvensional

Jenis Pekerjaan	Satuan	Volume	Bekisting Konvensional		Bekisting Semi Konvensional	
			Harga satuan (Rp.)	Jumlah (Rp.)	Harga satuan (Rp.)	Jumlah (Rp.)
Bekisting Kolom	m ²	441,46	Rp287.208	Rp126.790.678	Rp314.708	Rp138.930.828
Bekisting Balok	m ²	585,72	Rp297.561	Rp174.287.649	Rp325.061	Rp190.394.949
Bekisting Plat	m ²	547,37	Rp347.208	Rp190.051.038	Rp372.208	Rp203.735.288
Total				Rp491.129.364		Rp533.061.064
Deviasi						-Rp41.931.700

4.6 Analisa Perbandingan Waktu

Waktu yang dibutuhkan untuk mengganti bekisting semi konvensional dengan bekisting konvensional menjadi pokok bahasan penelitian ini. Menggunakan total volume pekerjaan dikalikan dengan produktivitas pekerjaan dan dibagi dengan jumlah pekerja, perhitungan ini membandingkan jumlah waktu yang dibutuhkan untuk setiap metode pelaksanaan [15].

Tabel 7. Perbandingan Waktu Pelaksanaan Bekisting Konvensional dan Semi Konvensional

Item Pekerjaan	Jenis Bekisting	
	Bekisting Konvensional	Bekisting Semi konvensional
Bekisting Kolom	5 hari	4 hari
Bekisting Balok	7 hari	5 hari
Bekisting Plat	6 hari	4 hari
Total	18 hari	13 hari
Deviasi	5 hari	

4.7 Perbandingan Hasil Penggunaan Bekisting

Penelitian ini membandingkan dari segi hasil penggunaan atau kualitas dari masing-masing metode konvensional dan semi konvensional. Dengan melihat dari kondisi fisik pelaksanaan.

Tabel 8. Perbandingan Hasil Penggunaan Bekisting Konvensional dan Semi Konvensional

No	Item	Standar	Jenis bekisting	
			Konvensional	Semi konvensional
1	Ukuran	Toleransi ukuran +/- 10 mm	√	√
2	Kerapian	Toleransi kelurusan 10 mm	√	√
3	Permukaan	Bunting	√	X
		Sambungan rata	X	X
		Tidak retak/ rusak	X	√

5. KESIMPULAN

Kesimpulan berikut dapat ditarik dari hasil analisis Perbandingan waktu, biaya, dan kualitas, dimana biaya yang digunakan dalam pekerjaan bekisting metode konvensional adalah sebesar Rp 491.129.364,00-, sedangkan biaya yang digunakan dalam pekerjaan bekisting semi konvensional adalah sebesar Rp 533.061.064,00-. Dengan selisih biaya sebesar Rp 41.931.700,00- dapat disimpulkan bahwa bekisting konvensional memiliki harga yang murah. Dalam pemasangan bekisting konvensional memakan waktu selama 18 hari, sedangkan dalam pemasangan bekisting semi konvensional memakan waktu selama 13 hari. Dengan selisih waktu yaitu 5 hari maka meskipun sedikit lebih mahal, waktu pemasangan bekisting semi konvensional lebih cepat karena tidak membutuhkan pekerja yang terlalu terampil dalam pemasangannya. Kualitas yang dimiliki oleh bekisting semi konvensional lebih unggul daripada bekisting konvensional yang memiliki kelemahan pada bagian sambungan yang tidak rata dan mudah mengalami retak atau pecah.

Berdasarkan temuan analisis perbandingan bekisting di atas, disarankan hal-hal sebagai berikut yaitu pertimbangkan bekisting semi-konvensional karena keunggulan biaya, waktu, dan kualitasnya. Untuk menghindari hambatan selama proses pelaksanaan pekerjaan dan memastikan pekerjaan selesai tepat waktu dan dengan standar yang tinggi, diperlukan analisis kualitas, waktu, dan biaya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. S. Pratama, R. K. Anggraeni, A. Hidayat, and R. R. Khasani, "Analisa Perbandingan Penggunaan Bekisting Konvensional, Semi Sistem, dan Sistem (PERI) Pada Kolom Gedung Bertingkat," *Jurnal Karya Teknik Sipil*, vol. 6, no. 1, 2017.
- [2] M. A. Zakaria, F. R. Yamali, and A. Dwiretnani, "Evaluasi Penggunaan Material Bekisting Kayu Pada Proyek Pembangunan Gedung FKIP Universitas Jambi," *Jurnal Talenta Sipil*, vol. 4, no. 1, 2021, doi: 10.33087/talentasipil.v4i1.43.
- [3] R. I. Y. N. D. Saraswati, "Analisa Perbandingan Penggunaan Bekisting Semi Konvensional Dengan Bekisting Sistem Table Form Pada Konstruksi Gedung Bertingkat," *Jurnal Teknik Its*, vol. 1, no. 1, 2012.
- [4] D. Perwitasari, J. Eka Susanti, and H. M. A. Rahmat, "Analisa Perbandingan Metode, Biaya dan Waktu Penggunaan Bekisting Aluminium dengan Bekisting Konvensional, Semi Konvensional dan Sistem (Peri)," *Institut Teknologi Sumatera*, 2020.
- [5] P. Aek, Suhudi, and H. Setya Wijaya, "Analisa Perbandingan Penggunaan Bekisting Konvensional dengan Pra Cetak pada Pekerjaan Kolom Apartemen Begawan Malang," *SENTIKUIN*, vol. 2, 2019.
- [6] Moch. Khamim, Sugeng Riyanto, and Mohamad Zenurianto, "Analisa Perbandingan Penggunaan Bekisting Sistem Kumkang Dengan Bekisting Semi Konvensional Pada Gedung Bertingkat," *Jurnal Teknik Ilmu Dan Aplikasi*, vol. 9, no. 2, 2021, doi: 10.33795/jtia.v9i2.40.
- [7] R. A. Rahadatul Ais'y, P. R. Silviana, and H. Farichah, "Efisiensi Pekerjaan Bekisting Konvensional dan Semi Sistem pada Kolom Bangunan Bertingkat di Madura," *Rekayasa: Jurnal Teknik Sipil*, vol. 8, no. 1, 2023, doi: 10.53712/rjrs.v8i1.2014.

- [8] M. Arif and A. Irawan, "Evaluasi Penggunaan Bekisting Konvensional dan Sistem PERI Pada Konstruksi CW Outfall Foundation Proyek PLTGU Muara Karang 400-500MW," *JURNAL KAJIAN TEKNIK SIPIL*, vol. 6, no. 1, 2021, doi: 10.52447/jkts.v6i1.4886.
- [9] A. Boer, "Perbandingan Tingkat Efisiensi Biaya Pekerjaan Bekisting Struktur Core Wall Menggunakan Metode Semi Sistem dan Climbing System Terhadap Metode Konvensional (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Menara Bank Rakyat Indonesia Pekanbaru)," *JURNAL SAINTIS*, vol. 19, no. 2, 2019, doi: 10.25299/saintis.2019.vol19(2).3917.
- [10] M. R. Wahyudi and A. Boer, "Tingkat Efisiensi Biaya Pekerjaan Bekisting Struktur Core Wall Menggunakan Metode Semi Sistem dan Climbing System Terhadap Metode Konvensional (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Menara Bank Rakyat Indonesia Pekanbaru)," *JURNAL SAINTIS*, vol. 19, no. 02, 2019, doi: 10.25299/saintis.2019.vol19(02).3917.
- [11] I. Bagus, A. Wijaya, L. Djakfar, and S. P. Budio, "Studi Perbandingan Biaya Bekisting Semi Modern Dengan Bekisting Konvensional Pada Bangunan Gedung," *Jurnal Rekayasa Sipil*, vol. 6, no. 3, 2012.
- [12] D. Irawan, "Analisa perbandingan desain dan biaya fondasi strauss, fondasi sumuran dan fondasi telapak pada gedung stikes widyagama husada malang," *Widya Teknika*, vol. 19, no. 2, pp. 16–22, 2011, doi: <https://doi.org/10.31328/jwt.v19i2.22>.
- [13] A. F. Saputra, F. Rahmawati, and Y. E. Putri, "Analisa Biaya dan Waktu Bekisting Metode Konvensional dengan Sistem PERI pada Proyek Puncak Kertajaya Apartemen," *Jurnal Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, 2013.
- [14] A. Indob P, "Analisa Perbandingan Biaya dan Waktu Antara Bekisting Konvensional dan Bekisting Sistem LICO pada Pembangunan VENUE Dayung JSC," *J Chem Inf Model*, vol. 53, no. 9, 2019.
- [15] A. A. Kholili and A. Y. Zuhdy, "Perhitungan Waktu dan Biaya Pelaksanaan Proyek Pembangunan Merial Tower 10 Lantai Rs. Peln Jakarta Menggunakan Aluminium Formwork," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 12, no. 1, 2023, doi: 10.12962/j23373539.v12i1.109237.

ANALISIS GRANULOMETRI PENAMBAHAN TANAH LEMPUNG EKSPANSIF AMPELGADING TERHADAP POTENSI LIKUEFAKSI TANAH PASIR DELTA BRANTAS

Yulius I. W. Gasa^{1*}, Agus Tugas Sudjianto², Aji Suraji³

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

*Email Korespondensi: yuliusgasa@gmail.com

ABSTRAK

Secara umum fenomena likuefaksi terjadi pada tanah pasir jenuh air ($S_r=100\%$) dalam kondisi *undrained* dan ada beban gempa yang bekerja. Likuefaksi ini dapat menyebabkan kerusakan dan keruntuhan pada struktur bangunan. Salah satu lokasi yang mempunyai potensi likuefaksi adalah tanah pasir Delta Brantas Sidoarjo. Untuk itu penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan tanah lempung ekspansif terhadap likuefaksi tanah pasir Delta Brantas dan berapa persentase yang optimum dari penambahan lempung ekspansif terhadap potensi likuefaksi tanah pasir Delta Brantas. Metode pengambilan data dengan cara sampel tanah pasir diambil dari Sungai Delta Brantas daerah Tlocor Sidoarjo dan tanah lempung ekspansif diambil dari Ampelgading Kabupaten Malang. Tanah campuran ini terdiri dari pasir Delta Brantas dengan kadar 95%, 90%, 85% dan 80% dengan tanah lempung ekspansif Ampelgading 5%, 10%, 15% dan 20%. Pengujian dilakukan dengan gradasi butiran pada tanah campuran tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa granulometri adalah tanah campuran 85% pasir Delta Brantas dengan tambahan 15% tanah lempung ekspansif Ampelgading. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa granulometri tanah campuran berada di luar granulometri tanah pasir Jepang yang mengalami likuefaksi. Granulometri tanah campuran yang paling optimum adalah sebesar 12%.

Kata kunci : Granulometri, Tanah Lempung Ekspansif, Likuefaksi Tanah, dan Tanah Pasir Delta Brantas.

ABSTRACT

In general, the phenomenon of liquefaction occurs in water-saturated sandy soils ($S_r=100\%$) under undrained conditions and in the presence of an acting earthquake load. Liquefaction can cause damage and collapse of building structures. One location that has the potential for liquefaction is the sandy soil of Delta Brantas Sidoarjo. For this reason, this research was conducted to determine the effect of the addition of expansive clay on the liquefaction of sand soil "Delta Brantas" and what is the optimum percentage of the addition of expansive clay on the potential liquefaction of sand soil "Delta Brantas". Data collection method by means of sand soil samples taken from the River "Delta Brantas" Tlocor Sidoarjo area and expansive clay soil taken from Ampelgading Malang Regency. This mixed soil consists of "Delta Brantas" sand with levels of 95%, 90%, 85% and 80% with expansive clay soil Ampelgading 5%, 10%, 15% and 20%. Tests were carried out with grain gradation on the mixed soil. The results showed that the granulometry was 85% "Delta Brantas" sand mixed soil with an additional 15% Ampelgading expansive clay. The results showed that the granulometry of the mixed soil was outside the granulometry of the Japanese sand soil that experienced liquefaction. The optimum granulometry of mixed soil is 12%.

Keywords : Granulometry, Expansive Clay, Soil Liquefaction, and Brantas Delta Sand Soil.

1. PENDAHULUAN

Pada daerah aliran sungai (DAS) yang mengandung tanah Aluvial dan pinggir pantai merupakan daerah yang memiliki tanah dasar berupa pasir halus dengan kondisi jenuh air. Tanah semacam ini merupakan tanah yang memiliki potensi terjadinya likuefaksi [1]. Hal ini dapat terjadi mengingat Indonesia merupakan Negara yang tidak lepas dari terjadinya gempa Tektonik. Secara umum fenomena likuefaksi hanya terjadi pada pasir jenuh air ($S_r=100\%$) dalam kondisi *undrained* dan ada beban siklik gempa yang bekerja. Dalam kondisi tersebut maka pasir akan kehilangan kekuatan mekaniknya, hal ini ditandai dengan hilangnya tegangan efektif tanah ($s'=0$) dan naiknya tegangan air pori hingga mencapai "*Overburden Pressure*". Dalam keadaan ini, perilaku pasir berubah menjadi seperti "*Fluid-Viscous*". Akibat yang ditimbulkan dengan adanya likuefaksi ini dapat berupa "*settlement, boiling, sliding*" atau bahkan suatu kehancuran dari bangunan-bangunan gedung, jembatan, jalan raya, jalan kereta api, bendungan tanah dan dermaga yang ada di dalam ataupun di atas permukaan tanah. Tanah aluvial dengan kondisi pasir jenuh air di Jawa Timur khususnya Surabaya dan Sidoarjo dapat kita temukan pada daerah "Delta Brantas". Rangan dan Arrang [2] melakukan penelitiannya yaitu daerah timur Surabaya dan Sidoarjo yang merupakan bagian dari area yang disebut dengan "Delta Brantas", khususnya untuk daerah yang menuju ke arah pantai. Secara biologis merupakan aluvial yang memiliki banyak lensa-lensa pasir berada di antara kedalaman 0,0 s/d 12,0 m, sesuai dengan hasil tes di lapangan serta data yang ada. Lensa-lensa pasir ini menunjukkan gejala-gejala untuk kemungkinan terjadinya likuefaksi.

Dari uraian di atas dapat kita simpulkan betapa bahayanya bila likuefaksi terjadi, dan mengingat daerah Delta Brantas belum begitu banyak bangunan-bangunan tinggi dan berat. Namun di masa mendatang akan menjadi daerah urban yang padat penduduknya dan tentunya akan diikuti pembangunan sarana dan prasarana yang lengkap. Guna menghindari kerusakan struktur bangunan bila ada getaran dinamis terutama akibat gempa tektonik maka perlu diadakan penelitian yang mengevaluasi kemungkinan terdirinya likuefaksi dengan menentukan nilai potensial likuefaksi [3]. Jika nilai potensial likuefaksi diketahui maka diharapkan dapat menjawab dugaan terjadinya fenomena likuefaksi di daerah Delta Brantas. Karena likuefaksi itu sangat berbahaya khususnya tanah pasir di Delta Brantas, maka penelitian ini akan melakukan destabilitas terhadap tanah pasir Delta Brantas dengan menggunakan lempung ekspansif. Fenomena likuefaksi dapat juga terjadi pada tanah lanau dan lempung. Dalam penelitian Sudjianto, dkk [4], lempung akan mudah kehilangan kekuatannya atau terjadi likuefaksi, bila persentase ukuran butir $0,005 \text{ mm} < 15\%$, *Liquid Limid (LL)* $< 35\%$ dan kadar air $> 0,9 \times \% \text{ LL}$. Sedangkan Theodorus, dkk [3] dalam penelitiannya menyatakan bahwa pasir yang mempunyai kandungan lanau akan dapat terjadi statis likuefaksi. Dari hasil penelitian tersebut maka likuefaksi dapat juga terjadi pada tanah non pasir. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui potensi likuefaksi pada tanah campuran antara pasir dan lempung yang dilaksanakan secara eksperimental di laboratorium dengan menggunakan alat triaksial siklik.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kerusakan Likuefaksi Tanah Pasir

Kerusakan ditimbulkan dengan adanya likuefaksi tanah pasir, dapat berupa penurunan (*settlement*), longoran (*sliding*), [5] keluarnya air ke permukaan tanah (*boillonnement*) atau bahkan kehancuran dari bangunan gedung, jembatan, jalan raya, rel kereta api, bendungan tanah. Menurut Farichah [6], banyak contoh tentang akibat yang ditimbulkan oleh likuefaksi tanah dari suatu gempa yang mengakibatkan kehancuran infrastruktur. Menurut Pujianto [7], lensa-lensa pasir yang menerima beban gempa akan menyebabkan tidak hanya likuefaksi saja, tapi juga timbulnya retak tarik (*tensile-cracks*) pada tanah di sekitar lensa-lensa tersebut.

