

E-ISSN : 2807-5579

P-ISSN : 2807-5889

BOUWPLANK

Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Lingkungan

VOLUME 05 NOMOR 02, OKTOBER 2025

**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 05, NOMOR 02, OKTOBER 2025

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 05, NOMOR 02, OKTOBER 2025

PENGANTAR REDAKSI

BOUWPLANK Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Lingkungan Volume 05 Nomor 02, OKTOBER 2025 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 05, NOMOR 02, OKTOBER 2025

DAFTAR ISI

Dewan Redaksi	i
Pengantar dari Redaksi	iii
Daftar Isi	iv

PENGARUH PENAMBAHAN GGBFS PADA CAMPURAN MORTAR TERHADAP REMBESAN DAN WAKTU IKAT

Febriana D. M. Loe, Abdul Halim, Riman, Anis Purwaningsih..... 1-7

PERANCANGAN STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG DENGAN MENGGUNAKAN METODE LOAD RESISTANCE FACTOR DESIGN (LRFD) (Studi kasus: Mall Bali Galeria)

Okky Arya Syahputra, Dafid Irawan, Abdul Halim, Riman..... 8-17

STABILISASI SWELLING VOLUMETRIK (3D) TANAH LEMPUNG EKSPANSIF TIPE SANGAT TINGGI DENGAN LUMPUR LAPINDO

Sikstalia Darmayanti, Agus Tugas Sudjianto, Mohammad Cakrawala 18-28

PENGARUH PENAMBAHAN FLY ASH DAN SIKALIT TERHADAP KUAT TEKAN DAN MODULUS ELASTISITAS BETON NORMAL

Ferdinandus Ardian Raydais, Candra Aditya, Abdul Halim..... 29-38

ANALISIS RUAS JALAN SAYUNG TEMU DI KABUPATEN BENGKAYANG AKIBAT PEMBEBANAN KENDARAAN

Enos Mawarta Darma, Aji Suraji, Abdul Halim..... 39-48

PENGARUH PENAMBAHAN GGBFS PADA CAMPURAN MORTAR TERHADAP REMBESAN DAN WAKTU IKAT

Febriana D. M. Loe^{1*}, Abdul Halim², Riman³, Anis Purwaningsih⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Widya Gama, Malang

*Email Korespondensi: noiloe620@gmail.com

ABSTRAK

Mortar adalah salah satu bahan bangunan yang berfungsi sebagai pengikat atau perekat pada campuran beton. GGBFS (*Ground Granulated Blast Furnace Slag*) merupakan material semen tambahan ramah lingkungan hasil limbah sampingan dari proses peleburan besi di tanur tinggi yang dihaluskan. GGBFS ini digunakan sebagai pengganti Sebagian semen (substitusi) pada campuran mortar atau beton untuk meningkatkan kuat tekan, daya tahan (durabilitas) dan mengurangi emisi CO₂. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan variasi persentase GGBFS terhadap kedalaman rembesan dan waktu ikat pada mortar. Hasil dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa dari hasil pengujian rembesan campuran mortar GGBFS 0% atau tanpa bahan tambah rembesan didapat nilai 22,3 mm. Pada persentase GGBFS 10%, 20% dan 30% terjadi penurunan kedalaman rembesan senilai 9,7 mm, 9,3 mm, dan 9,0 mm. Adanya penambahan GGBFS ternyata membuat bahan semakin kedap terhadap air. Untuk waktu ikat awal GGBFS 10% terjadi pengikatan paling cepat yaitu 100 menit lebih cepat dibandingkan dengan waktu ikat awal mortar tanpa GGBFS, sedangkan waktu ikat akhir lebih cepat 70 menit dari mortar tanpa GGBFS. Penambahan GGBFS sangat berpengaruh terhadap rembesan untuk meningkatkan kekedapan air dan waktu pengerasan pada mortar.

Kata kunci : GGBFS, Waktu Ikat Mortar dan Rembesan Mortar.

ABSTRACT

Mortar is a building material that functions as a binder or adhesive in concrete mixtures. GGBFS (Ground Granulated Blast Furnace Slag) is an environmentally friendly cement additive made from finely ground waste produced during the iron smelting process in a blast furnace. GGBFS is used as a partial cement substitute in mortar or concrete mixtures to increase compressive strength, durability, and reduce CO₂ emissions. The purpose of this study was to determine the effect of varying percentages of GGBFS on the seepage depth and setting time of mortar. The results of this study can be concluded that from the seepage test results of the GGBFS 0% mortar mixture or without additive, the seepage value obtained was 22.3 mm. At GGBFS percentages of 10%, 20%, and 30%, there was a decrease in seepage depth of 9.7 mm, 9.3 mm, and 9.0 mm, respectively. The addition of GGBFS made the material more impervious to water. For the initial setting time of 10% GGBFS, the fastest setting occurred, which was 100 minutes faster than the initial setting time of mortar without GGBFS, while the final setting time was 70 minutes faster than mortar without GGBFS. The addition of GGBFS greatly affects seepage to increase water impermeability and hardening time in mortar.

Keywords : GGBFS, Setting Time Mortar and Mortar Seepage.

1. PENDAHULUAN

Mortar salah satu bahan bangunan terpenting, berperan sebagai pengikat atau perekat pada konstruksi. Awalnya mortar terbuat dari kombinasi yang relatif sederhana seperti tanah liat, pasir, dan air. Namun dengan perkembangan teknologi dan penelitian, komposisi mortar telah mengalami perkembangan yang signifikan, dengan berbagai inovasi komposisi bahan, aditif dan penggunaan agregat yang lebih serbaguna, mortar modern mampu memberikan kinerja yang sangat baik dalam berbagai kondisi lingkungan dan persyaratan teknis, mempromosikan pengembangan bahan mortar yang lebih baik dan berkualitas lebih tinggi. Dengan meningkatnya permintaan akan solusi konstruksi yang lebih ramah lingkungan dan efisien, GGBFS (Ground Granulated Blast Furnance) menjadi salah satu bahan tambahan yang menarik perhatian. GGBFS adalah hasil samping dari industri besi dan baja yang terbentuk selama proses pemadatan bijih besi dalam pabrik peleburan. Komposisi kimia GGBFS mirip dengan semen Portland, namun memiliki karakteristik fisik dan kimia yang berbeda [1]. Keunggulan dari bahan tambah ini yaitu ramah lingkungan, efisien dan mampu menahan rembesan dari air serta akan membuat campuran menjadi lebih cepat mengeras. Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat diketahui persentase penambahan GGBFS yang paling optimal dalam penggunaannya sebagai bahan campuran sebagian semen dalam mortar[2].

Campuran mortar yang efektif dapat diidentifikasi oleh kemampuannya untuk mencapai tingkat plastisitas yang optimal saat masih dalam keadaan segar, dan memiliki kekuatan yang melebihi target kekuatan tekan yang telah ditetapkan[3]. Dengan campuran mortar yang memiliki kinerja yang superior, hal ini dapat mengakibatkan peningkatan yang signifikan dalam kekuatan pasangan batu, baik sebagai bahan perekat pasangan batu maupun dalam proses plester pasangan batu. Untuk meningkatkan performa mortar tersebut, peneliti berencana untuk melakukan penelitian dengan menambahkan bahan GGBFS ke dalam campuran mortar sebagai langkah yang dapat diterapkan[4]. Masalah yang akan diteliti adalah pengaruh penambahan variasi GGBFS terhadap kedalaman rembesan dan waktu ikat pada mortar[5]. Untuk memahami dampak dari penambahan GGBFS, diperlukan penelitian yang melibatkan uji laboratorium terhadap mortar dengan variasi jumlah penambahan GGBFS yang berbeda sebagai bahan tambahan dalam campuran mortar[6]. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan variasi persentase GGBFS terhadap kedalaman rembesan yang terjadi dan untuk menentukan apakah variasi penambahan GGBFS mempengaruhi waktu ikat mortar.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Mortar

Menurut Standar Nasional Konstruksi Indonesia (SK SNI) 03-6825-2002, mortar adalah hasil dari pencampuran pasir sebagai bahan agregat halus dengan bahan perekat seperti tanah liat, kapur, atau semen Portland, yang dicampurkan bersama air untuk membentuk substansi padat yang berfungsi sebagai pengikat dalam konstruksi bangunan[7]. Mortar perlu memenuhi standar kekentalan agar bisa berfungsi sebagai bahan pengikat yang memiliki kekuatan yang cukup untuk menahan gaya akibat beban yang diterapkan padanya tanpa mengalami kerusakan. Berikut adalah tipe-tipe mortar sesuai dengan SNI 03-6882-2002 :

- Mortar dengan tipe M memiliki kekuatan sebesar 17,2 MPa.
- Mortar dengan tipe S memiliki kekuatan sebesar 12,5 MPa.
- Mortar dengan tipe N memiliki kekuatan sebesar 5,2 MPa.
- Mortar dengan tipe O memiliki kekuatan sebesar 2,4 MPa.

Adapun kelebihan dan kekurangan mortar dapat bervariasi tergantung pada jenis mortar yang digunakan dan aplikasinya. Berikut adalah beberapa kelebihan dan kekurangan umum dari penggunaan mortar [8] sebagai berikut :

Kelebihan Mortar:

- Kemampuan merekatkan material: Mortar memiliki kemampuan yang baik untuk merekatkan bata, batu, atau blok secara efektif. Ini memberikan kekuatan struktural dan stabilitas pada konstruksi masonry.

- b. Kekuatan struktural: Mortar yang tepat memiliki kekuatan yang cukup untuk menahan beban struktural dan kekuatan tekan yang diperlukan untuk menjaga integritas bangunan[9].
- c. Penyesuaian sifat: Mortar dapat disesuaikan dengan berbagai sifat fisik dan kimia yang diperlukan untuk aplikasi tertentu. Misalnya, dapat ditambahkan aditif untuk meningkatkan kinerja mortar dalam hal daya tahan, elastisitas, atau ketahanan terhadap air.
- d. Kompatibilitas dengan bahan bangunan: Mortar umumnya kompatibel dengan bahan bangunan seperti bata, batu, atau blok, sehingga memungkinkan konstruksi yang kuat dan kokoh.

Kekurangan Mortar:

- a. Retak dan deformasi: Mortar rentan terhadap retak dan deformasi akibat perubahan suhu, kelembaban, dan gerakan struktural. Ini dapat mempengaruhi kekuatan dan keindahan konstruksi.
- b. Perawatan yang diperlukan: Mortar membutuhkan perawatan yang tepat, termasuk perlindungan dari cuaca dan pemeliharaan rutin, agar tetap dalam kondisi yang baik.
- c. Ketahanan terhadap kondisi lingkungan: Beberapa jenis mortar mungkin kurang tahan terhadap kondisi lingkungan tertentu. Misalnya, mortar kapur lebih rentan terhadap kerusakan akibat asam hujan.

2.2 Bahan Penyusun Mortar

1) Semen Portland

Semen Portland adalah jenis semen hidrolik yang dihasilkan melalui penggilingan terak semen Portland yang utamanya terdiri dari kalsium silikat hidrat. Proses hidrasi terjadi ketika semen dicampur dengan air, menghasilkan pasta yang mengeras dan membentuk ikatan antara agregat halus dan kasar dalam campuran beton atau mortar. Pasta yang mengeras ini memberikan kekuatan struktural dan kemampuan untuk menyatukan bahan konstruksi bersama-sama. Semen Portland memiliki kekuatan tekan yang tinggi, daya tahan yang baik terhadap beban dan kondisi lingkungan, serta kemampuan untuk bekerja dengan berbagai bahan tambahan seperti aditif atau pengisi [10]. Hal ini membuat semen Portland menjadi bahan konstruksi yang sangat penting dalam pembangunan infrastruktur dan struktur bangunan.

2) Pasir (Agregat Halus)

Pasir adalah bahan agregat halus yang didapatkan baik dari sumber alam batuan maupun dari kegiatan industri pemecahan batu. Pasir memiliki ukuran butiran terbesar sebesar 4,75 mm, sesuai dengan standar SNI 1970:2008. Sifat agregat memiliki pengaruh signifikan terhadap karakteristik mortar dan beton dipengaruhi oleh sifat-sifat agregat. Agregat dengan ukuran butiran 4,75 mm dianggap sebagai agregat yang lolos saringan dan dikenal juga sebagai agregat halus. Menggunakan agregat halus sebagai bahan penambahan dalam campuran memiliki dampak menguntungkan pada kekuatan dan stabilitas dimensi. Mulyono (2003) juga mencatat hal yang serupa.

3) GGBFS (Ground Granulated Blast Furnace Slag)

GGBFS adalah salah satu alternatif yang dihasilkan dari sisa-sisa industri baja[11]. Keberadaannya menjadi sangat populer karena lebih ekonomis dibandingkan dengan bahan lainnya. GGBFS, yang sesuai dengan standar ASTM C.989-04, merupakan produk non-logam yang digunakan dalam beton dan mortar[12]. Meskipun memiliki komposisi yang berbeda, GGBFS memiliki fungsi dan kualitas yang hampir sama dengan semen Portland, yaitu sebagai bahan perekat[13]. Salah satu perbedaan utama antara keduanya adalah reaktivitas GGBFS ketika ditambahkan air, yang mengakibatkan reaksi kimia tertentu terjadi.

3. METODE PENELITIAN

Metode analisis terhadap karakteristik aduk mortar melibatkan perbandingan antara aduk mortar yang menggunakan berbagai variasi penambahan GGBFS dengan aduk mortar tanpa penambahan GGBFS sebagai kelompok pembanding[14]. Untuk mengevaluasi sejauh mana dampak penambahan GGBFS, penelitian ini fokus pada analisis campuran mortar yang telah mencapai tahap keras pada umur tertentu, khususnya pada 28 hari setelah proses hidrasi selesai[15]. Dengan variasi umur ini, perubahan dalam berat jenis, penyerapan air, dan kekuatan tekan aduk mortar keras dapat diamati untuk setiap variasi penambahan GGBFS. Hasil analisis akan disajikan dalam bentuk grafik yang menggambarkan hubungan antara sifat-sifat mortar dengan penggunaan berbagai variasi GGBFS pada umur mortar setelah 28 hari, sehingga memungkinkan penentuan optimalisasi penambahan GGBFS dapat dilakukan.

Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah Uji Rembesan dan Uji Waktu Ikat Mortar. Uji Rembesan menggunakan alat yang bernama *Water Permeability Test*. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui sejauh mana pengaruh presentasi variasi GGBFS terhadap kedalaman rembesan pada benda uji mortar. Adapun standar pemberian tekanan yang dilakukan adalah 5 kg/m³ selama 72 jam (3 hari) [16]. Benda uji yang dipakai pada Uji Rembesan yaitu mortar berukuran 15x15x15cm sebanyak 12 buah. Pengujian kedua adalah Uji Waktu Ikat Mortar menggunakan alat Uji Vicat. Pengujian ini dilakukan untuk menentukan waktu ikat awal dan waktu ikat akhir pada mortar. Waktu ikat awal mortar (*Initial Sett*) tidak boleh kurang dari 45 menit dengan penurunan 25 mm dan waktu ikat akhir (*Final Sett*) tidak boleh lebih dari 375 menit dengan penurunan 10 mm [17]. Berdasarkan SNI 15-2049-2004, Pengujian waktu ikat akhir dapat dilakukan apabila nilai jarum penetrasi mencapai angka 10 ± 1 mm sedangkan waktu ikat awal 25 mm dengan menggunakan Alat Vicat.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

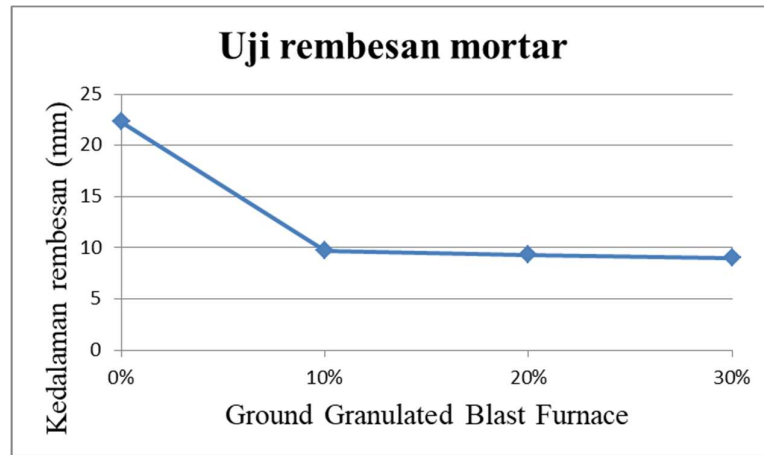
4.1 Hasil Pengujian Rembesan Mortar

Pengujian kedalaman rembesan pada mortar menggunakan alat Water Permeability Test yang didasarkan pada tekanan udara yang diberikan yaitu 5 Kg/cm³ yang dilakukan terhadap mortar umur 28 hari. Mortar berbentuk kubus 15 x 15 x 15 cm akan dialiri air selama 3 hari atau 72 Jam, untuk melihat kedalaman rembesan yang terjadi dengan bahan tambah GGBFS.

Hasil pengujian mortar dengan variasi penambahan GGBFS dapat dilihat pada tabel 1 dan gambar 1 berikut :

Tabel 1. Hasil Uji Kedalaman Rembesan Mortar

Kode Benda Uji	Air dalam selang		Penurunan air 72 jam (mm)	Tinggi Air Jatuh (mm)	Kedalaman Penetrasi (mm)	Rata-rata penetrasi (mm)
	Awal (mm)	Akhir (mm)				
PGBS-0	500	457	160	500	17	22,3
	500	440	65	500	28	
	500	468	62	500	22	
PGBS-10	500	463	20	500	9	9,7
	500	460	55	500	11	
	500	453	70	500	8	
PGBS-20	500	467	78	500	10	9,3
	500	470	80	500	8	
	500	465	110	500	10	
PGBS-30	500	457	180	500	9	9
	500	459	140	500	6	
	500	479	70	500	12	



Gambar 1. Grafik Hubungan Variasi GGBFS Terhadap Kedalaman Rembesan Mortar

Berdasarkan Gambar 1 di atas, dapat diketahui bahwa pada setiap variasi penambahan GGBFS 10%, 20% dan 30% nilai kedalaman rembesan mengalami penurunan air yang kecil senilai 9,7 mm, 9,3 mm, dan 9 mm. Sedangkan rembesan paling dalam terjadi pada campuran mortar GGBFS 0% (tanpa bahan tambah) sebesar 22,3 mm. Jika nilai kedalaman rembesan sangat kecil atau mendekati nol maka dapat dianggap “kedap air” dan mortar dianggap memiliki ketahanan yang baik. Dengan penggunaan GGBFS pada proporsi yang sesuai dapat meningkatkan ketahanan terhadap rembesan pada mortar dan memberikan manfaat yang signifikan dalam meningkatkan kualitas dan daya tahan struktur.

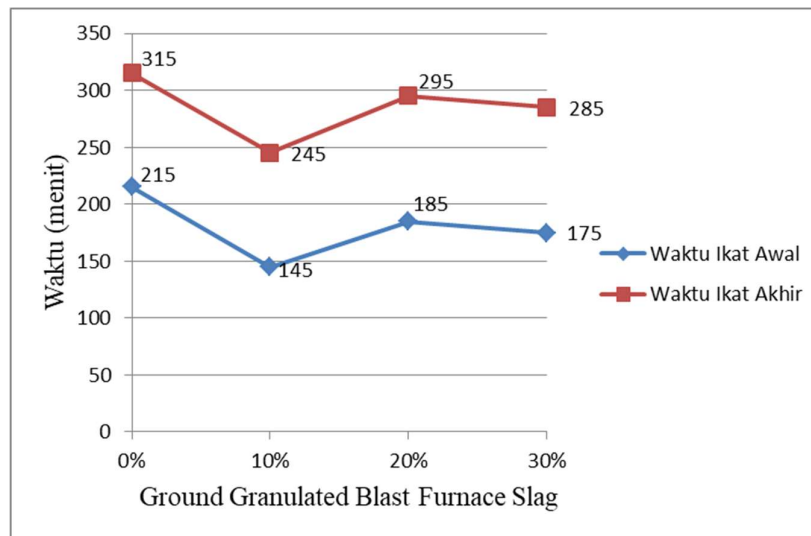
4.2 Waktu Ikut

Penentuan waktu ikat awal mortar didasarkan pada waktu yang diperlukan oleh mortar mulai mengalami perubahan bentuk dari kondisi plastis menjadi kaku [17]. Dalam pengujian waktu ikat mortar menggunakan alat vicat mengacu pada SNI 15-2049-2004 dimana pengujian dilakukan apabila jarum penetrasi mencapai angka 10 ± 1 mm sedangkan waktu ikat awal terjadi jika jarum penetrasi mencapai 25 ± 25 m. Hal ini sangat penting karena jika waktu ikat terlalu cepat, mungkin ada masalah dalam komposisi campuran atau kondisi lingkungan saat proses pengeringannya. Waktu pengikatan mortar hasil penelitian ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Waktu Pengikatan Mortar

Bahan Tambah GGBFS	Waktu Ikut awal (menit)	Waktu Ikut akhir (menit)	Interval
0%	215	315	100
10%	145	245	100
20%	185	295	110
30%	175	285	110

Sumber : Hasil Penelitian, 2023



Gambar 2. Grafik Hubungan Variasi Penambahan GGBFS dengan Waktu Pengikatan

Berdasarkan Gambar 2 hubungan waktu ikat awal dan akhir dengan penambahan variasi GGBFS, terlihat bahwa pada penambahan persentase GGBFS 10% membuat mortar mengalami waktu ikat awal dan akhir yang cepat yaitu pada menit awal 145 dan akhir 245 menit. Sementara pada penambahan GGBFS 20% dan 30% membuat mortar mengalami pengikatan awal dan akhir yang cepat dari GGBFS 0% tetapi tidak lebih cepat dari GGBFS 10%.

5. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Setelah penulis melakukan penelitian terhadap penambahan GGBFS sebagai bahan tambah aduk mortar, maka penulis berkesimpulan bahwa GGBFS adalah bahan pozolanik yang memiliki aktivitas tinggi, sehingga bisa menggantikan semen PPC dalam kondisi tertentu, karena memiliki kehalusan yang sesuai dengan ukuran butiran semen. Penambahan GGBFS sebesar 10% - 30% ke dalam campuran mortar dapat meningkatkan workability dan mortar kedap air sebesar 56,5 % s/d 60% terhadap campuran mortar tanpa GGBFS.

Adanya penambahan GGBFS antara 10% s/d 30% kedalam aduk mortar mempengaruhi waktu pengikatan awal mortar dimana penambahan 10% GGBFS yang paling optimum untuk percepatan waktu ikat awal mortar dibandingkan 20% dan 30% GGBFS, tetapi tidak mengalami peningkatan lamanya mortar seperti pada GGBFS 0% dan tidak juga mengalami percepatan waktu ikat seperti GGBFS 10%.

5.2 Saran

Beberapa saran yang penulis rasakan perlu dikemukakan selama melakukan penelitian ini adalah perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh bahan tambah GGBFS (*Ground Granulated Blast Furnace*) dengan memperhatikan mempertimbangkan faktor-faktor lain seperti suhu lingkungan atau bahan tambahan yang digunakan dalam campuran. Perlu dilakukan penelitian tentang penambahan zat aditif untuk aktivator GGBFS sehingga reaksi dapat berlangsung dengan cepat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. Bilim, C. D. Atiş, H. Tanyildizi, and O. Karahan, "Predicting the compressive strength of ground granulated blast furnace slag concrete using artificial neural network," *Advances in Engineering Software*, vol. 40, no. 5, pp. 334–340, 2009, doi: 10.1016/j.advengsoft.2008.05.005.
- [2] A. C. Imam, A. Susilowati, and Pratikto, "Pengaruh Ground Granulated Blast Furnace Slag Sebagai Pengganti Sebagian Semen Pada Papan Serat Ringan," *Jurnal Ilmiah Teknologi Infomasi Terapan*, vol. 9, no. 1, 2022, doi: 10.33197/jitter.vol9.iss1.2022.923.
- [3] A. Susilowati and I. Yusra, "Kuat Tekan Beton Campuran GGBFS Dan Fly Ash Menggunakan Retarder," *PROKONS Jurusan Teknik Sipil*, vol. 15, no. 1, 2021, doi: 10.33795/prokons.v15i1.281.
- [4] C. Bilim, C. D. Atiş, H. Tanyildizi, and O. Karahan, "Predicting the compressive strength of ground granulated blast furnace slag concrete using artificial neural network," *Advances in Engineering Software*, vol. 40, no. 5, 2009, doi: 10.1016/j.advengsoft.2008.05.005.
- [5] H. Sugiharto, W. Foek Tjong, A. Surya, and K. Wibowo, "Rancang Bangun Alat Uji Permeabilitas Beton," *Civil Engineering Dimension*, vol. 6, no. 2, 2004.
- [6] S. Zuraidah and B. Hastono, "Pengaruh Variasi Komposisi Campuran Mortar Terhadap Kuat Tekan," *Ge-STRAM: Jurnal Perencanaan dan Rekayasa Sipil*, vol. 1, no. 1, 2018, doi: 10.25139/jprs.v1i1.801.
- [7] S. Zuraidah and B. Hastono, "Serbuk Kapur Sebagai Cementitious Pada Mortar," *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil Universitas Madura*, vol. 2, no. 1, 2017.
- [8] S. Zuraidah and B. Hastono, "Pengaruh Variasi Komposisi Campuran Mortar Terhadap Kuat Tekan," *Ge-STRAM: Jurnal Perencanaan dan Rekayasa Sipil*, vol. 1, no. 1, pp. 8–13, 2018, doi: 10.25139/jprs.v1i1.801.
- [9] R. N. Arini, N. Warastuti, and M. W. K. Darmawan, "Analisis Kuat Tekan Dengan Aplikasi Ground Granulated Blast Furnace Slag Sebagai Pengganti Sebagian Semen Pada Campuran Beton," *Jurnal Konstruksia*, vol. 10, no. 1, 2019.
- [10] Badan Standardisasi Nasional (BSN), "SNI 7064-2014 Semen Portland Komposit," *Badan Standardisasi Nasional (BSN)*, 2014.
- [11] D. Rose and A. G. Krupp Polysius, "Granulated blast furnace slag grinding," *World Cement*, vol. 31, no. 9, 2000.
- [12] A. H. Priambodo and A. Susilowati, "Karakteristik Beton dengan Campuran Fly Ash dan GGBFS (Ground Granulated Blast Furnace Slag)," *Seminar Nasional Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta*, pp. 746–751, 2019.
- [13] H.-W. Song, S.-J. Kwon, S.-W. Lee, and K.-J. Byun, "A Study on Resistance of Chloride Ion Penetration in Ground Granulated Blast-Furnace Slag Concrete," *Journal of the Korea Concrete Institute*, vol. 15, no. 3, 2003, doi: 10.4334/jkci.2003.15.3.400.
- [14] N. Wahid and M. Taufan, "Pemanfaatan GGBFS Sebagai Bahan Tambah Aduk Mortar," *Potensi: Jurnal Sipil Politeknik*, vol. 22, no. 1, pp. 44–54, 2020, doi: 10.35313/potensi.v22i1.1788.
- [15] G. A. Karim, E. Susilowati, and W. Pratiwi, "Pengaruh Ground Granulated Blast Furnace Slag Terhadap Sifat Fisika Semen Portland Jenis-I the Effect of Ground Granulated Blast Furnace Slag on Physical Properties of Portland Cement Type I," *Jurnal Teknologi Bahan dan Barang Teknik*, vol. 8, pp. 47–52, 2018.
- [16] A. Purwaningsih, S. M. Dewi, and L. Susanti, "Strength and permeability of ferrocement structure by using ground granulated blast furnace slag," *Sinergi (Indonesia)*, vol. 28, no. 2, 2024, doi: 10.22441/sinergi.2024.2.021.
- [17] handoko barata yuda 2 Firdaus1, "Waktu Ikat Mortar Semen Geopolymer Berbasis Fly Ash Dan Kapur," *Jurnal Tekno*, vol. Vol. 16, no. April, 2019.

PERANCANGAN STRUKTUR BANGUNAN GEDUNG DENGAN MENGUNAKAN METODE *LOAD RESISTANCE FACTOR DESIGN* (LRFD)

(Studi kasus: Mall Bali Galeria)

Okky Arya Syahputra^{1*}, Dafid Irawan², Abdul Halim³, Riman⁴

¹PT. Sukses Bumi Tirtawangi, Kota Bekasi, Provinsi Jawa Barat.

^{2,3,4}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Widya Gama Malang

*Email Korespondensi: oarya76@gmail.com

ABSTRAK

Perancangan struktur bangunan adalah aspek penting dalam bidang teknik sipil dengan fokus pada keamanan, efisiensi dan *durabilitas*. Penelitian ini membahas penerapan metode *Load Resistance Factor Design* (LRFD) dalam merancang struktur Mall Bali Galeria, sebuah pusat perbelanjaan dengan kompleksitas arsitektural tinggi di Bali. LRFD menggabungkan faktor beban dan tahanan untuk mengatasi ketidakpastian dalam desain, seperti variasi material dan beban yang diterima bangunan selama masa pakainya, sehingga menghasilkan desain yang lebih aman dan ekonomis dibandingkan metode lain seperti Allowable Stress Design (ASD). Data teknis termasuk denah bangunan, jenis material dan kondisi lingkungan dimodelkan menggunakan software ETABS dengan simulasi untuk menguji respons bangunan terhadap beban mati, hidup dan angin. Hasilnya menunjukkan bahwa penerapan LRFD didukung oleh ETABS memenuhi standar keamanan dan stabilitas serta lebih efisien dalam penggunaan material dibandingkan ASD. Perencanaan struktur tersebut mencakup plat dak dengan ketebalan 10-12 cm, kolom dengan diameter 900-1000 mm, balok dengan dimensi 400x600 hingga 600x750, serta pondasi bored pile dengan diameter 30 cm. Kesimpulannya, metode LRFD sangat efektif untuk bangunan dengan kompleksitas tinggi seperti Mall Bali Galeria sehingga memastikan keamanan dan efisiensi material dalam desain struktur.

Kata kunci: Perancangan, Analisis Struktur, Pembebanan, *Load Resistance Factor Design*, ETABS.

ABSTRACT

Structural design is an important aspect of civil engineering, focusing on safety, efficiency, and durability. This study discusses the application of the Load Resistance Factor Design (LRFD) method in designing the Bali Galeria Mall, a shopping center with high architectural complexity in Bali. LRFD combines load and resistance factors to address uncertainties in design, such as variations in materials and loads received by buildings during their service life, resulting in safer and more economical designs compared to other methods such as Allowable Stress Design (ASD). Technical data, including building plans, material types, and environmental conditions, were modeled using ETABS software with simulations to test the building's response to dead, live, and wind loads. The results show that the application of LRFD supported by ETABS meets safety and stability standards and is more efficient in material usage compared to ASD. The structural design includes 10-12 cm thick floor slabs, 900-1000 mm diameter columns, 400x600 to 600x750 beams, and 30 cm diameter bored pile foundations. In conclusion, the LRFD method is highly effective for buildings with high complexity such as Mall Bali Galeria, ensuring safety and material efficiency in structural design.

Keywords : Design, Structural Analysis, Loads, *Load Resistance Factor Design*, ETABS.

1. PENDAHULUAN

Mall Bali Galeria, yang terletak di Kuta, Badung, Bali, adalah pusat perbelanjaan terkenal yang menjadi tujuan favorit bagi penduduk lokal maupun wisatawan. Selain fungsinya sebagai pusat ritel, Mall Bali Galeria juga menjadi objek penelitian untuk memahami bagaimana tata letak ritel dapat mempengaruhi perilaku belanja impulsif. Terletak strategis di Jalan By Pass Ngurah Rai, dekat dengan pantai terkenal Nusa Dua, mall ini berada di wilayah Kuta yang memiliki karakteristik geografis unik dengan luas 17,52 km² dan ketinggian 0-65 meter di atas permukaan laut. Kuta, yang dikenal sebagai salah satu destinasi wisata populer di Bali, menawarkan berbagai atraksi seperti Pantai Kuta, Pantai Legian, dan Double Six, serta berbagai fasilitas pendukung seperti kafe, pusat perbelanjaan, dan beach club. Daerah ini juga berada dalam Zona Gempa 2, karena posisinya di perbatasan antara lempeng Eurasia dan Australia, dengan jenis tanah dominan Regosol dan Latosol yang tergolong lunak hingga sedang.

Analisis struktur menjadi komponen penting dalam memastikan bahwa bangunan seperti Mall Bali Galeria dapat menahan kondisi lingkungan dan beban dengan aman dan efisien. Metode LRFD, yang dipilih dalam penelitian ini, memberikan kerangka kerja untuk merancang bangunan dengan memperhatikan aspek keamanan dan kestabilan, serta menangani ketidakpastian dalam beban dan ketahanan material [1]. Didukung oleh software ETABS, proses perancangan meliputi pengumpulan data bangunan, pemodelan struktur, penerapan beban yang dihitung, dan analisis gaya dalam untuk memastikan integritas struktur. Penelitian ini secara khusus meneliti perancangan elemen-elemen struktur seperti plat atap, kolom, balok, dan pondasi, dengan fokus pada keselamatan dan kinerja optimal struktur Mall Bali Galeria.

Metode *Load Resistance Factor Design* (LRFD) telah terbukti efektif dalam meningkatkan akurasi dan keselamatan perancangan struktur bangunan. Penelitian Pranowo dkk. [2] menunjukkan bahwa profil baja yang dirancang dengan LRFD memenuhi syarat kekuatan dan lendutan yang diizinkan, meskipun studi kasusnya berbeda dengan Mall Bali Galeria. Siregar, dkk. [3] menilai reliabilitas model struktur terhadap beban gempa menggunakan LRFD dan menemukan bahwa bangunan masih mampu menahan gempa dengan risiko minimal, yang sejalan dengan aplikasi LRFD pada studi kasus Mall Bali Galeria. Herucahyo dkk. [4] menganalisis kinerja struktur gedung bertingkat menggunakan metode respon spektrum dan LRFD, menemukan bahwa gedung memenuhi persyaratan kinerja batas layanan dan akhir, memberikan referensi penting untuk evaluasi struktur di Mall Bali Galeria. Alfia [5] juga menggunakan LRFD dalam perancangan elemen struktur gedung Rusunawa Universitas Bojonegoro, menyajikan perencanaan detail yang relevan untuk Mall Bali Galeria. Penelitian Mentari [6] pada respon struktur gedung dengan dinding geser menggunakan LRFD menunjukkan bahwa gaya geser dasar memerlukan pembesaran untuk memenuhi standar, yang penting dalam penerapan LRFD pada Mall Bali Galeria. Yanuar [7] membandingkan struktur gabungan menggunakan LRFD dalam desain menara suar, menyoroti perubahan pada partisipasi massa dan gaya seismik, yang relevan untuk struktur tahan gempa seperti Mall Bali Galeria. Wagiri dkk. [8] mengembangkan aplikasi perhitungan balok kolom baja berbasis LRFD yang konsisten dengan hasil perhitungan manual, mendemonstrasikan kepraktisan LRFD dalam desain struktural. Hafid dkk. [9] menunjukkan bahwa profil baja untuk crane beam yang dirancang dengan LRFD aman digunakan, memberikan wawasan tambahan untuk aplikasi industri. Susilo dkk. [10] merancang struktur gedung tahan gempa menggunakan sistem ganda dan LRFD, mengidentifikasi dimensi dan penulangan yang sesuai untuk tahan gempa. Zachari dan Turuallo [11] menganalisis struktur baja tahan gempa dengan sistem SRPMK, menunjukkan bahwa struktur memenuhi persyaratan drift lantai. Penelitian-penelitian ini secara kolektif menyediakan dasar teori dan aplikasi praktis LRFD dalam perancangan struktur gedung, mendukung evaluasi dan desain struktur Mall Bali Galeria sesuai dengan standar keselamatan dan efisiensi yang diinginkan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Konsep Perancangan

Load and Resistance Factor Design (LRFD) adalah sebuah metode perancangan struktur yang berfokus pada prinsip-prinsip keamanan dan kestabilan struktur dengan mempertimbangkan ketidakpastian dalam beban dan ketahanan bahan. Berikut adalah beberapa aspek penting dari teori LRFD. LRFD berdasarkan pada prinsip limit state, yang membagi kondisi struktur menjadi berbagai negara, termasuk negara layanan dan negara batas akhir. Hal ini memungkinkan perancangan struktur yang lebih akurat dan aman [12]. Faktor beban (γ) digunakan untuk mengakomodasi ketidakpastian dalam beban. Faktor ini berbeda-beda tergantung pada jenis beban, seperti beban mati, beban hidup, angin, dan gempa. Faktor ketahanan (ϕ) digunakan untuk mengakomodasi ketidakpastian dalam ketahanan bahan. Faktor ini juga berbeda-beda tergantung pada jenis bahan dan jenis elemen struktur yang dianalisis. Persamaan dasar LRFD dapat ditulis sebagai :

$$\phi R_n \geq \sum \gamma Q_i \dots \dots \dots (1)$$

dimana :

- ϕ : Faktor Ketahanan
- R_n : Ketahanan Nominal
- γ : Faktor Beban
- Q_i : Efek Gaya

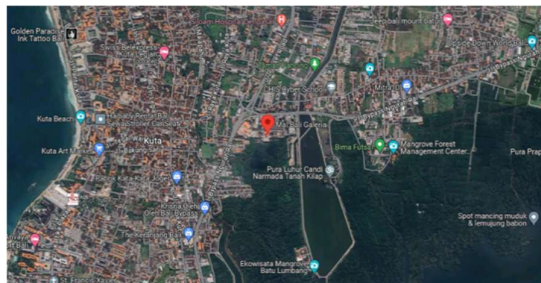
2.2 Konsep Pembebanan

Pembebanan dalam desain struktur merupakan aspek krusial untuk memastikan bangunan mampu menahan berbagai jenis beban sepanjang masa pakainya. Beban ini terbagi menjadi beban mati, yang berasal dari komponen permanen seperti dinding, lantai, dan atap, serta beban hidup, yang berasal dari penggunaan bangunan dan bersifat dinamis, seperti beban dari penghuni, furnitur, dan beban lingkungan seperti angin dan gempa [13]. Standar Nasional Indonesia (SNI) 1727:2020 mengatur secara komprehensif perhitungan beban-beban ini, termasuk kombinasi beban untuk memastikan kestabilan struktur. Beban angin dan gempa juga menjadi fokus penting, terutama di daerah rawan bencana, dengan beban gempa diatur melalui SNI 1726:2019 yang mengadopsi analisis spektrum respons ragam dan kategori desain seismik [14]. Selain itu, beban hujan dan salju juga diperhitungkan untuk bangunan di daerah tertentu. Dengan menerapkan pedoman pembebanan yang ditetapkan dalam SNI, para perancang struktur dapat memastikan bangunan yang dibangun memiliki kekuatan dan kestabilan yang memadai untuk menahan berbagai jenis beban dan memenuhi standar keselamatan yang tinggi [15].

3. METODE PENELITIAN

3.1 Pengambilan Data

Lokasi bangunan yang diteliti adalah Mall Bali Galeria, yang terletak di Jl. Bypass Ngurah Rai, Kuta, Bali (Gambar 1).



Gambar 1. Lokasi Penelitian Mall bali Galeria

Mall Galeria Bali, yang berlokasi di Kuta, Bali, merupakan bangunan dua lantai yang berfungsi sebagai pusat perbelanjaan dan pertokoan. Terletak di Zona Gempa 2, desain strukturnya memerlukan perhatian khusus untuk memastikan stabilitas dalam kondisi seismik. Tanah dasar di area ini tergolong tanah lunak hingga sedang, yang memengaruhi pemilihan jenis fondasi serta perhitungan beban gempa. Struktur bangunan ini menggunakan beton bertulang yang dirancang untuk memberikan kekuatan dan kestabilan yang diperlukan.

Beton yang digunakan memiliki mutu f'_c 25 dengan kuat tekan 20 MPa, berat jenis 24 kN/m³, modulus elastisitas 21019 MPa, dan angka Poisson 0,2. Baja tulangan yang digunakan mencakup beberapa jenis, seperti Baja Profil BJ-37 dengan kuat tarik 210 MPa, Baja Tulangan BJTP-240 dengan kuat tarik 240 MPa, Baja Tulangan BJTS-280 dengan kuat tarik 280 MPa, serta Baja Tulangan BJTS-420A dengan kuat tarik 420 MPa. Semua baja tulangan ini memiliki berat jenis 78,5 kN/m³ dan modulus elastisitas 200000 MPa, namun berbeda dalam kekuatan tarik dan tekan yang memengaruhi penggunaannya dalam berbagai elemen struktur.

3.2 Analisis Struktur

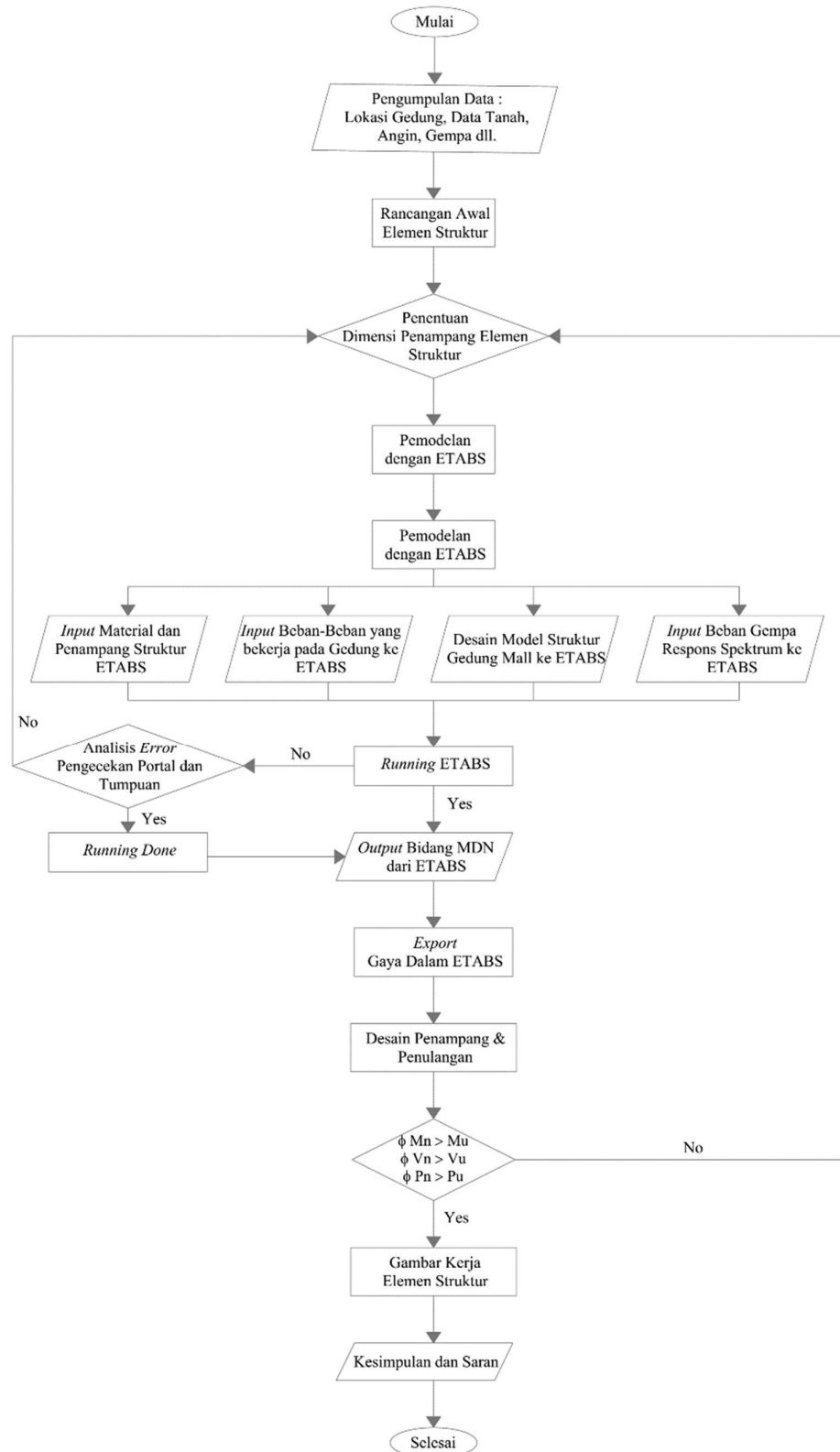
Dalam penelitian ini, analisis struktur bangunan akan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak ETABS, Tekla, dan Microsoft Excel secara terpadu untuk memastikan ketepatan dan keandalan hasil perancangan. ETABS digunakan untuk menganalisis gaya dalam struktur, seperti momen (M), dorong (D), dan gaya normal (N), memberikan wawasan mendalam tentang interaksi elemen struktural di bawah berbagai kondisi beban. Tekla digunakan untuk menganalisis daya dukung pondasi, memastikan bahwa pondasi dirancang dengan aman dan efektif untuk menahan beban dari struktur di atasnya. Sementara itu, Microsoft Excel digunakan untuk melakukan perhitungan manual dan verifikasi hasil dari ETABS dan Tekla, serta untuk analisis penampang secara mendetail. Penggunaan ketiga alat ini secara sinergis bertujuan untuk menghasilkan desain struktur yang akurat, aman, dan memenuhi standar keselamatan, serta meminimalkan risiko kesalahan dalam perancangan.