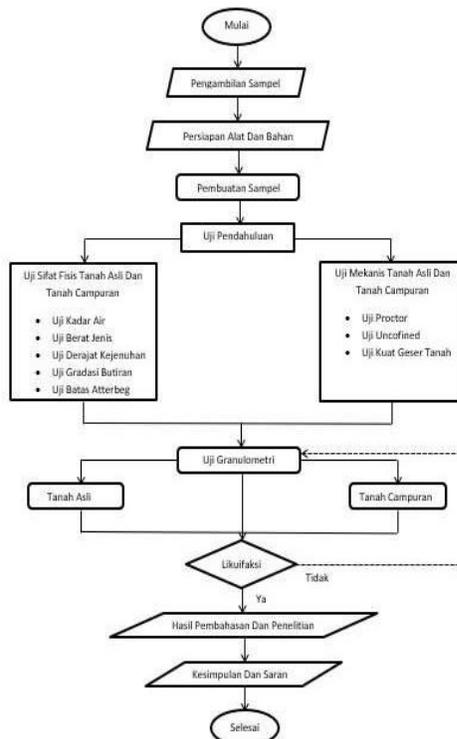
2.2 Faktor-faktor yang Menyebabkan Likuefaksi

Likuefaksi terjadi apabila suatu pasir yang ter saturasi strukturnya terpecah akibat adanya pembebanan yang berlebihan dan terus-menerus. Karena strukturnya hancur, maka partikel-partikel penyusun pasir tersebut akan terus bergerak cenderung membentuk suatu konfigurasi baru yang lebih keras [8]. Kepadatan dari tanah pasir dapat dinyatakan dengan nilai

relatif *density* (D_r) dimana semakin besar nilai D_r , maka akan semakin besar tahananannya terhadap bahaya likuefaksi [9]. Likuefaksi umumnya terjadi pada tanah yang bergradasi seragam (*uniformly graded soil*) [10]. Sementara tanah yang bergradasi baik (*well graded soil*) umumnya mempunyai tahanan terhadap likuefaksi lebih besar dibandingkan dengan tanah bergradasi buruk. Hal ini disebabkan oleh partikel-partikel kecil yang terdapat pada tanah bergradasi baik yang akan dapat mengisi rongga yang ada di antara partikel yang besar, sehingga potensi untuk mengalami perubahan volume pada kondisi *drained* akan menjadi lebih kecil akibat *undrained loading* [11]. Banyak cara yang telah dilakukan oleh para ahli geoteknik dalam beberapa tahun yang lalu untuk mengidentifikasi penyebab dasar terjadinya perilaku likuefaksi pada tanah, baik secara eksperimental maupun dengan berbagai macam analisa yang didasarkan kepada logika berpikir dan pengamatan atas peristiwa likuefaksi yang sudah terjadi sehingga menghantarkan kepada suatu kesimpulan mendasar yang dapat dijadikan dasar berpijak dalam menuntaskan permasalahan yang berhubungan dengan perilaku likuefaksi pada tanah [12].

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dimaksudkan untuk mendapatkan komposisi yang tepat untuk stabilisasi likuefaksi tanah pasir Delta Brantas Sidoarjo dengan Tanah Lempung Ekspansif Ampelgading Kabupaten Malang. Rancangan kegiatan yang akan dilakukan pada penelitian ini meliputi Pengambilan sampel, persiapan alat dan bahan, pembuatan sampel, dan uji pendahuluan [13]. Uji pendahuluan dilakukan melalui 2 (dua) uji yaitu meliputi Uji Sifat Fisis Tanah Asli dan Uji Granulometri Tanah Asli dan tanah campuran dengan standar ASTM (2003) [14]. Uji Sifat Fisis Tanah Asli meliputi Uji Kadar Air, Uji Berat Jenis, Uji Derajat Kejenuhan, Uji Gradasi Butiran, dan Uji Batas Atterberg. Sedangkan Uji utama adalah Granulometri Tanah Asli dan Tanah Campuran [4]. Tanah campuran yang dianalisis adalah tanah pasir Delta Brantas kadar 95%, 90%, 85% dan 80% dengan tanah lempung ekspansif 5%, 10%, 15% dan 20%. Hasil analisis granulometri akan dibandingkan dengan tanah pasir di Jepang yang pernah mengalami likuefaksi [15]. Semua uji geoteknik dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Tanah, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Widyagama Malang. Secara singkat diagram alir penelitian seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji sifat fisis tanah dilaksanakan pada 3 jenis tanah, yaitu tanah pasir Delta Brantas dan tanah lempung ekspansif Ampelgading serta tanah campuran dari kedua jenis tanah tersebut [16]. Hasil uji sifat fisis tanah pasir Delta Brantas seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil uji sifat fisis tanah pasir Delta Brantas

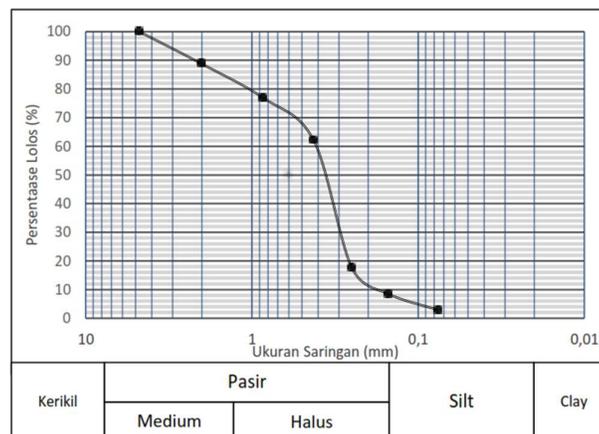
<i>Properties</i>		Pasir Delta Brantas
Analisa Ukuran	Lolos No. 200 (%)	95
Butiran	Lolos < 0.05 mm (%)	78
	Lolos < 0.002 mm (%)	33.5
<i>Specific gravity</i> (Gs)		4.69
Kadar air (%)		24.29
Aktivitas (A)		1.239
Klasifikasi Tanah	<i>Sistem Unified</i>	OH
	Sistem AASHTO	A-3-2

Hasil uji pendahuluan pada tanah lempung ekspansif Ampelgading dimaksudkan untuk mengetahui informasi mengenai sifat fisik dan sifat mekanis. Ditinjau secara visual, pada keadaan di lokasi sampel bisa diidentifikasi bahwa tanah Ampelgading merupakan tanah lempung ekspansif yang tinggi dengan indeks plastisitas (IP) > 25% [17] dan ditandai dengan tingkat kerusakan pada badan jalan dan bangunan ringan di sekitarnya. Hasil uji sifat fisis tanah lempung ekspansif seperti pada Tabel 2.

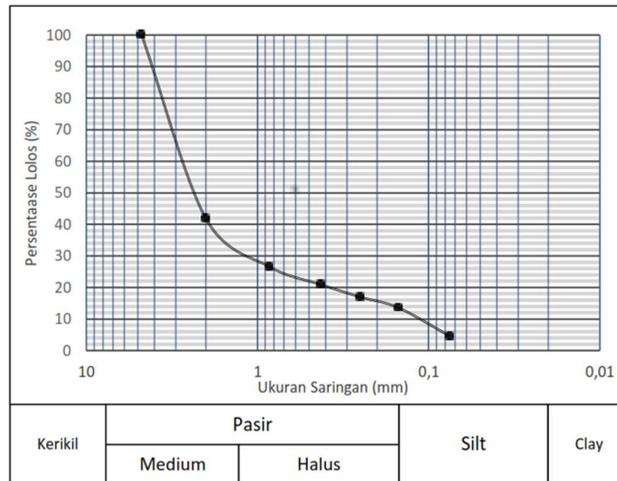
Tabel 2. Hasil uji sifat fisis tanah lempung Ampelgading Kabupaten Malang

<i>Properties</i>		Pasir Delta Brantas
Analisa Ukuran	Lolos No. 200 (%)	89.47
Butiran	Lolos < 0.05 mm (%)	86
	Lolos < 0.002 mm (%)	38.5
Batas Konsistensi	Batas Cair (%)	69.91
	Batas Plastis (%)	40.68
	Indeks Plastisitas (%)	29.23
<i>Specific gravity</i> (Gs)		4.69
Kadar air (%)		24.29
Aktivitas (A)		1.239
Klasifikasi Tanah	<i>Sistem Unified</i>	CH
	Sistem AASHTO	A-7-5

Pengujian analisa ayakan (grain size) pada tanah pasir Delta Brantas dan tanah lempung ekspansif dimaksudkan untuk menentukan pembagian butir gradasi agregat halus dan agregat kasar dengan menggunakan uji analisis saringan. Berikut tabel dan grafik hasil pengujian analisa saringan tanah pasir Delta Brantas (Gambar 2) dan tanah lempung ekspansif Ampelgading (Gambar 3).



Gambar 2. Grafik Hasil pengujian analisa saringan tanah Pasir Delta Brantas

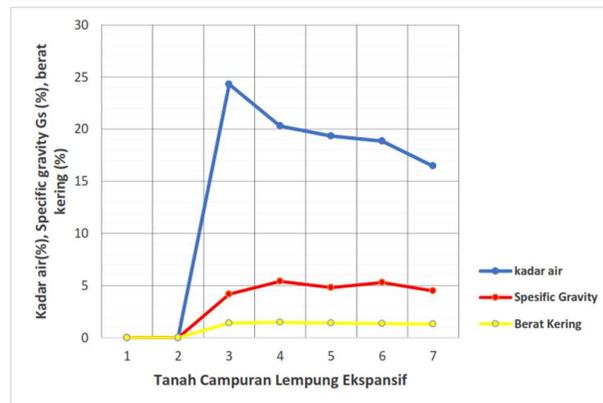


Gambar 3. Grafik Hasil pengujian analisa saringan tanah lempung ekspansif

Pengujian kadar air, *specific gravity*, dan berat kering campuran tanah asli dan lempung ekspansif. Pengujian tersebut didasarkan pada tanah asli dengan persentase kadar air sebesar 24,30%, *specific gravity* sebesar 4,17%, dan berat kering sebesar 1,42%. Dari hasil pengujian hasil kadar air menunjukkan bahwa semakin banyak bahan tanah lempung ekspansif Ampelgading yang dicampurkan pada tanah pasir Delta Brantas maka nilai kadar air konsisten menurun. Untuk pengujian berat jenis (*specific gravity*) didapatkan semakin besar bahan stabilisasi pasir maka nilai *specific gravity* (Gs) bervariasi naik dan turun. Begitu pula pada pengujian γ_d dan derajat kejenuhan tanah pasir Delta Brantas dan campuran lempung ekspansif menunjukkan hasil yang bervariasi naik dan turun [18]. seperti pada Tabel 3 dan Gambar 4 hasil pengujian kadar air (w), *specific gravity* (Gs), dan berat kering (γ_d).

Tabel 3. Hasil pengujian kadar air (W), *specific grafitiy* (Gs), dan berat kering (γ_d)

Perlakuan	kadar air (%)	<i>Spesific gravity</i> (Gs) %	berat kering (γ_d)
Tanah asli	24,30	4,17	1.42
Tanah asli 95 % + 5 % Lempung ekspansif	20,30	5,41	1,48
Tanah asli 90 % + 10 % Lempung ekspansif	19,35	4,80	1,40
Tanah asli 85 % + 15 % Lempung ekspansif	18,85	5,30	1,37
Tanah asli 80 % + 20 % Lempung ekspansif	16,46	4.50	1,32

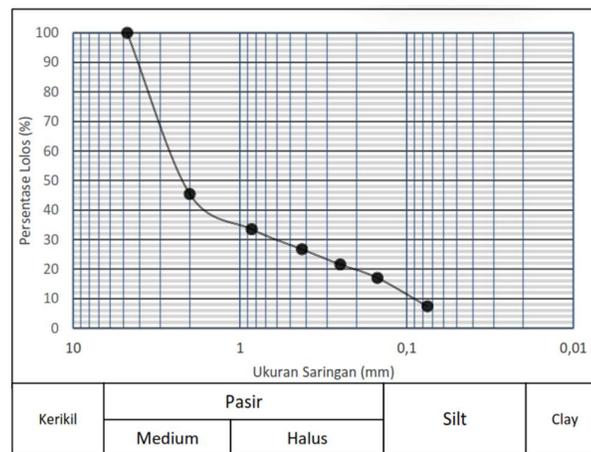


Gambar 4. Grafik hubungan kadar air (W), *Spesific Gravity* (Gs), berat kering(γ_d)

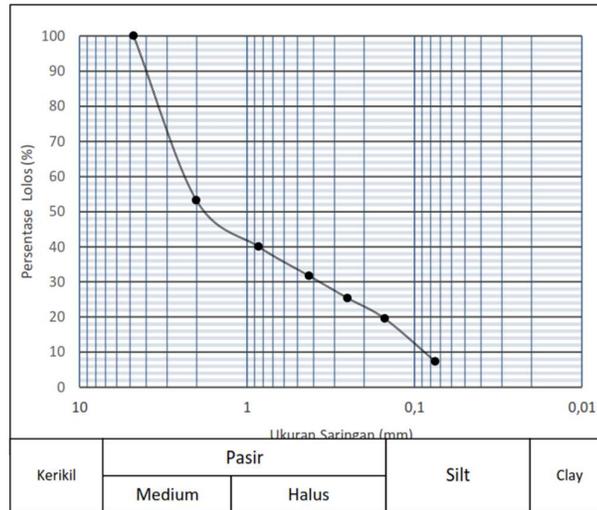
Grafik di atas disimpulkan bahwa persentase kadar air tanah asli 24.30% dari pengujian variasi campuran ini dapat menurun kan nilai kadar air tanah pasir Delta Brantas Kabupaten

Sidoarjo Kota Surabaya dimana pada pengujian pertama, jika tanah pasir 95% dicampur dengan 5% Lempung ekspansif mampu menurunkan kadar air tanah asli tersebut menjadi 20,30%, pengujian kedua tanah pasir 90% dicampur dengan 10% lempung ekspansif mampu menurunkan kadar air tanah asli tersebut menjadi 19,35%, pengujian ketiga tanah pasir 85% dicampur 15% lempung ekspansif mampu menurunkan kadar air tanah asli tersebut menjadi 18,85% dan campuran keempat tanah pasir 80% dicampur 20% tanah lempung ekspansif maka mampu menurunkan kadar air tanah asli sebesar 16,46%. Persentase *specific gravity* tanah asli 4,17% dimana campuran pertama pasir 95% dicampur dengan 5% tanah lempung ekspansif mampu menaikkan *specific grafity* tanah asli sebesar 5,41%, campuran kedua tanah pasir 90% dicampur dengan 10% tanah lempung ekspansif mampu menaikkan *specific grafity* tanah pasir sebesar 4,80%, campuran ketiga tanah pasir 85% dicampur 15% tanah lempung ekspansif maka mampu menaikkan *specific grafity* tanah asli sebesar 5.30%, dan campuran keempat pasir 80% dicampur dengan 20% tanah lempung ekspansif mampu menaikkan *specific grafity* sebesar 4,50% dan untuk persentase berat kering tanah pasir 1,42% dimana campuran pertama tanah pasir 95% dicampur dengan 5% lempung ekspansif mampu menaikkan berat kering tanah pasir menjadi 1,48%, campuran kedua pasir 90% dicampur 10% lempung ekspansif mampu menaikkan berat kering tanah asli menjadi 1,40%, campuran ketiga dimana tanah pasir 85% dicampur 15% lempung ekspansif mampu menaikkan berat kering tanah asli menjadi 1,37%, dan campuran keempat dimana tanah pasir 80% dicampur dengan 20% tanah lempung ekspansif maka mampu menaikkan berat kering tanah asli sebesar 1,32%.