3.3 Diagram Alir

Perancangan struktur gedung dimulai dengan tahap pengumpulan data yang menyeluruh, yang bertujuan untuk memastikan bahwa semua aspek penting dari proyek dapat dianalisis dengan akurat. Data yang dikumpulkan meliputi informasi mengenai lokasi gedung, kondisi dan jenis tanah, serta faktor lingkungan seperti angin dan gempa. Informasi lokasi gedung mencakup data geospasial dan kondisi fisik sekitar lokasi, yang penting untuk menentukan dampak lingkungan terhadap struktur. Sementara itu, data tentang tanah melibatkan pengujian untuk mengukur kekuatan dan stabilitas tanah yang akan menjadi pondasi bagi struktur gedung. Selain itu, data mengenai angin dan gempa sangat diperlukan untuk memahami beban lingkungan yang akan mempengaruhi gedung selama masa operasionalnya. Pengumpulan data yang lengkap dan akurat merupakan langkah krusial karena informasi ini akan mempengaruhi semua keputusan desain selanjutnya, mulai dari pemilihan material hingga dimensi elemen struktur.

Setelah semua data terkumpul, tahap berikutnya adalah merancang struktur awal gedung. Pada tahap ini, rancangan awal mencakup penentuan dimensi keseluruhan gedung, elemen struktur seperti balok dan kolom, serta pemilihan bahan material bangunan. Perhitungan dimensi penampang elemen struktur dilakukan untuk menentukan ukuran dan ketebalan balok, kolom, dan plat yang akan digunakan. Tujuan dari desain awal ini adalah memastikan bahwa struktur dapat menahan beban yang akan diterima selama masa pakainya. Pemilihan bahan material juga sangat penting, karena setiap material memiliki sifat mekanik yang mempengaruhi kekuatan dan daya tahan struktur. Desain ini harus mempertimbangkan semua variabel yang mempengaruhi kekuatan dan kestabilan gedung. Setelah desain awal selesai, proses selanjutnya adalah pemodelan struktur menggunakan software ETABS. Pada tahap ini, bahan dan material, bersama dengan penampang elemen struktur dan pembebanan, dimasukkan ke dalam sistem. Setelah input data selesai, model struktur dijalankan untuk analisis gaya dalam, yang menghasilkan informasi tentang distribusi gaya internal seperti momen, gaya dorong, dan gaya normal di seluruh elemen struktur. Setelah analisis, gaya dalam pada masing-masing elemen diperiksa untuk memastikan bahwa kapasitas penampang elemen cukup untuk menahan gaya tersebut. Jika kapasitas penampang memadai, gambar kerja dapat dibuat. Namun, jika tidak mencukupi, perlu dilakukan

redesign dengan menentukan ulang dimensi elemen struktur untuk memastikan kekuatan dan stabilitas yang memadai. Diagram alir penelitian ditampilkan pada Gambar 2.

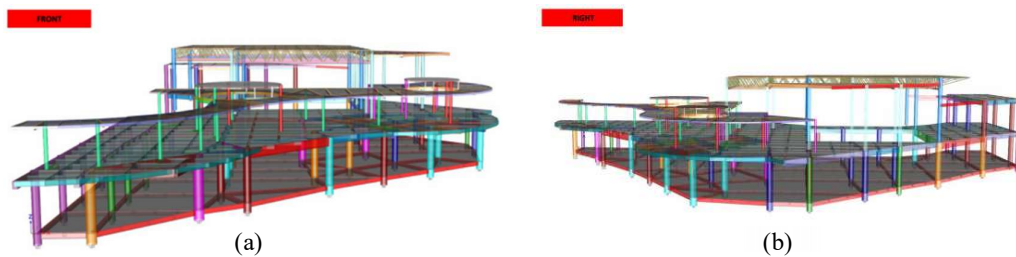


Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemodelan Gedung

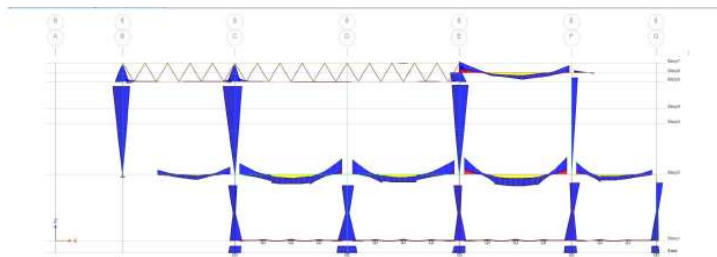
Setelah data yang diperlukan terkumpul, tahap berikutnya adalah merancang struktur awal gedung, termasuk penentuan dimensi keseluruhan serta elemen struktur seperti balok, kolom, dan plat. Perhitungan dimensi penampang elemen dilakukan untuk menentukan ukuran dan ketebalan yang diperlukan agar struktur dapat menahan beban selama masa pakainya, dengan mempertimbangkan beban mati (berat struktur itu sendiri) dan beban hidup (seperti beban pengunjung dan perabot). Pemilihan bahan material yang tepat juga penting untuk memastikan kekuatan dan daya tahan struktur, dengan memperhatikan sifat mekanik seperti kekuatan tarik dan tekan. Setelah desain awal selesai, pemodelan struktur dilakukan menggunakan software ETABS, di mana informasi mengenai bahan, material, dimensi penampang, dan pembebanan dimasukkan ke dalam sistem. Model struktur kemudian dianalisis untuk mendistribusikan gaya di seluruh elemen, memastikan desain mampu menahan gaya yang bekerja dan memenuhi standar kekuatan yang diperlukan (Gambar 3).



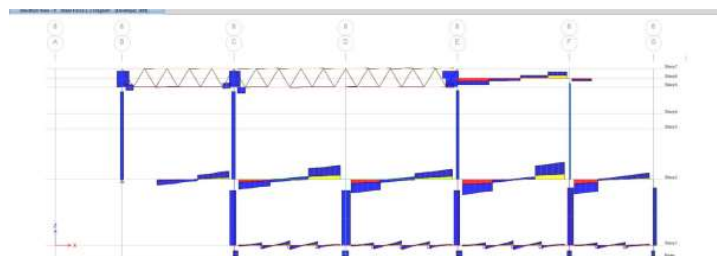
Gambar 3. Tampak Depan (a) dan Tampak Kiri (b) Model Struktur

4.2 Hasil Analisis Struktur

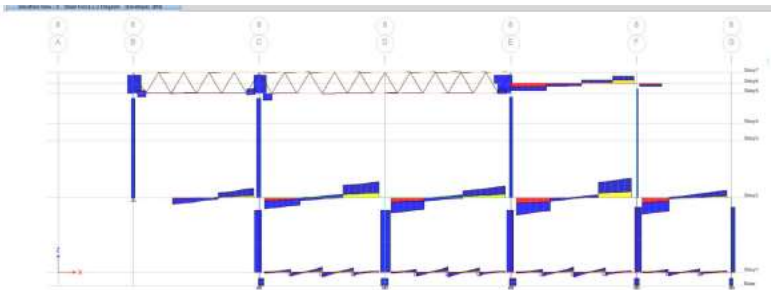
Setelah model struktur dijalankan di ETABS, hasil analisis gaya dalam yang diperoleh mencakup momen lentur, gaya dorong, dan gaya normal yang bekerja pada elemen struktur (Gambar 4, 5 dan 6). Selanjutnya, kapasitas penampang elemen struktur diperiksa untuk memastikan bahwa kapasitas tersebut cukup untuk menahan gaya yang bekerja. Jika kapasitas penampang lebih besar dari gaya yang diterima, desain dianggap memadai dan proses dapat dilanjutkan. Namun, jika kapasitas penampang tidak mencukupi, perlu dilakukan redesign dengan menentukan ulang dimensi elemen struktur untuk memastikan struktur dapat menahan beban dengan aman. Desain yang diperbarui mungkin melibatkan perubahan ukuran balok, kolom, atau plat, serta pemilihan bahan yang lebih kuat jika diperlukan.



Gambar 4. Output Gaya Dalam Bidang M pada Portal



Gambar 5. Output Gaya Dalam Bidang D pada Portal



Gambar 6. Output Gaya Dalam Bidang N pada Portal

Pada gambar di atas menunjukkan bahwa model struktur dijalankan untuk analisis gaya dalam menghasilkan informasi tentang distribusi gaya internal seperti momen (Gambar 4), gaya dorong (Gambar 5) dan gaya normal (Gambar 6) di seluruh elemen struktur. Hasilnya, gaya dalam pada masing-masing elemen dapat dipastikan bahwa kapasitas penampang elemen dari dimensi elemen struktur cukup untuk menahan gaya-gaya dalam tersebut sehingga kekuatan dan stabilitas struktur telah memadai.

4.3 Perancangan Elemen Struktur

Berdasarkan data perancangan di atas, berikut rekapitulasi untuk masing-masing elemen struktur pada Tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Rekapitulasi Perancangan Balok

Balok	b (mm)	h (mm)	Posisi	As perlu	Tulangan terpasang	As pasang	Cek As pas > As perlu	
BII	800	900	Tumpuan	Atas (mm ²)	3362.75	10D22	3801.33	OK
				Badan (mm ²)	1871.50	8D19	2268.23	OK
				Bawah (mm ²)	3362.75	9D22	3421.19	OK
				Sengkalang (mm ² /mm)	4.73	4D13-100	5.31	OK
			Lapangan	Atas (mm ²)	3362.75	9D22	3421.19	OK
				Badan (mm ²)	1871.50	8D19	2268.23	OK
				Bawah (mm ²)	3491.75	10D22	3801.33	OK
				Sengkalang (mm ² /mm)	3.15	4D13-150	3.54	OK
BID	700	900	Tumpuan	Atas (mm ²)	2904.75	9D22	3421.19	OK
				Badan (mm ²)	1561.50	6D19	1701.17	OK
				Bawah (mm ²)	2904.75	8D22	3041.06	OK
				Sengkalang (mm ² /mm)	4.19	4D13-100	5.31	OK
			Lapangan	Atas (mm ²)	2904.75	8D22	3041.06	OK
				Badan (mm ²)	1561.50	6D19	1701.17	OK
				Bawah (mm ²)	2904.75	9D22	3421.19	OK
				Sengkalang (mm ² /mm)	2.79	4D13-150	3.54	OK
BIS	600	900	Tumpuan	Atas (mm ²)	3660.50	10D22	3801.33	OK
				Badan (mm ²)	1514.50	6D19	1701.17	OK
				Bawah (mm ²)	2577.25	7D22	2660.93	OK
				Sengkalang (mm ² /mm)	4.39	4D13-100	5.31	OK
			Lapangan	Atas (mm ²)	2577.25	7D22	2660.93	OK
				Badan (mm ²)	1514.50	6D19	1701.17	OK
				Bawah (mm ²)	3466.50	10D22	3801.33	OK
				Sengkalang (mm ² /mm)	2.93	4D13-150	3.54	OK

BK1	600	750	Tumpuan	Atas (mm ²)	2210.50	9D19	2551.76	OK
				Badan (mm ²)	1401.00	8D16	1608.50	OK
				Bawah (mm ²)	2210.50	8D19	2268.23	OK
				Sengkalang (mm ² /mm)	3.16	3D13-100	3.98	OK
			Lapangan	Atas (mm ²)	2210.50	8D19	2268.23	OK
				Badan (mm ²)	1401.00	8D16	1608.50	OK
				Bawah (mm ²)	2210.50	9D19	2551.76	OK
				Sengkalang (mm ² /mm)	2.11	3D13-150	2.65	OK
BK2	450	700	Tumpuan	Atas (mm ²)	2307.00	9D19	2551.76	OK
				Badan (mm ²)	505.00	4D16	804.25	OK
				Bawah (mm ²)	1307.50	5D19	1417.64	OK
				Sengkalang (mm ² /mm)	4.12	4D13-100	5.31	OK
			Lapangan	Atas (mm ²)	1310.00	5D19	1417.64	OK
				Badan (mm ²)	505.00	4D16	804.25	OK
				Bawah (mm ²)	1307.50	6D19	1701.17	OK
				Sengkalang (mm ² /mm)	2.75	4D13-150	3.54	OK
BK3	400	600	Tumpuan	Atas (mm ²)	1495.25	6D19	1701.17	OK
				Badan (mm ²)	386.50	2D16	402.12	OK
				Bawah (mm ²)	993.25	4D19	1134.11	OK
				Sengkalang (mm ² /mm)	2.58	4D10-100	3.14	OK
			Lapangan	Atas (mm ²)	993.25	4D19	1134.11	OK
				Badan (mm ²)	386.50	2D16	402.12	OK
				Bawah (mm ²)	993.25	5D19	1417.64	OK
				Sengkalang (mm ² /mm)	1.72	4D10-150	2.09	OK
BK4	900 - 500	900 - 500	Tumpuan	Atas (mm ²)	4363.25	12D22	4561.59	OK
				Badan (mm ²)	2440.50	10D19	2835.29	OK
				Bawah (mm ²)	3647.25	10D22	3801.33	OK
				Sengkalang (mm ² /mm)	3.92	4D13-100	5.31	OK
			Lapangan	Atas (mm ²)	3268.25	9D22	3421.19	OK
				Badan (mm ²)	2440.50	10D19	2835.29	OK
				Bawah (mm ²)	3268.25	10D22	3801.33	OK
				Sengkalang (mm ² /mm)	2.61	4D13-150	3.54	OK
BK5	700 - 300	700 - 300	Tumpuan	Atas (mm ²)	2303.75	9D19	2551.76	OK
				Badan (mm ²)	453.50	4D16	804.25	OK
				Bawah (mm ²)	1281.75	5D19	1417.64	OK
				Sengkalang (mm ² /mm)	2.11	3D10-100	2.36	OK
			Lapangan	Atas (mm ²)	1507.75	6D19	1701.17	OK
				Badan (mm ²)	453.50	4D16	804.25	OK
				Bawah (mm ²)	1108.75	7D19	1984.70	OK
				Sengkalang (mm ² /mm)	1.41	3D10-150	1.57	OK
SF	300	450	Tumpuan	Atas (mm ²)	634.75	4D16	804.25	OK
				Badan (mm ²)	223.50	2D13	265.46	OK
				Bawah (mm ²)	797.75	4D16	804.25	OK
				Sengkalang (mm ² /mm)	2.38	4D10-100	3.14	OK
			Lapangan	Atas (mm ²)	677.75	4D16	804.25	OK
				Badan (mm ²)	223.50	2D13	265.46	OK
				Bawah (mm ²)	786.75	4D16	804.25	OK
				Sengkalang (mm ² /mm)	1.59	4D10-150	2.09	OK
BA5	500	600	Tumpuan	Atas (mm ²)	1572.75	7D19	1984.70	OK
				Badan (mm ²)	1145.50	6D16	1206.37	OK
				Bawah (mm ²)	1572.75	6D19	1701.17	OK
				Sengkalang (mm ² /mm)	5.93	5D13-100	6.64	OK
			Lapangan	Atas (mm ²)	1572.75	6D19	1701.17	OK
				Badan (mm ²)	1145.50	6D16	1206.37	OK
				Bawah (mm ²)	1572.75	7D19	1984.70	OK
				Sengkalang (mm ² /mm)	3.95	5D13-150	4.42	OK

Tabel 2. Rekapitulasi Perancangan Kolom

Kolom	b (mm)	h (mm)	Posisi	As perlu (mm ²)	Tulangan terpasang	As pasang As pas > As perlu	Cek
K1	1000	1000	Longitudinal	(mm ²) 19686.00	41D25	20125.83	OK
			Senggang	(mm ² /mm) 3.99	D16-100	10.32	OK
K2A	900	900	Longitudinal	(mm ²) 18022.00	37D25	18162.33	OK
			Senggang	(mm ² /mm) 3.53	D16-110	5.03	OK
K2B	900	900	Longitudinal	(mm ²) 12363.00	26D25	16889.20	OK
			Senggang	(mm ² /mm) 2.74	D13-90	4.47	OK
K3A	800	800	Longitudinal	(mm ²) 13765.00	29D25	14235.34	OK
			Senggang	(mm ² /mm) 2.60	D13-100	3.32	OK
K3B	800	800	Longitudinal	(mm ²) 9339.00	20D25	9817.48	OK
			Senggang	(mm ² /mm) 1.99	D13-130	2.95	OK
K4A	700	700	Longitudinal	(mm ²) 10362.00	22D25	10799.22	OK
			Senggang	(mm ² /mm) 1.93	D13-130	2.95	OK
K4B	700	700	Longitudinal	(mm ²) 6937.00	19D22	7222.52	OK
			Senggang	(mm ² /mm) 1.38	D10-110	1.43	OK

Hasil rekapitulasi perancangan kolom dan balok pada Tabel 1 dan 2 menunjukkan bahwa semua jenis kolom dan balok telah memenuhi persyaratan luas penampang (As) pasang lebih besar dibandingkan dengan luas penampang (As) perlu. Sehingga bangunan Mall Bali Galeria dapat menahan kondisi lingkungan dan beban dengan aman dan efisien. Metode LRFD, yang dipilih dalam penelitian ini, memberikan kerangka kerja untuk merancang bangunan dengan memperhatikan aspek keamanan dan kestabilan, serta menangani ketidakpastian dalam beban dan ketahanan material.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis struktur dan perancangan elemen struktur yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan penting terkait perencanaan elemen struktur pada pembangunan Mall Bali Galeria. Untuk elemen struktur plat atap dak, perencanaan dilakukan dengan menetapkan tebal plat dan jenis penulangan yang digunakan. Plat atap dak S1 direncanakan dengan ketebalan 10 cm dan penulangan menggunakan 1 layer wiremesh M8, sementara plat atap dak S2 direncanakan dengan ketebalan 12 cm dan penulangan menggunakan 2 layer wiremesh M8.

Selanjutnya, perencanaan elemen struktur kolom dan balok juga telah ditentukan. Kolom K1 direncanakan dengan diameter 1000 mm dan konfigurasi tulangan 41D25, sedangkan kolom K2a direncanakan dengan diameter 900 mm dan konfigurasi tulangan 37D25, dan kolom K2b dengan diameter 900 mm dan konfigurasi tulangan 26D25. Untuk elemen balok, dimensi yang direncanakan adalah BK1 dengan ukuran 600x750 mm, BK2 dengan ukuran 450x700 mm, dan BK3 dengan ukuran 400x600 mm.

Perencanaan pondasi pada pembangunan Mall Bali Galeria juga telah ditentukan secara rinci. Pondasi F1 dan F2 terdiri dari 2 buah bored pile dengan diameter 30 cm dan dimensi pilecap 1000x1200 mm. Sementara itu, pondasi F3 dan F4 juga terdiri dari 2 buah bored pile dengan diameter yang sama, yaitu 30 cm, namun dengan dimensi pilecap yang lebih besar, yakni 1200x1500 mm. Perencanaan ini bertujuan untuk memastikan kekuatan dan kestabilan struktur bangunan yang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. M. Karim, E. S. Permana, and Y. Yulianto, "Analisis Struktur Pembangunan Pasar Ampara Menggunakan Metode LRFD," *MESA (Teknik Mesin, Teknik Elektro, Teknik Sipil, Teknik Arsitektur)*, vol. 7, no. 2, 2023, doi: 10.35569/ftk.v7i2.1991.
- [2] D. D. Pranowo, E. Widawati, and A. DeFretes, "Re-disain profil baja pada sistem portal frame bangunan Laboratorium Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Banyuwangi," *Journal Of Civil Engineering And Infrastructure Technology*, vol. 3, no. 1, 2024.