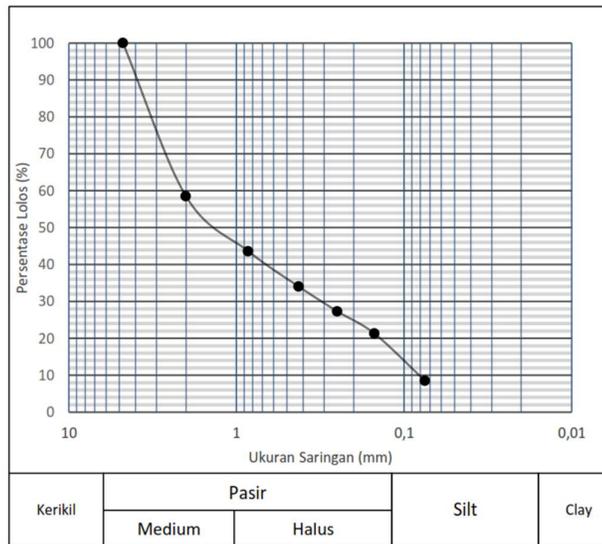
Hasil pengujian granulometri tanah campuran dilakukan untuk mengetahui granulometri tanah campuran yang paling optimal untuk mengantisipasi terjadi potensi likuefaksi dengan membandingkan granulometri tanah campuran dengan tanah pasir yang pernah mengalami likuefaksi [19]. Hasil uji granulometri tanah campuran seperti pada Gambar 5 sampai dengan Gambar 8. Granulometri pada Gambar 5 sampai Gambar 8 memperlihatkan penambahan tanah lempung ekspansif Ampelgading pada pasir Delta Brantas menyebabkan kisaran butiran dari bergradasi kasar menjadi bergradasi butiran halus. Semakin banyak persentase campuran tanah lempung akan menyebabkan semakin halus gradasi butiran tanah pasir Delta Brantas.



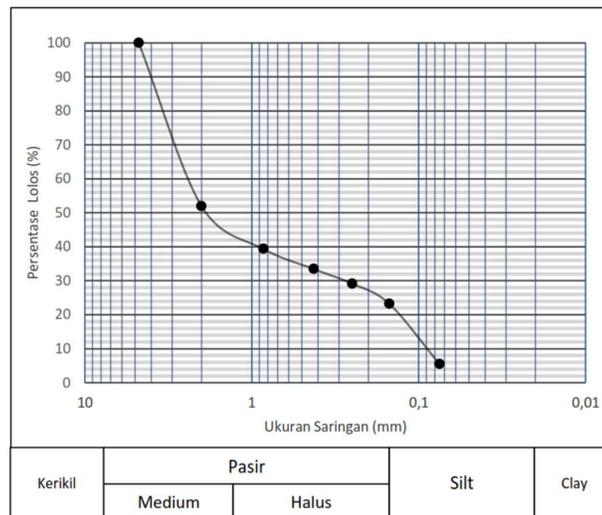
Gambar 5. Grafik analisa saringan pasir 95% + 5% tanah lempung ekspansif



Gambar 6. Grafik analisa saringan pasir 90% + 10% tanah lempung ekspansif

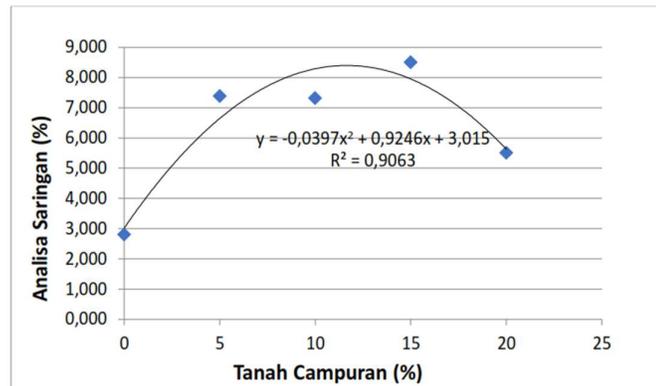


Gambar 7. Grafik analisa saringan pasir 85% + 15% lempung ekspansif



Gambar 8. Grafik analisa saringan pasir 80% + 20% lempung ekspansif

Granulometri di atas dilakukan pada tanah pasir 100%, 95%, 90%, 85%, dan 80% dengan tanah campuran lempung ekspansif adalah 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%. Dari hasil pengujian analisa saringan butiran campuran tanah pasir dengan tanah lempung ekspansif Ampelgading adalah 5%, dari hasil campuran 85% tanah pasir Delta Brantas + 15% tanah lempung ekspansif Ampelgading. hasil granulometri pada tanah pasir Delta Brantas dan tanah lempung ekspansif Ampelgading pada analisa granulometri ini untuk memisahkan fraksi tanah dan pasir pada ukuran (diameter) gradasi agregat halus dan agregat kasar dengan menggunakan analisa saringan.



Gambar 9. Grafik Hasil Prediksi Regresi Analisa Saringan

Dari Hasil Gambar Analisis Regresi Linear Berganda di atas disimpulkan bahwa nilai campuran optimum Tanah Lempung ekspansif Ampelgading berada pada campuran 12%.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan pada penelitian yang dilakukan tentang stabilisasi likuefaksi tanah pasir Delta Brantas Sidoarjo dengan tanah lempung ekspansif Ampelgading Kabupaten Malang (Jawa Timur) maka bisa diambil kesimpulan yaitu tanah pasir Delta Brantas mempunyai gradasi potensi likuefaksi dengan jenis tanah OH, sedangkan untuk tanah lempung ekspansif Ampelgading dikategorikan sebagai tanah lempung ekspansif Tipe tinggi (CH) karena Index Plastisnya di atas 25%. Granulometri tanah pasir Delta Brantas yang ditambah dengan tanah lempung ekspansif Ampelgading, grafik gradasi butirannya semakin mengetahui tanah pasir di Jepang yang pernah mengalami likuefaksi. Hasil pengujian gradasi 4 jenis tanah campuran tanah yang paling optimal terhadap gradasi tanah pasir di Jepang yang pernah mengalami likuefaksi adalah tanah campuran 85% pasir Delta Brantas + 15% tanah lempung ekspansif Ampelgading. Hasil pengujian sifat mekanis uji kuat geser tanah (*direct share test*) tanah pasir Delta Brantas dengan campuran lempung ekspansif adalah tanah campuran 85% pasir Delta Brantas + 15% tanah lempung ekspansif Ampelgading, dilihat dengan nilai kohesi (c) 0.0892 (kg/cm²) dan nilai sudut geser (ϕ) dalam sebesar 37.391°. pengaruhnya terjadi pada kekuatan tanah dengan campuran 85% pasir Delta Brantas + 15% lempung ekspansif Ampelgading meningkat dan didapatkan kekuatan tanah dengan nilai Kuat Tekan (q_u) sebesar 1,795 (kg/cm²). Tanah lempung ekspansif Ampelgading dapat digunakan untuk menurunkan potensi likuefaksi tanah pasir Delta Brantas, dengan persentase campuran yang baik adalah 12%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. T. Sudjianto, "Pemodelan Perilaku Kembang Tiga Dimensi Tanah Lempung Ekspansif Menggunakan Oedometer Modifikasi," *Skripsi Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada Yogyakarta*, 2012.
- [2] P. R. Rangan and A. T. Arrang, "Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif dengan Limbah Keramik," *Journal Dynamic Saint*, vol. 5, no. 2, 2021, doi:

- 10.47178/dynamicsaint.v5i2.1098.
- [3] A. Theodorus, B. Sugeng, I. Suratman, and R. Hermawan, "Kajian Efektifitas Semen dan Fly Ash dalam Campuran Soil Cement Memakai Tanah Lempung dan Pasir Pulau Timor," *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 15, no. 2, 2010, doi: 10.5614/jts.2008.15.2.3.
 - [4] A. Tugas Sudjianto and A. Purwaningsih, "Seminar Nasional Hasil Riset Prefix-RTR Analisis Granulometri Penambahan Tanah Lempung Ekspansif Terhadap Potensi Likuifaksi Tanah Pasir Delta Brantas," 2020.
 - [5] U. M. Sjahrain, S. G. Rondonuwu, and H. Riogilang, "Analisis Potensi Likuifaksi Dengan Menggunakan Parameter Kuat Geser Tanah Lempung," *JURNAL ILMIAH MEDIA ENGINEERING*, vol. 11, no. 3, 2021.
 - [6] H. Farichah, "Analisis Potensi Likuifaksi dengan Metode Deterministik di Wilayah Surabaya," *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia*, vol. 4, no. 1, pp. 68–76, 2019.
 - [7] A. Pujiyanto, "Pengaruh Beban Pada Permukaan Tanah Dan Frekuensi Gempa Terhadap Respon Seismik Linier Elastis Lapisan Tanah," *Semesta Teknika*, vol. 8, no. 1, 2016, doi: 10.18196/st.v8i1.909.
 - [8] R. A. Bella, W. Bunganaen, and P. M. Sogen, "Identifikasi Kerusakan Konstruksi Akibat Potensi Pengembangan Tanah Lempung Ekspansif Di Desa Oebelo," *Teknik Sipil*, vol. IV, no. 2, 2015.
 - [9] E. Cahyani, W. N. Afrita, A. E. N. Aza, and D. R. S. Sumunar, "Pengembangan sistem jaringan evakuasi bencana likuifaksi di wilayah Sesar Opak," *Geo Media: Majalah Ilmiah dan Informasi Kegeografian*, vol. 17, no. 1, 2019.
 - [10] W. Fathonah, E. Mina, R. I. Kusuma, and R. Hutami, "Analisis potensi likuifaksi dan alternatif perbaikannya dengan metode stone column," *PROSIDING SNAST*, p. D-1, 2021.
 - [11] T. B. Sanjoto, "Perubahan Spasial Delta Sungai Bodri Sebagai Basis Zonasi Tata Ruang Pesisir Kabupaten Kendal," *J Chem Inf Model*, vol. 53, no. 9, 2013.
 - [12] T. Kwanda, "The Morphological Framework of The Chinese and The European Districts In Surabaya, 1787-2005," *DIMENSI (Journal of Architecture and Built Environment)*, vol. 38, no. 1, 2012, doi: 10.9744/dimensi.38.1.1-14.
 - [13] N. B. W. Yulistiani and D. Darmawan, "Potensi Likuifaksi Berdasarkan Nilai Ground Shear Strain (Gss) Di Kecamatan Prambanan dan Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten Jawa Tengah," *Jurnal Ilmu Fisika dan Terapannya (JIFTA)*, vol. 7, no. 1, pp. 23–28, 2018.
 - [14] T. L. Youd and S. K. Noble, "Liquefaction criteria based on statistical and probabilistic analyses," in *Proc., NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils*, State Univ. of New York, Buffalo, NY, 1997, pp. 201–205.
 - [15] A. L. Ansori and H. K. Artati, "Analisis Potensi Likuifaksi Akibat Gempa Bumi Berdasarkan Data Insitu Test Menggunakan Metode Probabilitas," *Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta*, 2020.
 - [16] A. Suraji, A. T. Sudjianto, and R. Riman, "Identifikasi dan Klasifikasi Tanah Ekspansif Pada Jalan Nasional Ruas Caruban-Ngawi," in *Prosiding Forum Studi Transportasi antar Perguruan Tinggi*, 2021, p. 512.
 - [17] E. Setyono, S. Sunarto, and A. M. Gumilang, "Pengaruh Penggunaan Bahan Serbuk Marmer Pada Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif (Kasus Tanah Lempung Ekspansif di Daerah Citra Land Surabaya)," *Jurnal Media Teknik Sipil*, vol. 16, no. 2, 2019, doi: 10.22219/jmts.v16i2.6245.
 - [18] N. Asri, A. Uba, A. T. Sudjianto, and A. Suraji, "Analisis Pengaruh Variasi Kadar Air Terhadap Swelling Volumetrik Tanah Lempung Ekspansif (Studi Kasus KM 51 Ruas Jalan Tirtoyudo Kabupaten Malang)," *The 4th Conference on Innovation and Application of Science and Technology (CIASTECH 2021)*, 2021.
 - [19] F. A. E. Sompie, F. J. Manoppo, and ..., "Stabilisasi Tanah Ekspansif Dengan Campuran Abu Batu Bara Dan Abu Terbang Batu Karang Dengan Aplikasi Timbunan Tipe Urugan Tanah," *Jurnal Ilmiah Media ...*, vol. 8, no. 2, 2019.

STUDI ANALISIS PENGARUH SEDIMENTASI TERHADAP KAPASITAS TAMPUNGAN EFEKTIF WADUK JAMBU

M. Dani Pradana Putra^{1*}, Riman², Abdul Halim³

¹CV. Amorf Multikonstruksi

^{2,3}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Widyagama, Malang

*Email Korespondensi: dannysurveyorid@gmail.com

ABSTRAK

Waduk sebagai salah satu infrastruktur vital dalam pengelolaan sumber daya air, memainkan peran penting dalam menjamin pasokan air bagi berbagai kebutuhan manusia. Sedimentasi adalah akumulasi material hasil erosi yang terbawa aliran air dari daerah tangkapan, kemudian mengendap di dasar waduk. Teknik Pengumpulan data primer didapatkan dari hasil uji laboratorium pengambilan sampel sedimen dasar Waduk Jambu dan hasil survei pengukuran konsentrasi sedimen. Data sekunder meliputi data teknis waduk berupa peta DEM dan alur sungai, data *inflow* sedimen tahunan, data *inflow* aliran tahunan, data pengukuran tampungan waduk. Metode yang digunakan untuk perhitungan volume sedimen yang telah mengendap di waduk jambu yaitu menggunakan Metode Einstein. Hasil penelitian didapatkan bahwa kapasitas tampungan efektif waduk pada Elevasi 28,00m sebesar 78.763,73 m³, Elevasi 29,00m sebesar 893.645,05 m³, Elevasi 30,00m sebesar 3.574.619,50 m³ dan Elevasi 31,00m sebesar 5.008.396,87 m³. Volume sedimen yang telah mengendap setelah dilakukan penataan mengalami penurunan yang signifikan dari 13.480,35 m³/tahun menjadi 2.260,06 m³/tahun. Dengan berkurangnya usia guna waduk, kapasitas tampungan efektif pada elevasi yang lebih tinggi akan lebih cepat terpakai. Dengan memperhatikan hubungan ini, manajemen waduk harus mempertimbangkan penataan kawasan, pemeliharaan, dan tindakan perbaikan untuk memperpanjang usia guna waduk dan memastikan ketersediaan air yang memadai. Penurunan volume sedimen yang mencolok tersebut dapat diartikan sebagai keberhasilan dari langkah-langkah mitigasi sedimentasi yang telah diimplementasikan.

Kata kunci : Tampungan Efektif, Usia Guna, Waduk, Metode Einstein, Sedimen.

ABSTRACT

Reservoirs as one of the vital infrastructures in water resources management, play an important role in ensuring water supply for various human needs. Sedimentation is the accumulation of eroded material carried by water flow from the catchment area, then settles at the bottom of the reservoir. Primary data collection techniques are obtained from the results of laboratory tests of Jambu Reservoir bottom sediment sampling and the results of sediment concentration measurement surveys. Secondary data includes reservoir technical data in the form of DEM maps and river flows, annual sediment inflow data, annual flow inflow data, reservoir storage measurement data. The method used to calculate the volume of sediment that has settled in the Jambu reservoir is using the Einstein Method. The results showed that the effective storage capacity of the reservoir at Elevation 28.00m was 78,763.73 m³, Elevation 29.00m was 893,645.05 m³, Elevation 30.00m was 3,574,619.50 m³ and Elevation 31.00m was 5,008,396.87 m³. The volume of sediment that has settled after the arrangement has decreased significantly from 13,480.35 m³/year to 2,260.06 m³/year. With the reduction in the reservoir's lifespan, the effective storage capacity at higher elevations will be depleted more quickly. Considering this relationship, reservoir management should consider area restructuring, maintenance, and improvement actions to extend the reservoir's lifespan and ensure an adequate water supply. The noticeable decrease in sediment volume can be interpreted as the success of sedimentation mitigation measures that have been implemented.

Keywords : Effective Storage, Useful Life, Reservoir, Einstein Method, Sediment.

1. PENDAHULUAN

Waduk sebagai salah satu infrastruktur vital dalam pengelolaan sumber daya air, memainkan peran penting dalam menjamin pasokan air bagi berbagai kebutuhan manusia [1]. Sedimentasi adalah akumulasi material hasil erosi, yang terbawa aliran air dari daerah tangkapan, kemudian mengendap di dasar waduk [2]. Fenomena ini secara bertahap mengurangi kedalaman waduk, yang pada akhirnya menurunkan kapasitas tampungannya. Waduk Jambu, sebagai contoh, telah menunjukkan tanda-tanda penurunan kapasitas tampungannya sejak beberapa tahun terakhir. Meski menjadi salah satu waduk strategis, Waduk Jambu tetap harus menghadapi kenyataan bahwa sedimentasi adalah masalah yang tidak bisa diabaikan [3]. Oleh karena itu, sebuah studi analitis mengenai dampak sedimentasi terhadap kapasitas tampungan efektif Waduk Jambu menjadi sangat penting untuk segera dilaksanakan. Hasil dari studi ini akan menjadi bahan pertimbangan kritis bagi pihak pengelola dalam merancang strategi pengelolaan dan pemeliharaan Waduk Jambu di masa mendatang. Strategi antisipasi dan pengelolaan sedimentasi yang efektif akan menjadi kunci dalam menjamin keberlanjutan manfaat waduk bagi generasi mendatang [4]. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan pemahaman yang lebih mendalam mengenai Waduk Jambu, dengan fokus pada beberapa aspek penting. Pertama, penelitian akan mengevaluasi kapasitas tampungan efektif saat ini dari waduk tersebut. Selanjutnya, penelitian juga akan memeriksa metode dan hasil perhitungan volume sedimen yang telah mengendap di dalamnya. Terakhir, penelitian ini akan mencari hubungan antara usia guna Waduk Jambu dengan kapasitas tampungan efektif yang dimilikinya saat ini. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang berharga dalam pemahaman dan pengelolaan Waduk Jambu untuk masa depan yang lebih berkelanjutan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kapasitas Tampungan Efektif

Perhitungan kapasitas tampungan efektif waduk dapat dijabarkan antara lain sebagai berikut:

1) Perhitungan volume waduk

Pada perhitungan volume waduk ini menggunakan Metode Prismoidal dan Kontur [5].

$$A_i = 1/2 (A_1 + A_2) * h \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana:

A_i adalah volume waduk

A_1 adalah luas permukaan air pada elevasi minimum (m^2)

A_2 adalah luas permukaan air pada elevasi maksimum (m^2)

h adalah tinggi bendungan (m)

2) Perhitungan kapasitas tampungan efektif waduk

Untuk menghitung kapasitas tampungan efektif waduk dengan menggunakan rumus Prismoid.

$$V = (1/6) * h (A_1 + 4M + A_2) \dots \dots \dots (2.2)$$

V adalah volume waduk (m^3)

h adalah tinggi prismoid (m), dalam hal ini adalah perbedaan elevasi antara dua data

A_1 adalah luas permukaan air pada elevasi minimum (m^2)

A_2 adalah luas permukaan air pada elevasi maksimum (m^2)

M adalah luas tengah (m^2), dihitung sebagai akar kuadrat dari $A_1 \times A_2$

2.2 Volume Sedimen

Untuk menghitung besarnya SDR menggunakan Persamaan Vanoni (1975) [6].

$$SR = 0,42 A^{-0,125} \dots \dots \dots (2.3)$$

Di mana:

SR adalah *sediment rating*.

A adalah luas daerah drainase

1) Metode Einstein

Metode Einstein adalah salah satu metode yang digunakan untuk menghitung muatan dasar (*bed load*) dalam sungai berdasarkan prinsip-prinsip hidrodinamika. Metode ini

dikembangkan oleh Albert Einstein pada tahun 1936. Perhitungan *bed load* menggunakan metode Einstein didasarkan pada prinsip pergerakan partikel-partikel sedimen di dasar sungai akibat gaya gesekan dan gaya gravitasi.

Rumus perhitungan *bed load* dengan metode *Einstein* adalah sebagai berikut:

$$q_b = k \cdot \sqrt{d} \cdot \sqrt{s} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana:

q_b adalah muatan dasar (*bed load*) ($m^3/s/m$).

k adalah koefisien *transport bed load* (adimensional).

\sqrt{d} adalah diameter butir sedimen (m).

\sqrt{s} adalah kemiringan aliran sungai (m/m).

2) Metode Pengukuran Volume Sedimen

Pengukuran volume sedimen di Waduk Jambu dilakukan untuk mengetahui jumlah sedimen yang telah mengendap di waduk tersebut. Sedimen yang mengendap di waduk dapat menyebabkan penurunan kapasitas tampung waduk, sehingga perlu dilakukan pengerukan secara berkala [7].

Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengukur volume sedimen di waduk. Metode yang paling umum digunakan adalah metode pengukuran volume waduk [8]. Metode ini menggunakan persamaan volume waduk, yaitu:

Untuk menghitung sedimentasi menggunakan rumus laju sedimentasi [9], sebagai berikut:

$$\text{Sedimen} = \text{SDR} \times \text{Erosi rata-rata (ton/ha/th)} \times (\text{Luas (Ha)} / \text{Berat Isi (ton/m}^3) \dots\dots\dots(2.5)$$

Untuk menghitung sedimentasi yang mengendap menggunakan rumus sebagai berikut [10].

$$\text{Sedimen} = \text{Luas (Ha)} \times \text{Erosi rata-rata (ton/ha/th)} / \text{SDR (\%)} \dots\dots\dots(2.6)$$

2.3 Usia Guna Waduk

Berikut adalah beberapa konsep yang akan digunakan untuk menghitung usia guna waduk, yaitu:

1. Volume Awal Waduk (V)

Ini adalah volume air yang dapat disimpan oleh waduk pada saat pertama kali dibuat atau mulai digunakan. Volume ini dapat diukur dalam berbagai satuan seperti meter kubik atau kilometer kubik tergantung pada skala proyek dan preferensi.

2. Laju Sedimentasi (S)

Laju sedimentasi adalah jumlah endapan yang menumpuk di dasar waduk setiap tahunnya [11]. Ini bisa bervariasi tergantung pada berbagai faktor, termasuk erosi tanah di daerah aliran sungai, aktivitas manusia di wilayah tangkapan air, dan karakteristik fisik dan geologi dari daerah aliran sungai itu sendiri. Laju sedimentasi biasanya diukur dalam satuan volume per tahun seperti meter kubik per tahun atau kilometer kubik per tahun [12].

Salah satu rumus yang digunakan untuk perhitungan ini adalah sebagai berikut:

$$\text{Usia Waduk} = \frac{V}{S} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana:

Usia Waduk adalah usia guna waduk dalam tahun.

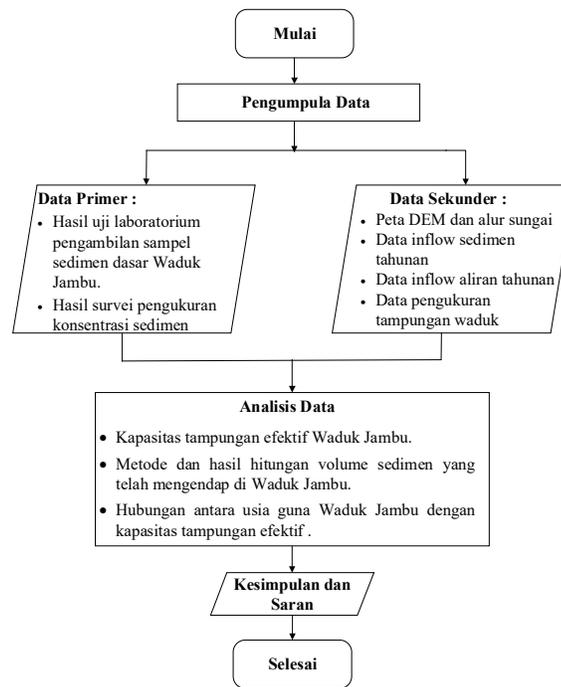
V adalah volume awal waduk dalam satuan volume

S adalah laju sedimentasi dalam satuan volume per tahun

3. METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian ini dilaksanakan pada bagian hulu daerah tangkapan air (DTA), kawasan sekitar badan air dan bagian hilir Bendungan Jambu yang terletak di Desa Temba Lae, Kecamatan Pajo, Kabupaten Dompu. Teknik pengumpulan data dibagi menjadi dua, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui uji laboratorium dan survei pengukuran konsentrasi sedimen di dasar Waduk Jambu. Sementara itu, data sekunder diperoleh dari sumber

data yang telah ada, seperti peta DEM dan alur sungai, data *inflow* sedimen tahunan, data *inflow* aliran tahunan, dan data pengukuran tampungan waduk. Agar tujuan dalam penelitian yang diharapkan tercapai, maka diperlukan adanya gambaran sistematis tentang pengerjaan penelitian secara keseluruhan berupa diagram alir yang disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kapasitas Tampungan Efektif Waduk Jambu Tahun 2022

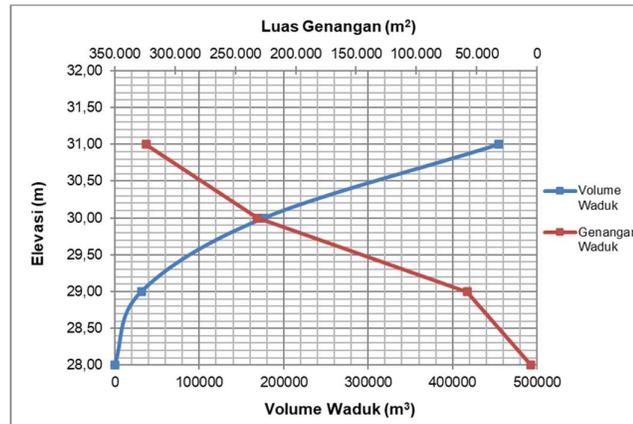
Kapasitas tampungan bruto Waduk Jambu mengalami perubahan dari 970.000 m³ pada tahun 1994 menjadi 31.493,42 m³ pada tahun 2023. Dengan demikian, terdapat penurunan kapasitas tampungan sebesar 938.506,58 m³ selama periode tersebut. Sedimentasi yang terjadi di Waduk Jambu adalah sebesar 34.759,50 m³ per tahun. Jumlah ini akumulasi total sedimen selama periode yang ditentukan. Sedimentasi yang signifikan seperti ini dapat memiliki dampak negatif terhadap kapasitas tampungan dan fungsionalitas waduk.

Tabel 1. Kapasitas Tampungan Waduk

No.	Elevasi	Luas Genangan (m ²)	Volume Waduk (m ³)
1	28,00	5.103,89	0,00
2	29,00	57.882,94	31.493,42
3	30,00	231.878,01	176.373,89
4	31,00	324.255,27	454.440,53

Sumber: Hasil Analisis 2022

Adapun grafik lengkung kapasitas tampungan waduk dari hasil analisis di atas sebagaimana berikut:



Gambar 2. Grafik Lengkung Kapasitas Tampung Waduk
Sumber: Hasil Analisis 2022

Tabel 2. Rekap Kapasitas Tampung Efektif Waduk

No.	Elevasi (m)	Luas Genangan (m ²)	Volume Waduk (m ³)	Kapasitas Tampung Efektif Waduk (m ³)
			$V = 1/2 (A_1 + A_2) * h$	$V = (1/6) * (A_1 + A_2 + 4A_m) * h$
1	28	5.103,89	0	0,00
2	29	57.882,94	31.493,42	21.956,49
3	30	231.878,01	176.373,89	125.528,43
4	31	324.255,27	454.440,53	275.491,34
TOTAL				422.976,27

Sumber: Hasil Analisis 2022

Pada Tabel 2, Kapasitas Tampung Waduk untuk luas genangan didapatkan dari hasil pengukuran, sedangkan volume waduk diperoleh dari perhitungan pada Metode Prismoidal dan Kontur yang akan dijabarkan sebagai berikut:

Elevasi 28 → Volume waduk = 0 m³

Elevasi 29 → Volume waduk = 31.493,42 m³

$$\begin{aligned} \text{Rumus} &= A_i = 1/2 (A_1 + A_2) * h \\ &= 1/2 * (5.103,89 + 57.882,94) * (29 - 28) \\ &= 31.493,42 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Untuk menghitung kapasitas tampung efektif waduk, dapat menggunakan data pada Tabel 4.1. Kapasitas tampung efektif dapat dihitung menggunakan Rumus Prismoid yaitu $V = 1/6 * h (A_1 + 4M + A_2)$. Berikut langkah-langkah perhitungan kapasitas tampung efektif waduk jambu tahun 2022:

- 1) Untuk elevasi 2 (28 m – 29 m):

$$h = 29 - 28 = 1$$

$$A_1 = 5.103,89 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 57.882,94 \text{ m}^2$$

$$M = \sqrt{5.103,89 * 57.882,94}$$

$$M = 17.188,03 \text{ m}^2$$

$$V = 1/6 * h (A_1 + 4M + A_2)$$

$$V = 1/6 * 1 * (5.103,89 + 4 * 17.188,03 + 57.882,94)$$

$$V = 21.956,49 \text{ m}^3$$

4.2 Volume Sedimen yang telah mengendap

Untuk menghitung volume sedimen yang telah mengendap dapat dijabarkan sebagai berikut:

$$\text{Volume Sedimen} = (\text{Luas} * \text{SDR} * \text{Berat Isi} * \text{Sedimen}) / 100$$

Menghitung volume sedimen untuk setiap Sub DTA terlebih dahulu, kemudian menjumlahkannya untuk mendapatkan total volume sedimen [13].

- Untuk Sub DTA 1 (Sungai Nata):

$$\begin{aligned}\text{Volume Sedimen} &= (1.904,39 \text{ Ha} \times 0,163 \times 1,5 \text{ ton/m}^3 \times 7.763,28 \text{ m}^3/\text{th})/100 \\ &= (1.904,39 \times 0,163 \times 1,5 \times 7.743.83)/100 \\ &= 36.053,21 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Hasil perhitungan volume sedimen untuk Sub DTA berikutnya terdapat pada tabel berikut:

Tabel 3. Rekap Volume Sedimen yang telah mengendap

No.	Sub DTA	Luas (Ha)	Berat isi (Ton)	Sedimen (m ³ /th)	SDR (%)	Volume Sedimen yang mengendap (m ³)
		a	b	c	d	a x b x c x d
1	Sub DTA 1 (Sungai Nata)	1.904,39	1,5	7.743.83	0.00163	36.053,21
2	Sub DTA 2 (Sungai Depa)	2.421,81	1,5	13.442,30	0.00159	77.825,36
3	Sub DTA 3 (Sungai Kenda)	727,05	1,5	1.410,59	0.00184	2.825,81
4	Sub DTA 4	164,52	1,5	114,65	0.00222	62,82
	Jumlah	5.217,77		22.730,82		116.757,20

Sumber: Hasil Analisis 2022

4.3 Usia Guna Waduk Jambu

Bendungan Jambu telah beroperasi selama 29 tahun, yaitu dari tahun 1994 hingga 2022. Awalnya, bendungan ini hanya berupa embung yang tidak didesain dengan tampungan mati, tetapi kemudian ditingkatkan menjadi bendungan. Namun, kondisi tampungan saat ini menunjukkan bahwa sedimen sudah di atas elevasi *intake*, yang berarti secara teoritis usia guna Waduk Jambu sudah habis.

Meskipun demikian, secara operasional, Bendungan Jambu masih dapat berfungsi sampai sedimen menutupi *intake* dan kapasitas volume waduk habis. Namun, jika hal tersebut terjadi, maka Bendungan Jambu tidak dapat berfungsi lagi. Usia guna waduk dihitung berdasarkan volume tampungan bruto setelah adanya pengerukan yang dilakukan pada tahun 2022.

Usia Guna Waduk:

- *Inflow* tahunan (I) : 11.500.723,13 m³/th
- *Inflow* sedimen tahun 2022 : 22.745,12 m³/th
- Volume tampungan : 31.493,42 m³
- Pengerukan tahun 2022 : 93.000,00 m³
- Volume tampungan total (C) : 124.493,42 m³
- Kapasitas rasio *inflow* tahunan : 124.493,42 / 11.500.723,13 : 0,01082

Dengan memasukkan nilai perbandingan C/I pada grafik *Gunnar Brune*, maka diperoleh nilai sedimen yang terperangkap sebesar 44,89%.