- [3] H. Siregar, M. Aswin, and B. Syam, "Evaluasi Reliabilitas Model Struktur dan Level Kinerja dari Bangunan Baja Eksisting Akibat Beban Gempa," *Action Research Literate*, vol. 8, no. 3, 2024, doi: 10.46799/ar.v8i3.319.
- [4] D. P. Herucahyo, E. Purwanto, and A. Supriyadi, "Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Bertingkat Terhadap Gempadengan Analisis Respon Spektrum Dan Riwayat Waktu Menggunakan ETABS. Studi Kasus: Rumah Sakit UNS," *Matriks Teknik Sipil*, 2015.
- [5] D. N. N. Alfia Nur Rahmawati, "Perencanaan Struktur Atas Gedung Rusunawa Universitas Bojonegoro 6 (Enam) Lantai," *De'Teksi Jurnal Teknik Sipil Unigoro*, vol. 6, no. 2, 2021.
- [6] S. Mentari, "Respon Struktur Gedung Bertingkat Banyak Dengan Layout Persegi Panjang Menggunakan Dinding Geser di Perimeter Bagian Luar Dan Bagian Dalam," *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 16, no. 2, 2020, doi: 10.28932/jts.v16i2.2772.
- [7] H. Yanuar Tabar, "Analisis Perbandingan Struktur Atas Dengan Struktur Gabungan Pada Perancangan Struktur Menara Suar Yang Dikombinasikan Dengan Vts (Vessel Traffic Services) Tanjung Jabung," *Jurnal Sosial Teknologi*, vol. 2, no. 10, 2022, doi: 10.59188/jurnalsostech.v2i10.433.
- [8] R. Wagiri, R. Frans, H. T. Kalangi, and S. Thioritz, "Perancangan Aplikasi Perhitungan Balok Kolom Baja Berbasis Antarmuka Pengguna Grafis," *JNSTA ADPERTISI JOURNAL*, vol. 2, no. 1, 2022.
- [9] A. Hafid, D. Salimi, Ewitha, and S. H. Nur, "Analysis and Design of Crane Beam of Experimental Power Plant Turbine Building," in *Journal of Physics: Conference Series*, 2019. doi: 10.1088/1742-6596/1198/8/082031.
- [10] F. A. B. Susilo, Sulardi, and S. Pramono, "Perencanaan Struktur Gedung Tahan Gempa Menggunakan Metode Sistem Ganda (Dual System) pada Studi Kasus Rusun Pik-Pulo Gadung," *Journal Of Social Science Research*, vol. 3, no. 5, 2023.
- [11] M. Y. Zachari and G. Turuallo, "Analisis Struktur Baja Tahan Gempa dengan Sistem SRPMK (Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus) Berdasarkan SNI 1729:2015 dan SNI 1726:2012," *Rekonstruksi Tadulako: Civil Engineering Journal on Research and Development*, 2020, doi: 10.22487/renstra.v1i2.24.
- [12] I. S. Fajarani and I. G. L. B. Eratodi, "Evaluasi Perencanaan Struktur Komposit Menggunakan Metode Load Resistance Factor Design (LRFD) Pada Gedung C Undiknas Denpasar," *Telsinas*, vol. 3, no. 1, 2020.
- [13] I. W. Giatmajaya, I. G. O. Darmayasa, and N. K. S. Astaty Sukawati, "Perencanaan Struktur Komposit Baja-Beton Dengan Metode Lrfd (Load And Resistance Factor Design) Ruang Kelas Lantai Iii Smk Pariwisata Labuan Bajo – Flores – Ntt," *Jurnal Ilmiah Vastuwidya*, vol. 3, no. 2, 2020, doi: 10.47532/jiv.v3i2.214.
- [14] F. Harjanto, D. Rofiyantama, and M. P. Maharani, "Komparasi Analisis Bangunan Pengaman Lereng Menggunakan Metode Load Resistance Factor Design Dan Allowable Stress Design," *Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur*, vol. 30, no. 1, 2025, doi: 10.36728/jtsa.v30i1.4366.
- [15] B. P. N. Moedjiono, T. Sundari, and ..., "Perencanaan Ulang Struktur Bangunan Atas Baja Pada Gedung 7 Lantai Menggunakan Metode Load Resistance Factor Design," ... *dan Aplikasi Teknik ...*, 2024.

STABILISASI SWELLING VOLUMETRIK (3D) TANAH LEMPUNG EKSPANSIF TIPE SANGAT TINGGI DENGAN LUMPUR LAPINDO

Sikstalia Darmayanti^{1*}, Agus Tugus Sudjianto², Mohammad Cakrawala³

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

*Email Korepondensi: siskafebrin03@gmail.com

ABSTRAK

Tanah lempung ekspansif adalah jenis tanah yang memiliki sifat kembang susut yang sangat tinggi. Volume pori tanah lempung ekspansif akan mengalami pembesaran ketika terjadi musim kemarau sehingga akan terjadi proses penyusutan, sedangkan volume tanah akan mengalami pengembangan ketika terjadi musim hujan. Pada tanah lempung ekspansif permasalahan yang sering terjadi adalah proses kembang-susut tanah. Peristiwa kembang-susut yang sangat tinggi pada tanah lempung ekspansif bisa mengakibatkan kerusakan pada jalan raya dan bangunan ringan. Untuk memperbaiki tanah lempung ekspansif bisa dilakukan dengan metode stabilisasi tanah secara kimiawi dengan memanfaatkan lumpur lapindo. Pada penelitian ini akan menggunakan lumpur lapindo sebagai bahan stabilisasi swelling volumetrik (3D) tanah lempung ekspansif di daerah kecamatan Tirtoyudo. Komposisi campuran lumpur lapindo dan tanah lempung ekspansif yang akan digunakan adalah Tanah 100% + lumpur lapindo 0%, tanah 95% + lumpur lapindo 5%, tanah 90% + lumpur lapindo 10%, tanah 85% + lumpur lapindo 15% dan tanah 80% + lumpur lapindo 20%. Pengujian yang dilakukan pada tanah lempung ekspansif Tirtoyudo meliputi uji sifat fisis, sifat mekanis dan uji swelling volumetrik (3D). Dari penelitian yang telah dilaksanakan didapat nilai swelling volumetrik tanah lempung ekspansif dengan penambahan lumpur lapindo 0%, 5%, 10%, 15% dan 20%, nilai swelling volumetrik yang dihasilkan adalah 38,12%, 18,29%, 12,15%, 11,95%, dan 6,54%. Untuk mendapatkan nilai optimum dari uji swelling volumetrik(3D) dapat dilakukan menggunakan perhitungan regresi linear berganda sehingga mendapatkan hasil yaitu 16,99%.

Kata kunci : Stabilisasi Tanah, Sifat Fisis, Sifat Mekanis, Swelling Volumetrik, Lumpur Lapindo.

ABSTRACT

Expansive clay soil is a type of soil that has very high swelling and shrinking properties. The pore volume of expansive clay soil will increase during the dry season, causing shrinkage, while the soil volume will expand during the rainy season. A common problem with expansive clay soil is soil swelling and shrinking. The extremely high expansion and contraction of expansive clay soil can cause damage to roads and light buildings. To improve expansive clay soil, chemical soil stabilization methods can be used by utilizing Lapindo mud. In this study, Lapindo mud will be used as a material for volumetric (3D) swelling stabilization of expansive clay soil in the Tirtoyudo subdistrict. The composition of the mixture of Lapindo mud and expansive clay soil to be used is 100% soil + 0% Lapindo mud, 95% soil + 5% Lapindo mud, 90% soil + 10% Lapindo mud, 85% soil + 15% Lapindo mud, and 80% soil + 20% Lapindo mud. The tests conducted on the expansive clay soil of Tirtoyudo included physical properties, mechanical properties, and volumetric swelling tests (3D). From the research that has been conducted, the volumetric swelling values of expansive clay soil with the addition of 0%, 5%, 10%, 15%, and 20% Lapindo mud were obtained, with the resulting volumetric swelling values being 38.12%, 18.29%, 12.15%, 11.95%, and 6.54%. To obtain the optimum value from the volumetric swelling test (3D), multiple linear regression calculations can be used to obtain a result of 16.99%.

Keywords : Soil Stabilization, Physical Properties, Mechanical Properties, Volumetric Swelling, Lapindo Mudflow.

1. PENDAHULUAN

Tanah lempung ekspansif adalah tanah yang dapat mengakibatkan terjadinya kerusakan pada konstruksi bangunan. Tanah lempung ekspansif ini memiliki potensi kembang-susut yang tinggi, apabila terjadi perubahan kadar air [1]. Sifat kembang susut ini berhubungan langsung dengan kadar mineral lempung naik, maka luas permukaan akan naik, sehingga potensi kembang-susut akan naik [2]. Untuk memperbaiki tanah lempung ekspansif bisa dilakukan dengan cara stabilisasi tanah dengan memanfaatkan lumpur Lapindo [3]. Kandungan silika (SiO_2) yang lebih tinggi dari semen namun kandungan kapurnya (CaO) lebih rendah dari semen [4]. Kandungan silika berfungsi sebagai material pengisi (*filler*), Sedangkan kandungan kapur berperan dalam proses pengikatan. CaO tersebut bisa membuat perbaikan terhadap sifat-sifat tanah khususnya tanah yang memiliki ukuran diameter butiran halus seperti tanah lempung ekspansif. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui persentase campuran optimum Lumpur Lapindo terhadap swelling volumetrik pada tanah lempung ekspansif.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Tanah

Tanah adalah lapisan permukaan bumi yang berasal dari material induk yang telah mengalami proses lanjut, karena perubahan alami dibawah pengaruh air, udara, dan macam-macam organisme baik yang masih hidup maupun yang telah mati. Tingkat perubahan terlihat pada komposisi, struktur dan warna hasil pelapukan [5].

Tanah dalam berbagai jenis pekerjaan teknik sipil di pakai untuk material bangunan, selain itu juga memiliki peranan sebagai daya dukung pondasi bangunan [6]. Oleh karena itu, seorang engineering teknik sipil harus bisa memahami sifat-sifat dasar yang dimiliki oleh tanah seperti daya rembesan, kekuatan geser, dan kemampuan daya dukung akibat pembebanan bangunan.

2.2 Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah membagi tanah ke dalam kelompok dan sub-kelompok yang didasarkan pada karakteristik teknik (*engineering properties*) seperti distribusi ukuran butiran, batas cair, dan batas plastis [7]. Menurut (Sudjianto, 2021) partikel tanah tersusun oleh salah satu atau semua jenis partikel yaitu Berangkal (*boulders*), Kerikil (*gravel*), Pasir (*sand*), Lanau (*silt*), Lempung (*clay*), Koloid (*colloid*) [9].

2.3 Stabilisasi Tanah

Proses stabilisasi tanah meliputi pencampuran tanah dengan tanah lain untuk memperoleh gradasi yang diinginkan, atau pencampuran tanah dengan bahan tambahan buatan pabrik, sehingga sifat-sifat teknis tanah menjadi lebih baik [10], [11]. Guna mengubah sifat-sifat teknis dari tanah, seperti: daya dukung, kompresibilitas, permeabilitas, workability, potensi pengembangan dan sensitifitas terhadap perubahan kadar air, maka dapat dilakukan dengan cara penanganan dari yang paling mudah, seperti pemadatan sampai teknik yang lebih mahal, seperti: mencampur tanah dengan renolith, semen, kapur, abu terbang (*fly ash*), injeksi semen (*grouting*) dan lain-lain [12].

2.4 Tanah Lempung Ekspansif

Sebagian jenis tanah yang mempunyai kemampuan kembang susut yang tinggi merupakan tanah yang bisa mengalami proses transformasi volume secara drastis sejalan dengan transformasi kadar airnya. Tanah tipe ini adalah tanah lempung yang memiliki kandungan mineral-mineral yang berpotensi mengembang tinggi. Tanah jenis ini diberi nama sebagai tanah lempung ekspansif [13].

2.5 Penyebaran Tanah Lempung Ekspansif

Penyebaran tanah lempung ekspansif, terdapat di berbagai belahan dunia. Tanah lempung ekspansif pada negara indonesia terdapat di Nusa Tenggara Timur, Pulau Batam dan Pulau Jawa. Terutama pada pulau jawa, tanah lempung ekspansif terdapat di beberapa lokasi seperti di Jawa

Tengah, (Purwodadi, Semarang, Kudus, dan Cepu), Jawa Barat (Cikarang, Cikampek, Bandung dan Serang), Jawa Tengah bagian selatan (Caruban, Ngawi, Solo, Sragen, Jogjakarta dan Wates).

2.6 Klasifikasi Tanah Lempung Ekspansif Mengembang

Pada tanah lempung ekspansif mengembang dibagi menjadi empat tipe, menurut indeks plastisitas yang dimiliki oleh tanah, yaitu Tanah Sangat Mengembang (*Very High Ekspansion Soil*), Tanah Mengembang Tinggi (*High Ekspansion Soil*), Tanah Mengembang Sedang (*Medium Ekspansion Soil*), Tanah Mengembang Rendah (*Low Ekspansion Soil*) [14].

2.7 Mineral Dan Struktur Kristal Tanah Lempung Ekspansif

Mineral lempung terdiri dari silikon, aluminium atau magnesium, oksigen dan hidrogen. Beberapa tanah lempung juga memiliki sodium potasium atau kalsium. Komposisi kimia tersebut sangat rumit, tetapi semua itu dapat dirangkum ke dalam hydrous aluminosilicates. Pada lembar silika, unit dasarnya adalah silika tetrahedron. Pada lembar aluminium atau magnesium, unit dasarnya adalah oktahedron (terdiri dari 8 sisi).

2.8 Kembang Susut Tanah Lempung Ekspansif

Proses mengembang diakibatkan oleh berpindahnya air ke wilayah interlayer, Partikel-partikel lempung mempunyai permukaan yang bermuatan negatif dan kation dapat meresap ke dalam permukaan ini. Kation merupakan interlayer, yang berarti kation adalah susunan ganda pada permukaan lempung [15]. Susunan ganda ini bisa menarik air secara elektrik, setelah itu terletak di dekat partikel lempung yang disebut dengan lapisan air ganda. Efek yang ditimbulkan akibat lapisan ganda ini adalah pada saat partikel saling mendekat, maka lapisan air ganda di tiap-tiap bagian partikel akan mulai saling bertumpuk, membuat dua partikel akan saling menjauhi yang menyebabkan tanah lempung mengembang.

2.9 Lumpur Lapindo

Lumpur lapindo memiliki kandungan silika (SiO_2) yang lebih tinggi dari semen namun kandungan kapurnya (CaO) lebih rendah dari semen. Kandungan silika berfungsi sebagai material pengisi (*filler*), sehingga sangat mendukung sebagai bahan dalam pembuatan batu bata, genteng keramik, paving block dan bahan bangunan lainnya. Sedangkan kandungan kapur berperan dalam proses pengikatan [16].

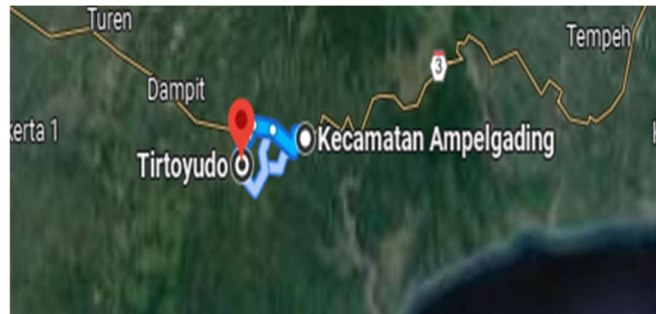
2.10 Swelling Volumetrik

Swelling Volumetrik (3D) ialah uji utama dari penelitian ini dimana pengukuran tanah lempung ekspansif untuk memperoleh besarnya potensi kembang volumetrik dengan menggunakan alat ukur otomatis yaitu jangka sorong digital untuk mengukur tinggi dan diameter Pembengkakan [17].

3. METODE PENELITIAN

3.1 Pengambilan Sampel Penelitian

Pengambilan sampel tanah lempung ekspansif tipe sangat tinggi, diambil secara langsung di daerah Kecamatan Tirtoyudo, Kabupaten Malang, Jawa Timur yang ditampilkan pada Gambar 1. Dipilihnya daerah ini, karena dampak kerusakan konstruksi jalan raya dan bangunan akibat tanah lempung ekspansif yang sangat dirasakan oleh masyarakat dan pengguna jalan yang melintas di daerah Kecamatan Tirtoyudo.



Gambar 1. Lokasi Pengambilan Sampel Tanah Lempung Ekspansif

3.2 Lokasi Pengambilan Sampel Lumpur Lapindo

Pengambilan sampel Lumpur Lapindo diambil secara langsung di tempatnya di Sidoarjo Jawa Timur. Tanah yang diambil sebanyak 3 karung (150 kg), sudah cukup untuk kebutuhan saat penelitian di Laboratorium. Lokasi pengambilan Lumpur Lapindo terdapat di Renokenongo, Kec. Porong, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur (Gambar 2).



Gambar 2. Lokasi Pengambilan Sampel Lumpur Lapindo

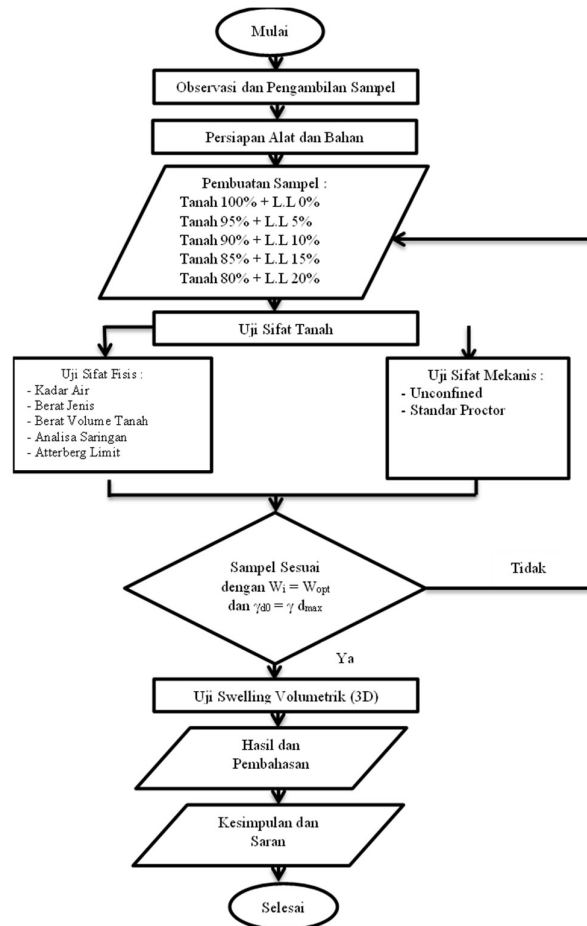
3.3 Persiapan Bahan dan Peralatan Uji di Laboratorium

Mempersiapkan peralatan maupun sampel untuk uji pendahuluan maupun uji utama di Laboratorium Mekanika Tanah, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Widyagama Malang. Benda uji adalah tanah asli dan tanah campuran tanah asli dengan umpur lapindo dibuat dengan komposisi seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Campuran Tanah dan Lumpur Lapindo

Sampel	Persentase Campuran				
	100%	95%	90%	85%	80%
Tanah	100%	95%	90%	85%	80%
L. Lapindo	0%	5%	10%	15%	20%

Pada penelitian ini pengujian yang di lakukan pada tanah lempung ekspansif meliputi uji sifat fisis (kadar air, berat jenis, berat volume tanah, Analisa ayakan dan *atterbeg limit*) dan sifat mekanis meliputi (*unconfined* dan standar proctor). Kegiatan ini mulai dari proses pengumpulan data, pengolahan, analisis data dan cara pengambilan keputusan secara umum. Secara ringkas tahapan penelitian ini mulai dari awal sampai akhir seperti pada Gambar 3 di bawah.



Gambar 3. Diagram Aliran Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian sifat fisis dan sifat mekanis tanah asli dan tanah campuran seperti pada Tabel 2 dan Tabel 3. Hasil uji sifat fisis tanah asli memperlihatkan bahwa tanah lempung Tirtoyudo merupakan tanah lempung ekspansif dengan kategori sangat tinggi, dengan $IP > 34,28$ dengan daya dukung tanah yang rendah, dengan nilai Q_u sebesar $0,318 \text{ kg/cm}^2$.

Tabel 2. Hasil Pengujian Tanah Asli

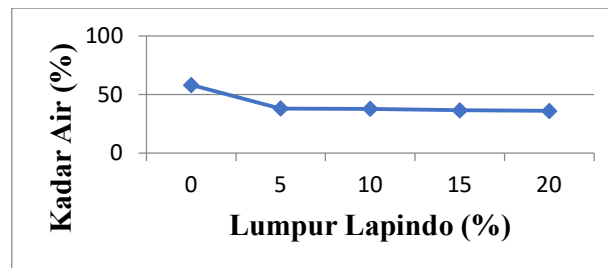
No	Properties		Tanah Tirtoyudo
1	Kadar Air (%)		58,13
2	Berat Jenis		2,560
3	Berat Volume Tanah	$\gamma_w (\text{gr/cm}^3)$	1,69
		$\gamma_d (\text{gr/cm}^3)$	1,54
4	Batas Atterberg	Batas Cair (%)	79,01
		Batas Plastis (%)	44,73
		Indeks Plastisitas (%)	34,28
5	<i>Unconfined</i>	$Q_u (\text{kg/cm}^2)$	0,147
		<i>Unit Strain</i>	0,557
6	<i>Standar Proctor</i>	Woptimum (%)	46,91
		$\gamma_{dmax} (\text{gr/cm}^3)$	0,861
7	Swelling		38,12
8	Klasifikasi	Sistem Unified	CH

Tabel 3. Hasil Pengujian Tanah Campuran Lumpur Lapindo

Berat Isi (gr/cm ³)					Batas Atterberg (%)			Unconfined (kg/cm ²)		Standar proctor		swelling
Sampel Tanah	W(%)	GS	Γ_w	γ_d	LL	PL	PI	Qu	Strain	Wopt (%)	$\gamma_{dma} \times$ (gr/cm ³)	
T 95% + LL 5%	37,13	3,23	1,44	1,31	82,22	46,67	35,56	0,224	0,423	45,19	0,857	18,29
T 90 % + LL 10%	37,76	3,24	1,45	1,27	72,22	55,00	17,22	0,249	0,347	39,24	0,840	12,15
T 85+ LL 15%	36,50	3,24	1,40	1,26	79,37	63,33	16,03	0,314	0,353	38,47	0,936	11,95
T 80+ LL 20%	35,97	3,25	1,31	1,27	68,89	53,57	15,32	0,318	0,433	37,58	0,943	6,54

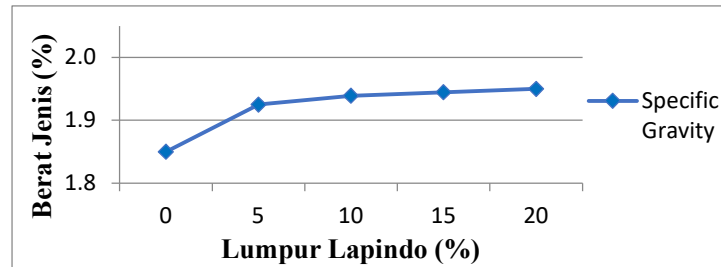
4.1 Pengujian Kadar Air

Pada Gambar 4, pengaruh lumpur lapindo terhadap kadar air disimpulkan bahwa semakin tinggi campuran lumpur Lapindo maka semakin rendah nilai kadar air tanah. Kadar air tanah asli adalah 58,13 %, setelah mencampurkan tanah dengan lumpur Lapindo 5% dapat menurunkan kadar air tanah asli menjadi 37,96%, pada campuran lumpur Lapindo 10% dapat menurunkan kadar air tanah asli hingga 37,76%, pada campuran lumpur Lapindo 15% dapat menurunkan kadar air pada tanah asli sebesar 36,50% dan 20% pada campuran lumpur Lapindo dapat menurunkan kadar air pada tanah asli sebesar 35,97%.