Perhitungan sisa umur guna Bendungan Jambu [14]:

$$\begin{aligned}&= \frac{\text{Volume Waduk}}{\text{trap efficiency} \times \text{inflow sedimen}} \\ &= \frac{124.493,42}{0,45 \times 22.730,82} \\ &= 12 \text{ tahun}\end{aligned}$$

Sedangkan sisa umur guna Bendungan Jambu setelah dilakukan pengerjaan di DTA:

$$\begin{aligned}&= \frac{\text{Volume Waduk}}{\text{trap efficiency} \times \text{inflow sedimen}} \\ &= \frac{124.493,42}{0,45 \times 6.028,66} \\ &= 46 \text{ tahun}\end{aligned}$$

Waduk Jambu memiliki dua estimasi usia guna yang berbeda, yaitu berdasarkan kondisi eksisting di DTA pada tahun 2022 dan berdasarkan perhitungan kawasan yang dilakukan di DTA. Menurut hasil analisis, usia guna waduk Jambu berdasarkan kondisi eksisting di DTA pada tahun 2023 hanya tersisa selama 12 tahun lagi, sedangkan usia guna waduk Jambu berdasarkan pengerjaan kawasan yang dilakukan di DTA sebesar 46 tahun.

Artinya, jika waduk Jambu tidak mengalami pengerjaan perbaikan atau tindakan perawatan yang cukup, maka waduk tersebut hanya dapat digunakan selama 12 tahun lagi sebelum mencapai akhir

umur pakainya. Namun, jika dilakukan perencanaan, pengerjaan perbaikan kawasan yang tepat serta dilakukan pemeliharaan yang baik, usia guna Waduk Jambu dapat diperpanjang hingga 46 tahun. Sehingga Waduk Jambu dapat berfungsi secara optimal dan aman dalam jangka waktu yang lebih lama, serta memastikan ketersediaan pasokan air yang memadai untuk kebutuhan manusia dan lingkungan hidup di masa yang akan datang [15].

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan penelitian ini, maka dapat diambil kesimpulan yaitu kapasitas tampungan efektif waduk mengalami kenaikan yang signifikan seiring dengan peningkatan elevasi. Peningkatan tersebut terbukti dari elevasi 28,00 m hingga elevasi tertinggi 31,00 m, yang menunjukkan peningkatan drastis dalam kapasitas waduk dari 0 m³ hingga 275.491,34 m³. Sementara itu, analisis volume sedimen di Waduk Jambu menunjukkan perbedaan yang signifikan antara Sungai Depa dengan Sub DTA lainnya, dengan total volume sedimen mencapai 1.303.732,29. Dalam konteks usia guna waduk, terlihat bahwa tanpa intervensi, usia guna waduk hanya tersisa 12 tahun dengan kapasitas tampungan efektif yang terus menurun, menandakan kemungkinan ketidakmampuan waduk memenuhi kebutuhan air yang diperlukan. Namun, dengan pemeliharaan yang tepat, usia guna waduk dapat diperpanjang hingga 46 tahun, memberikan peluang untuk menjaga kapasitas tampungan efektif melalui manajemen sedimen yang lebih baik. Oleh karena itu, kesimpulan dari data tersebut adalah perlunya intervensi yang tepat dalam pemeliharaan waduk, serta analisis lebih lanjut mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi distribusi sedimen guna mengoptimalkan pengelolaan sumber daya air.

Berdasarkan kesimpulan tersebut, maka terdapat beberapa saran yaitu diperlukan upaya efektif dalam pengelolaan waduk secara keseluruhan, termasuk pembaruan desain dan investasi dalam teknologi yang lebih canggih untuk memastikan keberlanjutan dan efisiensi operasional. Perlu diadakan Konservasi Lingkungan yaitu melindungi dan merawat ekosistem di sekitar waduk adalah penting untuk mempertahankan keseimbangan ekologi. Ini dapat mencakup program restorasi habitat, pelestarian biodiversitas, dan pengendalian erosi untuk meminimalkan dampak negatif pada lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. I. Estika, S. Suprihatin, and M. Yani, "Analisis dan Formulasi Strategi Ketersediaan Air Bersih Di Lokasi Transmigrasi (Studi Kasus: Kecamatan Lasalimu Selatan Kabupaten Buton)," *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, vol. 7, no. 2, 2017, doi: 10.29244/jpsl.7.2.114-121.
- [2] J. Arianto, N. M. R. R. C. Perbani, and M. F. P. Kusumah, "Analisis Luas dan Volume Sedimen pada Kanal Intake untuk Menjaga Ketersediaan Pasokan Air (Studi Kasus: PLTGU Muara Tawar, Bekasi Utara)," *Rekayasa Hijau: Jurnal Teknologi Ramah Lingkungan*, vol. 2, no. 1, 2018.
- [3] M. A. Sumardi, L. A. Hendratta, and F. Halim, "Analisis Angkutan Sedimen di Sungai Air Kolongan Kabupaten Minahasa Utara," *Jurnal Sipil Statik*, vol. 6, no. 12, 2018.
- [4] I. Dunggjo and A. Chairil Ichsan, "Efektifitas Pembuatan Tanaman Vegetatif Dalam Menanggulangi Erosi dan Sedimentasi (Studi kasus di daerah aliran sungai Limboto Provinsi Gorontalo).," *Jurnal Belantara*, vol. 5, no. 1, 2022, doi: 10.29303/jbl.v5i1.882.
- [5] H. C. Maddi, R. Musa, and H. Ashad, "Kajian Pengendalian Banjir dengan Menggunakan Waduk Regulasi (Studi Kasus: DAS Wanggu Kota Kendari)," *Journal Flyover (JFO)*, vol. 1, no. 1, 2021.
- [6] J. S. H. Nadi, H. Hasan, and S. D. Devy, "Estimasi Sedimen Total Dengan Metode Sediment Delivery Ratio (SDR) Pada ROM Area Di PT. Bharinto Ekatama, Kutai Barat, Kalimantan Timur," *Jurnal Teknologi Mineral FT UNMUL*, vol. 7, no. 2, 2019.
- [7] D. S. Putra, W. P. Siwu, and D. A. Wulandari, "Pengaruh Sedimentasi Terhadap Fungsi Waduk Karian," *Jurnal Teknisia*, vol. 24, no. 2, 2019.
- [8] Nastain and P. S. Nugroho, "Pemanfaatan Sedimen Waduk Mrica Untuk Bahan Baku Bata Merah," *Dinamika Rekayasa*, vol. 5, no. 2, 2009.

- [9] S. Srijati, B. Rochaddi, and S. Widada, "Analisis Laju Sedimentasi Di Perairan Muara Sungai Waridin Kabupaten Kendal," *J Oceanogr*, vol. 6, no. 1, pp. 246–253, 2017.
- [10] Q. Dianasari, U. Andawayanti, and E. N. Cahya, "Pengendalian erosi dan sedimen dengan arahan konservasi lahan di DAS Genting Kabupaten Ponorogo," *Jurnal Teknik Pengairan: Journal of Water Resources Engineering*, vol. 9, no. 2, pp. 95–104, 2018.
- [11] T. Marhendi, "Strategi Pengelolaan Sedimentasi Waduk," *Techno*, vol. 14, no. 2, 2013.
- [12] D. S. Putra, P. S. Atmojo, and D. A. Wulandari, "Kajian Erosi Daerah Tangkapan Air Dalam Pendugaan Kapasitas Tampungan Waduk Pada Akhir Umur Efektif (Studi Kasus: Waduk Gondang, Karanganyar)".
- [13] N. Heryani and N. Sutrisno, "Perencanaan Penggunaan Lahan di Daerah Tangkapan Air (DTA) Waduk Batutegi Untuk Mengurangi Sedimentasi," *Jurnal Sumberdaya Lahan*, vol. 6, no. 1, 2012.
- [14] F. Arifandi and C. Ikhsan, "Pengaruh Sedimen Terhadap Umur Layanan Pada Tampungan Mati (Dead Storage) Waduk Krisak Di Wonogiri Dengan Metode USLE (Universal Soil Losses Equation)," *Matriks Teknik Sipil*, vol. 7, no. 4, 2019, doi: 10.20961/mateksi.v7i4.38482.
- [15] M. I. Iman, E. Riawan, B. Setiawan, and O. Abdurahman, "AIR TANAH UNTUK ADAPTASI PERUBAHAN IKLIM DI MALANG, JAWA TIMUR: Penilaian Risiko Penurunan Ketersediaan Air," *RISSET Geologi dan Pertambangan*, vol. 27, no. 1, 2017, doi: 10.14203/risetgeotam2017.v27.438.

PENGARUH PENAMBAHAN SERAT FABRIKASI (MICRO FIBERS) TERHADAP KUAT TEKAN DAN TARIK BELAH BETON

Arif Darmawan^{1*}, Abdul Halim², Dafid Irawan³

¹PT. Bangun Konstruksi Persada

^{2,3}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Widyagama, Malang

*Email Korespondensi : arif.tonyep@gmail.com

ABSTRAK

Beton merupakan bahan konstruksi yang umum digunakan untuk pekerjaan pembangunan konstruksi. Beton memiliki kelemahan yaitu bersifat getas sehingga tidak cukup kuat untuk menahan tarik. Untuk mengatasi kelemahan pada beton dapat dilakukan dengan menambahkan serat dalam campuran beton. Serat yang akan digunakan dalam campuran beton adalah serat fabrikasi *Micro Fibers*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan serat *Micro Fibers* sebagai bahan tambah dalam beton terhadap kuat tekan beton, mengetahui pengaruh beton terhadap kuat tarik belah beton dan untuk mengetahui nilai optimum serat *Micro Fibers* dalam campuran beton. Metode yang digunakan untuk pengambilan data dalam penelitian ini yaitu metode eksperimental di Laboratorium Fakultas Teknik, Universitas Widyagama Malang. Metode analisis yang digunakan untuk menganalisis dan observasi data yaitu metode statistik dengan menggunakan analisis *Anova single factor*, serta untuk kuat tarik dihitung dengan menggunakan Microsoft Excel. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan serat *Micro Fiber* mempengaruhi kuat tekan beton, dimana hasil analisis anova menunjukkan F hitung 8,48099 > F tabel 2,866081. Penambahan serat *Micro Fiber* juga mempengaruhi kuat tarik belah, dimana hasil analisis anova menunjukkan F hitung 3,060887 > F tabel 2,866081. Nilai optimum kuat tekan beton dengan penambahan serat fabrikasi sebesar 2,59% menghasilkan kuat tekan maksimum sebesar 25,67 Mpa.

Kata kunci : Beton, Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, Micro Fibers, dan Serat.

ABSTRACT

Concrete is a commonly used construction material for construction work. Concrete has the disadvantage of being brittle so it is not strong enough to withstand tensile. To overcome the weakness in concrete can be done by adding fiber in the concrete mixture. The fiber that will be used in the concrete mixture is Micro Fibers fabrication. This study aims to determine the effect of using Micro Fibers as an additive in concrete on the compressive strength of concrete, to determine the effect of concrete on the split tensile strength of concrete and to determine the optimum value of Micro Fibers in concrete mixtures. The method used for data collection in this study is the experimental method in the Laboratory of the Faculty of Engineering, Widyagama University Malang. The analysis method used to analyze and observe the data is statistical method using single factor Anova analysis, and for tensile strength calculated using Microsoft Excel. The results of this study indicate that the addition of Micro Fiber affects the compressive strength of concrete, where the results of anova analysis show F count 8.48099 > F table 2.866081. The addition of Micro Fiber also affects the split tensile strength, where the anova analysis results show F count 3.060887 > F table 2.866081. The optimum value of concrete compressive strength with the addition of 2.59% fabricated fiber produces a maximum compressive strength of 25.67 Mpa.

Keywords : Concrete, Compressive Strength, Split Tensile Strength, Micro Fibers, and Fibers.

1. PENDAHULUAN

Dalam pembangunan infrastruktur, Indonesia merupakan salah satu negara berkembang pesat di Asia saat ini. Saat ini di Indonesia konstruksi bangunan mengalami perkembangan yang signifikan. Hal tersebut dibuktikan dengan banyaknya pembangunan yang dilakukan seperti bangunan gedung, jalan, irigasi saluran, ataupun konstruksi bangunan lainnya. Infrastruktur merupakan sarana penunjang untuk meningkatkan kemajuan ekonomi [1]. Material utama yang

dibutuhkan untuk membuat semua infrastruktur tersebut salah satunya yaitu beton [2]. Beton memiliki banyak kelebihan di antaranya yaitu mudah dalam pengerjaannya, dapat menyesuaikan bentuk sesuai dengan keinginan. Dapat bertahan terhadap perubahan cuaca dan lingkungan sekitar, serta tidak membutuhkan banyak biaya untuk perawatannya. Di samping kelebihannya beton juga memiliki kelemahan yaitu mempunyai kuat tarik yang rendah dan bersifat getas sehingga untuk pemakaiannya terbatas. Oleh sebab itu, untuk menambah nilai kuat tarik beton, perlu ditambahkan tulangan pada komponen beton [3]. Harga tulangan beton selalu meningkat menyebabkan pembuatan beton relatif mahal sehingga, perlu adanya bahan tambah yang relatif lebih murah dan mudah untuk diperoleh agar mendapatkan struktur beton yang efisien dan memiliki kekuatan yang cukup baik [4]. Salah satu alternatif bahan tambah yang dapat digunakan adalah penambahan serat fabrikasi *Micro Fibers*. Ide dasarnya serat *Micro fibers* disebarkan secara merata ke dalam campuran beton dengan orientasi dapat dijadikan sebagai tulangan pada beton, sehingga beton tidak mengalami retakan-retakan yang terlalu dini akibat pembebanan ataupun panas hidrasi [5]. Dengan penambahan serat kuat tarik beton dapat ditingkatkan [6]. Gaya tarik yang berada pada daerah tarik dapat ditahan oleh serat tanpa mengalami retakan. Serat *Micro Fibers* merupakan produk dari Kratos PT Indo Kordsa. Kordsa berdiri pada tahun 1973 anak dari perusahaan Sabanci Holding. Kratos *Micro Synthetic Fibers Reinforcement* merupakan perkuatan serat sintetik yang diproduksi dari *Polyamide 6.6* dan dapat memberikan hasil yang lebih baik dalam mencegah retak susut plastis serta susut jangka panjang beton. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengamati perilaku kinerja beton serat dengan bahan tambah serat fabrikasi *Micro Fibers* yang merupakan produk dari Kordsa. Kinerja beton yang akan diamati yaitu kinerja terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah beton dengan tambahan serat fabrikasi *Micro Fibers* pada campuran beton [7].

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton

Beton merupakan semen Portland atau semen hidrolis lainnya yang dicampur dengan agregat halus, agregat kasar, dan air dengan atau tanpa bahan campuran yang membentuk massa padat menggunakan agregat alam yang tidak dipecah maupun yang dipecah [8]. Beton akan semakin mengeras seiring dengan penambahan umurnya, dan akan mencapai kekuatan rencana (f_c) pada usia beton 28 hari. sifat-sifat beton yang perlu diketahui adalah keawetan (*Durability*), Kuat Tekan, Kuat Tarik, Berat Jenis, Modulus Elastisitas, Susut, dan Kelecekan. Bahan penyusun beton pada umumnya terdiri dari air, semen, agregat halus, dan agregat kasar.