**Gambar 3.** Grafik pengaruh lumpur lapindo terhadap kadar air

4.2 Pengujian Berat Jenis

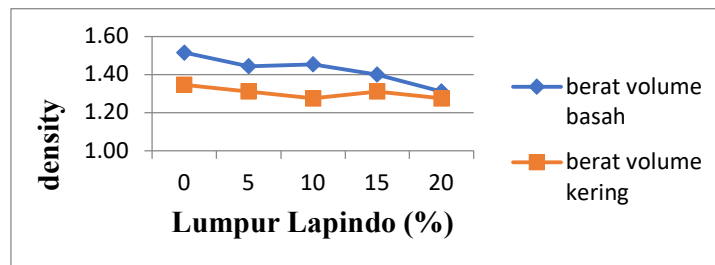
Dari Gambar 5, pengaruh Lumpur Lapindo berat jenis dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi presentase Lumpur Lapindo maka semakin tinggi nilai berat jenis tanah. Berat jenis tanah asli sebesar 1,80, setelah tanah dicampur dengan lumpur Lapindo 5% mampu meningkatkan berat jenis tanah asli menjadi 3,23, pada campuran lumpur Lapindo 10% mampu meningkatkan berat jenis tanah asli menjadi 3,24, pada Campuran Lumpur Lapindo 15% mampu meningkatkan berat jenis tanah asli menjadi 3,24, dan pada campuran Lumpur Lapindo 20% mampu meningkatkan berat jenis tanah asli menjadi 3,25.



Gambar 4. Grafik Pengaruh Lumpur Lapindo Terhadap Berat Jenis

4.3 Pengujian Berat Volume Tanah

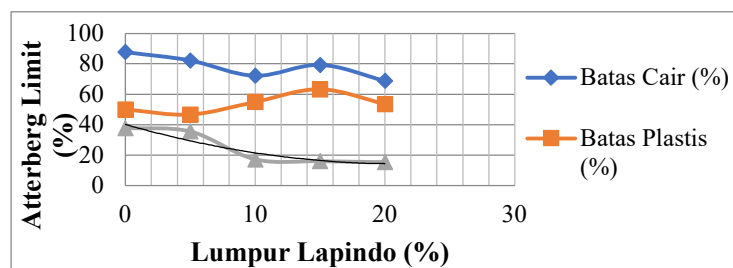
Dari grafik Lumpur Lapindo terhadap densitas dapat disimpulkan bahwa pengaruh campuran Lumpur Lapindo terhadap berat volume tanah kering dan basah menghasilkan nilai yang bervariasi dari atas ke bawah. Tanah dasar memiliki berat jenis kering 1,35 (gr/cm³) dan berat jenis basah 1,52 (gr/cm³). Pencampuran tanah dengan Lumpur Lapindo 5% bisa menurunkan berat jenis kering tanah asli 1,31 (gr/cm³) dan berat jenis tanah asli meningkat sebesar 1,44 (gr/cm³), campuran Lumpur Lapindo dari 10% mengalami penurunan berat jenis kering tanah asli menjadi 1,27 (gr/cm³) dan berat jenis basah tanah asli meningkat sebesar 1,45 (gr/cm³), campuran Lumpur Lapindo sebesar 15% dapat mengurangi berat jenis kering tanah asli sebesar 1,26 (gr/cm³) dan berat jenis basah tanah asli berkurang 1,40 (gr/cm³), dan Campuran Lumpur Lapindo 20% mampu menurunkan berat volume kering tanah asli sebesar 1,27 (gr/cm³) dan berat volume basah tanah asli turun sebesar sebesar 1,31 (gr/cm³).



Gambar 5. Grafik Pengaruh Lumpur Lapindo Terhadap Berat Volume

4.4 Pengujian Atterberg Limit

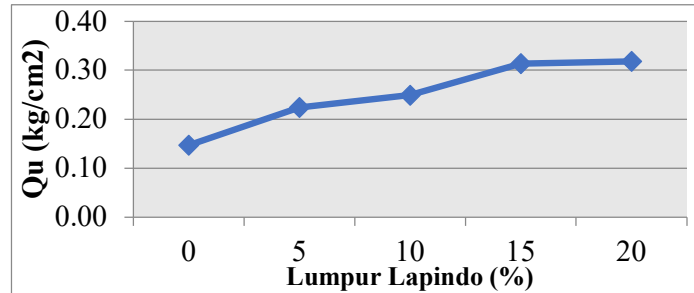
Dari grafik pengaruh Lumpur Lapindo terhadap atterberg limit dapat disimpulkan bahwa pengaruh campuran Lumpur Lapindo terhadap indeks plastisitas dapat menurunkan nilai IP tanah asli. Indeks plastis tanah asli sebesar 37,78%, setelah tanah dicampur dengan Lumpur Lapindo sebesar 5% mampu menurunkan IP tanah asli menjadi 35,56%, pada campuran Lumpur Lapindo sebesar 10% mampu menurunkan IP tanah asli tersebut menjadi 17,22%, pada campuran Lumpur Lapindo 15% mampu menurunkan IP tanah asli tersebut menjadi 16,03%, dan pada campuran Lumpur Lapindo 20% mampu menurunkan IP tanah asli tersebut menjadi menjadi 15,32%.



Gambar 6. Grafik Pengaruh Lumpur Lapindo Terhadap Atterberg

4.5 Pengujian Unconfined

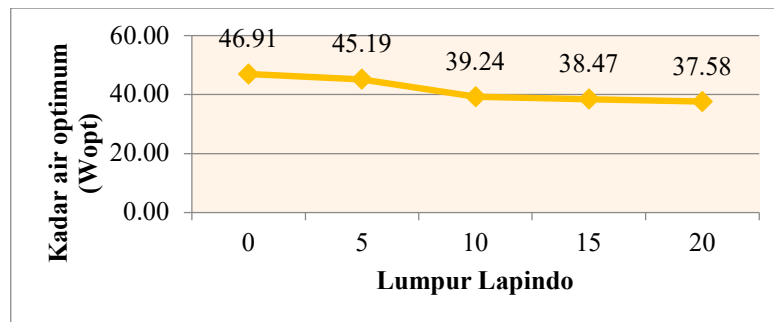
Dari grafik pengaruh Lumpur Lapindo terhadap unconfined dapat disimpulkan bahwa pengaruh campuran Lumpur Lapindo terhadap kuat tekan bebas relatif bisa meningkatkan Q_u tanah asli. Q_u tanah asli sebesar 0,147kg/cm², setelah tanah dicampur dengan Lumpur Lapindo sebesar 5% mampu meningkatkan Q_u tanah asli menjadi 0,224kg/cm², pada campuran Lumpur Lapindo sebesar 10% mampu meningkatkan Q_u tanah asli menjadi 0,249kg/cm², pada campuran Lumpur Lapindo 15% mampu meningkatkan Q_u tanah asli tersebut menjadi 0,314kg/cm², dan pada campuran Lumpur Lapindo 20% mampu meningkatkan Q_u tanah asli menjadi 0,318 kg/cm².



Gambar 7. Grafik Pengaruh Lumpur Lapindo Terhadap Unconfined

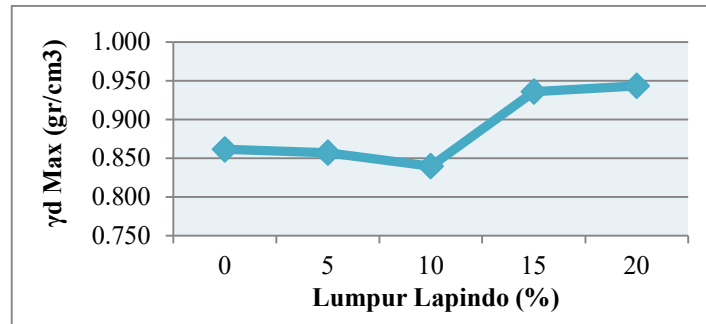
4.6 Pengujian Standar Proctor

Dari grafik dapat disimpulkan bahwa pengaruh campuran lumpur lapindo terhadap W_{opt} dapat menurunkan W_{opt} tanah asli sebesar 46,91%, setelah tanah dicampur dengan lumpur lapindo sebesar 5% mampu menurunkan W_{opt} tanah asli menjadi 45,19%, pada campuran lumpur lapindo sebesar 10% mampu menurunkan W_{opt} tanah asli tersebut menjadi 39,24%, pada campuran lumpur lapindo 15% mampu menurunkan W_{opt} tanah asli tersebut menjadi 38,47%, dan pada campuran lumpur lapindo 20% mampu menurunkan W_{opt} tanah asli tersebut menjadi 37,58%.



Gambar 8. Pengaruh Lumpur Lapindo Terhadap Kadar Air Optimum

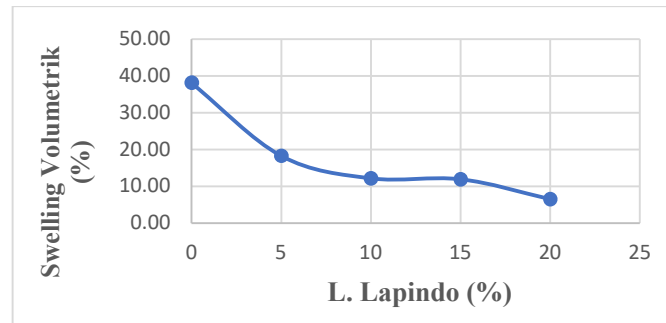
Dari grafik pengaruh Lumpur Lapindo terhadap berat volume kering maksimum disimpulkan bahwa pengaruh campuran Lumpur Lapindo terhadap berat volume kering maximum relatif bisa menaikkan γ_{dmax} tanah asli. W_{opt} tanah asli sebesar 0,861%, setelah tanah dicampur dengan Lumpur Lapindo sebesar 5% mampu menurunkan W_{opt} tanah asli menjadi 0,857%, pada campuran Lumpur Lapindo sebesar 10% mampu menurunkan W_{opt} tanah asli tersebut menjadi 0,840%, pada campuran Lumpur Lapindo 15% mampu meningkatkan W_{opt} tanah asli tersebut menjadi 0,936%, dan pada campuran Lumpur Lapindo 20% mampu meningkatkan W_{opt} tanah asli tersebut menjadi 0,943%.



Gambar 9. Pengaruh L. Lapindo Terhadap Berat Kering Max

4.7 Swelling Volumetrik

Dari grafik pengaruh Lumpur Lapindo terhadap swelling volumetrik dapat disimpulkan bahwa Lumpur Lapindo bisa menurunkan swelling volumetrik tanah lempung ekspansif Tirtoyudo. Swelling arah volumetrik tanah asli sebesar 38,12%, jika tanah dicampur dengan Lumpur Lapindo sebesar 5% mampu menurunkan swelling arah volumetrik tanah asli menjadi 18,29%, pada campuran Lumpur Lapindo sebesar 10% mampu menurunkan swelling arah volumetrik tanah asli menjadi 12,15%, pada campuran Lumpur Lapindo 15% mampu menurunkan swelling arah volumetrik tanah asli menjadi 11,95%, dan pada campuran Lumpur Lapindo 20% mampu menurunkan swelling arah volumetrik tanah asli menjadi 6,54%.



Gambar 10. Pengaruh Lumpur Lapindo Terhadap Swelling Volumetrik

4.8 Analisis Regresi Linear Berganda

Berikut ini untuk mencari campuran optimum dengan menggunakan Regresi linear berganda yang meropidan model regresi yang melibatkan lebih dari satu variabel independen. Analisis regresi linear berganda dilakukan untuk mengetahui arah dan seberapa besar pengaruh variabel independen terhadap variabel dependen. Perhitungan regresi linear berganda yaitu untuk mengetahui kadar optimum dari swelling volumetric di bawah.

Tabel 4. Rencana Acak Berkelompok

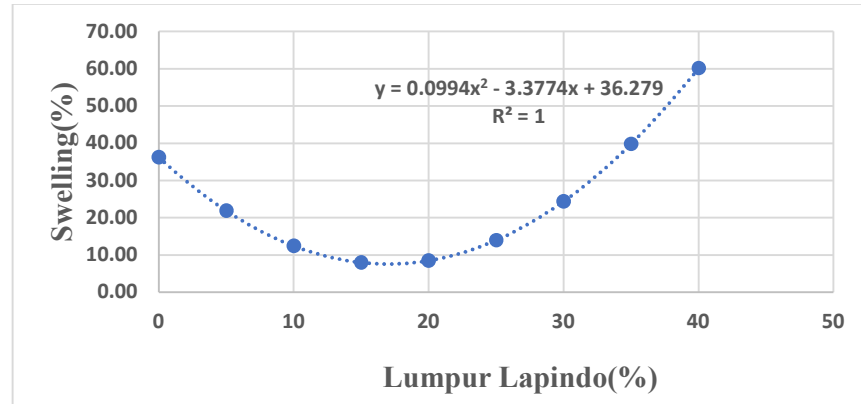
X	X ²	Y
0	0	38,12
5	25	18,29
10	100	12,15
15	225	11,95
20	400	3,94

X = Komposisi campuran lumpur Lapindo

Y = Hasil pengujian

Dari data pengujian swelling diatas maka akan dilakukan pengujian regresi seperti dibawah ini:

$$\begin{aligned}
 Y &= 0,099371 x^2 - 3,3774 x + 36,279 \\
 Dy/dx &= 0 \\
 Dy/dx &= 0,198742 x - 3,3774 x \\
 0,198742 x &= -3,3774 x \\
 X &= \frac{-3,3774}{-0,198742} \\
 X &= 16,99\% \text{ campuran optimum}
 \end{aligned}$$



Gambar 11. Grafik Hasil Uji Regresi Linear Berganda

Dari hasil perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa nilai campuran optimum dari pengujian swelling volumetrik yaitu 16,99 %.

5. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan yaitu pengaruh pencampuran Lumpur Lapindo terhadap stabilisasi swelling volumetrik (3D) tanah lempung ekspansif dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu pencampuran Lumpur Lapindo mempengaruhi sifat fisis dan mekanis tanah lempung ekspansif. Semakin bertambahnya persentase campuran Lumpur Lapindo maka kadar air akan mengalami penurunan. Hasil uji kadar air tanah asli sebesar 58,13% dan mengalami penurunan paling tinggi pada campuran Lumpur Lapindo 20% sebesar 35,97% kadar air sedangkan semakin bertambahnya presentase campuran lumpur lapindo maka berat jenis tanah akan mengalami peningkatan. Berat jenis tanah asli sebesar 1,80% dan mengalami peningkatan paling tinggi pada campuran lumpur Lapindo 20% sebesar 3,25%. Pada uji atterberg limit Lumpur Lapindo mampu menurunkan indeks plastisitas tanah. Indeks plastisitas tanah asli sebesar 37,78% dan mengalami penurunan paling tinggi pada campuran Lumpur Lapindo 20% yaitu 15,32%. Sedangkan pada sifat mekanis tanah, campuran Lumpur Lapindo bisa menaikkan nilai kuat tekan bebas, nilai kuat tekan bebas pada tanah asli sebesar 0,147 kg/cm² dan mengalami kenaikan paling tinggi pada campuran Lumpur Lapindo 20% sebesar 0,318 kg/cm².

Hasil pengujian pengaruh Lumpur Lapindo terhadap swelling volumetrik dapat menurunkan swelling volumetrik tanah lempung ekspansif Tirtoyudo. Swelling arah volumetrik tanah asli sebesar 38,12%, setelah tanah dicampur dengan Lumpur Lapindo sebesar 5% mampu menurunkan swelling arah volumetrik tanah asli menjadi 18,29%, pada campuran Lumpur Lapindo sebesar 10% mampu menurunkan swelling arah volumetrik tanah asli menjadi 12,15%, pada campuran Lumpur Lapindo 15% mampu menurunkan swelling arah volumetrik tanah asli menjadi 11,95%, dan pada campuran Lumpur Lapindo 20% mampu menurunkan swelling arah volumetrik tanah asli menjadi 6,54%. Dari uji swelling volumetrik (3D) menggunakan perhitungan regresi linear berganda tanah lempung ekspansif yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa nilai campuran optimum dari pengujian swelling volumetrik yaitu 16,99 %.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Suherman, "Potensi Sifat Ekspansif Tanah Kelempungan," *Jurnal Jalan Dan Jembatan*, vol. 22, no. 2, 2005.
- [2] A. T. Sudjianto, *Tanah Ekspansif Karakteristik dan Pengukuran Perubahan Volume*, vol. 1, no. December. 2015.
- [3] A. T. Sudjianto, A. Halim, O. Gembiranto, and S. H. Susilo, "Comparison of Fly Ash With Lapindo Mud as a Land Stabilizer for Landfill in Pasuruan-Indonesia," *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 3, 2021, doi: 10.15587/1729-4061.2021.234518.
- [4] L. J. Somalinggi, F. Phengkarsa, and L. Febriani, "Pengaruh Limbah Karbit / Calcium Carbit Sebagai Bahan Substitusi Semen Pada Beton," *Paulus Civil Engineering Journal*, vol. 2, no. 4, 2021, doi: 10.52722/pcej.v2i4.187.
- [5] D. Panguriseng, *Dasar-Dasar Teknik Perbaikan Tanah*. 2017.
- [6] H. C. Hardiyatmo, "Mekanika Tanah I Jilid III," *Gadjah Mada University Press*, 2002.
- [7] A. T. Sudjianto, "Mekanika Tanah 1 Konsep Dasar dan Pengukuran Laboratorium," *Malang. Intimedia*, 2020.
- [8] A. D. Oemata, "Pengaruh Pencampuran Limbah Karbit Terhadap Stabilisasi Swelling Volumetrik (3d) Tanah Lempung Ekspansif Skripsi," *Universitas Widyagama, Malang*, p. 6, 2021.
- [9] N. Fauzan and N. Andajani, "Pengaruh Penambahan Limbah Karbit Terhadap Daya Dukung Pondasi Dangkal Pada Tanah Lempung Ekspansif Di Daerah Driyorejo Gresik," *Rekayasa Teknik Sipil Vol.*, vol. vol 1, no. No.1, 2017.
- [10] I. N. Amarullah and M. Zardi, "Pengaruh Penambahan Limbah Karbit Terhadap Stabilisasi Tanah Daerah Rawa," 2019.
- [11] A. Diki Oematan, A. Tugas Sudjianto, and Riman, "Pengaruh Pencampuran Limbah Karbit Terhadap Stabilisasi Swelling Volumetrik (3D) Tanah Lempung Ekspansif," *BOUWPLANK Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Lingkungan*, vol. 1, no. 2, 2022, doi: 10.31328/bouwplank.v1i2.221.
- [12] G. Maulana and I. N. Hamdan, "Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif Menggunakan Campuran Renolith dan Kapur," *Reka Racana Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*, vol. 2, no. 4, pp. 11–21, 2016.
- [13] N. Budiman, "Pengaruh Penambahan Abu Ampas Tebu Terhadap Sifat Fisik Dan Sifat Mekanik Tanah Lempung Ekspansif," *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, vol. 17, no. 1, 2013.
- [14] 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.
- [15] A. Tugas Sudjianto, K. Basah Suryolelono, A. Rifa'I, and I. B Mochtar, "Pengaruh Perubahan Kadar Air Dan Suction Terhadap Perilaku Kembang Volumetrik Tanah Lempung Ekspansif," *Dinamika TEKNIK SIPIL*, vol. 11, no. 1, 2011.
- [16] F. Soehardi, F. Lubis, and L. D. Putri, "Stabilisasi Tanah Dengan Variasi Penambahan Kapur dan Waktu Pemeraman," *Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil dan Perencanaan (KN-TSP)*, 2017.
- [17] Machfud Ridwan and Nur Fauziah, "Pengaruh Penambahan Limbah Karbit Terhadap Potensial Swelling Pada Tanah Lempung Ekspansif Di Daerah Driyorejo Gresik," *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil*, vol. 3, no. 3, 2017.

PENGARUH PENAMBAHAN FLY ASH DAN SIKA TERHADAP KUAT TEKAN DAN MODULUS ELASTISITAS BETON NORMAL

Ferdinandus Ardian Raydais^{1*}, Candra Aditya², Abdul Halim³

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

*Email Korespondensi: raydaisardy@gmail.com

ABSTRAK

Perkembangan rekayasa teknologi semakin maju disegala bidang, salah satunya yaitu perkembangan teknologi beton. Hal ini karena beton merupakan salah satu bahan konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pembangunan. Beton merupakan bahan campuran antara semen, agregat kasar, agregat halus, air dengan atau tanpa bahan tambahan (admixture). Dalam penelitian ini peneliti mencoba eksperimen dengan menggunakan bahan tambah fly ash dan sika untuk campuran beton. Dengan memanfaatkan ampas batu bara yang sangat menumpuk yaitu fly ash. Fly ash adalah limbah industri yang dihasilkan dari pembakaran batu bara dan terdiri dari partikel halus. *Sikacim Concrete Additive* berfungsi menambah kekuatan beton. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui seberapa besar pengaruh fly ash terhadap kuat tekan beton dan modulus elastisitas. Metode yang digunakan dalam penelitian ini merupakan metode eksperimen pengamatan secara langsung di laboratorium untuk mendapatkan data. Menganalisis dan observasi menggunakan metode statistik dengan menggunakan metode uji Anova *Single Factor* dan dihitung menggunakan *Microsoft Excel*. Dari hasil penelitian beton segar dan beton normal dengan umur beton 28 hari mendapatkan kuat tekan tertinggi dengan nilai 18,19 MPa pada komposisi dengan proporsi fly ash 15% dan sika 3% dari kuat tekan beton normal dengan nilai 17,1 MPa. Dan nilai modulus elastisitas tertinggi 20430.3 MPa pada komposisi dengan proporsi fly ash 15% dan sika 3% dari nilai modulus elastisitas beton normal dengan nilai 19306.3 MPa.

Kata Kunci : Fly Ash, Sika, Bahan Tambah, Beton Segar dan Beton Normal

ABSTRACT

Technological engineering developments are advancing in all fields, one of which is the development of concrete technology. This is because concrete is one of the most widely used construction materials in building. Concrete is a mixture of cement, coarse aggregate, fine aggregate, water, with or without additives (admixture). In this study, the researchers conducted experiments using fly ash and sika additives for concrete mixtures. Fly ash is a highly accumulated coal waste product. Fly ash is an industrial waste product resulting from coal combustion and consists of fine particles. Sikacim Concrete Additive serves to increase the strength of concrete. The purpose of this study was to determine the extent of fly ash's effect on concrete compressive strength and elastic modulus. The method used in this study was a direct observation experiment in the laboratory to obtain data. Analysis and observation were carried out using statistical methods with the Single Factor ANOVA test and calculated using Microsoft Excel. From the results of research on fresh concrete and normal concrete with a concrete age of 28 days, the highest compressive strength was obtained with a value of 18.19 MPa in a composition with a fly ash proportion of 15% and sika 3% from the compressive strength of normal concrete with a value of 17.1 MPa. The highest elastic modulus value of 20430.3 MPa was obtained in the composition with a fly ash proportion of 15% and sika 3% from the elastic modulus value of normal concrete with a value of 19306.3 MPa.

Keywords: Fly Ash, Sika, Additives, Fresh Concrete and Normal Concrete

1. PENDAHULUAN

Perkembangan rekayasa teknologi semakin maju disegala bidang, salah satunya yaitu perkembangan teknologi beton. Hal ini karena beton merupakan salah satu bahan konstruksi yang paling banyak digunakan dalam pembangunan [1]. Dalam penelitian ini peneliti mencoba eksperimen dengan menggunakan bahan tambah salah satunya untuk campuran beton adalah dengan memanfaatkan ampas batu bara yang sangat menumpuk yaitu fly ash dan sika [2]. Fly ash adalah limbah industri yang dihasilkan dari pembakaran batu bara dan terdiri dari partikel halus dan *sikacim concrete Additive* yang berfungsi menambah kekuatan beton [3]. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh penambahan fly ash dan sika terhadap nilai slump, mengetahui seberapa pengaruh penambahan fly ash dan sika terhadap kuat tekan beton, dan menganalisis pengaruh penggunaan Fly Ash dan Sika pada terhadap nilai modulus elastisitas.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi beton

Beton adalah campuran dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolik, agregat kasar, agregat halus, air, dan bahan tambah yang bervariasi mulai dari bahan tambah kimia, serta non kimia dengan bahan bangunan non-kimia pada perbandingan tertentu [4]. Beton yang merupakan salah satu material penting dari sebuah bangunan selain karena kemudahan dalam mendapatkan material penyusunnya, hal itu juga disebabkan oleh penggunaan tenaga yang cukup besar sehingga dapat mengurangi masalah dalam penyediaan lapangan kerja [5]. Hal yang menjadi pertimbangan pada proses produksinya berupa kekuatan tekan yang tinggi dan kemudahan pengerjaannya, serta kelangsungan proses pengadaan beton [6].

2.2 Beton Segar

Beton segar yang bagus ialah beton segar yang mudah dapat diaduk, diangkut, dituang, dipadatkan, tidak ada kecenderungan untuk terjadi *segregasi* (pemisahan kerikil dari adukan) maupun *bleeding* (pemisahan air dan semen dari adukan) [7]. Hal ini diakibatkan butiran yang lebih kecil mengisi rongga antara butiran yang lebih besar, sehingga pori-porinya jadi lebih sedikit dan beton mempunyai kemapatan yang besar [8]. Beton (beton keras) yang baik adalah beton yang kuat, tahan lama / awet, kedap air, tahan aus, dan sedikit mengalami perubahan volume (kembang susunya kecil).

2.3 Beton Normal

Beton merupakan bahan dari campuran antara Portland cement, agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), air sebagai pengikat dan pengisi antara agregat kasar dan agregat halus serta sewaktu-waktu ditambahkan additive[9]. Beton normal adalah beton yang mempunyai berat isi 2200 kg/m³ sampai dengan 2500 kg/m³ dan dibuat dengan menggunakan campuran antara semen portland atau semen hidrolis yang lain, agregat halus, agregat kasar, dan air dengan atau tanpa bahan tambahan, membentuk massa yang padat, kuat, dan stabil [10].

2.4 Kuat Tekan

. Kuat tekan beton adalah besarnya beban persatuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin uji tekan [11]. Kuat tekan beton merupakan sifat terpenting dalam kualitas beton disbanding sifat-sifat lain, kekuatan beton ditentukan oleh pengaturan dari perbandingan semen, agregat kasar, dan agregat halus, air [12]. Beban tekan maksimal pada saat benda pengujian retak bagi luas penampang benda uji sebagai nilai kuat tekan beton yang menyatakan dalam MPa atau kg/cm². Tata cara uji pada umumnya menggunakan Standar ASTM (American Standard Testing of Materials) Rumus yang biasanya dipakai untuk menghitung kuat tekan beton adalah:

$$f'_c = P/A \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan:

f'_c = kuat tekan beton (MPa atau Kg/cm²)
 P = beban maksimum (KN)
 A = luas penampang benda uji (cm²)

2.5 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas didefinisikan sebagai kemiringan dari diagram tegangan-regangan yang masih dalam keadaan elastisitas. Modulus elastisitas yang besar menunjukkan kemampuan menahan tegangan yang cukup besar dalam kondisi regangan yang masih kecil, artinya bahwa beton tersebut mampu menahan tegangan (desak utama) yang cukup besar akibat beban-beban yang terjadi pada suatu regangan (sebagai kemampuan terjadi retak) kecil, Modulus elastisitas suatu benda didefinisikan sebagai kemiringan dari kurva tegangan-regangan di wilayah deformasi elastis[13].

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots \dots \dots (2)$$

di mana:

E = modulus elastisitas (MPa),

ϵ = regangan aksial,

σ = tegangan aksial (MPa)

2.6 Abu Terbang (Fly Ash)

Fly ash atau biasa disebut sebagai abu terbang merupakan material yang memiliki ukuran butiran yang halus berwarna keabu – abuan dan diperoleh dari hasil pembakaran batubara[14]. Karena fly ash berasal dari limbah batu bara maka faktor – faktor yang mempengaruhi sifat fisik, kimia dan teknis dari *fly ash* adalah tipe batubara, kemurnian batubara, tingkat penghancuran, tipe pemanasan dan operasi[15].

2.7 Sikacim Concrete Additive

Superlasticizer Sikacim ialah suatu zat kimia yang berfungsi mempercepat pengerasan pada beton dengan mengurangi penggunaan air dalam campuran beton [16]. *Sikacim Concrete Additive* merupakan cairan yang ditambah ke dalam campuran beton selama pengadukan dengan tujuan untuk mengubah sifat adonan betonnya [17]. *Sikacim Concrete Additive* memiliki pengaruh yang besar dalam meningkatkan *workability* dalam pengerjaan beton dan kedekatan terhadap air

3. METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi penelitian

Pengujian material dan pengujian kuat tekan beton dan modulus elastisitas dilakukan di Laboratorium terpadu Universitas Widyagama Malang, yang berlokasi di Jln. Borobudur No.35 Mojolangu Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur 65142.

3.2 Metode Pengambilan data

Metode penelitian berisikan langkah-langkah penelitian suatu masalah, perkara, gejala atau fenomena dengan jalan ilmiah untuk menghasilkan jawaban yang bisa dipertanggung jawabkan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini merupakan metode eksperimen untuk mendapatkan hasil ataupun data-data yang akan menegaskan hubungan antara variabel-variabel yang diteliti.

3.3 Rancangan Penelitian

Rancangan pada penelitian ini dilaksanakan pada cetakan benda uji berbentuk silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. menggunakan komposisi 1 semen, 2 pasir, 3 kerikil dengan bahan tambah fly ash dan sika. Adapun rancangan komposisi penelitian yang akan dilakukan sebagai berikut:

Tabel 1. Rancangan Penelitian

Komposisi					Jumlah Benda Uji
Semen	Pasir	Kerikil	Fly Ash	Sika	Kuat Tekan / Modulus Elastisitas
1	2	3	0%	0%	5
1	2	3	5%	3%	5
1	2	3	10%	3%	5
1	2	3	10%	3%	5

Sumber: Hasil rancangan penelitian

Bahan-bahan yang di gunakan dalam penelitian ini adalah Semen, Pasir, Air, Fly Ash, Sika, adapun alat yang akan di gunakan untuk melaksanakan kegiatan ini adalah Cawan, Timbangan, Oven, Saringan, Mesin Kuat Tekan, Dll.

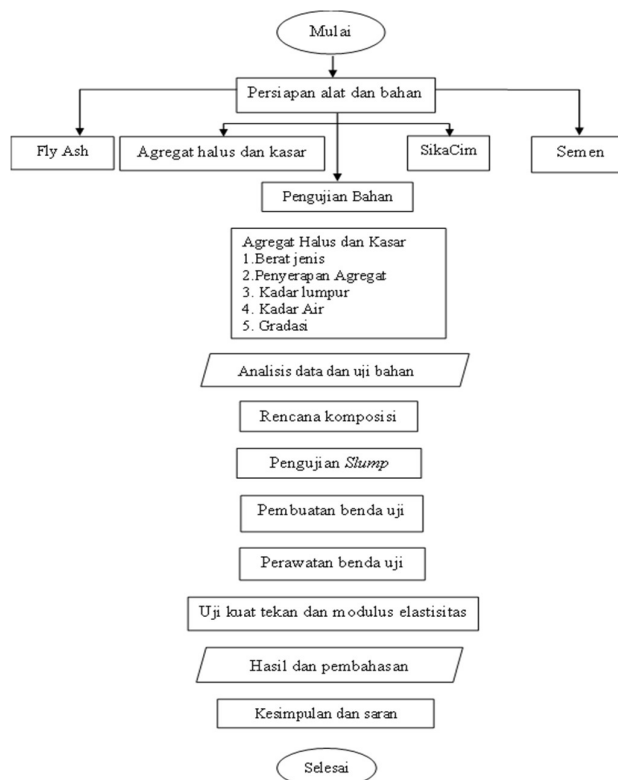
3.4 Prosedur Kerja

Prosedur kerja meliputi Pengujian berat Jenis dan penyerapan air pada agregat halus dan agregat kasar, Pengujian kadar lumpur pada agregat halus, Pemeriksaan kadar air pada agregat halus dan agregat kasar, Pengujian gradasi agregat halus dan agregat kasar

3.5 Pembuatan dan Perawatan Benda Uji

Bahan-bahan dicampur sesuai rencana mulai dari pasir, semen, kerikil, zat sika, dan bahan tambah, lalu air ditambahkan bertahap hingga adukan homogen. Slump adukan diukur, dan jika belum sesuai, campuran dikoreksi dengan menambah air. Setelah slump sesuai, adukan beton dimasukkan ke cetakan silinder dalam 3 tahap, tiap tahap dipadatkan dengan 25 tusukan tongkat baja. Setelah cetakan penuh dan diratakan, disimpan di tempat sejuk selama 24 jam. Setelah itu, benda uji dikeluarkan, diukur, diberi tanda, lalu direndam selama 28 hari untuk perawatan.

3.6 Bagan alir penelitian

**Gambar 1.** Bagan Alir

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Agregat Halus

Tabel 2. Hasil Pengujian Agregat Halus

Nama Pengujian	Hasil Pengujian	Standar SNI	Keterangan
Kadar Air (%)	0,018	-	
Kadar Lumpur (%)	0,541	Maksimal 5%	Memenuhi syarat
Berat Jenis (g/cm ³)	2,56	-	
Penyerapan Air (%)	0,020	-	
Modulus Halus Butir (%)	2,920	1,5% - 3,5%	Memenuhi syarat
Berat Jenis SSD (g/cm ³)	2,551	-	
Berat Jenis Bulk (g/cm ³)	2,500	-	
Berat Jenis Semu (g/cm ³)	2,634	-	

Sumber: pengujian bahan 2024

4.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar

Tabel 3. Hasil Pengujian Agregat Halus

Nama Pengujian	Hasil Pengujian	Standar SNI	Keterangan
Kadar Air (%)	0,008	-	
Berat Jenis (g/cm ³)	2,135	-	
Penyerapan Air (%)	0,069	-	
Modulus Halus Butir(%)	1,773	1,5% - 3,5%	Memenuhi syarat
Berat Jenis SSD (g/cm ³)	2,121	-	
Berat Jenis Bulk (g/cm ³)	1,985	-	
Berat Jenis Semu (g/cm ³)	2,298	-	

Sumber: pengujian bahan 2024

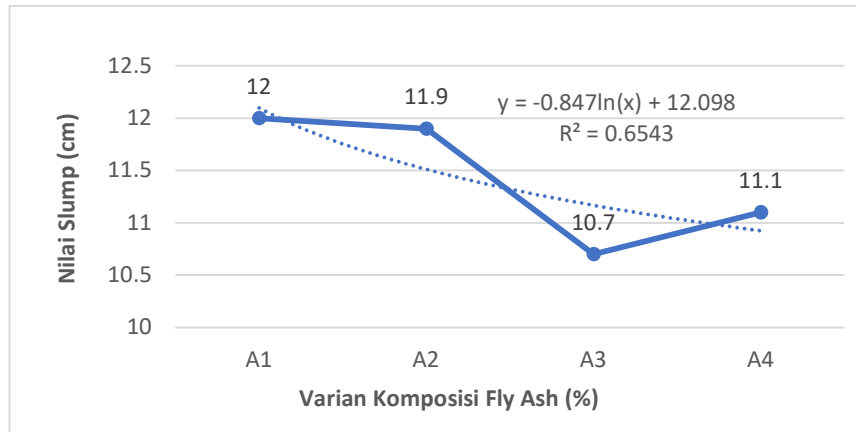
4.3 Hasil Pengujian Slump

Tabel 4. Hasil Pengujian Slump

KODE	KOMPOSISI					
	Semen	Pasir	Kerikil	Fly Ash (%)	Sika (%)	Slump (cm)
A1	1	2	3	0	0	12
A2	1	2	3	5	3	11,9
A3	1	2	3	10	3	10,7
A4	1	2	3	15	3	11,1

Sumber: pengujian bahan 2024

Dari hasil perhitungan pada tabel 4 maka di dapatkan grafik nilai slump test dengan beberapa variasi penambahan fly ash sebagai berikut :



Gambar 2. Grafil Slump Test

Hasil dari pengujian slump menunjukkan bahwa komposisi beton dengan bahan tambah fly ash dan sika didapatkan nilai slump tertinggi 12 cm yaitu beton normal dibandingkan dengan komposisi bahan tambah fly ash 5%, 10% dan 15% dengan sika masing-masing 3% nilai slump relatif turun 11,9 cm, 10,7 cm, 11,1 cm dapat dilihat pada Gambar 2.

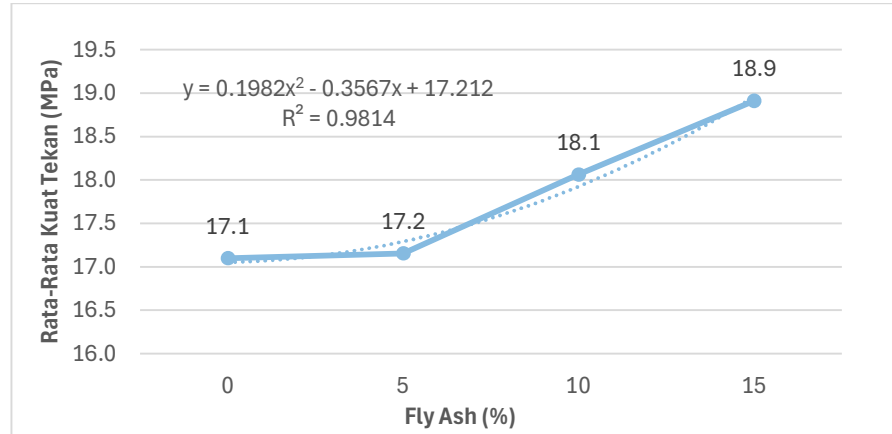
4.4 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Tabel 5. Hasil Pengujian Kuat Tekan

No	Kode Beton	Komposisi	Berat (Kg)	Pmax (KN)	P (N)	Fc (Mpa)	Fcr (Mpa)
1	A1 0%	1 PC : 2 PS : 3 KR	12,5	375	375000	21,2	17,1
2	A1 0%		12,0	260	260000	14,7	
3	A1 0%		12,4	300	300000	17,0	
4	A1 0%		11,9	200	200000	11,3	
5	A1 0%		12,4	375	375000	21,2	
6	A2 FA 5% : SK 3%	1 PC : 2 PS : 3 KR : 5% FA : 3% SK	12,1	320	320000	18,1	17,2
7	A2 FA 5% : SK 3%		12,0	310	310000	17,6	
8	A2 FA 5% : SK 3%		11,8	270	270000	15,3	
9	A2 FA 5% : SK 3%		12,0	300	300000	17,0	
10	A2 FA 5% : SK 3%		12,1	315	315000	17,8	
11	A3 FA 10% : SK 3%	1 PC : 2 PS : 3 KR : 10% FA : 3% SK	12,0	300	300000	17,0	18,1
12	A3 FA 10% : SK 3%		12,2	335	335000	19,0	
13	A3 FA 10% : SK 3%		12,0	320	320000	18,1	
14	A3 FA 10% : SK 3%		12,0	340	340000	19,2	
15	A3 FA 10% : SK 3%		12,1	300	300000	17,0	
16	A4 FA 15% : SK 3%	1 PC : 2 PS : 3 KR : 15% FA : 3% SK	12,1	310	310000	17,6	18,9
17	A4 FA 15% : SK 3%		12,0	335	335000	19,0	
18	A4 FA 15% : SK 3%		12,0	365	365000	20,7	
19	A4 FA 15% : SK 3%		12,3	340	340000	19,2	
20	A4 FA 15% : SK 3%		12,2	320	320000	18,1	

Sumber: pengujian bahan 2024

Dari hasil perhitungan pada Tabel 5 maka di dapatkan grafik antara kadar campuran fly ash dengan kuat tekan sebagai berikut :



Gambar 3. Grafik Kuat Tekan

Hasil pengujian beton dengan umur 28 hari menunjukkan kuat tekan pada beton normal mendapatkan 17,1 MPa. dibandingkan dengan komposisi penambahan fly ash 5%, 10% dan 15% dengan sika 3% mendapatkan kuat tekan rata-rata pada komposisi dengan proporsi fly ash 15% dan sika 3% adalah kuat tekan tertinggi dengan nilai 18,9 MPa dapat dilihat pada Gambar 3.