2.2 Serat

Tipe serat secara umum untuk perkuatan beton yang telah diklarifikasi oleh (ACI Committee 544, 2002) [9], yaitu antara lain:

- a) SRFC (*Steel Fiber Reinforced Concrete*)
- b) GFRC (*Glass Fiber Reinforced Concrete*)
- c) SNFRC (*Synthetic Fiber Reinforced Concrete*)
- d) NFRC (*Natural Fiber Reinforced Concrete*)

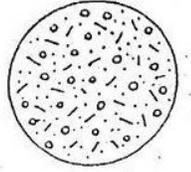
Semua jenis serat sebenarnya dapat dijadikan sebagai bahan tambah untuk memperbaiki sifat beton. Namun, yang perlu diperhatikan saat menggunakan serat sebagai bahan tambah adalah ketahanan serat terhadap alkali. Sifat berbagai macam serat dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Sifat dari bermacam serat

No	Jenis serat	Kuat tarik	Perpanjangan saat putus (%)	Berat jenis
1	<i>Acrylic</i>	204 – 408	25 – 45	1,1
2	<i>Asbes (Asbestos)</i>	544 – 952	0,6	3,2
3	<i>Kaca (Glass)</i>	1020 – 3740	1,5 – 3,5	2,5
4	<i>Nylon</i>	748 – 816	16 – 20	1,1
5	<i>Baja (Steel)</i>	272 – 2720	0,5 – 35	7,8

2.3 Beton Serat

Beton serat (*fibre concrete*) merupakan bahan komposit yang terdiri dari beton normal dengan campuran bahan tambah berupa serat [10]. Umumnya serat berupa batang-batang yang memiliki diameter antara 0,005 sampai 0,5 mm dengan panjang sekitar 25 mm sampai 100 mm . Penyebaran serat dapat dilihat pada Gambar 1. Dengan adanya penambahan serat tersebut beton mengalami perbaikan dari kuat lentur kuat Tarik menjadi meningkat, ketahanan dan terhadap beban kejut (*impact resistance*), penyusutan berkurang, dan daktilitas meningkat [11].



Gambar 1. Penyebaran Serat

2.4 Serat Fabrikasi Micro Fibers

Kratos *Micro Synthetic Fiber Reinforcements* merupakan serat sintetik dengan perkuatan yang diproduksi dari polyamide 6.6 sesuai dengan standar EN 14889-2 *class 1*, memberikan hasil lebih baik untuk mencegah retak susut plastis dan susut beton jangka panjang bila dibandingkan dengan serat *polypropylene* dan basalt [12]. Kratos *Micro* berbeda dari serat sintesis yang lain karena mampu untuk menyerap kelembapan hingga 5%. Kelembapan yang ditahan oleh serat dapat dilepaskan kembali ke dalam beton saat pengerasan setelah beton dituangkan, serta dapat menghasilkan efek *curing* [13]. Adapun spesifikasi teknis dari serat *Micro Fiber* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi teknis serat Kratos Micro Fibers

Keterangan	Karakteristik Serat Micro Fibers
Kelas serat	EN 14889-2 Kelas I
Bahan baku	Poliamida 6.6
Berat jenis (gr/cm ³)	1,38
Panjang (mm)	12
Kuat tarik (Mpa)	800 – 1100
Ketahanan terhadap alkali	Sangat baik
Ketahanan terhadap korosi	Sangat baik
Titik leleh (°C)	255 – 265
Jumlah serat/kg	200 juta

2.5 Rancangan Campuran Beton

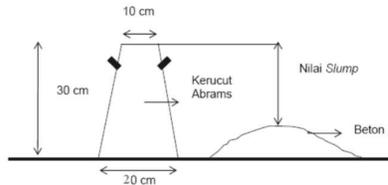
Rancangan campuran beton atau yang biasa disebut dengan *Mix design* merupakan proses pemilihan unsur-unsur beton yang sesuai dengan komposisi perbandingan tertentu sehingga dapat mencapai kriteria minimum dalam kelecakan (*workability*), keawetan (*durability*), dan kekuatan (*strength*) [14].

2.6 Pengujian Agregat

Pengujian agregat dilakukan guna mengetahui kandungan yang terdapat pada agregat halus maupun kasar [15].

2.7 Pengujian Slump Beton

Pengujian slump beton dilakukan berdasarkan SNI 03-2834-2000 [14] menggunakan beton segar untuk mendapatkan angka slump beton. Slump beton merupakan besaran kekentalan dari beton sega. Pengujian slump beton dapat dilihat seperti pada Gambar 2.

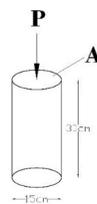


Gambar 2. Slump Beton

2.8 Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan berdasarkan SNI 03-1974, 2011 menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan maksud untuk mengetahui besaran kuat tekan (*compressive strength*) [16]. Kuat tekan beton merupakan besaran beban yang mengakibatkan benda uji hancur ketika dibebani oleh mesin tekan dan dinyatakan dalam satuan luas [16] seperti pada Gambar 3. Untuk rumus perhitungan kuat tekan rumus yang digunakan adalah rumus berikut:

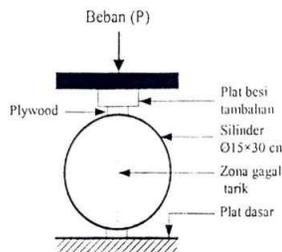
$$\text{Kuat Tekan Beton} = P / A \dots\dots\dots (1)$$



Gambar 3. Kuat Tekan Beton

2.9 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Pengujian kuat tarik belah beton dilakukan berdasarkan (SNI-03-2491, 2002) [17] menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan maksud untuk mengevaluasi ketahanan geser suatu komponen struktur berbahan beton dengan agregat ringan [18]. Pengujian dilakukan seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Kuat Tarik Belah Beton

Perhitungan kuat tarik belah beton dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$F_{ct} = 2P/II_d \dots\dots\dots (2)$$

3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan adalah dengan cara melakukan eksperimen, membuat benda uji yang bertujuan untuk menguji benda uji tersebut sehingga dapat mengetahui pengaruh penambahan serat fabrikasi (*micro fibers*) terhadap kuat tekan dan tarik belah beton. Eksperimen ini mulai dari pembuatan benda uji, perawatan dan pengujian dilakukan di Laboratorium Fakultas Teknik Sipil Universitas Widyagama Malang.

3.1 Pembuatan Benda Uji

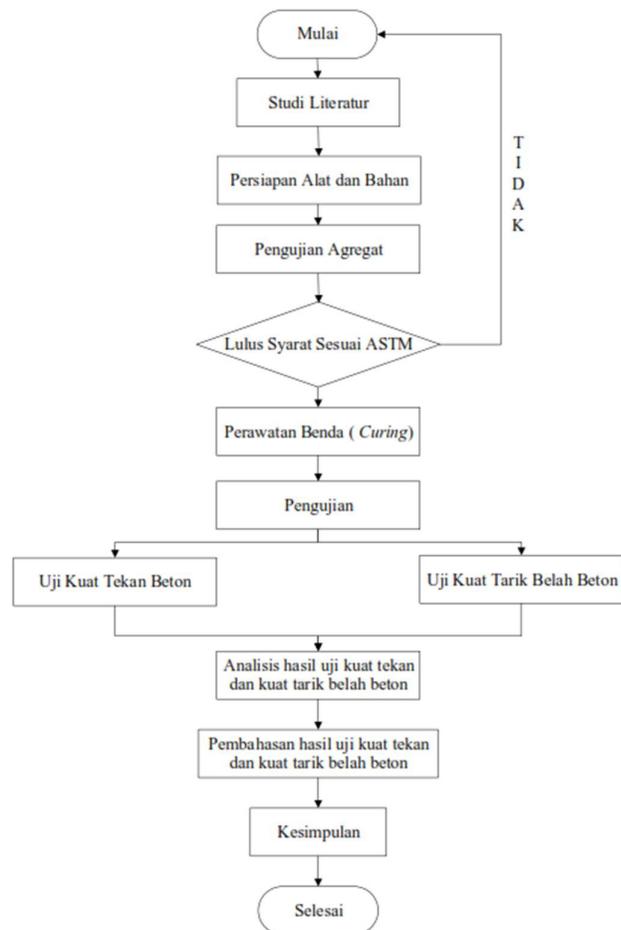
Benda uji yang akan dibuat terbuat dari silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Setiap variasi terdiri dari 5 (lima) benda uji silinder. Adapun variasi benda uji dengan tambahan serat fabrikasi Micro fiber dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Populasi Benda Uji Silinder

No	Penambahan serat fabrikasi <i>Micro Fibers</i>	Umur beton	Uji kuat tekan	Uji kuat tarik belah
1	Beton normal	28 hari	5	5
2	Beton serat 300 gr/m ³	28 hari	5	5
3	Beton serat 450 gr/m ³	28 hari	5	5
4	Beton serat 600 gr/m ³	28 hari	5	5
5	Beton serat 750 gr/m ³	28 hari	5	5
Jumlah			25	25
Total benda uji			50	

3.2 Diagram Alir Penelitian

Agar lebih memahami dalam pelaksanaan prosedur penelitian, berikut disertakan bagan alir prosedur penelitian. Bagan alir prosedur penelitian dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Agregat

Hasil dari pengujian agregat halus dan agregat kasar yang dilakukan saat penelitian. Hasil pengujian kadar air, kadar lumpur, berat jenis dan penyerapan, modulus kehalusan, dan berat volume telah memenuhi standar yang ditetapkan. Untuk hasil dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Rekap Hasil Uji Agregat

Pengujian	Agregat Halus			Agregat Kasar		
	Hasil	Standart SNI	Keterangan	Hasil	Standart SNI	Keterangan
Kadar air (%)	3,54	3% - 5%	Memenuhi	3,30	3% - 5%	Memenuhi
Kadar lumpur (%)	1,74	Maks. 5%	Memenuhi	0,56	Maks. 1%	Memenuhi
Berat jenis (g/cm ³)	2,56	2,5 - 2,7	Memenuhi	2,59	2,58 - 2,83	Memenuhi
Penyerapan (%)	2,99	-	Memenuhi	0,93	-	Memenuhi
Modulus halus (%)	3,36	1,5 - 3,8	Memenuhi	6,57	6,0 - 7,1	Memenuhi
Berat Volume (cm ³)	Padat : 1,54	1,20 - 1,60	Memenuhi	Padat : 1,48	1,20 - 1,60	Memenuhi
	Gembur : 1,21			Gembur : 1,25		

4.2 Mix Desain

Perencanaan campuran beton dapat dilakukan dalam berbagai metode, dalam penelitian ini perencanaan campuran beton dilakukan dengan SNI 03-2834-2000. Maka diperoleh proporsi campuran setiam m³ sebagai berikut :

- Semen = 372,7273 kg
- Air = 205 kg
- Agregat halus = 658,3991 kg
- Agregat kasar = 1113,8736 kg

Dengan volume untuk setiap 1 silinder benda uji sebagai berikut :

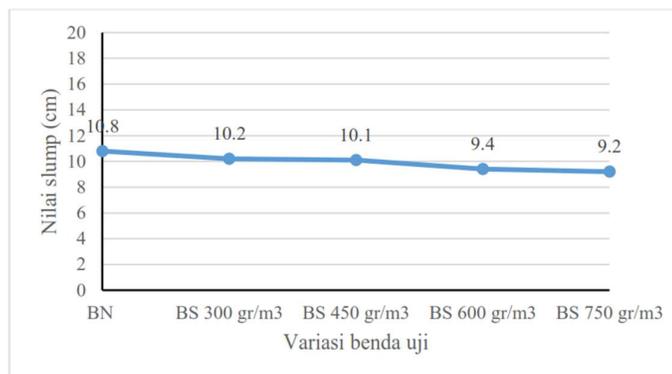
$$\begin{aligned} \text{Volume} &= \frac{1}{4} \pi \times d^2 \times t \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,15^2 \times 0,30 \\ &= 0,0053 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Untuk proporsi campuran setiap 1 benda uji yakni sebaga berikut :

- Semen = 372,7273 x 0,0053 = 1,9755 kg
- Air = 205 x 0,0053 = 1,0865 kg
- Agregat halus = 658,3991 x 0,0053 = 3,4895 kg
- Agregat kasar = 1113,8736 x 0,0053 = 5,9035 kg

4.3 Hasil Uji Slump Beton

Berdasarkan nilai slump yang dihasilkan dapat dinyatakan bahwa secara umum penambahan serat Micro Fiber pada campuran beton memberikan pengaruh dalam penurunan nilai slump. Penurunan nilai slump dapat dilihat pada Gambar 6.

**Gambar 6.** Hasil Uji Slump

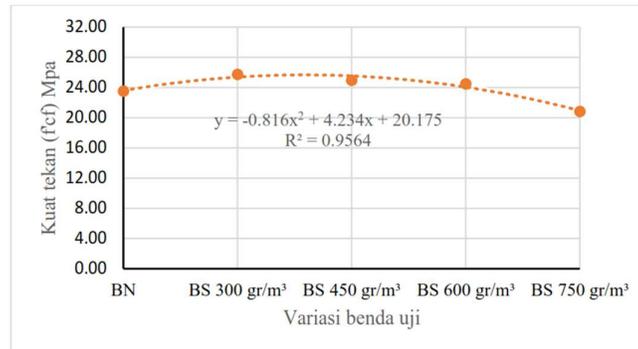
4.4 Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan menggunakan alat *Compression Testing Machine* sehingga dapat diperoleh beban maksimum saat beton mengalami kehancuran. Hasil rerata dari pengujian kuat tekan beton dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{Kuat tekan rata-rata} = \frac{20,3822 + 17,7792 + 24,3454 + 12,2986 + 23,7792}{5}$$

$$= 23,5169 \text{ MPa}$$

Dari hasil pengujian dapat diperoleh grafik yang menggambarkan pengaruh penggunaan bahan tambah serat fabrikasi Micro Fiber pada campuran beton terhadap kuat tekan beton yang dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik hubungan variasi benda uji dengan kuat tekan Mpa

Berdasarkan grafik pengujian diatas beton campuran fiber mengalami kenaikan kekuatan dibandingkan dengan beton normal. Diperoleh pendekatan persamaan untuk penambahan serat terhadap kuat tekan beton yaitu $y = -0,816x^2 + 4,234x + 20,175$.

Perhitungan variasi penambahan serat micro fiber kuat tekan beton menggunakan rumus pendekatan persamaan sebagai berikut :

$$y = -0,816x^2 + 4,234x + 20,175$$

$$y' = -1,632x + 4,234$$

Nilai optimum didapatkan dari x pada saat $y' = 0$

$$0 = -1,632x + 4,234$$

$$x = 4,234/1,632 = 2,59$$

Berdasarkan perhitungan diatas dapat dilihat bahwa variasi penambahan serat fabrikasi micro fiber nilai optimum kuat tekan sebesar 2,59%, maka kuat tekan maksimum adalah :

$$y = -0,816(2,59)^2 + 4,234(2,59) + 20,175$$

$$y = -5,474 + 10,966 + 20,175$$

$$y = 25,67 \text{ MPa}$$

4.5 Analisis Data Anova Kuat Tekan

Analisis data dan perhitungan diperoleh kuat lentur untuk mengetahui pengaruh atau tidak perlakuan bahan yang digunakan dalam pembuatan beton maka perlu ada sebuah rancangan untuk mengetahui pada penelitian ini menggunakan rancangan acak kelompok (RAK). Dengan hasil dari analisis *Anova Single Faktor* dengan hasil sebagai berikut :

Tabel 5. Hasil analisis *Anova Single Faktor* kuat tekan

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	71,63094	4	17,90774	8,48099	0,00036	2,866081
Within Groups	42,23028	20	2,111514			
Total	113,8612	24				

Hipotesis:

H0 = BS tidak berpengaruh terhadap kuat tekan beton

H1 = BS berpengaruh terhadap kuat tekan beton

H0 = F hitung < F tabel ; H1 = F hitung > F tabel

F hitung 8,48099 > F tabel 2,866081

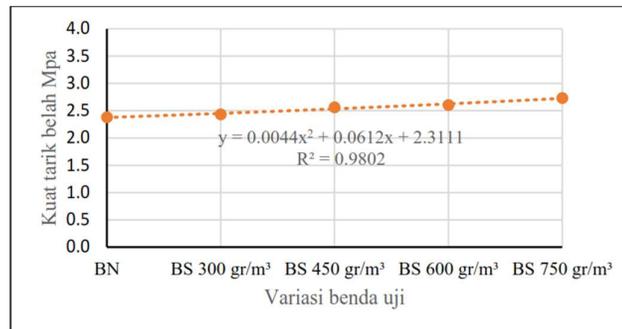
H1 = BS berpengaruh terhadap kuat tekan beton.

4.6 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Pengujian kuat tarik belah beton dilakukan menggunakan alat *Compression Testing Machine* sehingga dapat diperoleh beban maksimum saat beton mengalami kehancuran. Hasil dari pengujian kuat tarik belah beton dapat diperoleh kuat Tarik belah rata-rata sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Kuat tarik belah (fcr) rata-rata} &= \frac{1,9816+2,4305 \text{ ,}4470+ \text{ ,}4936+ \text{ ,}5478}{5} \\ &= 2,3801 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Dari hasil pengujian kuat tekan beton diperoleh grafik yang menggambarkan pengaruh penggunaan bahan tambah serat fabrikasi *Micro Fiber* pada campuran beton terhadap kuat Tarik belah beton yang dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik hasil uji kuat tarik belah beton

Beton dengan penambahan serat fabrikasi *Micro Fiber* mengalami peningkatan kuat tarik belah jika dibandingkan dengan beton normal. Dari hasil tersebut didapatkan persamaan pendekatan yaitu $y = 0,0044x^2 + 0,0612x + 2,3111$. Dengan persamaan tersebut dapat diketahui pengaruh penambahan serat *Micro Fiber* terhadap kuat tekan beton. Pada beton dengan variasi penambahan serat 300 gr/m³ hingga 750 gr/m³ mengalami peningkatan kekuatan yang signifikan dapat dilihat pada Gambar 8.

4.7 Analisis Data Anova Kuat Tarik Belah

Analisis data dan perhitungan diperoleh kuat tarik belah untuk mengetahui pengaruh atau tidak perlakuan bahan yang digunakan dalam pembuatan beton maka perlu ada sebuah rancangan untuk mengetahui pada penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK). Dengan hasil dari analisis *Anova Single Faktor* dengan hasil sebagai berikut :

Tabel 6. Hasil analisis *Anova Single Faktor* kuat tarik belah

ANOVA						
Source of Variation	SS	Df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	0,390302	4	0,097575	3,060887	0,040445	2,866081
Within Groups	0,637563	20	0,031878			
Total	1,027865	24				

Hipotesis

H0 = BS tidak berpengaruh terhadap kuat tarik belah beton

H1 = BS berpengaruh terhadap kuat tarik belah beton

H0 = F hitung < F tabel

H1 = F hitung > F tabel

F hitung 3,060887 > F tabel 2,866081

H1 = BS berpengaruh terhadap kuat tarik belah beton.

5. KESIMPULAN

Penambahan serat fabrikasi *Micro Fiber* ke dalam campuran beton berpengaruh pada kuat tekan beton. Dengan menggunakan analisis anova pada F hitung, diperoleh nilai 8,48099 lebih besar dari pada F tabel yang memiliki nilai 2,866081 sehingga berpengaruh terhadap kuat tekan beton. Penambahan serat fabrikasi *Micro Fiber* ke dalam campuran beton juga

berpengaruh pada kuat tarik belah beton. Dengan menggunakan analisis anova pada F hitung, diperoleh nilai 3,060887 lebih besar dari pada F tabel yang memiliki nilai 2,866081 sehingga berpengaruh terhadap kuat tarik belah beton. Nilai optimum kuat tekan beton dengan penambahan serat fabrikasi *Micro Fiber* sebesar 2,59% menghasilkan kuat tekan maksimum sebesar 25,67 Mpa.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. R. H. Lubis, "Pemanfaatan Serat Ijuk Pada Campuran Beton Dengan Bahan Tambah Viscocrete 3115n Ditinjau Dari Kekuatan Tarik Belah (Studi Penelitian)," *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik [JIMT]*, vol. 1, no. 2, 2021.
- [2] Anon, "State-of-The-Art Report On High-Strength Concrete.," *Journal of the American Concrete Institute*, vol. 81, no. 4, 1984, doi: 10.14359/10692.
- [3] W. Rante Paganggi and A. Makmur, "Pengaruh Penambahan Serat Polypropylene terhadap Kuat Tekan dan Nilai Permeabilitas pada Beton Berpori," 2021.
- [4] K. Miswar, R. D. I. Kurnia, and R. Yusmananda, "Pengaruh Penambahan Serat Kawat Bendrat Pada Beton Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Belah," *Jurnal Rekayasa Teknik dan Teknologi*, vol. 7, no. 1, 2023, doi: 10.51179/rkt.v7i1.1829.
- [5] P. Soroushian and Z. Bayasi, "Silica Fume Effects on the Pull-Out Behavior of Randomly Oriented Steel Fibers from Concrete," *MRS Proceedings*, vol. 114, 1987, doi: 10.1557/proc-114-187.
- [6] H. Hasanr, B. Tatong, and J. Tole, "Pengaruh Penambahan Polypropylene Fiber Mesh Terhadap Sifat Mekanis Beton," *Majalah Ilmiah Mektek*, no. 1, 2013.
- [7] Y. Khairizal, A. Kurniawandy, and A. Kamaldi, "Pengaruh Penambahan Serat Polypropylene Terhadap Sifat Mekanis Beton Normal," 2015.
- [8] Badan Standardisasi Nasional Indonesia, "SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung," *Bsn*, 2019.
- [9] J. I. Daniel *et al.*, "Report on Fiber Reinforced Concrete Reported by ACI Committee 544," *Change*, vol. 96, no. Reapproved, 2009.
- [10] ACI Comite 544.3R, "Guide for specifying , proportioning , and production of fiber-reinforced concrete," *American Concrete Institute*, 2008.
- [11] A. Bhutta, M. Farooq, and N. Bantia, "Performance characteristics of micro fiber-reinforced geopolymer mortars for repair," *Constr Build Mater*, vol. 215, 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.04.210.
- [12] P. N. Ojha, A. Singh, B. Singh, and V. Patel, "Mechanical and durability properties of cement mortar and concrete reinforced with glass micro fibre," *Research on Engineering Structures and Materials*, vol. 8, no. 2, 2022, doi: 10.17515/resm2021.350ma1007.
- [13] Y. Mohammadi and M. Bagheripour Asil, "Utilization of Steel Micro-fiber and Carbon Nanotubes in Self-compacting Lightweight Concrete," *International Journal of Engineering, Transactions B: Applications*, vol. 36, no. 5, 2023, doi: 10.5829/ije.2023.36.05b.12.
- [14] SNI 03-2834-2000, "SNI 03-2834-2000: Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal," *Sni 03-2834-2000*, 2000.
- [15] SNI 1970, "Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus," *Badan Standar Nasional Indonesia*, 2008.
- [16] Badan Standardisasi Nasional, "Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder,SNI 1974-2011," *Badan Standardisasi Nasional Indonesia*, 2011.
- [17] sni 03 2491 2002, "SNI 03-2491-2002 Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton," *Badan Standar Nasional Indonesia*, 2002.
- [18] E. Vougioukas and M. Papadatou, "A model for the prediction of the tensile strength of fiber-reinforced concrete members, before and after cracking," *Fibers*, vol. 5, no. 3, 2017, doi: 10.3390/fib5030027.

KAJIAN PELAT BETON BERTULANG YANG TAHAN TERHADAP *AMMONIUM NITRATE*

Aditya Bimantara^{1*}, Candra Aditya², Abdul Halim³

¹PT. Pamapersada Nusantara

^{2,3}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Widyagama, Malang

*Email Korespondensi: adityabimantara21@gmail.com

ABSTRAK

Kerusakan material beton pada pelat lantai beton akibat bahan kimia pada bangunan yang berfungsi sebagai Gudang *Ammonium Nitrate* (AN) adalah *scalling/spalling/erosion*. Merupakan kondisi dimana beton mengalami pengelupasan pada permukaan, sehingga diperlukan perlindungan terhadap beton untuk menghindari kontak langsung oleh senyawa-senyawa kimia yang akan menurunkan performa beton. Kajian ini bertujuan untuk mengetahui lebih detail mengenai sebab kerusakan beton khususnya pelat lantai pada Gudang Penimbunan Bahan Peledak PT. Pamapersada District SMMS. Sehingga dapat menghasilkan suatu informasi yang dapat digunakan untuk melakukan perbaikan serta perencanaan beton khususnya pelat lantai yang mengalami kontak langsung dengan bahan kimia *Ammonium Nitrate* (AN). Metode yang digunakan dalam kajian ini yaitu mengumpulkan data mengenai kerusakan beton akibat serangan kimia. Hasil dari kajian ini yaitu metode pencegahan yang dapat dilakukan dengan memberi lapisan permukaan (*coating*) dengan *Bituminous Coating* atau *Epoxy Resin*. Sedangkan metode perbaikan yang dapat dilakukan yaitu dengan melakukan pembongkaran pada bagian beton yang rusak dan mendesain ulang campuran beton dengan menggunakan beton serat agar memiliki permeabilitas yang lebih rendah.

Kata kunci : Beton Bertulang, Senyawa Kimia, Amonium Nitrat dan Beton Serat.

ABSTRACT

Damage to concrete materials on concrete floor slabs due to chemicals in buildings that function as Ammonium Nitrate (AN) warehouses is scalling/spalling/erosion. It is a condition where the concrete is peeling on the surface, so it is necessary to protect the concrete to avoid direct contact by chemical compounds that will reduce the performance of the concrete. This study aims to find out in more detail about the causes of concrete damage, especially floor slabs at the Explosives Storage Warehouse of PT Pamapersada District SMMS. So that it can produce information that can be used to make repairs and concrete planning, especially floor slabs that experience direct contact with Ammonium Nitrate (AN) chemicals. The method used in this study is to collect data on concrete damage due to chemical attack. The result of this study is a prevention method that can be done by coating the surface with Bituminous Coating or Epoxy Resin. While the repair method that can be done is to demolish the damaged part of the concrete and redesign the concrete mixture by using fiber concrete to have lower permeability.

Keywords : Reinforced Concrete, Chemical Compounds, Ammonium Nitrate, and Fiber Concrete.

1. PENDAHULUAN

Pada proses perencanaan gedung yang berfungsi sebagai gudang, tentu saja perlu memperhatikan faktor keamanan dan kekuatan yang harus dihitung dengan menggunakan prinsip-prinsip ilmiah. Dalam hal ini, penetapan fungsi struktur termasuk pemilihan bahan yang akan digunakan dan konfigurasi pembebanan menjadi hal yang penting dalam proses perencanaan struktur. Sehingga diperoleh struktur yang mampu memikul beban-beban yang bekerja serta meneruskan ke struktur yang berada di bawahnya dengan aman. Salah satu kerusakan material beton pada salah satu elemen struktur, terutama pada pelat lantai beton akibat bahan kimia pada bangunan yang berfungsi sebagai Gudang *Ammonium Nitrate* (AN) yaitu *scalling/spalling/erosion*. Merupakan kondisi dimana beton mengalami pengelupasan pada

permukaan, sehingga diperlukan perlindungan terhadap beton untuk menghindari kontak langsung oleh senyawa-senyawa kimia yang akan menurunkan performa beton [1]. Sehingga, dasar inilah yang menjadikan penulis melakukan kajian lebih mendalam mengenai beton tahan reaksi kimia khususnya senyawa Amonium Nitrat, dengan judul “Kajian Struktur Pelat Beton Bertulang Yang Tahan Terhadap *Ammonium Nitrate*” pada Gudang Penimbunan Bahan peledak PT. Pamapersada District SMMS agar dapat memperoleh bangunan gudang yang sesuai dengan umur rencana dan memberikan perkuatan terhadap beton yang mengalami kontak langsung dengan *Ammonium Nitrate*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pelat Beton

Beton merupakan bahan dari campuran antara *Portland Cement*, agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), dan air serta tambahan adanya rongga-rongga udara. Campuran bahan-bahan pembentuk beton harus ditetapkan sedemikian rupa sehingga menghasilkan beton basah yang mudah dikerjakan, memenuhi kekuatan tekan rencana setelah mengeras dan cukup ekonomis [2]. Beton adalah suatu bahan bangunan yang telah digunakan secara luas. Bahan tersebut diperoleh dengan cara mencampurkan semen, air dan agregat pada perbandingan tertentu, dimana dalam jangka waktu tertentu akan mengeras [3]. Definisi beton menurut SK SNI T-15-1990-03 adalah campuran antara semen, air dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan campuran yang membentuk massa padat.

2.2 *Ammonium Nitrate*

Ammonium Nitrate adalah suatu senyawa yang merupakan garam nitrat yang diperoleh dari *kation ammonium*. Senyawa ini memiliki rumus kimia NH_4NO_3 , berupa padatan kristal putih dan sangat larut terhadap air. Penggunaan amonium nitrat pada bidang pertanian adalah sebagai pupuk yang kaya akan nitrogen. Sedangkan penggunaan lain yaitu sebagai bahan peledak yang digunakan dalam konstruksi pertambangan, penggalian, dan konstruksi sipil lainnya. Amonium nitrat berupa padatan granula atau hablur berwarna putih atau transparan. Berat jenisnya yaitu 1,725 dengan suhu lebur 155°C , terurai pada suhu 210°C , memiliki berat molekul 80,0396 dengan kelarutan 118% pada suhu 0°C , sehingga sangat mudah larut terhadap air, larut dalam etanol dan dalam metanol.

3. METODE PENELITIAN

Kajian mengenai pelat beton bertulang yang mengalami kerusakan akibat reaksi kimia khususnya *Ammonium Nitrate* (AN) masih jarang dilakukan. Beberapa penelitian dengan pembahasan kerusakan pada beton akibat bahan kimia masih berfokus pada reaksi kimia Asam Sulfat. Pada kajian ini penulis berfokus pada serangan kimia *Ammonium Nitrate* (AN) dengan mengkaji penelitian-penelitian terdahulu mengenai kerusakan beton akibat reaksi kimia Sulfat [4], [5], [6], [7]. Metode yang digunakan dalam kajian ini yaitu mengumpulkan data sebanyak-banyaknya, mengenai kerusakan beton akibat serangan kimia. Tujuan dilakukan kajian ini yaitu mengetahui lebih detail mengenai sebab kerusakan beton khususnya pelat lantai pada Gudang Penimbunan Bahan peledak PT. Pamapersada District SMMS. Sehingga dapat menghasilkan suatu informasi yang dapat digunakan untuk melakukan perbaikan serta perencanaan beton khususnya pelat lantai yang mengalami kontak langsung dengan bahan kimia *Ammonium Nitrate* (AN). Tahapan dalam kajian ini yaitu dimulai dari pengumpulan studi literatur mengenai kerusakan beton akibat bahan kimia, dilanjutkan dengan melakukan identifikasi terhadap literatur yang telah dikumpulkan, dan menganalisis hasil identifikasi yang sesuai dengan topik bahasan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kerusakan Pada Beton

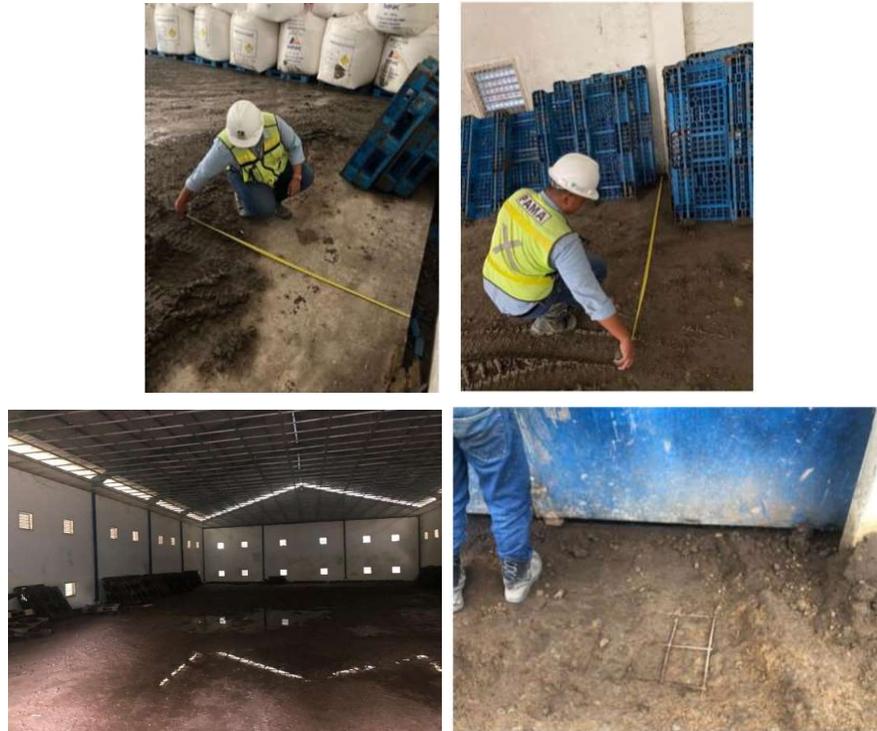
Menurut SNI 2847-2019 kerusakan struktur beton disebabkan oleh dua faktor, yaitu pengaruh dalam struktur betonnya sendiri dan yang kedua berasal dari luar. Pengaruh tersebut mengakibatkan retak-retak, degradasi beton serta korosi pada tulangan. Kerusakan beton akibat serangan kimia erat kaitannya dengan selimut beton, karena salah satu fungsi selimut beton yaitu melindungi dari serangan kimia seperti korosi pada tulangan [8]. Beton dengan serangan kimia juga erat kaitannya dengan permeabilitas pada beton itu sendiri, beton yang memiliki rongga udara yang banyak akan mempercepat reaksi kimia, sehingga beton tersebut mudah rusak [9]. Kemungkinan berlangsungnya korosi yang hebat pada beton diawali oleh permeabilitas yang tinggi dari betonnya sendiri. Maka jika diperhitungkan beton tersebut dapat terjadi korosi [10]. Perencanaan campuran beton dibuat serapat mungkin. Permeabilitas yang rendah akan mempersulit terjadinya serangan korosi pada beton. Perlindungan terhadap korosi sebenarnya adalah upaya untuk mencegah berlangsungnya reaksi kimia antara senyawa agresif pada beton [11]. *Ammonium Nitrate* (AN) mengakibatkan penurunan performa beton pada kotak yang relatif singkat. Terutama beton pada pelat lantai industri, abrasi dari serangan amonia ini akan semakin cepat sehingga menimbulkan degradasi beton. *Ammonium nitrate* adalah suatu senyawa yang merupakan garam nitrat yang diperoleh dari kation ammonium. Adanya garam nitrat ini dapat mengurangi kekuatan beton sampai 20% dan penurunan kekuatan serta durabilitas konstruksi yang dibangun [12]. Amonium Nitrat merupakan senyawa yang sangat larut dengan air, sehingga sangat mudah menembus rongga-rongga beton yang menimbulkan reaksi kimia antara Amonium Nitrat dengan senyawa kimia semen. Akibatnya abrasi selimut beton tidak terhindarkan lagi.