Tabel 6. Hasil Rancangan Acak Kelompok Kuat Tekan Dengan Bahan Penambah

A1 0%	A2 FA 5% : SK 3%	A3 FA 10% : SK 3%	A4 FA 15% : SK 3%
21,2314	18,1175	16,9851	17,5513
14,7205	17,5513	18,9667	18,9667
16,9851	15,2866	18,1175	20,6653
11,3234	16,9851	19,2498	19,2498
21,2314	17,8344	16,9851	18,1175

Sumber: pengujian bahan 2024

Berdasarkan Tabel 7 Hasil rancangan acak kelompok diperoleh dari data anova Anova: Single Factor sebagai berikut:

Tabel 7. Anova Single Factor Kuat Tekan

SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance
A1 0%	5	85.49186129	17.09837226	18.29538573
A2 FA 5% : SK 3%	5	85.77494692	17.15498938	1.266172118
A3 FA 10% : SK 3%	5	90.30431706	18.06086341	1.137952157
A4 FA 15% : SK 3%	5	94.55060156	18.91012031	1.418433322

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	11.04294	3	3.68098139	0.665700483	0.58523	3.23887152
Within Groups	88.47177	16	5.529485833			
Total	99.51472	19				

Hipotesis:

H0 : Sika sebagai bahan penambah tidak berpengaruh signifikan terhadap kuat tekan beton

H1 : Sika sebagai penambah berpengaruh terhadap kenaikan kuat tekan beton

H0 = $\alpha < P\text{-Value}$

$$H1 = \alpha > P\text{-Value}$$

$$\alpha = 0,05 < P\text{-Value} = 0,58$$

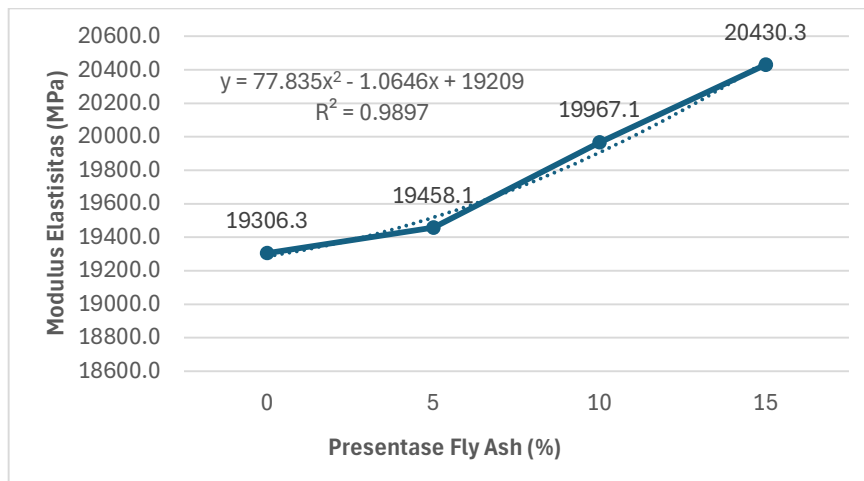
4.5 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas

Tabel 8. Perhitungan Modulus Elastisitas

No	Komposisi	Beban	Perpan-jangan	Tegangan	Regangan	Ec	Ec Rata- rata
		P	ΔL	Σ	ϵ	Mpa	Mpa
1	1 PC : 2 PS : 3 KR	375	21	0,02123	0,08077	21656,457	19306,3
2		260	16	0,01472	0,06154	18032,604	
3		300	24	0,01699	0,09231	19370,124	
4		200	24	0,01132	0,09231	15815,640	
5		375	21	0,02123	0,08077	21656,457	
6	1 PC : 2 PS : 3 KR : 5% FA : 3% SK	320	30	0,01812	0,11538	20005,378	19458,1
7		310	34	0,01755	0,13077	19690,313	
8		270	39	0,01529	0,15000	18376,113	
9		300	22	0,01699	0,08462	19370,124	
10	1 PC : 2 PS : 3 KR : 10% FA : 3% SK	315	38	0,01783	0,14615	19848,471	19967,1
11		300	12	0,01699	0,04615	19370,124	
12		335	28	0,01897	0,10769	20468,884	
13		320	10	0,01812	0,03846	20005,378	
14		340	20	0,01925	0,07692	20621,072	
15	1 PC : 2 PS : 3 KR : 15% FA : 3% SK	300	10	0,01699	0,03846	19370,124	20430,3
16		310	29	0,01755	0,11154	19690,313	
17		335	20	0,01897	0,07692	20468,884	
18		365	23	0,02067	0,08846	21365,753	
19		340	25	0,01925	0,09615	20621,072	
20		320	37	0,01812	0,14231	20005,378	

Sumber: pengujian bahan 2024

Dari hasil perhitungan pada Tabel 8 maka di dapatkan grafik antara presentase fly ash dengan modulus elastisitas sebagai berikut :



Gambar 4. Grafik Modulus Elastisitas

Pada Gambar 5 Menunjukkan bahwa tanpa penambah fly ash dan sika mendapatkan nilai modulus elastisitas 19306,3 MPa dan pada komposisi fly ash 5%, 10% dan sika 3% masing-masing mendapatkan nilai modulus elastisitas 19458,1 MPa, 19967,1 Mpa yaitu nilai rata-rata tertinggi pada komposisi dengan fly ash 15% dan sika 3% mendapatkan nilai 20430,3 MPa.

Tabel 9. Hasil Rancangan Acak Kelompok Modulus Elastisitas Dengan Bahan Penambah

A1 0%	A2 FA 5% : SK 3%	A3 FA 10% : SK 3%	A4 FA 15% : SK 3%
21656,4568	20005,3779	19370,1239	19690,3129
18032,6040	19690,3129	20468,8844	20468,8844
19370,1239	18376,1130	20005,3779	21365,7530
15815,6399	19370,1239	20621,0715	20621,0715
21656,4568	19848,4706	19370,1239	20005,3779

Sumber: pengujian bahan 2024

Berdasarkan Tabel 11 Hasil rancangan acak kelompok diperoleh dari data anova Anova: Single Factor sebagai berikut:

Tabel 10. Anova Single Factor Modulus Elastisitas

SUMMARY						
Groups	Count	Sum	Average	Variance		
A1 0%	5	96531.28142	19306.25628	6214389.345		
A2 FA 5% : SK 3%	5	97290.39821	19458.07964	421065.1972		
A3 FA 10% : SK 3%	5	99835.58161	19967.11632	348423.1526		
A4 FA 15% : SK 3%	5	102151.3997	20430.27995	410273.625		
ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	3927534.807	3	1309178.269	0.708223682	0.561052094	3.238872
Within Groups	29576605.28	16	1848537.83			
Total	33504140.09	19				

Hipotesis:

H0 : Sika sebagai penambah tidak berpengaruh signifikan terhadap modulus elastisitas

H1 : Sika sebagai penambah berpengaruh terhadap modulus elastisitas

H0 : $\alpha < P\text{-Value}$

H1 : $\alpha > P\text{-Value}$

$\alpha = 0,05 > P\text{-Value} = 0.561$

5. KESIMPULAN

Penambahan fly ash sebesar 5%, 10%, dan 15% dengan penggunaan sika 3% terbukti memengaruhi sifat beton segar dengan menurunkan nilai slump dibandingkan beton normal, yang disebabkan oleh ukuran partikel fly ash yang lebih halus sehingga campuran menjadi lebih kaku dan workability menurun. Namun demikian, hasil analisis ANOVA menunjukkan bahwa penurunan nilai slump tersebut tidak berbeda signifikan secara statistik antar variasi campuran. Pada beton keras, penambahan fly ash dan sika memberikan kecenderungan peningkatan sifat mekanik, ditunjukkan oleh kenaikan kuat tekan beton masing-masing sebesar 0,33%, 5,33%, dan 9,58% dibandingkan beton normal dengan kuat tekan 17,1 MPa, meskipun secara statistik tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan berdasarkan hasil uji ANOVA. Hal serupa juga terjadi pada modulus elastisitas, di mana penambahan fly ash 5%, 10%, dan 15% pada sika 3% menghasilkan peningkatan sebesar 0,78%, 3,31%, dan 5,50% dari nilai beton normal 19,2 MPa, namun perbedaannya tidak signifikan secara statistik karena nilai F-hitung lebih kecil dari F-critical dan p-value lebih besar dari 0,05. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan persentase fly ash dengan sika 3% cenderung meningkatkan kinerja mekanik beton tanpa memberikan perbedaan yang signifikan secara statistik antar variasi campuran.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Hadori, Y. Pranoto, and T. E. Sutarto, "Pengujian Kuat Tekan Beton dengan Penambahan Fly Ash dan Admixture Superplasticizer," *Politeknik Negeri Samarinda*, vol. VII, no. 1, pp. 50–55, 2015.
- [2] M. Ulul Azmi, "Pengaruh Penambahan Superplasticizer Sika Viscocrete 1003 Untuk Mencapai Kuat Tekan Awal Tinggi Beton," vol. 1, pp. 1–10, 2020.
- [3] M. A. Sultan, I. Imran, and M. Faujan, "PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH PEMBAKARAN BATUBARA (FLY ASH) Ex PLTU RUM PADA CAMPURAN BETON," *Teras Jurnal*, vol. 9, no. 2, p. 83, 2019, doi: 10.29103/tj.v9i2.186.
- [4] R. S. Fani, "Pengaruh Penambahan Limbah Serbuk Kayu Sebagai Substitusi Parsial Agregat Halus Dengan Bahan Tambah Am 78 Concrete Additive Terhadap Kuat Tekan Beton," *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik [JIMT]*, vol. 1, no. 1, 2021.
- [5] A. Zade, "Eksperimen beton mutu tinggi berbahan fly ash sebagai pengganti sebagian semen," *Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil*, 2018.
- [6] T. Mulyono, "Teknologi Beton (Yogyakarta: CV. Andi Offset)," 2005.
- [7] Y. Ardiwinata, "Studi Pengaruh Tiga Metode Pemadatan Beton Segar Terhadap Kuat Tekan dan Segregasi Beton dengan Mutu Beton K-300 ($f_c'=24,9$ MPa)," *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, vol. 3, no. 1, pp. 407–412, 2015.
- [8] A. B. Umar and R. Trimurtiningrum, "PENGARUH GRADASI AGREGAT TERHADAP KARAKTERISTIK FISIK DAN MEKANIK BETON," *Journal of Sciencetech Research and Development*, vol. 5, no. 2, pp. 580–591, 2023.
- [9] Y. D. Setiyarto, "Pengaruh Penggunaan Zat Epoxy Terhadap Kuat Tekan Beton Normal," *CRANE: Civil Engineering Research Journal*, vol. 3, no. 1, pp. 12–21, 2022.
- [10] E. Hunggurami, M. E. Bolla, and P. Messakh, "Perbandingan Desain Campuran Beton Normal Menggunakan SNI 03-2834-2000 dan SNI 7656:2012," *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 6, no. 2, pp. 165–172, 2017.
- [11] M. Zardi, C. Rahmawati, and T. K. Azman, "Pengaruh Persentase Penambahan Sika Viscocrete-10 Terhadap Kuat Tekan Beton," *Jurnal Teknik Sipil Unaya*, vol. 2, no. 1, pp. 13–24, 2019, doi: 10.30601/jtsu.v2i1.18.
- [12] A. Hadori, Y. Pranoto, and T. E. Sutarto, "Pengujian Kuat Tekan Beton dengan Penambahan Fly Ash dan Admixture Superplasticizer," *Politeknik Negeri Samarinda*, vol. VII, no. 1, pp. 50–55, 2015.
- [13] W. A. Prakayuda, A. Halim, and C. Aditya, "Pengaruh penambahan damdex pada campuran beton terhadap kuat tekan dan modulus elastisitas beton," *BOUWPLANK Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Dan Lingkungan*, vol. 1, no. 2, pp. 40–47, 2021.
- [14] Y. ' . Afrianda, A. ' . Kurniawandy, and Z. ' . Djauhari, "Pengaruh Abu Dasar (Bottom Ash) sebagai Bahan Substitusi Pasir pada Sebagian Sifat Beton Segar dan Beton Keras," *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau*, vol. 3, no. 1, pp. 1–8, 2016.
- [15] R. M. Mohamad, A. Rachman, and R. Mointi, "Kuat tekan beton untuk mutu tinggi 45 MPa dengan fly ash sebagai bahan pengganti sebagian semen," *Radial*, vol. 8, no. 1, pp. 25–33, 2020.
- [16] M. Jamal, M. Widiastuti, and A. T. Anugrah, "Pengaruh Penggunaan Sikacim Concrete Additive Terhadap Kuat Tekan Beton Dengan Menggunakan Agregat Kasar Bengalon Dan Agregat Halus Pasir Mahakam," *Prosiding Seminar Nasional Teknologi IV*, no. November, pp. 28–36, 2017.
- [17] N. Lia Wahyuni, N. Rasidi, M. Manajemen Rekayasa Konstruksi, J. Teknik Sipil, P. Negeri Malang, and D. Jurusan Teknik Sipil, "Analisis Pengaruh Penambahan Sikacim Concrete Additive Dan Kapur Pada Beton Normal," vol. 3, no. 2, pp. 125–130, 2022.

ANALISIS RUAS JALAN SAYUNG TEMU DI KABUPATEN BENGKAYANG AKIBAT PEMBEBANAN KENDARAAN

Enos Mawarta Darma^{1*}, Aji Suraji², Abdul Halim³

¹PUPR, Kabupaten Bengkayang

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

*Email Korespondensi: enosmawarta9@gmail.com

ABSTRAK

Ruas Jalan Sayung Temu menghubungkan Kota Bengkayang dan berfungsi sebagai jalur utama untuk penyaluran hasil pertanian dan angkutan galian C. Untuk mendukung perkembangan ekonomi daerah, dibutuhkan infrastruktur transportasi yang memadai. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak pembebanan kendaraan terhadap konstruksi jalan. Analisis dilakukan dengan observasi langsung pada ruas jalan Sayung Temu dan merujuk pada manual desain perkerasan jalan MDP 2024 dan MKJI 2023. Hasil penelitian menunjukkan data Lalu lintas harian rata-rata (LHR) pada ruas jalan Sayung Temu adalah 1350 SMP/hari dan volume Lalu Lintas yang tercatat pada ruas jalan Sayung Temu adalah 112 SMP/jam dengan kapasitas jalan 2524 SMP/jam. Berdasarkan perhitungan derajat kejenuhan, nilai yang diperoleh adalah 0,04 dengan Tingkat Pelayanan A. Evaluasi CESA menunjukkan nilai 119.880,60, yang penting untuk menilai ketahanan dan kebutuhan perawatan jalan. Ketebalan perkerasan jalan terdiri dari HRS-WC 5 cm, LFA Kelas A 15 cm, dan LFA Kelas B 15 cm.

Kata kunci : Beban Kendaraan, Volume Lalu Lintas, Kapasitas Ruas Jalan, CESA (*Cumulative Equivalent Single Axle Load*)

ABSTRACT

The Sayung Temu Road connects Bengkayang City and serves as the main route for the distribution of agricultural products and quarry transportation. To support regional economic development, adequate transportation infrastructure is needed. This study aims to analyze the impact of vehicle loading on road construction. The analysis was conducted through direct observation of the Sayung Temu road section and referred to the MDP 2024 and MKJI 2023 road pavement design manuals. The results of the study show that the average daily traffic (ADT) on the Sayung Temu road section is 1350 SMP/day and the recorded traffic volume on the Sayung Temu road section is 112 SMP/hour with a road capacity of 2524 SMP/hour. Based on the degree of saturation calculation, the value obtained is 0.04 with a Service Level of A. The CESA evaluation shows a value of 119,880.60, which is important for assessing road durability and maintenance needs. The pavement thickness consists of HRS-WC 5 cm, LFA Class A 15 cm, and LFA Class B 15 cm.

Keywords : *Vehicle Load, Traffic Volume, Road Section Capacity, CESA (Cumulative Equivalent Single Axle Load)*

1. PENDAHULUAN

Kabupaten Bengkayang, yang terletak di Provinsi Kalimantan Barat, Indonesia, merupakan hasil pemekaran dari Kabupaten Sambas sesuai dengan amanat Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1999 tentang Pembentukan Daerah Otonom. Dengan luas wilayah 5.396,30 km² dan jumlah penduduk mencapai 293.101 jiwa pada akhir 2023, Bengkayang memiliki posisi strategis karena berbatasan langsung dengan negara bagian Sarawak, Malaysia. Letak geografis ini menjadikan Bengkayang memiliki potensi besar dalam pengembangan ekonomi, perdagangan lintas batas, serta sektor pariwisata.

Seiring dengan upaya pemerintah daerah dalam mendorong pertumbuhan ekonomi, kebutuhan akan infrastruktur yang memadai, khususnya di bidang transportasi, menjadi sangat penting. Salah satu akses vital di wilayah ini adalah Ruas Jalan Sayung Temu, yang berfungsi sebagai jalur utama bagi masyarakat Kecamatan Teriak untuk terhubung dengan pusat Kota Bengkayang. Jalur ini juga menjadi penghubung penting dalam distribusi hasil pertanian dan material galian C, yang memiliki peran signifikan dalam mendukung perekonomian lokal. Pembangunan infrastruktur yang baik sangat penting dalam menunjang kenyamanan dan efisiensi transportasi, sehingga dapat meningkatkan aksesibilitas dan mobilitas masyarakat [1]. Hal ini sejalan dengan pendapat Kurniawan (2020) yang menyatakan bahwa prasarana transportasi yang memadai mampu mendorong pertumbuhan ekonomi, mempercepat arus distribusi barang dan jasa, serta berpotensi memajukan sektor pariwisata [2]. Oleh karena itu, peningkatan kualitas infrastruktur jalan di Kabupaten Bengkayang menjadi prioritas utama dalam mendukung pengembangan wilayah secara menyeluruh.

Penelitian yang dilakukan oleh Peneliti di Ruas Jalan Sayung Temu, Kecamatan Teriak Kabupaten Bengkayang ini memiliki tujuan yaitu Untuk mengetahui volume lalu lintas harian rata-rata (LHR) dan kapasitas kendaraan dengan mengetahui kinerja ruas jalan yang di ukur berdasarkan derajat kejenuhan serta untuk mengetahui nilai tebal perkerasan berdasarkan nilai CESA pada ruas jalan Sayung Temu di Kabupaten Bengkayang.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jalan

Jalan adalah prasarana transportasi darat yang mencakup seluruh bagiannya, termasuk bangunan pelengkap, untuk lalu lintas. Pengendara menginginkan jalan yang baik, nyaman, dan aman guna mencegah kecelakaan. Jalan raya menghubungkan kawasan, diatur oleh Undang-Undang, digunakan oleh masyarakat umum, dan memiliki ukuran yang relatif besar. Sesuai Peraturan Pemerintah RI No. 34/2006, jalan merupakan prasarana transportasi vital yang berperan dalam pengembangan wilayah, pemerataan hasil pembangunan, serta peningkatan pertahanan, keamanan, politik, sosial, dan budaya [3]. Berdasarkan Undang-Undang RI No. 38 Tahun 2004, jalan adalah prasarana transportasi darat yang mencakup seluruh bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap, kecuali jalur kereta api, lori, dan kabel [4]. Jalan umum dibangun oleh instansi, badan usaha, atau masyarakat untuk kepentingan bersama, meliputi jalan nasional, provinsi, kabupaten/kota, dan desa. Jalan ini berfungsi menghubungkan wilayah, memfasilitasi mobilitas, distribusi barang dan jasa, serta memenuhi standar teknis dan keselamatan demi kenyamanan pengguna [5].

2.2 Lalu Lintas Harian Rata-Rata (LHR)

Volume lalu lintas harian rata-rata menyatakan jumlah lalu lintas kendaraan perhari untuk dua lajur berbeda, yang dicatat dalam LHR [6]. Sehingga diperlukan survey lapangan selama 3 x 9 jam dalam satu minggu untuk mencatat jenis kendaraan bermotor yang melewati ruas jalan tersebut. Survey dilakukan selama tiga hari, yaitu pada hari senin, kamis dan minggu, diaman pemilihan waktu ini, mempertimbangkan jam sibuk pada ruas jalan. Dari observasi yang dilaksanakan dapat dirumuskan untuk volume lalu lintas dalam satu hari (LHR) per hari menggunakan persamaan (1).

$$LHR = \frac{\text{Jumlah Lalu Lintas Selama Pengamat:}}{\text{lamanya waktu pengamatan}} \dots\dots\dots (1)$$

Tabel 1. Ekvivalen Kendaraan Penumpang (EMP) Tiap Jenis Kendaraan

<i>Gol Kend</i>	<i>Jenis Kendaraan</i>	<i>EMP</i>
1	Sepeda Motor dan Kendaraan Roda 3	0,7
2	Kendaraan Ringan-Sedan, Jeep, dan station wagon	1
3	Kendaraan Ringan-Angkutan Umum Sedang	1
4	Kendaraan Ringan- pick up, mecro truck	1
5A	Bus Kecil	1,8
5B	Bus Besar	1,6
6A	Truk 2 Sumbu-truk ringan	1,8
6B	Truk 2 Sumbu-truk sedang	1,8

2.3 Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas adalah beban kendaraan yang terdistribusi ke perkerasan jalan akibat interaksi langsung antara ban dan permukaan jalan, membentuk beban dinamis yang berulang [7]. Beban ini diwakili oleh akumulasi pengulangan beban gandar normal selama umur rencana, dipengaruhi oleh faktor seperti persebaran kendaraan di tiap lajur, ukuran ban, berat kendaraan, pertumbuhan lalu lintas, beban gandar, dan umur desain [8] [9]. Kinerja lalu lintas jalan dinilai berdasarkan kemampuan ruas jalan melayani arus kendaraan sesuai fungsinya, yang diukur dan dibandingkan dengan standar tingkat pelayanan. Beberapa parameter sesuai Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI 2023) ditentukan dalam persamaan (1) dan persamaan (2).[10]

$$C = C_0 \times FC_L \times FC_{PA} \times FC_{HS} \dots\dots\dots (2)$$

$$DJ = \frac{q}{C} \dots\dots\dots (3)$$

2.4 Parameter Lalu Lintas Pada MDPJ 2024

Manual Desain Perkerasan Jalan (MDPJ) 2024 menjadi panduan teknis terbaru bagi perencana jalan di Indonesia, menggantikan edisi 2017. Pembaruan ini menyesuaikan perkembangan teknologi, ketersediaan material, dan menyelaraskan dengan Spesifikasi Umum Pekerjaan Jalan dan Jembatan. MDPJ 2024 mengintegrasikan pedoman teknis terkait perencanaan, dan menggunakan pendekatan preservasi perkerasan dengan memperhatikan daya dukung tanah dasar, serta pembaruan parameter material lokal [11]. Perancangan perkerasan lentur menggunakan pendekatan mekanistik-empirik dengan katalog struktur sebagai keluaran, sedangkan perkerasan kaku mengadopsi metode *Portland Cement Association* dengan analisis perangkat lunak seperti SDPJ dan desain rehabilitasi tambahan. *Referensi dari AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (1993)* dan Austroads AGPT02-17 digunakan untuk validitas. Pembaruan ini ditetapkan melalui Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga [12].

Dalam analisis lalu lintas, penentuan volume lalu lintas pada jam sibuk dan Lalu Lintas Harian Rata-rata Tahunan (LHR) mengacu pada Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI). Penentuan nilai LHR didasarkan pada data survei lalu lintas harian rata-rata dengan mempertimbangkan faktor k[13] [14]. Data primer yang dikumpulkan melalui survei lalu lintas, yang mencatat jumlah kendaraan yang melewati titik tertentu dalam jangka waktu tertentu. Survei ini biasanya dilakukan selama beberapa hari atau minggu untuk mendapatkan sampel yang representatif [15].

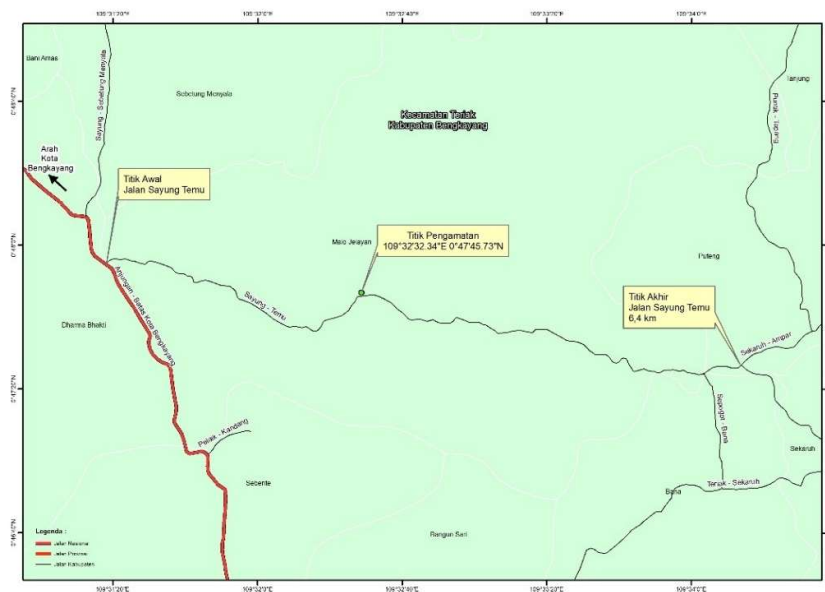
3. METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian diawali dengan observasi dari data sekunder yang didapat dari Dinas Pekerjaan Umum Dan Penataan Ruang Kabupaten Bengkayang yang kemudian dilanjutkan dengan pengamatan atau survei lapangan.

3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini berlokasi di Kecamatan Teriak, Kabupaten Bengkayang, seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Jalan utama ini menghubungkan beberapa desa ke Kota Bengkayang dan banyak digunakan oleh kendaraan berat pengangkut hasil perkebunan dan pasir. Ruas jalan memiliki panjang 6,4 km, lebar 4 meter, dan bahu jalan 1 meter.



Gambar 2. Lokasi Ruas Jalan Sayung Temu

3.3 Tahapan Penelitian

Tahap persiapan berupa studi literatur yaitu mempelajari referensi-referensi, produk temuan ilmiah dan penelitian terdahulu yang didokumentasikan dalam bentuk tulisan yang digunakan untuk memperkuat argumen peneliti dalam menyelesaikan penelitian yang dilakukan.

Pengumpulan data peneliti menggunakan dua macam data yaitu data primer yang diambil langsung dari lapangan yang berisi tentang data geometrik dan inventaris jalan yang digunakan untuk melihat ada tidaknya perlengkapan jalan. Data arus lalu- lintas, waktu tempuh kendaraan, panjang antrian, data tundaan serta waktu siklus pada persimpangan. Kemudian data sekunder merupakan data yang peneliti diperoleh dari instansi yang berasal dari buku-buku yang berkaitan dengan study literatur dalam menyelesaikan penelitian.

Pengambilan data penelitian menggunakan peralatan yang dibutuhkan yaitu: Drone digunakan untuk mengambil gambar dan video lokasi yang akan di observasi, meteran yang digunakan untuk menghitung lebar jalan dan geometrik lokasi, Meteran roll digunakan untuk mengukur panjang jalan, Lembar Validasi digunakan untuk mencatat jumlah kendaraan yang melewati suatu segmen jalan, hand counter untuk menghitung kendaraan yang melewati bidang yang diamati berdasarkan jenis kendaraan, formulir survei lapangan, media pengolah data hasil survei.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Geomatrik Jalan

Kondisi Geometrik ruas jalan Sayung Temu yaitu :

- a. Karakteristik Jalan Sayung Temu = 2 lajur 2 arah tidak ada median jalan
- b. Panjang Jalan Sayung Temu = 6,4 kilometer
- c. Lebar Jalan Sayung Temu = 4 meter
- d. Tipe Alineman = Bukit
- e. Klasifikasi Jalan = Lokal Primer
- f. Perkerasan = HRS (Hot Rolled Sheet)
- g. Lapisan Bawah = Terdapat kondisi eksisting lapen
- h. Kondisi badan jalan = Tidak ada kerusakan
- i. Bahul Jalan = 1 meter (sepanjang + 1 kilometer),
seterusnya tidak ada bahu jalan.

4.2 Data Volume Lalu Lintas

Pengamatan pada ruas jalan Sayung Temu dilakukan selama tiga hari berturut-turut, yaitu pada hari Senin, Kamis, dan Minggu. Pemilihan hari-hari tersebut bertujuan untuk memperoleh gambaran yang representatif mengenai kondisi lalu lintas pada berbagai jenis hari, mulai dari hari kerja hingga akhir pekan. Durasi pengamatan adalah sembilan jam per hari, dimulai pada pukul 07.00 hingga 16.00.

Tabel 2. Volume Kendaraan pada Senin, 12 Januari 2025

Jam	Menit	Golongan Kendaraan								Total Arus (Kendaraan)
		1	2	3	4	5A	5B	6A	6B	
7	00-30	84	4	-	-	-	-	-	3	91
	30-60	68	10	-	2	-	-	3	6	89
8	00-30	56	2	-	5	-	2	6	6	77
	30-60	52	4	-	-	-	1	1	5	63
9	00-30	50	7	-	3	-	-	6	8	74
	30-60	66	1	-	2	-	-	5	4	78
10	00-30	54	3	-	-	-	-	3	1	61
	30-60	71	-	-	1	-	-	1	5	78
11	00-30	68	6	-	6	-	-	5	-	85
	30-60	56	2	-	9	-	-	-	-	67
12	00-30	46	-	-	5	-	-	-	-	51
	30-60	50	2	-	6	-	-	2	2	62
13	00-30	48	-	-	4	-	-	4	4	60
	30-60	65	6	-	6	-	-	4	7	88
14	00-30	50	-	-	3	-	-	-	-	53
	30-60	61	-	-	4	-	1	4	3	73
15	00-30	60	2	-	2	-	1	3	1	69
	30-60	43	2	-	2	-	-	1	-	48
Jumlah		1048	51	-	60	-	5	48	55	1267
Kend/30		58	3	-	3	-	-	3	3	70
Kend/jam		116	6	-	7	-	1	5	6	141
Kend/hari		1397	68	-	80	-	7	64	73	1689

Hasil pengamatan terkait jumlah kendaraan yang tercatat pada ruas jalan Sayung Temu pada hari Senin, tanggal 12 Januari 2025, mulai pukul 07.00 hingga 16.00, menunjukkan variasi yang signifikan dalam kepadatan lalu lintas sepanjang hari.

Tabel 3. Volume Kendaraan Pada Kamis, 15 Januari 2025

Jam	Menit	Golongan Kendaraan								Total Arus (Kendaraan)
		1	2	3	4	5A	5B	6A	6B	
7	00-30	72	3	-	-	-	-	-	4	79
	30-60	60	8	-	-	-	-	-	3	71
8	00-30	80	4	-	4	-	1	4	5	98
	30-60	71	6	-	5	-	2	4	2	90
9	00-30	56	4	-	-	-	-	-	3	63
	30-60	63	5	-	-	-	-	-	-	68
10	00-30	72	1	-	-	-	-	-	4	77
	30-60	65	4	-	4	-	-	6	4	83
11	00-30	61	4	-	4	-	1	-	-	70
	30-60	54	5	-	6	-	1	-	2	68
12	00-30	57	4	-	-	-	-	-	3	64
	30-60	51	3	-	3	-	-	2	2	61
13	00-30	48	1	-	6	-	-	4	-	59
	30-60	63	-	-	7	-	1	2	-	73
14	00-30	72	5	-	5	-	-	-	6	88
	30-60	62	3	-	4	-	2	-	4	75
15	00-30	67	-	-	-	-	1	-	1	69
	30-60	54	4	-	1	-	-	-	-	59
Jumlah		1128	64	-	49	-	9	22	43	1315
Kend/30		63	4	-	3	-	1	1	2	73
Kend/jam		125	7	-	5	-	1	2	5	146
Kend/hari		1504	85	-	65	-	12	29	57	1753

Hasil pengamatan terkait jumlah kendaraan yang tercatat pada ruas jalan Sayung Temu pada hari Kamis, tanggal 15 Januari 2025, mulai pukul 07.00 hingga 16.00, menunjukkan variasi yang signifikan dalam kepadatan lalu lintas sepanjang hari.

Tabel 4. Volume Kendaraan pada Minggu, 18 Januari 2025

Jam	Menit	Golongan Kendaraan								Jumlah
		1	2	3	4	5A	5B	6A	6B	
7	00-30	59	4	-	-	-	-	-	1	64
	30-60	67	8	-	-	-	-	4	2	81
8	00-30	81	9	-	-	-	1	-	4	95
	30-60	68	3	-	-	-	-	-	-	71
9	00-30	56	4	-	4	-	-	-	3	67
	30-60	52	8	-	-	-	-	6	6	72
10	00-30	50	6	-	3	-	-	-	2	61
	30-60	61	7	-	-	-	-	-	2	70
11	00-30	43	3	-	5	-	-	-	-	51
	30-60	47	4	-	8	-	-	-	4	63
12	00-30	56	-	-	-	-	-	-	-	56
	30-60	60	5	-	-	-	-	2	2	69
13	00-30	66	4	-	-	-	-	8	6	84
	30-60	75	5	-	4	-	-	6	-	90

14	00-30	39	5	-	2	-	1	-	2	49
	30-60	46	2	-	6	-	-	-	2	56
15	00-30	53	4	-	4	-	1	4	3	69
	30-60	41	1	-	2	-	-	-	1	45
Jumlah		1020	82	-	38	-	3	30	40	1213
Kend/30		57	5	-	2	-	-	2	2	67
Kend/jam		113	9	-	4	-	-	3	4	135
Kend/hari		1360	109	-	51	-	4	40	53	1617

Pengamatan hari terakhir jumlah kendaraan yang tercatat pada ruas jalan Sayung Temu pada hari Minggu, tanggal 18 Januari 2025, dimulai pada pukul 07.00 hingga 16.00, mencatat perubahan pola arus lalu lintas yang berbeda dibandingkan dengan hari kerja. Hari Minggu biasanya menunjukkan pergerakan kendaraan yang lebih ringan.

4.3 Lalu Lintas Harian Rata-Rata (LHR)

Dari hasil volume kendaraan untuk mendapatkan volume lalu lintas dari satuan kendaraan/jam (kend/jam) menjadi satuan mobil penumpang yaitu (SMP/jam). Data perhitungan diatas dengan mengalikan ekivalensi mobil penumpang (EMP) sesuai dengan Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI 2024) untuk jalan luar kota 2 lajur 2 arah tidak ada median jalan 2/2-TT dengan hasil perhitungan yang ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 5. Lalu Lintas Harian Rata – Rata LHR (SMP)

Gol Kendaraan	1	2	3	4	5A	5B	6A	6B	Jumlah (SMP)
EMP	0,7	1	1	1	1,8	1,6	1,8	1,8	
Waktu									
12-Jan-2025	1048	51	-	60	-	5	48	55	1038
15-Jan-2025	1128	64	-	49	-	9	22	43	1034
18-Jan-2025	1020	82	-	38	-	3	30	40	965
SMP/9Jam	746	66	-	49	-	9	60	83	1012
SMP/jam	83	7	-	5	-	1	7	9	112
SMP/hari	994	88	-	65	-	12	80	110	1350

Berdasarkan hasil Tabel 5 untuk total jumlah arus lalu lintas rata-rata kendaraan perhari yang melintas pada ruas jalan Sayung Temu adalah 1350 SMP/hari. Jumlah volume rata-rata perjam pada ruas jalan sayung temu adalah 112 SMP/jam.

Tabel 6. Lalu Lintas Harian Rata – Rata LHR (Kendaraan)

Gol Kendaraan	1	2	3	4	5A	5B	6A	6B	Jumlah (kendaraan)
Waktu									
12-Jan-2025	1048	51	-	60	-	5	48	55	1038
15-Jan-2025	1128	64	-	49	-	9	22	43	1034
18-Jan-2025	1020	82	-	38	-	3	30	40	965
Kend/9Jam	1065	66	-	49	-	6	33	46	1265
Kend/jam	118	7	-	5	-	1	4	5	141
Kend/hari	1420	88	-	65	-	8	44	61	1687

Berdasarkan hasil pada tabel 6, total jumlah arus lalu lintas rata-rata kendaraan perhari yang melintas pada ruas jalan Sayung Temu adalah 1687 kendaraan/hari. Jumlah volume rata-rata perjam pada ruas jalan sayung temu adalah 141 kendaraan/jam.

4.4 CESA (Critical Element Safety Analysis)

Pada ruas jalan Sayung Temu dilakukan analisis CESA (Critical Element Safety Analysis) untuk mengetahui seberapa besar beban yang ditanggung pada ruas jalan tersebut. CESA juga dapat digunakan untuk merancang perbaikan atau peningkatan pada elemen-elemen yang kritis. Untuk mendapatkan perhitungan CESA dengan ketentuan yang sudah ditetapkan pada manual desain perkerasan jalan (MDPJ 2024). Perhitungan nilai CESA berdasarkan persamaan (3).

$$\text{CESA} = \Sigma \text{LHR} \times \text{VDF} \times 4 \times 365 \times \text{DD} \times \text{DL} \times \text{R} \quad (3)$$

Dimana :

ΣLHR = Lalu lintas harian rata-rata tiap jenis kendaraan

VDF 4 = Faktor ekuivalen beban tiap jenis kendaraan

365 = Jumlah hari dalam setahun

DD = Faktor distribusi arah

DL = Faktor distribusi lajur

R = Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif

Data Awal :

DD = 0,5

DL = 1

R = 11,73

i = 3,5 %

ur = 10 tahun

VDF = sesuai peldoman MDPJ 2024 di sajikan pada tabel 7.

Tabel 7. Data VDF 4 (*vehicle damage factor*) – wilayah Kalimantan Barat

Kondisi	Kelas Kendaraan	Golongan Kendaraan		
		5B	6A	6B
VDF 4	Faktual	1,2	0,5	1,5
	Normal	1,2	0,5	0,4

VDF (*vehicle damage factor*) yaitu Faktor ekuivalen beban tiap jenis kendaraan niaga, pada penelitian ini menggunakan nilai VDF 4 karena kondisi lalu lintas pada ruas jalan rendah. Berikut data VDF 4 beradasrkan MDPJ 2024 sesuai wilayah regional Kalimantan Barat pada tabel 7.

Tabel 8. Perhitungan CESA Jalan Sayung Temu

GOL KENDARAAN	LHR	DD	DL	R	VDF 4	CESA 4
1	1420	0,5	1,0	11,73		
2	88	0,5	1,0	11,73		
3	-	0,5	1,0	11,73		
4	65	0,5	1,0	11,73		
5a	-	0,5	1,0	11,73		
5b	8	0,5	1,0	11,73	1,2	20.550,96
6a	44	0,5	1,0	11,73	0,5	47.095,95
6b	61	0,5	1,0	11,73	0,4	52.233,69
CESA						119.880,60
CESA (/10^6)						0,1199

Hasil nilai CESA yang tercatat pada tabel 8 adalah 119.880,60. Pada nilai CESA dengan umur rencana 10 tahun adalah 0,1199.

4.5 Tebal Perkerasan

Berdasarkan perhitungan CESA yang dilakukan, didapatkan nilai sebesar 0,119. Nilai tersebut digunakan sebagai dasar untuk menentukan rencana desain perkerasan lentur yang akan diterapkan pada ruas jalan Sayung Temu. Dalam hal ini, jenis material yang dipilih adalah HRS (Hot Rolled Sheet). Dasar untuk menentukan tebal desain perkerasan lentur dapat ditinjau pada tabel 9.

Tabel 9. Desain perkerasan lentur dengan HR

Kumulatif beban sumbu 20 tahun pada lajur rencana (10^6 CESA)	$FF1 < 0,5$	$0,5 \leq FF2 \leq 4,0$
Jenis Permukaan	HRS atau Penetrasi Makadam	HRS ²
Struktur Perkerasan	Tebal lapisan (mm)	
HRS - WC	50	30
HRS - Base	-	35
LFA Kelas A	150	250
LFA Kelas B atau kerikil alam atau lapis distabilisasi dengan CBR > 10%	150	150

Tebal perkerasan yang didapat pada penelitian ini, bisa digunakan sebagai desain baru untuk pelebaran badan jalan, karena kondisi eksisting yang merupakan tanah dasar tidak ada lapisan lapen seperti pada eksisting badan jalan. Sehingga perlu adanya desain lapisan LFA Kelas B untuk tebal perkerasan pada pembangunan pelebaran jalan dengan kondisi tanah dasar

5. KESIMPULAN

Data Lalu Lintas Harian Rata-Rata (LHR) dan Volume lalu lintas yang melalui ruas jalan Sayung Temu menunjukkan tingkat kepadatan yang bervariasi sesuai dengan waktu tertentu. Lalu Lintas Harian Rata-Rata (LHR) pada ruas jalan Sayung Temu adalah 1350 SMP/hari dan Volume Lalu Lintas yang tercatat pada ruas jalan Sayung Temu adalah 112 SMP/jam. Kapasitas ruas jalan Sayung Temu dari data hasil penelitian maka didapatkan kapasitas segmen (C) adalah sebesar 2524 SMP/jam. Kinerja ruas jalan pada ruas jalan Sayung Temu dapat dinilai dengan melihat tingkat kepadatan lalu lintas, dan waktu tempuh yang dibutuhkan, dari perhitungan derajat kejenuhan didapat nilai 0,04 dengan Tingkat Pelayanan A. CESA (Cumulative Equivalent Single Axle Load) adalah faktor yang menunjukkan beban lalu lintas yang melalui suatu ruas jalan. Evaluasi ini penting untuk menentukan ketahanan dan kebutuhan perawatan jalan. Pada ruas jalan Sayung Temu didapat nilai CESA 4 sebesar 119.880,60 dan tebal perkerasan pada ruas jalan Sayung Temu yaitu HRS-WC 5 cm, LFA Kelas A 15 cm, dan LFA Kelas B 15 cm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Aulia, "Studi Kerusakan Jalan Dan Rencana Perbaikan Jalan Kabupaten Pada Ruas Jalan Tanak Awu Kabupaten Lombok Tengah," 2023, *Institut Teknologi Nasional Malang*.
- [2] S. Kurniawan, I. Hadijah, and D. A. Rizqi, "Analisis Daya Dukung Tanah Dan Beban Kendaraan Terhadap Kerusakan Perkerasan Jalan Pada Ruas Jalan Raya Metro-Tanjungkari," *TAPAK (Teknologi Aplikasi Konstruksi): Jurnal Program Studi Teknik Sipil*, vol. 9, no. 2, pp. 159–168, 2020.

- [3] P. R. Indonesia, “Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 34 Tahun 2006 Tentang Jalan,” 2006.
- [4] P. R. Indonesia, “Undang-Undang Republik Indonesia No. 38 Tahun 2004,” *Tentang Jalan*, 2004.
- [5] N. Ekacitra, T. Yahya, A. Zarkasi, H. Hartati, S. Satoto, and R. Sarwani, “Kebijakan Pemerintah Daerah Dalam Pemanfaatan Infrastruktur Jalan Umum Terhadap Perusahaan Tambang Mineral Dan Batubara Di Provinsi Jambi,” 2025, *Universitas Jambi*.
- [6] F. Mulia Artha, “Tinjauan Deformasi Permanen Pada Tanjakan dan Turunan Ruas Jalan Simpang Ampek-Sasak Kabupaten Pasaman Barat Km 278+ 000-279+ 500,” 2024, *Universitas Malikussaleh*.
- [7] B. A. Putra, A. Suraji, L. K. Wardani, and A. Tugas, “Analisis pengaruh beban lebih terhadap umur perkerasan jalan pada ruas jalan kapten tendean kota kediri,” vol. 25, no. 2, pp. 61–68, 2023.
- [8] N. K. Nur *et al.*, “Perancangan Perkerasan Jalan,” 2021, *Yayasan Kita Menulis*.
- [9] A. A. Anisarida and L. N. Sopian, “Analisis Pelebaran Ruas Jalan Ciomas-Mandalawangi,” *JURNAL TEKNIK SIPIL CENDEKIA (JTSC)*, vol. 4, no. 2, pp. 640–657, 2023.
- [10] K. Ayunaning, “Analisis Kinerja Ruas Jalan Menggunakan Metode Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023 Pada Jalan Raya Manyar,” *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, vol. 1, no. 02, pp. 44–50, 2024.
- [11] U. Budiana, “Analisis Perkerasan Lentur Dengan Metode MDPJ 2024 Pada Peningkatan Lajur Ruas Tol Palikanci,” *Jurnal Dunia Rekayasa Sipil, Design, dan Infrastruktur*, vol. 1, no. 1, pp. 13–17, 2024.
- [12] N. Tomia, R. H. Nendissa, and Y. Pattinasarany, “Kelayakan Konstruksi Bangunan Trotoar di Kota Ambon,” *TATOHI: Jurnal Ilmu Hukum*, vol. 3, no. 11, pp. 1137–1148, 2024.
- [13] N. M. Y. Lewheherilla, J. Amahoru, and M. Kelbulan, “Analisis Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Dengan Menggunakan Motode Manual Desain Perkerasan (MDP) 2018 Pada Ruas Jalan Desa Luran Kecamatan Tanimabr Selatan Kabupaten Kepulauan Tanimbar,” *Manumata: Jurnal Ilmu Teknik*, vol. 8, no. 1, pp. 20–27, 2022.
- [14] C. Wattimena, V. Siahaya, and E. Talakua, “Analisis Perbandingan Tebal Perkerasan Lentur Metoda A ASTO dan BINA MARGA Pada Proyek Undepas Jenderal Sudirman Ambon,” *Jurnal Simetrik*, vol. 12, no. 2, pp. 622–630, 2022.
- [15] S. Satriani, “Analisis Faktor yang berhubungan dengan Kejadian Kecelakaan Lalu Lintas Pada Pengendara Ojek Online di Kota Makassar Tahun 2024= Analysis Of Factors Associated With The Incidence Of Traffic Accidents Online Motorcycle Taxi Drivers In Makassar City In 2024,” 2024, *Universitas Hasanuddin*.