Pada Gudang Penimbunan Bahan peledak PT. Pamapersada District SMMS, kerusakan pelat lantai beton akibat *Ammonium Nitrate* (AN) berdasarkan Tabel 1 sudah termasuk kerusakan berat, yang mana beton telah mengalami retak seluruhnya dan *spalling*/pengelupasan pada area selimut beton. Sehingga berdasarkan Tabel 1 metode perbaikan yang seharusnya dilakukan adalah dengan membongkar sebagian atau seluruhnya. Gambar 1 merupakan gambar kerusakan yang terjadi pada Gudang Penimbunan Bahan peledak PT. Pamapersada District SMMS.

Tabel 1. Tipe Kerusakan Pelat Lantai Beton Gudang Penimbunan Bahan Peledak PT. Pamapersada District SMMS

No.	Panel	Tipe Kerusakan	Luas Kerusakan (m2)	Persentase	Lantai Tidak Rusak
1	Panel 1-11	<i>Spalling</i>	18	60%	0%
		Retak	6,6	22%	
		Lubang	5,4	18%	
2	Panel 2-12	<i>Spalling</i>	23,4	78%	7%
		Retak	0	0%	
		Lubang	4,5	15%	
3	Panel 2-13	<i>Spalling</i>	25,5	85%	0%
		Retak	0	0%	
		Lubang	4,5	15%	
4	Panel 4-14	<i>Spalling</i>	18,3	61%	24%
		Retak	2,7	9%	
		Lubang	1,8	6%	
5	Panel 5-15	<i>Spalling</i>	15,9	53%	30%
		Retak	3,3	11%	
		Lubang	1,8	6%	
6	Panel 6-16	<i>Spalling</i>	18,9	63%	4%
		Retak	4,5	15%	
		Lubang	5,4	18%	
7	Panel 7-17	<i>Spalling</i>	25,5	85%	0%
		Retak	3	10%	
		Lubang	1,5	5%	
7	Panel 8-18	<i>Spalling</i>	22,2	74%	10%
		Retak	0	0%	
		Lubang	4,8	16%	
7	Panel 9-19	<i>Spalling</i>	20,1	67%	5%
		Retak	1,5	5%	

No.	Panel	Tipe Kerusakan	Luas Kerusakan (m ²)	Persentase	Lantai Tidak Rusak
		Lubang	6,7	23%	
7	Panel 10-20	<i>Spalling</i>	17,7	59%	15%
		Retak	1,8	6%	
		Lubang	6	20%	



Gambar 1. Kerusakan Pelat Lantai Beton Gudang Penimbunan Bahan Peledak PT. Pamapersada District SMMS

4.2 Perbaikan Pada Beton rusak akibat Ammonium Nitrate

Berdasarkan hasil identifikasi visual, pada Gudang Penimbunan Bahan peledak PT. Pamapersada District SMMS kerusakan pelat lantai beton akibat *Ammonium Nitrate* (AN) berdasarkan Tabel 2 sudah termasuk kerusakan berat, yang mana beton telah mengalami retak seluruhnya dan *spalling*/pengelupasan pada area selimut beton. Sehingga metode perbaikan sesuai yang disyaratkan yaitu struktur dilakukan bongkar sebagian (pada bagian yang rusak). Perbaikan pada kerusakan beton akibat serangan kimia Amonium Nitrat ini mencakup dua hal yaitu desain pelat lantai beton yang tahan oleh serangan kimia Amonium Nitrat dan usaha pencegahan serangan kimia dengan cara *coating* lapisan permukaan atas beton.

4.3 Pencegahan Beton Terhadap Bahan Kimia

Coating merupakan salah satu pertimbangan untuk meminimalisir penyebab kerapuhan lantai beton. Beton dilapisi dengan material bersifat plastik atau cair yang kemudian membentuk lapisan yang menyelimuti beton sehingga dapat menghadapi lingkungan yang membahayakan, dalam hal ini *Ammonium Nitrate* (AN) [13]. *Coating* ini dapat diterapkan dengan cara menyikat, *rolling*, atau menyemprot. Fungsi *coating* ini pada umumnya untuk *water proofing*, melindungi beton dari bahan kimia agresif dan untuk memperoleh masa guna lebih panjang pada beton, khususnya pelat lantai. Mohd Isneini [1] pada jurnal berjudul “Kerusakan dan Perkuatan Struktur Beton Bertulang”, material yang dapat digunakan untuk meminimalisir pelapukan beton akibat serangan kimia dari luar yaitu Epoxy Resin dan Bituminous Coating. Epoxy resin merupakan pelapis yang bersifat cepat kering dan juga tahan terhadap kimia dan abrasi. *Epoxy coating* ini memiliki ketahanan selama beberapa tahun. *Epoxy coating* ini tidak berpori, tidak mudah mengelupas, dan juga tidak licin. Dikarenakan sifatnya yang tidak berpori dan tidak megelupas, epoxy ini sangat cocok diaplikasikan terhadap beton yang kontak langsung dengan

Ammonium Nitrate (AN). Selain dapat digunakan sebagai bahan pelapis beton, epoxy resin juga dapat digunakan untuk perbaikan dan pemeliharaan beton (SNI 8127:2015). Fungsi dari sistem ini antara lain sebagai bahan pengisi dalam perbaikan (*grouting*) atau sebagai pelekat antara beton lama dengan beton baru (*bonding agent*). Berdasarkan SNI 8127:2015, sistem epoxy resin akan melekat pada berbagai bahan, termasuk kayu, logam, pasangan batu, dan sebagian besar plastik. Sistem ini tidak dapat melekat pada bahan-bahan *polyethylene*, *TFE-fluorcarbon*, kertas kaca, dan permukaan yang berminyak atau berlipis.

4.4 Perencanaan Beton Tahan Serangan Amonium Nitrat (AN)

Berdasarkan hasil analisa data proyek, maka Pada Gudang Penimbunan Bahan Peledak PT. Pamapersada District SMMS lebih cocok menggunakan jenis serat polimerik (sintetik). Beberapa keunggulan yang dimiliki oleh serat polimerik (sintetik) yang menjadikan serat tersebut dapat dipilih sebagai alternatif bahan tambah pada beton adalah dapat memperoleh sifat beton yang non permeabilitas. Salah satu kunci untuk pelat lantai beton bertulang yang tahan akan serangan Amonium Nitrat yaitu beton harus kedap air (non permeabilitas), sehingga zat tersebut tidak dapat masuk kedalam beton melalui pori-pori dan mengakibatkan kerusakan pada beton. Salah satu jenis serat polimerik (sintetik) yaitu *Polypropylene* yang memiliki sifat *Chemical Inertness* yang menjadikan serat tahan terhadap kebanyakan kimia. Beton serat dengan bahan tambah *Polypropylene* ini juga sangat cocok untuk lantai basement yang bereaksi langsung dengan tanah. Pada Gudang Penimbunan Bahan Peledak PT. Pamapersada District SMMS ini akan digunakan Macro PP Fiber yang merupakan serat sintetik berasal dari *Polypropylene* berkinerja tinggi sesuai dengan standar EN 14889-2 Kelas 2 dan ASTM C 1116. Macro PP Fiber ini efektif terhadap susut permukaan dan retak struktural. Serat ini sangat cocok digunakan pada *ground slab*, beton *screed*, *topping*, *track slab* beton, *tunnel*, *airport*, dan komponen beton *precast*. Spesifikasi teknis yang dimiliki Macro PP Fiber ini yaitu ditampilkan pada Tabel 1.2 sebagai berikut:

Tabel 2. Spesifikasi Teknis Macro PP Fiber

Micro PP Fiber	Karakteristik
Kelas Serat	EN 14889-2 Kelas II
Bahan Baku	Polipropilina
Berat jenis (gr/cm ³)	0,91
Panjang (mm)	54
Kuat Tarik (Mpa)	530
Ketahanan Alkali	Sangat Baik
Ketahanan korosi	Sangat Baik
Titik Leleh [°C]	160
Jumlah Serat/kg	28.000
Modulus Elastisitas (Gpa)	7,2
Diameter Filamen (mm)	0,95

Macro PP Fiber ini memiliki beberapa kelebihan yaitu kemudahan dalam pengaplikasian dan dapat digunakan pada semua kelas dan slump beton. Perkuatan dengan Macro PP Fiber ini memiliki durabilitas jangka Panjang, tahan terhadap korosi dan dapat mengontrol keretakan secara efektif. Macro PP Fiber ini juga tidak konduktif dan aman terhadap listrik. Selain itu, dapat menggunakan desain beton mutu tinggi (BMT) dengan permeabilitas rendah. Hasil dari perencanaan pelat lantai untuk beton mutu tinggi (BMT) pada Gudang Penimbunan Bahan Peledak PT. Pamapersada District SMMS diperoleh tulangan D13-200.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan di atas, maka dapat disimpulkan bahwa kerusakan beton pada pelat lantai Gudang Penimbunan Bahan Peledak PT. Pamapersada District SMMS akibat bahan kimia Amonium Nitrat yaitu *spalling*/pengelupasan pada selimut beton hingga ditahap kerusakan berat. Metode pencegahan yang dapat dilakukan pada pelat lantai Gudang Penimbunan Bahan Peledak PT. Pamapersada District SMMS yang berkontak langsung dengan *Ammonium Nitrate* (AN) yaitu dengan memberi lapisan permukaan (*coating*) dengan

Bituminous Coating atau *Epoxy Resin* [14], [15], [16]. Metode perbaikan pada pelat lantai Gudang Penimbunan Bahan Peledak PT. Pamapersada District SMMS yang berkontak langsung dengan *Ammonium Nitrate (AN)* yaitu dengan cara melakukan pembongkaran bagian beton yang rusak dan mendesain ulang campuran beton dengan penambahan serat Micro PP Fiber atau dapat menggunakan desain mutu tinggi (BMT) dengan permeabilitas rendah. Hasil dari perencanaan pelat lantai untuk beton mutu tinggi (BMT) pada Gudang Penimbunan Bahan Peledak PT. Pamapersada District SMMS diperoleh tulangan D13-200.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Isneini, "Kerusakan dan Perkuatan Struktur Beton Bertulang," *Jurnal Rekayasa*, vol. 13, no. 3, 2009.
- [2] Supriadi, S. H. Dewi, and Harmiyati, "Perbandingan Kuat Tekan Beton Dengan Menggunakan 4 Cara Perawatan," *Jurnal Sainstis*, vol. 17, no. 2, 2017.
- [3] E. Rosida, A. Puri, and Masrizal, "Pengaruh Penggunaan Bahan Tambahan Abu Sekam Padi Terhadap Kuat Tekan dan Workabilitas Beton," *Jurnal Sainstis*, vol. Vo. 10, no. No. 1, 2008.
- [4] M. A. Sultan, I. Imran, and M. Faujan, "Pengaruh Rendaman Asam Terhadap Kuat Tekan Beton Dengan Penambahan Fly Ash," *Teras Jurnal : Jurnal Teknik Sipil*, vol. 11, no. 1, 2021, doi: 10.29103/tj.v11i1.367.
- [5] R. A. T. Cahyani, E. Setyono, and Y. Rusdianto, "Performa Beton Dengan Ground Granulated Blast Furnace Slag Terhadap Sulfate Attack," *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, vol. 16, no. 3, 2020, doi: 10.25077/jrs.16.3.185-193.2020.
- [6] Nety and G. Tanzil, "Pengaruh Sulfat Terhadap Kuat Tekan Beton Dengan Variasi Bubuk Kaca Substitusi Sebagian Pasir Dengan W/C 0,4 dan 0,5," *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, vol. 1, no. 1, 2013.
- [7] R. Rajiman and D. G. Putra, "Ketahanan Sulfat Semen OPC + Fly Ash Dengan Portland Composite Cement (PCC) Pada Mutu Beton K-300," *Teknika Sains : Jurnal Ilmu Teknik*, vol. 2, no. 2, 2017, doi: 10.24967/teksis.v2i2.308.
- [8] Antonius, *Perilaku Dasar dan Desain Beton Bertulang Berdasarkan SNI-2847-2019*. 2021.
- [9] S. Suhaimi, "Pengaruh Kandungan Kimia Air Terhadap Kuat Tekan Beton," *Teras Jurnal : Jurnal Teknik Sipil*, vol. 10, no. 1, 2020, doi: 10.29103/tj.v10i1.260.
- [10] S. W, H. W. Ashadi, and A. K. Wicaksono, "Pengaruh Unsur-unsur Kimia Korosif Terhadap Laju Korosi Tulangan Beton : I. Di Dalam Air Rawa," *MAKARA of Technology Series*, vol. 6, no. 2, 2010, doi: 10.7454/mst.v6i2.89.
- [11] S. W. M. Supit, F. Sondakh, and R. Waworuntu, "Ketahanan sulfat dan laju korosi beton yang menggunakan kaolin dan abu terbang," *Jurnal Teknik Sipil Terapan*, vol. 2, no. 1, 2020, doi: 10.47600/jtst.v2i1.239.
- [12] L. A. Indriyanto, A. Saputra, and D. Sulistyono, "Pengaruh Air Laut Pada Masa Perawatan Terhadap Infiltrasi Ion Klorida Pada Beton Dengan Penambahan Fly Ash 12,5%," *Jurnal Riset Rekayasa Sipil*, vol. 3, no. 2, 2020, doi: 10.20961/jrrs.v3i2.40955.
- [13] K. Miswar, "Kuat Tekan Beton Terhadap Lingkungan Agresif," *JURNAL PORTAL*, vol. 3, 2011.
- [14] J. A. Marques, J. G. Lopes, and J. R. Correia, "Durability of the adhesion between bituminous coatings and self-protection mineral granules of waterproofing membranes," *Constr Build Mater*, vol. 25, no. 1, 2011, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2010.06.047.
- [15] K. Faizi, A. S. A. Rashid, D. J. Armaghani, R. Nazir, and E. Momeni, "The Influence of Bituminous Coating on Uplift Resistance of Short Pile Foundations in Sand," *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, vol. 54, no. 3, 2017, doi: 10.1007/s11204-017-9454-4.
- [16] H. R. Zamanizadeh, M. R. Shishesaz, I. Danaee, and D. Zaarei, "Investigation of the corrosion protection behavior of natural montmorillonite clay/bitumen nanocomposite coatings," *Prog Org Coat*, vol. 78, 2015, doi: 10.1016/j.porgcoat.2014.08.011.